

Universidade Federal do Rio Grande – FURG

Instituto de Oceanografia

Programa de Pós-Graduação em Oceanologia

**Análise quali-quantitativa de resíduos
plásticos de origem continental na Lagoa
dos Patos a partir de dados sócio-
econômicos**

ÍTELE EDUARDO DOS SANTOS

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Oceanologia, como parte dos
requisitos para a obtenção do
Título de Mestre.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. ELISA HELENA FERNANDES
Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Brasil.

Co-Orientadora: Prof^a. Dr^a. GRASIELA LOPES LEÃES PINHO
Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Brasil.

Rio Grande, RS, Brasil

Outubro, 2021

Análise quali-quantitativa de resíduos plásticos de origem continental na Lagoa dos Patos a partir de dados sócio-econômicos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanologia, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre.

por

ÍTELE EDUARDO DOS SANTOS

Rio Grande, RS, Brasil

Outubro, 2021

© A cópia parcial e a citação de trechos desta tese são permitidas sob a condição de que qualquer pessoa que a consulte reconheça os direitos autorais do autor. Nenhuma informação derivada direta ou indiretamente desta obra deve ser publicada sem o consentimento prévio e por escrito do autor.

dos Santos, Ítele Eduardo

Análise quali-quantitativa de resíduos plásticos de origem continental na Lagoa dos Patos a partir de dados sócio-econômicos/ Ítele Eduardo dos Santos – Rio Grande: FURG, 2021.

Número de páginas p. 112

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande. Mestrado em Oceanologia. Área de Concentração: Poluição e Ecossistemas Marinhos.

1. Resíduos Sólidos 2. Lagoa Costeira 3. Lixo Marinho 4. Quantificação 5. Gestão de Resíduo I. Título. Análise quali-quantitativa de resíduos plásticos de origem continental na Lagoa dos Patos a partir de dados sócio-econômicos

“Eu sou metal, raio, relâmpago e trovão.”

Metal contra as Nuvens — Legião Urbana

Agradecimentos

Agradeço a minha família por todo apoio que me deram até aqui. Mudar de estado e vê-los somente nas férias (desde a graduação) não foi fácil. Agradeço principalmente aos meus pais (Nena e Dita), por confiarem nas minhas escolhas e terem me ajudado a correr atrás dos meus objetivos.

Agradeço também a Universidade Federal do Rio Grande – FURG e ao Laboratório de Oceanografia Costeira e Estuarina (LOCOSTE) por terem me abrigado durante o mestrado e me apresentado a professores e colegas incríveis. Especialmente às minhas orientadoras Elisa Helena Fernandes e Grasiela Lopes Leães Pinho que foram como mães me auxiliando e me puxando a orelha quando necessário, pois acreditavam no meu potencial.

Aos amigos, que mesmo de longe ainda se faziam parecer perto Marina, João e Gustavo, obrigado por tudo.

Ao Pablo, que aguentou as minhas dúvidas e perturbações no laboratório e sempre estava disposto a me ajudar.

Ao pessoal cassineiro que também sempre estavam disponíveis a me ajudar e a beber umas cervejinhas e/ou vinhozinho no final do dia.

E por fim, ao Programa de Pós-Graduação em Oceanologia e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela oportunidade e suporte no desenvolvimento deste estudo.

Índice

Agradecimentos	v
Lista de Figuras da Dissertação	viii
Lista de Figuras do Artigo	ix
Lista de Tabelas da Dissertação	x
Lista de Tabelas do Artigo	xi
Lista de Equações da Dissertação	xii
Lista de Equações do Artigo	xiii
Lista de Acrônimos, Abreviações e Símbolos	xiv
Resumo	xvi
Abstract	xvii
I. Introdução	1
II. Objetivos	8
III. Área de Estudo	9
IV: Material e Métodos	12
4.1. Quantificação da magnitude das fontes de plástico nas bacias da Lagoa dos Patos	12
4.1.1 Produção de Plásticos	14
4.1.2 Consumo de Plásticos	18
4.2. Estimando as Perdas	19
4.2.1 Aportes de Produção	20
4.2.2 Aportes de Consumo	20
4.3. Estimando os Lançamentos.....	22
V: Artigo Científico	24
ABSTRACT	25
1. INTRODUCTION.....	26
2. MATERIAL AND METHODS.....	28
2.1 Study Area	28
2.2 From socio-economic data to plastic fluxes	30
2.2.2. <i>Estimating the Inputs</i>	36
2.2.3 Estimating the releases.....	38
3. RESULTS AND DISCUSSION.....	39

3.1. Characteristics of plastic production and the associated inputs in Patos Lagoon Hydrographic Regions.....	39
3.2. Plastics Consumption and the associated inputs in Patos Lagoon Hydrographic Regions	42
3.3. Releases of Plastic Waste in Patos Lagoon Water's	47
4. Conclusions	48
Acknowledgments	49
VI. Síntese da Discussão e Conclusões.....	50
Referências Bibliográficas	54
Anexos	71
Attachments.....	91
Supplementary Materials.....	95

Lista de Figuras da Dissertação

Figura 01. Localização da Lagoa dos Patos e de suas regiões hidrográficas no estado do Rio Grande do Sul.**Pág. 10**

Figura 02. Modelo conceitual das etapas do cálculo do fluxo de resíduos plásticos para a Lagoa dos Patos. O fundo azul representa as etapas realizadas para calcular a produção de plásticos. O fundo amarelo representa como ocorre o consumo de plásticos e a geração de resíduos plásticos. As linhas tracejadas representam os pontos usados para calcular os lançamentos de resíduos de plástico.**Pág. 13**

Figura 03. Esquema mostrando como cada base de dados coletada foi usada para identificar a produção e o consumo de material plástico ocorrendo nas bacias da Lagoa dos Patos – Quadrado vermelho tracejado.**Pág. 15**

Lista de Figuras do Artigo

- Figure 01.** Location of Lagoa dos Patos and its hydrographic regions in the state of Rio Grande do Sul.....**Pág. 29**
- Figure 02.** Conceptual model of the steps taken to calculate the plastic debris flow to the Patos Lagoon. Blue background represents the steps taken to calculate production of plastics. Yellow background represents how the consumption of plastics occur and the generation of plastic waste. The squared dotted-line represents the points in the plastic-cycle used to calculate the losses of plastic waste. Auto-consumption was accounted as plastic products used to make other plastic products. Plastic-consuming activities considered of long life cycle together with the destination of plastic waste to sanitary landfills were not considered in the calculations for the mass of plastic debris entering the Patos Lagoon.....**Pág. 32**
- Figure 03.** Main resins composing 2nd generation plastics produced in the Hydrographic Regions of Patos Lagoon. PP = Polypropylene; LDPE = Low-density polyethylene; PVC = Polyvinyl chloride; HDPE = High-density polyethylene; PTFE = Polytetrafluoroethylene; PET = Polyethylene terephthalate; PS = Polystyrene.....**Pág. 39**
- Figure 04.** Main plastic utensils produced from 3rd generation plastics in the Hydrographic Regions of Patos Lagoon.....**Pág. 40**
- Figure 05.** Estimated pellet loss in the Hydrographic Regions of Patos Lagoon using the percentages published by Essel et al., (2015) and the production amounts of plastic resins (PIA-Produto).....**Pág. 41**
- Figure 06.** Plastic consumption from the people living in the Hydrographic Regions of Patos Lagoon according the CNAE 2.0 categories (Column) and yearly general consumption (Line).....**Pág. 43**
- Figure 07.** Plastic-consuming domains for Resins, Elastomers and Artificial/Synthetic fibers. Shades of Green, Yellow and Red represent respectively domains with long, average and short life cycle and were made to group different activities of equal life-cycle classification. The area in grey represents plastics used as feedstock to produce other plastic utensils.....**Pág. 44**
- Figure 08.** Plastic-consuming domains for Rubber Articles. Shades of Green, Yellow and Red represent respectively domains with long, average and short life cycle and were made to group different activities of equal life-cycle classification. The area in grey represents plastics used as feedstock to produce other plastic utensils.....**Pág. 45**
- Figure 09.** Plastic-consuming domains for Plastic Articles. Shades of Green, Yellow and Red represent respectively domains with long, average and short life cycle and were made to group different activities of equal life-cycle classification. The area in grey represents plastics used as feedstock to produce other plastic utensils.....**Pág. 45**
- Figure 10.** Estimated mismanaged plastic waste of Patos Lagoon Hydrographic Regions calculated following the equation 8 for studied years.....**Pág. 46**
- Figure 11.** Amount of plastic debris reaching the Patos Lagoon based on Meijer et al., (2021)'s percentages of release and equations 09 and 10.....**Pág. 47**

Lista de Tabelas da Dissertação

Tabela 01. Conversão de produtos plásticos registrados em diferentes unidades de medida. A massa e o valor total dos produtos registrados em toneladas (última linha) foram relacionadas aos produtos registrados em diferentes unidades de forma proporcional.
.....**Pág. 15**

Lista de Tabelas do Artigo

Table 01. Conversion of plastic products recorded in different measurement units. The mass and total value of products registered in tons (last line) were proportionally related to the products registered in different units.....**Pág. 33**

Lista de Equações da Dissertação

Equação 01. Cálculo da produção nacional de plásticos por indústria conforme Boucher et al., [2019]. Prod. Nac. Tot. = Produção Nacional Total; Tot. Nac. de Ind. = Total Nacional de Indústrias; Prod. Nac. por Ind. = Produção Nacional por Indústria.**Pág. 17**

Equação 02. Produção virtual da indústria por classes de tamanho. As classes de tamanho da tabela da RAIS funcionaram como multiplicadoras da produção de forma proporcional. Prod. Nac. por Ind. = Produção Nacional por Indústria; Classe de Tam. = Classe de Tamanho; Num. de Ind. na Classe de Tam. = Número de Indústrias na Classe de Tamanho; Prod. Virtual da Ind. por Classe de Tam. = Produção Virtual da Indústria por Classe de Tamanho.**Pág. 17**

Equação 03. Fator de correção da produção industrial nacional pela produção virtual considerando os diferentes tamanhos industriais. Prod. Nac. por Ind. = Produção Nacional por Indústria; Prod. Virtual da Ind. por Classe de Tam. = Produção Virtual da Indústria por Classe de Tamanho; Fator de Cor. da Prod. por Tam. = Fator de Correção da Produção por Tamanho.**Pág. 17**

Equação 04. Produção nacional variada pelas classes de tamanho. Prod. Nac. por Ind. = Produção Nacional por Indústria; Fator de Cor. da Prod. por Tam. = Fator de Correção da Produção por Tamanho; Prod. Nac. Var. por Classe de Tam. = Produção Nacional Variada por Classe de Tamanho.**Pág. 17**

Equação 05. Produção variada por classes de tamanho das indústrias localizadas nas regiões hidrográficas da Lagoa dos Patos. Prod. Nac. Var. por Classe de Tam. = Produção Nacional Variada por Classe de Tamanho; Tot.de Ind.por Classes de Tam.nas Reg.Hid.da Lagoa dos Patos = Total de Indústrias por Classe de Tamanho nas Regiões Hidrográficas da Lagoa dos Patos; Num. de Ind. na Classe de Tam. = Número de Indústrias na Classe de Tamanho; Prod.Var.por Classes de Tam.nas Reg.Hid.da Lagoa dos Patos = Produção Variada por Classes de Tamanho nas Regiões Hidrográficas da Lagoa dos Patos.**Pág. 18**

Equação 06. Cálculo do consumo nacional segundo Carvalho e Ribeiro [2015] levando em consideração o autoconsumo de plásticos identificado pela tabela de Usos e Recursos do IBGE.**Pág. 19**

Equação 07. Cálculo dos aportes de produção com base na produção de resinas plásticas (PIA-Produto) na porcentagem de perda de pellets segundo Essel et al., [2015].**Pág. 20**

Equação 08. Cálculo da quantificação dos resíduos plásticos mal gerenciados das regiões hidrográficas da Lagoa dos Patos.**Pág. 22**

Equação 09. Cálculo de lançamento mínimo de resíduos plásticos na Lagoa dos Patos.**Pág. 22**

Equação 10. Cálculo de lançamento máximo de resíduos plásticos na Lagoa dos Patos.**Pág. 23**

Lista de Equações do Artigo

- Equation 01.** National plastics production by industry according to Boucher et al., [2019].....**Pág. 34**
- Equation 02.** Industry virtual production by size classes. The size classes in the RAIS table functioned as production multipliers in a proportional way.....**Pág. 34**
- Equation 03.** Correction factor of national industrial production by virtual production considering different industry sizes.....**Pág. 34**
- Equation 04.** National production varied by size classes.....**Pág. 34**
- Equation 05.** Varied Production by size classes from industries located in the hydrographic regions of Patos Lagoon.....**Pág. 34**
- Equation 06.** Calculation of national consumption according to Carvalho and Ribeiro (2015) accounting for the plastics 'auto-consumption' from IBGE's tables of Uses and Resources.....**Pág. 35**
- Equation 7.** Calculation of production inputs based on the production amounts of plastic resins (PIA-Produto) and the percentage of pellet loss according to Essel et al., [2015].....**Pág. 36**
- Equation 08.** Calculation for quantification of mismanaged plastic waste in the hydrographic regions of Patos Lagoon.....**Pág. 37**
- Equation 09.** Calculation of minimum release of plastic waste in Patos Lagoon.....**Pág. 38**
- Equation 10.** Calculation of maximum release of plastic waste in Patos Lagoon.....**Pág. 38**

Lista de Acrônimos, Abreviações e Símbolos

A

ABS - Acrilonitrila butadieno estireno (*Acrylonitrile butadiene styrene*)

ABIPLAST - Associação Brasileira da Indústria do Plástico

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

B

BR - Borracha de Polibutadieno (*Butadiene rubber*)

BOPP - Película de Polipropileno Biorientada (*Biaxially oriented polypropylene*)

C

CNAE 2.0 - Classificação Nacional de Atividades Econômicas

CNPJ - Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica

E

ENSO - El Niño Oscilação Sul (*El Niño Southern Oscillation*)

EVA - Acetato-Vinilo de Etileno (*Ethylene Vinyl Acetate*)

EPDM - Borracha Etileno-Propileno-Dieno (*Ethylene propylene-diene-methylene rubber*)

I

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ISIC 4.0 - *International Standard Industrial Classification*

K

KTON - Mil Toneladas (*Thousand of Tons*)

M

MTON - Milhões de Toneladas (*Million Tons*)

N

NE - Nordeste (*Northeast*)

P

PE - Polietileno (*Polyethylene*)

PP - Polipropileno (*Polypropylene*)

PVC - Policloreto de vinila (*Polyvinyl chloride*)

PS - Poliestireno (*Polystyrene*)

POPs - Poluentes orgânicos persistentes (*Persistent organic pollutant*)

PIA – PRODUTO - pesquisa industrial anual – Produto

PEAD - Polietileno de alta densidade (*High-density polyethylene*)

PEAB - Polietileno de baixa densidade (*Low-density polyethylene*)

PTFE – Politetrafluoretileno (*Polytetrafluoroethylene*)

PET - Politereftalato de etileno (*Polyethylene terephthalate*)

PDET - Programa de Disseminação das Estatísticas do Trabalho

R

RAIS - Relação Anual de Informações Sociais

S

SO – Sudoeste (*Southwest*)

SBR - Borracha de butadieno estireno (*Styrene-Butadiene Rubber*)

SISCOMEX - Sistema Integrado de Comércio Exterior

SINIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

T

TRWP - *Tire & Road Wear Particles*

Resumo

Ao longo da última década, a produção de plástico aumentou exponencialmente e, conseqüentemente, a quantidade de resíduos plásticos administrados de forma inadequada que acabam contaminando o meio aquático. Esta quantidade cada vez maior de plásticos nos ecossistemas aquáticos é preocupante, principalmente devido aos impactos que esse material causa nos organismos e, potencialmente, na vida humana. Para estimar a quantidade de detritos plásticos em ambientes costeiros, duas abordagens se sobressaem, uma baseada em medições no campo e outra baseada em dados socioeconômicos. Para a Lagoa dos Patos, maior laguna costeira estrangulada do mundo, as estimativas de resíduos de plástico mal gerenciados que entram neste ecossistema foram baseadas no método top-down proposto por Boucher et al., (2019). Os cálculos foram realizados a partir de dados socioeconômicos coletados para os anos de 2010 a 2017, de forma que a produção de plásticos nas regiões hidrográficas da Lagoa dos Patos foi estimada, resultando em média em 4,54 Mton. As principais resinas produzidas durante o período analisado foram Polietileno de Alta e Baixa Densidade (PEBD e PEAD), Polipropileno (PP) e Cloreto de Polivinila (PVC). Os utensílios plásticos mais produzidos foram as pré-formas de garrafas plásticas, sacolas plásticas e embalagens plásticas. Em média, 1,86 Mton de plásticos foram consumidos pela população nas regiões hidrográficas da Lagoa dos Patos e as embalagens plásticas representaram o principal utensílio de consumo (40%) no período estudado. A principal atividade de consumo foi relacionada às atividades alimentícias (17,98%). Sabendo que o ciclo de vida das embalagens plásticas para alimentos é curto, e que esse material foi o mais consumido nas regiões hidrográficas da Lagoa dos Patos no período de estudo analisado, em uma região com má gestão de resíduos sólidos e baixa taxa de reciclagem, entende-se que este pode ser o principal tipo de plástico que mais contribui para os resíduos sólidos encontrados nesse ambiente. A entrada de resíduos plásticos per capita na Lagoa dos Patos, de acordo com a metodologia aplicada, foi estimada entre 0,5 g/pess/d e 3,2 g/pess/d no período estudado, estando esse valor na mesma ordem de magnitude para outras áreas do mundo.

Abstract

Over the last decade, plastic production has increased exponentially, and consequently the amount of mismanaged plastic waste that ends up contaminating aquatic environments. This increasing number of plastics in aquatic ecosystems is of concern, due to the impacts that this material has on organisms and, potentially, on human life. To estimate the amount of plastic debris in coastal environments, two approaches stand out, one based on field measurements and the other based on socio-economic data. For Patos Lagoon, the world's largest choked coastal lagoon, estimates of mismanaged plastic waste leakage were based on the top-down method proposed by Boucher et al., (2019) for the years 2010 to 2017. Based on this, the production of plastics in the hydrographic regions of Patos Lagoon was estimated, resulting in an average of 4.54 Mton in this period. The main resins produced were High- and Low-Density Polyethylene (HDPE and LDPE), Polypropylene (PP) and Polyvinyl Chloride (PVC). The most produced plastic utensils were preforms for plastic bottles, plastic bags and plastic packaging. On average, 1.86 Mton of plastics were consumed by the population in the hydrographic regions of Patos Lagoon and plastic packaging's represented the main consumed item (40%) during the studied period. Food activities were the main plastic-consuming activity (17.98%). Knowing that the life cycle of plastic food packaging is short, and that this material was the most consumed in the hydrographic regions of Patos Lagoon in the analyzed study period, in a region with poor solid waste management and low recycling rates, this might also be the main type of plastic that contributes the most to the solid waste found in this environment. The per capita amount of plastic waste that is leaked to Patos Lagoon was estimated between 0.5 g/per/d e 3.2 g/per/d in this period, and this value is in the same order of magnitude for other areas in the world.

I. Introdução

Polímeros são grandes moléculas resultantes da combinação de várias subunidades repetidas chamadas de monômeros [Hill, 2005]. Os polímeros podem ser comumente encontrados, desde a molécula de DNA que é um biopolímero e ocorre naturalmente, até o polipropileno, que é um polímero sintético usado na produção de plásticos [Darvell, 2018]. Com grande versatilidade na forma e na função, os polímeros têm atingido onipresença cotidiana, principalmente os sintéticos, feitos a partir do petróleo [Hill, 2005; Gad, 2014; Carbone & Reinert, 2015].

Os polímeros têm sido usados pelo homem desde 1600 a.C, a partir do processamento da borracha natural para a confecção de objetos como bolas, estatuetas, elásticos, entre outros [Hosler et al., 1999]. Mais tarde, em 1839, a vulcanização foi inventada, dando às borrachas maior resistência, elasticidade e resistência a altas e baixas temperaturas [Andrady & Neal, 2009; Coran, 2013]. No mesmo ano, o Poliestireno (PS) foi descoberto a partir do *storax*, uma resina gerada a partir da árvore Oriental *Sweetgum* [Blyth & Hofmann, 1845; Andrady & Neal, 2009]. Em 1907, o primeiro plástico sintético conhecido como Baquelite foi desenvolvido, revolucionando a indústria e abrindo as portas para a otimização das técnicas de fabricação de outros plásticos, o que resultou na produção em massa de uma variedade de polímeros sintéticos [Frias & Nash, 2019].

Os plásticos podem ser facilmente moldados em diferentes formas e produtos para uma grande variedade de usos [Worm et al., 2017]. São leves, com baixa condutividade térmica e elétrica, duráveis e resistentes à corrosão [Shashoua, 2008; Cole et al., 2011; Frias & Nash, 2019]. Essas características, juntamente com os constantes desenvolvimentos em tecnologia, maquinário, *know-how* e custos de produção substituíram muitos materiais convencionais em diversos segmentos da indústria [Panda et al., 2010].

Para transformar os materiais plásticos em produtos prontos para serem consumidos a cadeia produtiva é comumente separada em duas etapas principais: a primeira, chamada de etapa de segunda geração, é associada a produção de resinas plásticas virgens, como as resinas termoplásticas, resinas termofixas e a produção de elastômeros. Já a segunda, chamada de etapa de terceira geração, engloba o segmento das transformadoras de plásticos que, através de diversos processos industriais, transformam as resinas plásticas da etapa de segunda geração em produtos a serem consumidos e utilizados pela população [ABDI, 2009].

Essa diferença no processo de produção é importante do ponto de vista ambiental, já que essas etapas estão diretamente associadas a diferentes fontes de contaminação. No caso dos plásticos de segunda geração, estes são diretamente associados a derrames e perdas para o ambiente na forma de pellets, enquanto os produtos de terceira geração são principalmente associados à contaminação por resíduos [Redford et al., 1997; Barnes et al., 2009]. Portanto, das quantidades de plástico produzidas e consumidas, um percentual inerente a essas etapas é perdido para o meio ambiente [Boucher et al., 2019]. Além que o uso exacerbado de plásticos descartáveis combinado com uma má gestão de resíduos sólidos e as baixas taxas de reciclagem fazem com que esses materiais acabem no ambiente [Moore, 2008; Barnes et al., 2009; Cole et al., 2011; Lebreton et al., 2017]. Uma vez no ambiente, esses plásticos passam a ser referidos como resíduos plásticos ou lixo plástico.

De acordo com Hartmann et al., [2019], os resíduos plásticos são itens que existem em ambientes naturais sem cumprir uma determinada função. Esses poluentes agem, de acordo com Worm et al., [2017], de forma semelhante aos Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs), pois ambos são compostos por substâncias orgânicas que podem persistir e acumular no

ambiente e em organismos por longos períodos, além de causar uma grande variedade de efeitos subletais e letais. No entanto, somente para os POPs uma legislação específica foi implementada para eliminar e restringir a produção e uso, enquanto no caso dos plásticos, a produção global continuou a aumentar alcançando em 2019, 368 milhões de toneladas produzidos globalmente [Plastics Europe, 2020], no entanto os níveis de coleta e reciclagem permaneceram insuficientes [WWF, 2019], fazendo com que esse produto contamine ambientes terrestres e aquáticos [Moore, 2008; Barnes et al., 2009; Cole et al., 2011; Lebreton et al., 2017; Merrington, 2017; Worm et al., 2017; Fiedler, 2019].

Os resíduos plásticos no ambiente podem se apresentar na forma de macroplásticos (> 25 mm), mesoplásticos (5-25 mm) e microplásticos (<5 mm) [Lee et al., 2013; Worm et al., 2017]. Os microplásticos podem ser primários quando intencionalmente fabricados de forma diminuta, como os *pellets* de pré-produção, microesferas, abrasivos plásticos de jateamento a ar, entre outros [Moore, 2008; Andrady, 2011; Cole et al., 2011]. Por outro lado, os plásticos maiores podem também ser fragmentados pelas condições ambientais naturais, como radiação solar, abrasão, interação com organismos, entre outros mecanismos que fazem o plástico sofrer fragmentação em pedaços menores (<5 mm) sendo esses denominados microplásticos secundários [Barnes et al., 2009; Andrady, 2011, 2017; GESAMP, 2016].

Os resíduos plásticos são altamente suscetíveis a entrar no ambiente aquático, devido a sua baixa densidade e peso, podendo ocorrer por meio de rios, escoamento superficial e dos sistemas de águas residuais [Horton et al., 2017; Lebreton et al., 2017]. Assim, de acordo com a Law [2017], as principais questões que surgem quando se lida com a contaminação por resíduos de plástico são ‘Quão grande é o problema?’, ‘Como o dano está se espalhando?’; e ‘Quais são as melhores ferramentas de prevenção e mitigação para se aplicar nos diferentes tipos de ambientes afetados?’.

Buscando responder a primeira pergunta de Law [2017], diferentes metodologias foram propostas para estimar a entrada de resíduos plásticos nos ambientes aquáticos. No entanto, duas linhas metodológicas se sobressaem, uma estabelecendo extrapolações da quantidade encontrada a partir de medições em campo [Cózar et al., 2017; Owens & Kamil, 2020] e outra

baseada na modelagem dos aportes de plásticos a partir de dados como a densidade populacional, a forma e cobertura da gestão de resíduos, situação econômica do País/Área e hidrologia [Jambeck et al., 2015; Lebreton et al., 2017; Schmidt et al., 2017; Boucher et al., 2019; Meijer et al., 2021]. Essas duas formas de estimar a quantidade de resíduos plásticos que entram nos ambientes aquáticos são chamadas por Boucher et al., [2019] como abordagens *bottom-up* e *top-down*, respectivamente.

Essas metodologias podem apresentar vantagens, desvantagens e limitações distintas. Por exemplo, na metodologia *bottom-up*, as amostras *in situ* podem fornecer panoramas mais realistas dos resíduos plásticos encontrados no ambiente [Owens & Kamil, 2020], como as quantidades e características desse material mudam ao longo do tempo [Lechner et al, 2014], sua distribuição entre diferentes compartimentos ambientais, além de expor também as interações entre fauna e flora [Lechner et al., 2014; McCormick et al., 2016; Reynolds & Ryan 2018]. No entanto, essa é uma metodologia que exige um enorme esforço de coletas de campo e de análises laboratoriais para que assim cubra suficientemente a área estudada [Owens & Kamil, 2020]. Além disso, é restritiva acerca do tipo de plástico analisado, já que os métodos de coleta são específicos ao tamanho do material juntamente com o compartimento ambiental que será avaliado [Boucher et al., 2019].

A abordagem *top-down*, por usar dados socioeconômicos, pode ser aplicada virtualmente a qualquer área [Jambeck et al., 2015; Boucher et al., 2019; Tramoy et al., 2019; Ghayebzadeh et al., 2020a; Ghayebzadeh et al., 2020b], é capaz de estimar as quantidades de resíduos plásticos gerados e lançados no ambiente [Boucher et al., 2019], e de determinar as maiores fontes de resíduos plásticos mal gerenciados na área estudada [Jambeck et al., 2015; Boucher et al., 2019]. No entanto, é uma metodologia que depende fortemente da disponibilidade de dados, e que na carência destes contempla certo grau de suposições e de incertezas [Tramoy et al., 2019].

Ambas as metodologias, embora independentes são complementares, e são combinadas de maneira que podem calibrar e/ou validar os resultados *top-down* e/ou estimar valores para toda uma área a partir de amostras pontuais coletadas por meio da metodologia *bottom-up* [Boucher et al., 2019; Tramoy et al., 2019]. No entanto, não é sempre que essas metodologias podem ser

aplicadas simultaneamente, gerando assim dificuldades no desenvolvimento de métodos padrão que identifiquem e quantifiquem as fontes e fluxos de plásticos que entram nos ambientes aquáticos [Tramoy et al., 2019].

A metodologia *top-down* é particularmente prejudicada pela falta de um complemento *bottom-up*, uma vez que muitas das considerações relacionadas à quantificação dos resíduos plásticos mal gerenciados são dependentes do tipo de estudo e da disponibilidade de dados [Jambeck et al., 2015; Boucher et al., 2019; Tramoy et al., 2019]. No entanto, segundo Tramoy et al., [2019], essa metodologia é de grande interesse, uma vez que pode estimar as ordens de magnitude da contaminação por plásticos na área estudada.

Pesquisas sobre resíduos plásticos em corpos de água doce são de maneira geral novas e focadas principalmente nos rios [Lebreton et al., 2017; Schmidt et al., 2017; Tramoy et al., 2019; Meijer et al., 2021] e lagos [Hoffman & Hittinger, 2017; Boucher, 2019]. Uma característica comum entre esses estudos é a falta, ou poucos, dados de campo, que impedem estimativas diretas do fluxo de resíduos plásticos nesses ambientes, de forma que a maioria utiliza abordagens *top-down* como principal estratégia metodológica [Blettler et al., 2018].

Parte dessas pesquisas tratava os ambientes de água doce como simples canais de transporte para os plásticos encontrados nos oceanos [Windsor et al., 2019]. No entanto, considerar fatores como a distribuição geográfica dos resíduos plásticos, o uso da terra, ventos e precipitação, como no trabalho de Meijer et al., [2021], fez com que o número de rios responsáveis por 80% das emissões globais de plásticos aos oceanos subisse em torno de uma a duas ordens de magnitude do que era anteriormente relatado. No entanto é importante notar que essa avaliação também não abordou o impacto que ambientes costeiros como lagunas, lagoas e lagos costeiro têm nesse fluxo.

De acordo com Hoellein & Rochman [2021], a retenção, transformação, remoção e armazenamento permanente de detritos plásticos em ambientes interiores, como as lagunas, lagoas e lagos costeiros, são extremamente importantes para a compreensão dos balanços plásticos globais [Galloway et al., 2017; Windsor et al., 2019]. Esses ambientes, localizados entre o continente e o oceano, atuam como uma espécie de linha de costa secundária

posicionada posteriormente à linha de costa oceânica [Mohan, 2005]. Assim, de acordo com Liu & Fang [2020], esses ambientes podem atuar como uma espécie de zona de amortecimento da contaminação plástica oceânica adjacente.

À primeira vista, isso poderia ser benéfico, uma vez que, ao acumular este material em seu interior, esses ambientes podem funcionar como filtros que diminuem os resíduos que fluem para os oceanos. No entanto, de acordo com Gregory [2009] e Oehlmann et al., [2009], os efeitos deletérios relatados desse material na fauna e na flora fazem com que a acumulação desse material nesses ambientes possa ser mais alarmante que anteriormente previsto.

Nesse contexto, a Lagoa dos Patos pode servir de modelo para os estudos de fluxo de resíduos plásticos e sua interação com o oceano adjacente já que é considerada a maior laguna costeira estrangulada do mundo, com uma área de mais de 10.000 km² [Kjerfve, 1986] fortemente impactada pela atividade humana [Pereira et al., 2005; Niencheski et al., 2006; Wallner-Kersanach et al., 2016]. No entanto, possui ainda uma significativa escassez de estudos que avaliem os resíduos plásticos presentes em sua totalidade. Os estudos de Tourinho e Fillmann [2011]; Vogelmann et al., [2019]; Pinheiro et al., [2021], de Ramos et al., [2021], e Silva e de Souza [2021] abordaram os detritos plásticos em áreas pontuais da Lagoa dos Patos e adjacências.

Tourinho e Fillmann [2011] foram os pioneiros na região e fizeram avaliações das tendências temporais de resíduos sólidos na Praia do Cassino (área marinha adjacente aos molhes da Lagoa dos Patos) durante os anos 1994 e 1995 e em 2003 e 2006 mostrando que os resíduos plásticos foram os mais frequentemente encontrados em todos os anos, variando de 44,7% em 2003 para 53,8% em 2005. Em um estudo recente para a mesma praia, de Ramos et al., [2021] publicaram um panorama dos resíduos sólidos encontrados na Praia do Cassino durante os anos de 2016 e 2017 e 2019 (Janeiro a Março), onde 88% de todo resíduo encontrado era composto por plástico, demonstrando uma tendência de aumento desse tipo de resíduo para a região.

Em áreas mais ao norte da Lagoa dos Patos, em ambientes de água doce, Vogelmann et al., [2019] identificaram e quantificaram microplásticos

presentes em depósitos sedimentares em diferentes pontos da área costeira de São Lourenço do Sul. Já e Silva e de Souza [2021] identificaram a presença de microplásticos na Praia do Laranjal (cidade de Pelotas). Para a extremidade sul da Lagoa dos Patos, Pinheiro et al., [2021], verificaram a presença de resíduos sólidos encontrados em uma marisma presente na região estuarina da laguna e de todo o lixo encontrado, os detritos plásticos representaram 92,4%.

De forma complementar a estes estudos pontuais de campo, o presente trabalho visa contribuir para a construção do conhecimento acerca da problemática dos resíduos plásticos para a região, levando em consideração todo o sistema, auxiliando com uma visão mais ampla e global para o fomento de estratégias de preservação, proteção e manutenção, pautadas na sustentabilidade e uso consciente desse ambiente de enorme valor socioambiental.

II. Objetivos

O objetivo geral deste estudo foi estimar, com base em dados socioeconômicos, a quantidade e a qualidade de resíduos plásticos de origem continental que entraram na Lagoa dos Patos ao longo dos anos de 2010 até 2017. Como objetivos específicos, este estudo pretendeu:

- I. Identificar os principais tipos de polímeros e produtos plásticos produzidos e consumidos nas regiões hidrográficas da Lagoa dos Patos durante os anos estudados;
- II. Identificar as principais atividades geradoras de materiais plásticos no território e;
- III. Estimar a massa de resíduo plástico mal/não gerenciado produzida nas regiões hidrográficas da Lagoa dos Patos durante os anos estudados.

III. Área de Estudo

A Lagoa dos Patos, localizada no extremo sul do Brasil, é a maior lagoa costeira do tipo estrangulada do mundo [Kjerfve, 1986] com uma área de 10360 km² está ligada ao Oceano Atlântico Sul por um longo (20 km) e estreito canal (700 m de largura) [António et al., 2020]. Banhando diretamente 14 municípios incluindo grandes cidades urbanizadas como Porto Alegre (mais de 1,4 milhão de habitantes), Pelotas (~ 320.000 habitantes) e Rio Grande (com ~ 200.000 habitantes) [IBGE, 2011] a laguna possui mais de 135 mil km² de bacia de drenagem que pode ser dividida em duas regiões: a Região Hidrográfica do Guaíba e a Região Hidrográfica do Litoral, de acordo com a Figura 01 [SEMA, 2017].

A Região Hidrográfica do Guaíba está localizada na porção noroeste do estado do Rio Grande do Sul e é composta por nove bacias hidrográficas, com uma área de drenagem de 84.763,54 km², correspondendo a 30% do território do estado [FEPAM, 2003a]. A população residente nesta região é de aproximadamente 5.869.265 habitantes, o que corresponde a 61% da população do estado [FEPAM, 2003a]. Os municípios desta região são reconhecidamente os mais urbanizados às margens da Lagoa, com a faixa entre Porto Alegre e Caxias do Sul (Figura 01) o eixo mais urbanizado dessa região apresentando maior contingente populacional e de concentração industrial [FEPAM, 2003a].

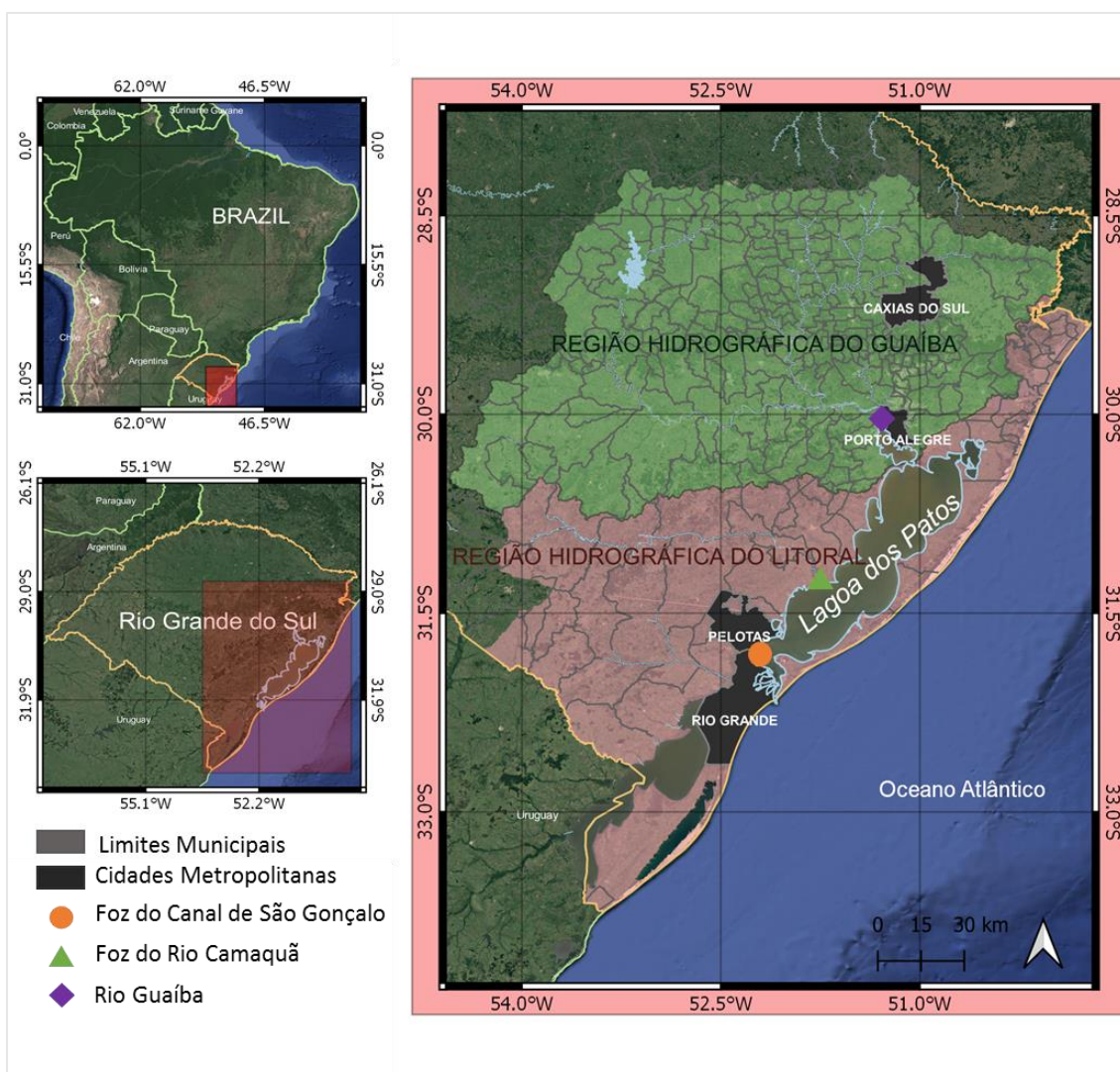


Figura 01. Localização da Lagoa dos Patos e de suas regiões hidrográficas no estado do Rio Grande do Sul.

Já a Região Hidrográfica do Litoral é composta por seis bacias hidrográficas e está na porção leste e sul do estado do Rio Grande do Sul, ocupando uma área de 53.356,41 km², o que corresponde a 20% da área do estado [FEPAM, 2003b]. A população desta região é de cerca de 1.231.293 habitantes e, diferentemente da região anterior, esses municípios são mais focados na agricultura, pesca e turismo [FEPAM, 2003b]. Os municípios metropolitanos dessa região hidrográfica concentram-se no eixo entre Rio Grande e Pelotas [Pereira et al., 2005] (Figura 01). A atividade industrial que ocorre nesta região está principalmente relacionada às indústrias química e petroquímica [FEPAM, 2003b].

O clima da região é definido como Temperado Úmido e as temperaturas são caracterizadas por diferenças marcantes entre o verão e o inverno, com temperaturas médias anuais variando de 14°C a 18°C [IBGE, 1977]. A precipitação média anual varia de 1250 mm a 2000 mm, apresentando uma distribuição espacial uniforme com forte correlação entre a ocorrência de eventos ENSO e as anomalias de precipitação, que causam picos de vazão fluvial [GRIMM et al., 1998].

As contribuições continentais de ambas as regiões hidrográficas chegam na Lagoa dos Patos através dos Rios Guaíba e Camaquã e do Canal de São Gonçalo, cuja contribuição vem da Lagoa Mirim (Figura 01). O Rio Guaíba responde por 61% da descarga de rios na laguna, apresentando uma vazão média de 1.500 m³. s⁻¹. O Rio Camaquã e o Canal de São Gonçalo apresentam vazões médias de 300 m³. s⁻¹ e 700 m³.s⁻¹, respectivamente [Vaz et al., 2006].

A principal forçante que atua na laguna, quando a vazão dos rios é inferior a 2.000 m³. s⁻¹, são os ventos, em seus efeitos local e remoto [Castelão e Möller, 2003]. Durante a dominância de ventos de NE (SO), ocorre um rebaixamento (elevação) do nível do mar na costa, favorecendo os fluxos em direção ao oceano (interior da Lagoa) [Castelão e Möller, 2003]. As marés são classificadas como micromarés e não têm muita importância, uma vez que são atenuadas ao longo do canal de acesso [Fernandes et al., 2004].

As águas da Lagoa dos Patos e seus efluentes nessas duas regiões hidrográficas são utilizadas para diversas atividades e, portanto, existem muitas fontes poluidoras diretas e difusas espalhadas na região. Niencheski et al., [2006] citam algumas em particular, como a lixiviação de terras agrícolas; a precipitação atmosférica dos centros industriais; emissões portuárias, concentradas principalmente nas extremidades norte e sul da laguna; e a falta de tratamento de esgoto e saneamento básico na maioria dos municípios. Problemas como o aumento da população urbana, o turismo descontrolado e a má gestão de resíduos sólidos, também são motivos de preocupação acerca dos impactos ambientais na área [Tagliani et al., 2003; Spengler et al., 2007].

IV: Material e Métodos

O método utilizado para calcular as quantidades de resíduos plásticos gerados nas bacias hidrográficas e transportados para a Lagoa dos Patos foi baseado no estudo de Boucher et al., [2019]. Os cálculos dos fluxos de plástico são realizados a partir de dados socioeconômicos seguindo três passos principais: 1. Quantificar a magnitude das fontes de plástico nas bacias hidrográficas da área a ser estudada (ou seja, a magnitude das diferentes fontes de plásticos a partir dos processos de produção e consumo); 2. Estimar as perdas (dos processos de produção e consumo de plástico); 3. Estimar lançamentos de plástico (nos cursos de água). A Figura 02 representa as principais etapas do cálculo de fluxo dos resíduos plásticos lançados na Lagoa dos Patos. As informações descritas nesta figura são detalhadas posteriormente ao longo desta seção.

4.1. Quantificação da magnitude das fontes de plástico nas bacias da Lagoa dos Patos

Nesta primeira etapa, uma avaliação da produção e do consumo nacional de materiais plásticos foi realizada com o objetivo de estimar a quantidade total de plásticos presentes nas bacias da Lagoa dos Patos.

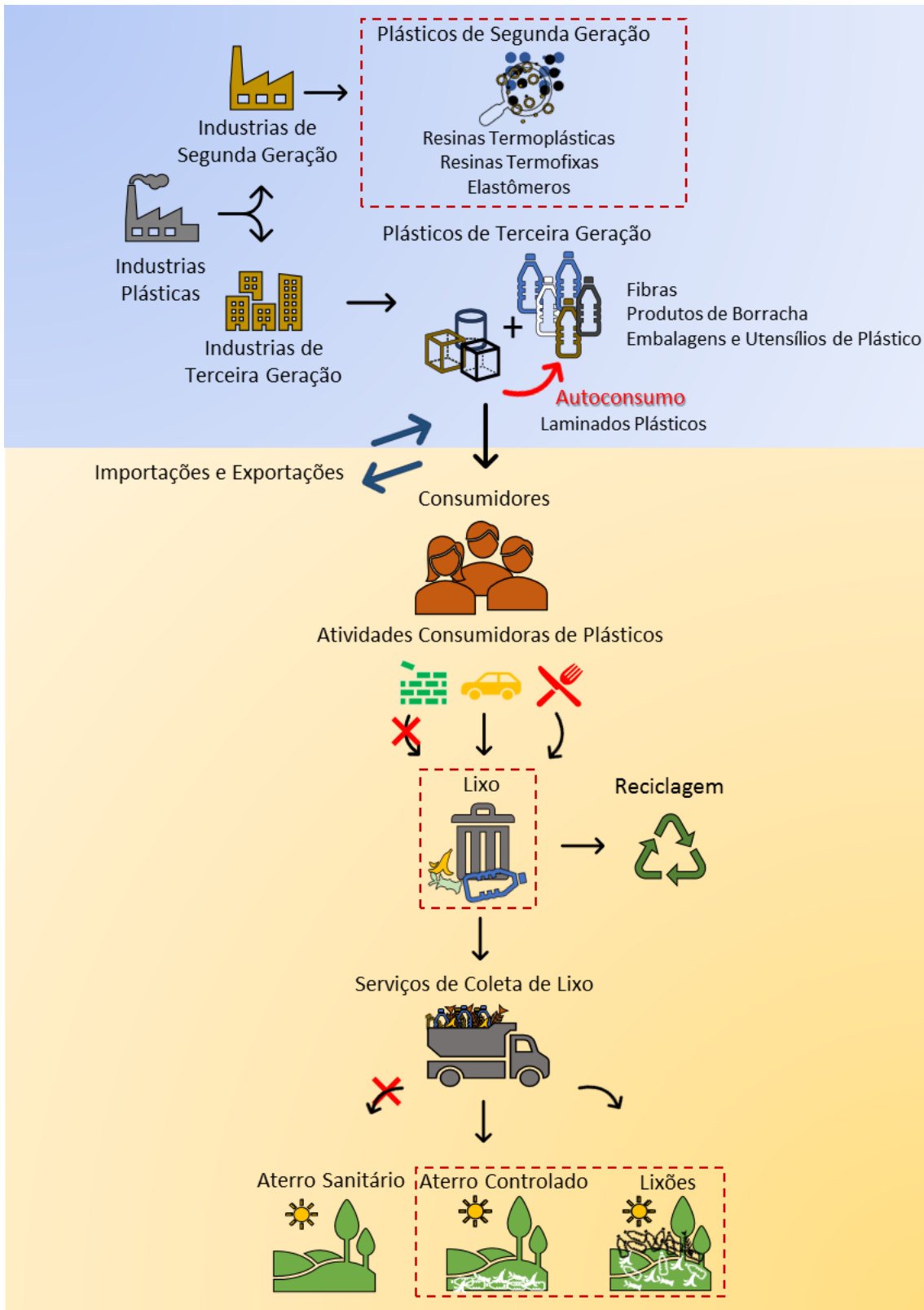


Figura 02. Modelo conceitual das etapas do cálculo do fluxo de resíduos plásticos para a Lagoa dos Patos. O fundo azul representa as etapas realizadas para calcular a produção de plásticos. O fundo amarelo representa como ocorre o consumo de plásticos e a geração de resíduos plásticos. As linhas tracejadas representam os pontos usados para calcular os lançamentos de resíduos de plástico.

Segundo Barnes et al., [2009] a questão principal da poluição por plásticos em qualquer ambiente natural é o destino deste material após o descarte. De forma que a análise de toda a cadeia produtiva desses produtos pode indicar as fontes e a magnitude deste material, auxiliando na identificação e quantificação daqueles que podem potencialmente acabar dentro da laguna [Allen & Rosselot, 1994; Hoellein & Rochman, 2021].

4.1.1 Produção de Plásticos

Os dados de produção de plásticos foram coletados da Pesquisa Industrial Anual – Produto (PIA-Produto) produzido pelo Instituto de Geografia e Estatística (IBGE) para os anos de 2010 até 2017. O PIA-Produto é um questionário de abrangência nacional, que investiga informações de produtos e serviços realizados pela indústria nacional, servindo como referência para o estudo detalhado da produção industrial brasileira [IBGE, 2016]. O questionário usa uma lista pré-estabelecida de produtos das indústrias extrativas e de transformação baseadas na Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE 2.0) [IBGE, 2016]. De acordo com IBGE [2016], “a pesquisa divulga, para cada produto, a quantidade produzida, a quantidade vendida, a receita líquida de vendas, o valor bruto da produção e o número de unidades locais que o informaram”. As categorias da CNAE 2.0 e os materiais plásticos utilizados neste estudo estão detalhados no Anexo 01.

Os produtos plásticos apresentados no PIA-Produto são registrados em diferentes unidades de medidas, de forma que foi necessária a conversão destes para uma mesma unidade de massa (toneladas). Assim, os produtos que já estavam registrados em unidades de massa foram convertidos diretamente para toneladas. No entanto, para os produtos listados em unidades de área (m²) e unidades, a conversão foi baseada na proporção direta entre seu custo de produção (R\$) e a massa, em toneladas, de sua respectiva categoria na CNAE 2.0 de forma a padronizar os dados e obter a massa total de plásticos produzidos no Brasil para cada ano estudado. A Tabela 01 demonstra como as tabelas do PIA-Produto estavam dispostas e ilustra como foi feita essa conversão.

Tabela 01. Conversão de produtos plásticos registrados em diferentes unidades de medida. A massa e o valor total dos produtos registrados em toneladas (última linha) foram relacionadas aos produtos registrados em diferentes unidades de forma proporcional.

Código CNAE 2.0	Classes de Atividades e Descrição dos Produtos	Unidade	Produção		Unidade Modificada	Quantidade Padronizada
			Quantidade	Valor (1 000 R\$)		
2229	Fabricação de artefatos de material plástico não especificados anteriormente	-	-	20 069 604	-	-
2229.2010	Artigos de plástico para escritório	t	52 297	197 931	t	52 297
2229.2020	Artigos de plástico para higiene e toucador, n.e.	t	94 981	643 636	t	94 981
2229.2030	Artigos de plástico para uso doméstico	t	712 312	2 690 310	t	712 321
...
2229.2090	Assentos e tampas de sanitário, de plástico	mil	22 745	202 423	t	46 681
2229.2100	Banheiras, chuveiros, pias e lavatórios de plástico	kg	12 699 611	98 827	t	12 699
2229.2110	Banheiras de plástico para bebês	mil	2 179	34 677	t	7 997
2229.2315	Persianas construídas em plástico	m2	2 227 789	129 807	t	29 935
Total das toneladas da classe: 4 354 160			Valor das toneladas da classe: 18 880 836			

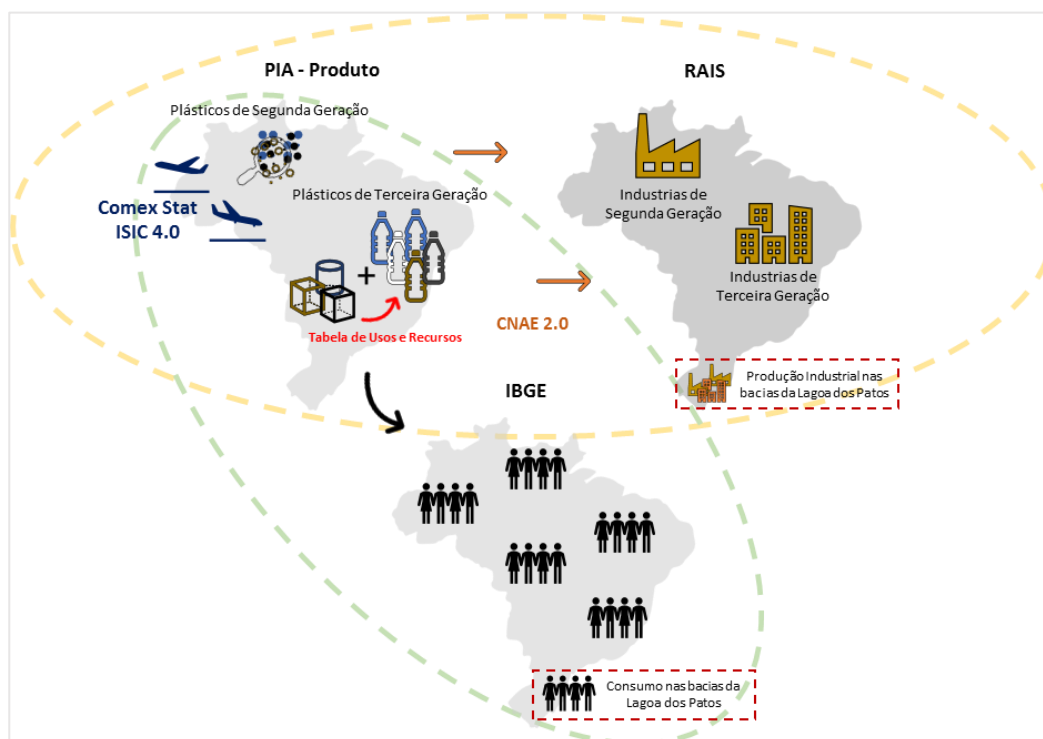


Figura 03. Esquema mostrando como cada base de dados coletada foi usada para identificar a produção e o consumo de material plástico ocorrendo nas bacias da Lagoa dos Patos – Quadrado vermelho tracejado.

Os dados de produção nacional foram associados com o número total nacional de indústrias produtoras de plásticos e depois para identificar a produção que ocorre somente dentro das regiões hidrográficas da Lagoa dos Patos, utilizou-se o número de indústrias que estavam ali localizadas (Figura 03 – Traçado Amarelo).

O tamanho dos estabelecimentos, baseado no total de funcionários em tempo integral, foi considerado para que pudesse refletir, de forma mais realista, a produção de plástico que ocorre na Lagoa dos Patos. De acordo com Van Biesebroeck [2005], empresas maiores (com base no número de empregados) apresentam uma maior produtividade. Assim, para este estudo, considerou-se que a produção estava atrelada ao tamanho dos estabelecimentos, sendo expressa de forma proporcional às classes de tamanho publicadas pela Relação Anual de Informações Sociais (RAIS), disponibilizadas pelo Programa de Disseminação das Estatísticas do Trabalho (PDET), do Ministério do Trabalho (Anexo 02). De forma que os vieses de produção, com base no tamanho das empresas nas regiões hidrográficas da Lagoa dos Patos pudessem ser diminuídos.

A RAIS é um registro administrativo sobre a indústria brasileira de âmbito nacional, com periodicidade anual, e obrigatória para todas as empresas (CNPJ), inclusive aquelas sem pessoal empregado durante o ano de coleta [PDET, 2016]. Os estabelecimentos são organizados de acordo com o tipo de trabalho, porte, localização, e utilizam a CNAE 2.0 para identificar o tipo de produtos e serviços fornecidos [IBGE, 2007]. Os dados da RAIS foram baixados para cada ano (2010-2017) em forma de arquivos de texto (.csv) e com o auxílio do *software* Spyder foram feitas rotinas baseadas em linguagem Python para obter apenas as indústrias classificadas, com base na CNAE 2.0, como produtoras de resinas e produtos plásticos, ativas (aquelas que exerceram sua atividade durante o ano de referência) durante o período estudado. Das diversas variáveis presentes nas tabelas da RAIS, as principais para esse trabalho, além da CNAE 2.0, foram a localização dos estabelecimentos, com base na Unidade de Federação (UF) e Municípios, e o tamanho de cada estabelecimento dividido em dez categorias (baseado no número de empregados com vínculo ativo até o último dia do ano). Então, outra

rotina identificou as indústrias plásticas presentes nos municípios que correspondem às regiões hidrográficas da Lagoa dos Patos.

Os cálculos usados para diferenciar a produção nacional de plástico daquela que ocorre dentro das bacias da Lagoa dos Patos foi baseado em Boucher et al., [2019], com modificações para incluir a influência das classes de tamanho, expressa de forma proporcional na produtividade, conforme mostrado nas Equações 01 a 05.

Equação 01. Cálculo da produção nacional de plásticos por indústria conforme Boucher et al., [2019]. Prod. Nac. Tot. = Produção Nacional Total; Tot. Nac. de Ind. = Total Nacional de Indústrias; Prod. Nac. por Ind. = Produção Nacional por Indústria.

$$\frac{Prod. Nac. Tot. (Pia - Produto)}{Tot. Nac. de Ind. (RAIS)} = Prod. Nac. por Ind.$$

Equação 02. Produção virtual da indústria por classes de tamanho. As classes de tamanho da tabela da RAIS funcionaram como multiplicadoras da produção de forma proporcional. Prod. Nac. por Ind. = Produção Nacional por Indústria; Classe de Tam. = Classe de Tamanho; Num. de Ind. na Classe de Tam. = Número de Indústrias na Classe de Tamanho; Prod. Virtual da Ind. por Classe de Tam. = Produção Virtual da Indústria por Classe de Tamanho.

$$\sum Prod. Nac. por Ind. \times Classe de Tam. (RAIS) \times Num. de Ind. na Classe de Tam. (RAIS) = Prod. Virtual da Ind. por Classes de Tam.$$

Equação 03. Fator de correção da produção industrial nacional pela produção virtual considerando os diferentes tamanhos industriais. Prod. Nac. por Ind. = Produção Nacional por Indústria; Prod. Virtual da Ind. por Classe de Tam. = Produção Virtual da Indústria por Classe de Tamanho; Fator de Cor. da Prod. por Tam. = Fator de Correção da Produção por Tamanho.

$$\frac{Prod. Nac. por Ind.}{Prod. Virtual da Ind. por Classes de Tam.} = Fator de Cor. da Prod. por Tam.$$

Equação 04. Produção nacional variada pelas classes de tamanho. Prod. Nac. por Ind. = Produção Nacional por Indústria; Fator de Cor. da Prod. por Tam. = Fator de Correção da Produção por Tamanho; Prod. Nac. Var. por Classe de Tam. = Produção Nacional Variada por Classe de Tamanho.

$$Prod. Nac. por Ind. \times Fator de Cor. da Prod. por Tam. = Prod. Nac. Var. por Classes de Tam.$$

Equação 05. Produção variada por classes de tamanho das indústrias localizadas nas regiões hidrográficas da Lagoa dos Patos. Prod. Nac. Var. por Classe de Tam. = Produção Nacional Variada por Classe de Tamanho; Tot. de Ind. por Classes de Tam. nas Reg. Hid. da Lagoa dos Patos = Total de Indústrias por Classe de Tamanho nas Regiões Hidrográficas da Lagoa dos Patos; Num. de Ind. na Classe de Tam. = Número de Indústrias na Classe de Tamanho; Prod. Var. por Classes de Tam. nas Reg. Hid. da Lagoa dos Patos = Produção Variada por Classes de Tamanho nas Regiões Hidrográficas da Lagoa dos Patos.

$$\frac{\text{Prod. Nac. Var. por Classes de Tam.} \times \text{Tot. de Ind. por Classes de Tam. nas Reg. Hid. da Lagoa dos Patos (RAIS)}}{\text{Num. de Ind. na Classe de Tam. (RAIS)}} = \text{Prod. Var. por Classes de Tam. nas Reg. Hid. da Lagoa dos Patos}$$

4.1.2 Consumo de Plásticos

Para avaliar o consumo (ou uso) de plásticos das populações vivendo nos municípios das regiões hidrográficas da Lagoa dos Patos utilizou-se a definição de consumo aparente proposta por Carvalho e Ribeiro [2015], onde os autores definiram o consumo aparente pela quantidade total de produto fabricado no território de origem mais os valores de importações subtraído dos valores de exportações. Esta definição é uma forma de estimar a demanda de produtos com base somente nas informações de oferta, já que os dados de oferta são de maneira gerais abrangentes; englobam todos os bens produzidos legalmente que entram e saem do País; contêm informações em nível de categorias; e possuem divulgações com o mínimo de atraso [Carvalho e Ribeiro, 2015; 2017]. De forma que, apesar do consumo aparente não ser uma medida precisa da demanda, já que esta pode ser suprida pela variação dos estoques, ele tende a convergir em intervalos adequados [Carvalho e Ribeiro, 2017].

Os dados de produção de plástico foram coletados através do PIA-Produto, já os dados de importação e exportação foram coletados a partir do Comex Stat, sistema mantido pelo Sistema de Comércio Exterior do Brasil (SISCOMEX). Os produtos plásticos no Comex Stat foram identificados com base na lista de nomenclatura de produtos da indústria correspondente à CNAE 2.0, a *International Standard Industrial Classification Version 4.0* (ISIC 4.0) mantendo assim, a correspondência entre as classes e tipos de produtos (Anexo 03). No entanto, é importante notar que muitos produtos plásticos servem como bens intermediários. Por exemplo, os plásticos de segunda geração (*pellets*) servem como os principais precursores para a fabricação de produtos plásticos finais (utensílios). Porém, o mesmo ocorre na categoria CNAE 2.0 de fabricação dos laminados planos e tubulares de plástico (Anexo 01 e 03), onde as chapas plásticas produzidas nesta atividade servirão também para a fabricação de outros produtos plásticos. De forma que, neste exemplo,

as chapas plásticas não chegam ao consumidor final em sua totalidade, já que também servem como bens intermediários para outros utensílios (Figura 02 - Autoconsumo).

Esse percentual denominado de autoconsumo pode ser identificado pelo Sistema de Contas Nacionais do IBGE, nas tabelas de Usos e Recursos para cada ano estudado e deduzido do consumo nacional. As Tabelas de Usos e Recursos do IBGE apresentam os fluxos de oferta e demanda dos bens e serviços para cada atividade econômica, tendo também como base a CNAE 2.0 [IBGE, 2019]. O Consumo Nacional foi então calculado, deduzindo as exportações das importações e a porcentagem de autoconsumo de acordo com a Equação 06 (Figuras 02 e 03).

Equação 06. Cálculo do consumo nacional segundo Carvalho e Ribeiro [2015] levando em consideração o autoconsumo de plásticos identificado pela tabela de Usos e Recursos do IBGE.

$$\begin{aligned} & \textit{Produção Nacional} + \textit{Importações} - \textit{Exportações} - \% \textit{Autoconsumo} \\ & = \\ & \textit{Consumo Nacional} \end{aligned}$$

As tabelas de Usos e Recursos também foram utilizadas para identificar as principais atividades consumidoras de plástico que ocorrem nas bacias da Laguna. As semelhanças de função entre as sessenta atividades econômicas descritas nas tabelas com consumo de plásticos, foram utilizadas para determinar vinte principais domínios de consumo plástico e possíveis fontes de poluição neste ambiente (Anexo 04). Assim, o consumo foi dividido pela população do Brasil de forma a encontrar o valor *per capita* de consumo plástico nacional. Os dados populacionais foram coletados a partir das estimativas do IBGE de população total para cada ano estudado. Então, de acordo com o método proposto por Boucher et al., [2019], o consumo local total foi extrapolado pelo número de habitantes nos municípios que compõem as bacias da Lagoa dos Patos (Anexo 05) (Figuras 01 e 03).

4.2. Estimando as Perdas

Os plásticos podem entrar no ambiente por diversas vias e, neste estudo, serão considerados os lançamentos ocorridos durante os processos de produção e consumo (Figura 02 – Quadrados tracejados).

4.2.1 Aportes de Produção

Durante a fabricação dos diferentes tipos de utensílios plásticos, as resinas precursoras estão majoritariamente no formato de *pellets* que podem ser perdidos durante o transporte, armazenamento, carregamento e limpeza [Pruter, 1987; Redford et al., 1997; Verschoor et al., 2017]. De forma que, para contabilizar o aporte de *pellets* dentro da bacia da Lagoa dos Patos foi considerado o intervalo provável de perda publicado por Essel et al., [2015] para a Europa, onde as perdas de *pellets* se mantêm de 0,1% a 1,0% da produção total de plásticos de segunda geração. É provável que essa porcentagem seja diferente no território brasileiro, no entanto até o momento não foram encontradas na literatura quantificações sobre esse tipo de perda que pudessem servir de base para esse trabalho, assim, as porcentagens de Essel et al., [2015] servem como valores aproximados para quantificação desse tipo de aporte seguindo a Equação 07.

Equação 07. Cálculo dos aportes de produção com base na produção de resinas plásticas (PIA-Produto) na porcentagem de perda de pellets segundo Essel et al., [2015].

$$\text{Produção de Plásticos de 2ª Geração} \times \% \text{ de Perda} = \text{Aportes de Produção}$$

4.2.2 Aportes de Consumo

Os principais domínios de consumo de material plástico identificado pela tabela de Usos e Recursos do IBGE foram classificados quanto ao tempo em que cada atividade utiliza o plástico até o momento do seu descarte (Anexo 04). Essa duração de ciclo de vida dos produtos dentro de cada domínio consumidor de plástico foi baseada na classificação feita pela ABIPLAST [2018]. Para certas atividades não cobertas pela publicação, uma avaliação dos principais produtos foi realizada para determinar a melhor classificação de ciclo de vida.

Esta abordagem se baseia no princípio de que os plásticos que têm um ciclo de vida curto, como as embalagens, serão descartados mais rapidamente que aqueles considerados de ciclo de vida longo, incorporados à construção civil, por exemplo, e assim, comporão uma porcentagem maior de resíduos plásticos. De forma que, para este estudo, o número de produtos plásticos com maior probabilidade de serem descartados foi estimado com base em plásticos com ciclos de vida curtos e médios. As atividades de ciclo longo não foram consideradas nos cálculos de perdas de plástico, devido a pequena probabilidade de esses materiais serem descartados dentro de um ano de uso (Figura 02). Assim, a massa do total de resíduos plásticos descartados considerou os plásticos produzidos destinados a atividades de ciclo de vida curto e médio.

A reciclagem atua como uma forma de diminuir a quantidade de resíduos plásticos (Figura 02). Assim, foram coletadas informações sobre a reciclagem de plásticos para os municípios das regiões hidrográficas da Lagoa dos Patos a partir do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SINIS). Não havia dados disponíveis para todos os municípios, de forma que foi considerada a reciclagem apenas dos municípios cobertos pelo SINIS durante os anos estudados (Anexo 06).

Os resíduos plásticos remanescentes da reciclagem foram então relacionados com os dados de coleta e destinação final de resíduos sólidos para o estado do Rio Grande do Sul, publicados pela Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE). De forma que o aporte de consumo foi estimado pela massa de resíduo plástico não coletado, calculado a partir do *déficit* (%) de cobertura de coleta dos resíduos sólidos no estado; e a massa de resíduo plástico que foi encaminhada para aterros controlados e lixões, com base nas porcentagens de destinação final dos resíduos sólidos no estado publicado pela ABRELPE (Figura 02).

Assim, a quantificação dos resíduos plásticos mal gerenciados nas regiões hidrográficas da Lagoa dos Patos se deu pela combinação entre os aportes de produção e consumo descritos na Equação 08.

Equação 08. Cálculo da quantificação dos resíduos plásticos mal gerenciados das regiões hidrográficas da Lagoa dos Patos.

$$\begin{aligned}
 & (\text{Resíduo plástico gerado} - \text{Reciclagem}) \\
 & \quad \times \\
 & (\% \text{ Não Coletada} + \% \text{ Direcionada a Aterros Controlados e Lixões}) \\
 & \quad + \\
 & \quad \text{Aportes de Produção} \\
 & \quad = \\
 & \text{Resíduos Plásticos Mal Gerenciados}
 \end{aligned}$$

4.3. Estimando os Lançamentos

Infelizmente, dados sobre os sistemas de gestão de águas residuais, águas pluviais e esgotos para a área das bacias da Lagoa dos Patos são muito escassos, limitando assim estimativas de lançamento dos resíduos plásticos mal gerenciados nos cursos d'água. De forma que, para estimar essa quantidade o estudo baseou-se na taxa de lançamento de resíduos plásticos mal gerenciados para o oceano proposta por Meijer et al., (2021) de 1,2 a 4,0%.

Assim, os cálculos estimando a quantidade mínima (máxima) de plástico que entra na Lagoa dos Patos foram definidos pela quantidade de resíduos plástico mal gerenciado, proveniente das atividades de ciclo de vida curta (ciclo de vida curto + ciclo de vida médio), mais a quantidade mínima (máxima) da perda de *pellets*, considerada na fase de produção, multiplicado pela menor (maior) taxa de lançamento, conforme mostrado nas Equações 09 e 10. Desta forma, foi possível obter uma faixa de contaminação plástica potencial que atingiu as águas da Lagoa dos Patos entre os anos de 2010 e 2017. O restante dos resíduos plásticos mal gerenciado foi considerado aportado em outros compartimentos ambientais, como o solo e a atmosfera [Boucher et al., 2019].

Equação 09. Cálculo de lançamento mínimo de resíduos plásticos na Lagoa dos Patos.

$$\begin{aligned}
 & \text{Resíduos Plásticos mal gerenciados} \\
 & (\text{Plásticos de ciclo de vida curto} + \text{Aporte de produção de 0,1\%}) \\
 & \quad \times \\
 & \text{Estimativa de lançamento de 1,2\%}
 \end{aligned}$$

=

*Lançamento **mínimo** de resíduos plásticos na Lagoa dos Patos*

Equação 10. Cálculo de lançamento máximo de resíduos plásticos na Lagoa dos Patos.

Resíduos Plásticos mal gerenciados

(Soma de plásticos de ciclo curto e médio + Aporte de produção de 1%)

×

Estimativa de lançamento de 4,0%

=

*Lançamento **máximo** de resíduos plásticos na Lagoa dos Patos*

V: Artigo Científico

Para a obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Oceanologia, é requerido que o discente realize a submissão de pelo menos um artigo científico como primeiro autor em periódico indexado e revisado por pares. Desse modo, os resultados da pesquisa desenvolvida durante o período de mestrado e a discussão destes resultados serão apresentados na forma de artigo científico neste capítulo. O manuscrito, de autoria de Ítele Eduardo dos Santos, Elisa Helena Fernandes, Grasiela Lopes Leães Pinho e Patrícia Raggi Abdallah; é intitulado “***Characteristics and fluxes of plastic debris to a choked coastal lagoon: a top-down approach based on socio-economic data from south Brazil***” e foi submetido para publicação no periódico “***Environmental Science and Pollution Research***”

Characteristics and fluxes of plastic debris to a choked coastal lagoon: a top-down approach based on socio-economic data from south Brazil

Ítele E. dos Santos^{a,b}, Elisa H. L. Fernandes^a, Grasiela L. L. Pinho^b, Patrícia R. Abdallah^c

^a Laboratório de Oceanografia Costeira e Estuarina - Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande, Av. Itália Km 8, 96.201-900 Rio Grande, RS, Brazil.

^b Laboratório de Microcontaminantes Orgânicos e Ecotoxicologia Aquática - Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande, Av. Itália Km 8, 96.201-900 Rio Grande, RS, Brazil.

^c Unidade de Pesquisa em Economia Costeira e Marinha, Universidade Federal do Rio Grande, Av. Itália Km 8, 96.201-900 Rio Grande, RS, Brazil.

Keywords: Freshwater Contamination; Mismanaged Plastic Waste; Plastic Budget; Freshwater Systems; Plastic Quantification; Coastal Lagoon.

ABSTRACT

To estimate the amount of plastic debris in coastal environments, two approaches stand out, one based on field measurements and the other based on socio-economic data. For Patos Lagoon, the world's largest choked coastal lagoon, estimates of mismanaged plastic waste leakage for the years 2010 to 2017 were based on the top-down method proposed by Boucher et al., (2019). The production of plastics in the hydrographic regions of Patos Lagoon was estimated to be on average 4.54 Mton. The main resins produced were High- and Low-Density Polyethylene (HDPE and LDPE), Polypropylene (PP) and Polyvinyl Chloride (PVC). The most produced plastic utensils were preforms for plastic bottles, plastic bags and plastic packaging. On average, 1.86 Mton of plastics were consumed by the population in the hydrographic regions of Patos Lagoon and plastic packaging's represented the main consumed item (40%) for the studied period. Food activities were the main plastic-consuming activity (17.98%). The amount of plastic waste that is leaked to Patos Lagoon was estimated between 1.73 Kton and 10.72 Kton during this period, with this value being in the same order of magnitude of other areas in the world.

1. INTRODUCTION

Different methodologies for estimating the amounts of plastic input to marine systems have been developed, however, two main approaches stand out, where the first works on extrapolating field measurements (see Cózar et al., 2017; Owens and Kamil, 2020) and the second is based on modeling the inputs from estimations such as population density, waste management, economic status, and hydrology (see Jambeck et al., 2015; Lebreton et al., 2017; Schmidt et al., 2017; Meijer et al., 2021) called by Boucher et al., (2019) as bottom-up and top-down approaches, respectively.

These methodologies can present distinctive advantages and limitations. For example, assessments using the bottom-up approach can give a picture of the plastic debris in the environment (Owens and Kamil, 2020); how it changes over time (Lechner et al., 2014), and the plastic distribution between the different environmental compartments together with interactions between fauna and flora (Lechner et al., 2014; McCormick et al., 2016; Reynolds and Ryan 2018). Nevertheless, requires extensive field collections and analysis efforts big enough to give good coverage in the studied area (Owens and Kamil, 2020) while being restrictive of plastic sizes and environmental compartments analyzed (Boucher et al., 2019). Meanwhile, the top-down approach, because it uses socio-economic data, can be applied to virtually any area (Jambeck et al., 2015; Boucher et al., 2019; Tramoy et al., 2019; Ghayebzadeh et al., 2020a; Ghayebzadeh et al., 2020b); it accounts for plastic debris of all sizes (macro-, meso-, and micro-plastics) (Boucher et al., 2019), and it is able to determine the largest sources of mismanaged plastic waste in the area (Boucher et al., 2019; Jambeck et al., 2015). However, this methodology can be extremely limited by the availability of data and suffers from assumptions and uncertainties (e.g., 2% of leakage in Jambeck's et al., 2015 approach) (Tramoy et al., 2019).

Both methodologies, although being independent, are also complementary to each other and can be combined to calibrate and/or validate top-down results and/or to extrapolate laboratory findings for the whole studied region in bottom-up studies (Boucher et al., 2019; Tramoy et al., 2019). However, it is not always that these methodologies can be applied simultaneously, leading to difficulties

in developing standard methods to quantify plastic inputs entering aquatic systems (Tramoy et al., 2019).

The top-down methodology is particularly hindered by the lack of a bottom-up following since many of the choices regarding the amount of mismanaged plastic waste (MPW) can be research specific. Jambeck et al., (2015) for example, calculated the MPW based on the per capita municipal solid waste generation, a mismanaged waste fraction, and a plastic fraction in that municipal solid waste. While for Boucher et al., (2019) the MPW was considered based on the life cycle of the plastic products, considering a percentage of loss in the production phase, differences between by the domains of use/consumption (e.g., packaging, construction, textiles) and percentages of waste separated, recycled and incinerated in the plastic's end-of-life. Besides these differences and the uncertainties, the top-down methodology, according to Tramoy et al., (2019), is of high interest since it can give an overall order of magnitude for the plastic contamination in the studied area.

Research on plastic debris entering freshwater bodies is relatively new and focused mainly on rivers (Lebreton et al., 2017; Schmidt et al., 2017; Tramoy et al., 2019; Meijer et al., 2021) and lakes (Hoffman and Hittinger, 2017; Boucher, 2019). A common characteristic among these studies is the lack/low field data preventing direct estimations. Thus, most of them used top-down approaches as their methodological strategy (Blettler et al., 2018). Some studies treated these ecosystems as simple channels for transporting the plastics found in the oceans (Windsor et al., 2019). This became more evident with Meijer et al., (2021) where the number of rivers responsible for 80% of global emissions of plastics to the oceans were one to two orders of magnitude higher than previously reported by considering factors such as geographic distribution of plastic waste, land use, wind, and precipitation.

Therefore, the global evaluations of plastics flowing to the oceans might also be overlooking the role those coastal lagoons and coastal lakes have to the overall plastic emission to the ocean. According to Hoellein and Rochman (2021), retention, transformation, removal, and permanent storage of plastic debris in such inland systems are extremely important for understanding global plastic budgets (Galloway, Cole, & Lewis, 2017; Windsor et al., 2019). These coastal

formations are located between and connected with the continent and marine environment, acting as a type of secondary coastline behind the main ocean coastline (Mohan, 2005). Thus, according to Liu and Fang (2020), they could be acting as a type of buffer zone in reprocessing and redistributing plastic particles across these systems. This, at first glance, can be beneficial since by accumulating this pollutant there is a decrease in plastic debris flowing to the oceans, however, in fact this might be more troublesome because if these semi-enclosed waterbodies were to be accumulating plastics, they would be much further impacted by it, risking, in a more dangerous way, local fauna and flora and the uses associated with these waterbodies.

Thus, the goal of this study is to estimate the flux of plastic debris in the Patos Lagoon – the world’s largest choked coastal lagoon (Kjerfve, 1986) – by using a top-down methodology. This will be also the first effort to identify the types of plastic and estimate the amount of MPW for the whole area, serving as an initial picture of the plastics contamination in the lagoon’s basin and a contribution towards the understanding of coastal lagoons role to the plastic debris flowing to the oceans.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1 Study Area

Patos Lagoon, located in the southernmost part of Brazil, is the largest choked coastal lagoon in the world (Kjerfve, 1986). With an area of 10 360 km², approximately 7 million habitants live on its margins, bathing 14 municipalities including large, urbanized cities such as Porto Alegre (more than 1.4 million inhabitants), Pelotas (~320,000 inhabitants), and Rio Grande (with ~200,000 inhabitants) (IBGE, 2011) (Figure 01). Coastal lagoons, following the definition of Kjerfve (1986), are a shallow coastal waterbody separated from the ocean by a barrier, connected at least intermittently to the ocean by one or more restricted inlets.

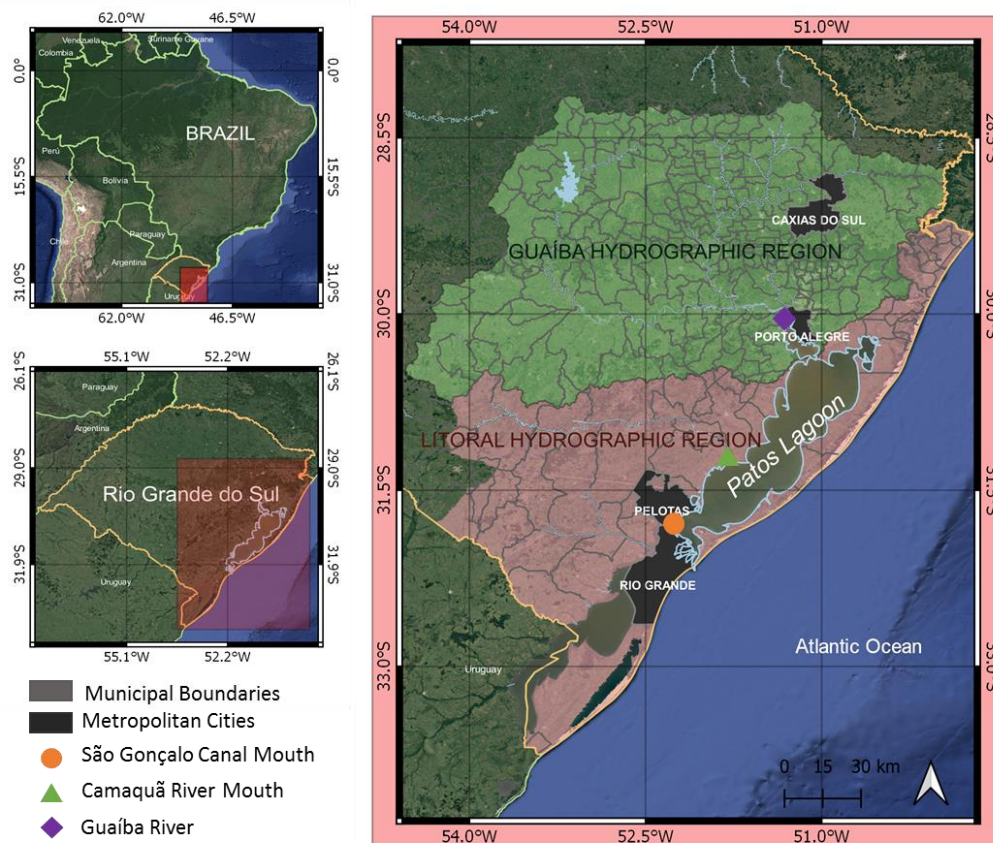


Figure 01. Location of Patos Lagoon and its hydrographic regions south of Brazil.

There are different classifications of coastal lagoons based on the type of connection that it has to the ocean and due to its very narrow connection to the sea (22 km length and 700 m wide), Patos Lagoon falls into the choked lagoon classification (Kjerfve, 1986; Castelão and Möller Jr., 2003; António et al., 2020). This narrow connection to the ocean gives to this environment unique characteristics that are not found on any other type of coastal environment such as normally possessing tidal oscillations reduced to 5% or less in comparison to the adjacent coastal tide; slow flushing rate of water and sediment; high wind induced wave action; dominant wind forcing; and irregular stratification of different environmental parameters due to high solar radiation and surface runoff from large catchment areas (Fernandes, 2001; Fernandes, et al., 2004; Fernandes et al., 2005; Mahapatro et al., 2013; Moller et al., 2001; Távora et al., 2019).

The Lagoon's drainage basin has over 135,000 km² and can be divided into two regions: the Guaíba Hydrographic Region and the Litoral Hydrographic Region (SEMA, 2017) (Figure 01). The Guaíba Hydrographic Region is in the northwest portion of Rio Grande do Sul State and comprises nine watersheds, with a drainage area of 84,763.54 km², corresponding to 30% of the State's territory (FEPAM, 2003a). The population living in this region is approximately 6 million inhabitants, which corresponds to 61% of the State's population (FEPAM, 2003a). This region is known to be the most urbanized area of Patos Lagoon, with cities between Porto Alegre and Caxias do Sul (~517,451 inhabitants) constituting the most urbanized axis of the Basin, and with the most significant populational contingent and industrial concentration (FEPAM, 2003a) (Figure 01). The Litoral Hydrographic Region comprises six watersheds occupying 53,356.41 km² which corresponds to 20% of the State's area and a population of approximately 1,2 million inhabitants (FEPAM, 2003b). The cities in this area are focused on agriculture, fishing, tourism, and port activities (FEPAM, 2003b). Figure 01 shows the boundaries of the hydrographic regions and the cities used in this study to calculate plastic emission estimates.

2.2 From socio-economic data to plastic fluxes

Three main steps were taken, based on Boucher et al., (2019), to calculate the amount of plastic debris generated in the Patos Lagoon basin: 1. Quantify the magnitude of plastic sources within the lagoon basin (i.e., magnitude of the different sources in the plastic production and consumption processes); 2. Estimate the losses (from plastic production and consumption processes); 3. Estimate the releases (into waterways). Figure 02 represents the main steps taken to calculate the plastic debris mass into Patos Lagoon.

2.2.1. Quantify the magnitude of plastic sources within the lagoon basin

The major environmental issue with plastics is their ultimate fate after disposal (Barnes et al., 2009). Thus, to estimate the mass of plastics that can potentially end up inside Patos Lagoon as plastic debris, assessing the whole production chain involved in making these products is needed (Allen and Rosselot, 1994; Hoellein and Rochman, 2021). Therefore, in this first step, an evaluation of the

production and consumption of plastic materials was done to estimate the whole amount of plastics present in the Patos Lagoon basin.

2.2.1.1 Production

Plastic production data was collected from the Annual Industrial Survey - Product (PIA-Product) from 2010 to 2017. The survey is performed by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE - <https://www.ibge.gov.br/>). The PIA-Product uses a pre-established nomenclature list of products based on the National Classification of Economic Activities (CNAE 2.0) (IBGE, 2016). According to IBGE (2016), "the survey discloses, for each product, the quantity produced, the quantity sold, the net sales revenue, the gross value of production and the number of local units that informed it". The plastics section on CNAE 2.0 included thermoplastics and thermosetting resins, elastomers, fibers, and their associated manufactured products, and it was used to account for the plastics produced and consumed in the Patos Lagoon basin. The categories used in this study are listed and described in attachment A.

As plastics are composed by varied materials, the processes of transforming raw materials into final products were analyzed and separated in two significant steps: The first, associated with the production of virgin plastic resins, called 2nd generation step is defined by the manufacturing of thermoplastic and thermosetting resins and the manufacture of elastomers. The second is the 3rd generation step, thus converting virgin plastic resins into actual usable plastic utensils (ABDI, 2009) (Figure 02 – Blue background). This difference is significant because, from an environmental standpoint, these steps are associated with various sources of plastic pollution that reach the marine environment (Derraik, 2002).

The plastic products in PIA-Product are recorded in different measurement units (Table 1), so a conversion to the same unit (tonnes) was necessary. Thus, products that were already registered in units of mass were directly converted to tons. However, for products listed in units of area (m²) and packages, the conversion was based in a direct proportion between their production cost (R\$) and the mass, in tons, of their respective category in the CNAE 2.0 to standardize the data and obtain the total mass of plastics produced in Brazil for

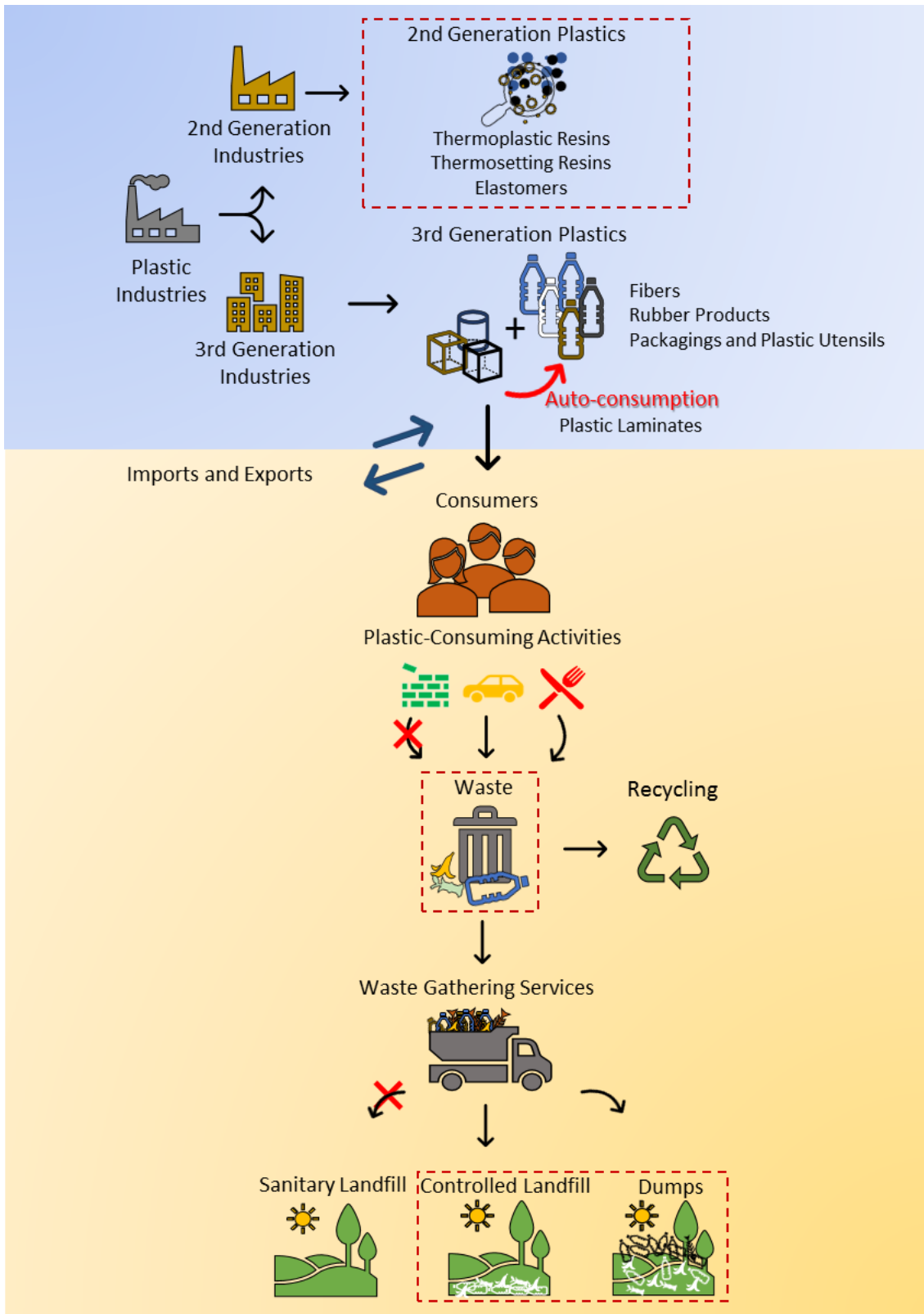


Figure 02. Conceptual model of the steps taken to calculate the plastic debris flow to Patos Lagoon. Blue background represents the steps taken to calculate the production of plastics. Yellow background represents how the consumption of plastics occurs and the generation of plastic waste. The squared dotted-line represents the points in the plastic-cycle used to calculate the losses of plastic waste. Auto-consumption was accounted as plastic products used to make other plastic products. Plastic-consuming activities considered of long life cycle together with the destination of plastic waste to sanitary landfills were not considered in the calculations for the mass of plastic debris entering Patos Lagoon.

each studied year. Table 01 demonstrates how the PIA-Product data were arranged and illustrates how this conversion was carried out.

Table 01. Conversion of plastic products recorded in different measurement units. The mass and total value of products registered in tons (last line) were proportionally related to the products registered in different units.

CNAE 2.0 Code	Activity Classes and Product Description	Unit	Production		Modified Unit	Standardized Quantity
			Quantity	Value (1 000 R\$)		
2229	Manufacture of plastic material artifacts not previously specified	-	-	20 069 604	-	-
2229.2010	Plastic office items	t	52 297	197 931	t	52 297
2229.2020	Plastic articles for hygiene and toilet, n.e.	t	94 981	643 636	t	94 981
2229.2030	Plastic articles for home use	t	712 312	2 690 310	t	712 321
...
2229.2090	Plastic toilet seats and lids	Pack.	22 745	202 423	t	46 681
2229.2100	Plastic bathtubs, showers, sinks and sinks	kg	12 699 611	98 827	t	12 699
2229.2110	Plastic Baby Bathtubs	Pack.	2 179	34 677	t	7 997
2229.2315	Plastic built blinds	m ²	2 227 789	129 807	t	29 935
Class total tons: 4 354 160			Ton's value of the class: 18 880 836			

Brazil's plastic industry data were collected from the Annual Social Information List (RAIS) available at the Labor Statistics Dissemination Program (PDET) (<http://pdet.mte.gov.br/>), from the Brazilian Ministry of Labor. RAIS is an administrative record of national scope, with annual periodicity, and mandatory to all work establishments, including those without employees, during the recorded year (PDET, 2016). The establishments are organized based on their work type, size, and location while using the CNAE 2.0 nomenclature list (IBGE, 2007), making the plastic industries respective to production. Initial filtering was done to get only operational establishments during the studied period (2010 – 2017), and afterwards, another filter identified the establishments located inside the Patos Lagoon basin.

The establishment's size categories, based on the number of working employees, provided by RAIS were considered to reflect the plastic production that occurs in Patos Lagoon (Attachment B). According to Van Biesebroeck (2005), larger firms have higher attained productivity in underdevelopment countries. Therefore, in this study, it was considered that the production was linked to the establishment's sizes expressed in proportion to the RAIS's size classes. Thus, production biases could be reduced.

The calculation to delimit national plastic production from that occurring inside the Patos Lagoon basin was based on Boucher et al., (2019), with modifications to include the influence of the establishment's RAIS sizes categories on productivity as shown in the Equations 01 through 05.

Equation 01. National plastics production by industry according to Boucher et al., [2019].

$$\frac{\text{National Production Total (Pia - Produto)}}{\text{National Industries Total (RAIS)}} = \text{National Production by Industries}$$

Equation 02. Industry virtual production by size classes. The size classes in the RAIS table functioned as production multipliers in a proportional way.

$$\sum \text{National Production by Industries} \times \text{Size Classes (RAIS)} \times \text{No. of Industries in the Class (RAIS)} = \text{Industry Virtual Production by Size Class}$$

Equation 03. Correction factor of national industrial production by virtual production considering different industry sizes.

$$\frac{\text{National Production by Industries}}{\text{Industry Virtual Production by Size Class}} = \text{Correction Factor for Size Production}$$

Equation 04. National production varied by size classes.

$$\begin{aligned} &\text{National Production by Industries} \times \text{Correction Factor for Size Production} \\ &= \\ &\text{National Production Varied by Size Classes} \end{aligned}$$

Equation 05. Varied Production by size classes from industries located in the hydrographic regions of Patos Lagoon.

$$\frac{\text{National Production Varied by Size Classes} \times \text{Tot. Ind. by Size Classes in the Hyd. Reg. of Patos Lagoon (RAIS)}}{\text{Number of Industries in the Size Class (RAIS)}} = \text{Production Varied by Size Classes in the Hyd. Reg. of Patos Lagoon}$$

2.2.1.2 Consumption

The next step was to evaluate plastics' consumption (or use) from the people living in the cities of Patos Lagoon basin (Figure 2 – Yellow Background). For that, the definition of apparent consumption made by Carvalho and Ribeiro (2015), stating that apparent consumption is the total amount produced in the Country's territory plus values of imports minus values of exports, was used (Equation 06).

Plastic production data were collected through PIA-Produto; Imports and Exports data were collected from Comex Stat (<http://comexstat.mdic.gov.br/>), a system maintained by Brazil's Foreign Trade Systems (SISCOMEX). The plastic products on Comex Stat were identified based on the nomenclature list of industry products corresponding to CNAE 2.0, the International Standard Industrial Classification Version 4.0 (ISIC 4.0) maintaining the correspondence among the product type classes.

Equation 06. Calculation of national consumption according to Carvalho and Ribeiro (2015) accounting for the plastics 'auto-consumption' from IBGE's tables of Uses and Resources.

$$\begin{aligned}
 & \textit{National Production} + \textit{Imports} - \textit{Exports} - \% \textit{'AutoConsumption'} \\
 & = \\
 & \textit{Plastics National Consumption}
 \end{aligned}$$

It is important to notice, however, that many plastic products serve as intermediate goods. For example, 2nd generation plastics (pellets) serve as the main precursors for manufacturing final plastic products (utensils). However, the same occurs with 3rd generation plastic, mainly in the categories of *manufacture of flat and tubular laminates of plastic* (Attachment A), where the plastic sheets produced by this activity will also be used to make other plastic products. Thus, in this example, the plastic sheets are not reaching the final consumer in its totality as it also serves as intermediate goods for other products (Figure 02 – Auto-consumption). The percentage of how much of the plastic industries 'auto' consume 3rd generation plastic materials was identified by IBGE's National Accounts System, on tables of Uses and Resources for each respective year (Attachment C). IBGE's tables of Uses and Resources show the supply and demand flow of goods and services for each economic activity, also based on the CNAE 2.0 (IBGE, 2019). That way, it was possible to account for this correlation and deduce it from final consuming calculations (Equation 06). These tables were also used to identify the main plastic-consuming activities occurring in the Lagoon basin. The similarities between sixty economic activities were used to determine twenty main plastic-consuming domains. Attachment C shows the consumer sectors of plastic products grouped into the main domains used in this study.

Then, National Consumption was divided by the Country's population to find the amount per person. Population data was collected from IBGE's estimates of the total population for each respective year. According to the method proposed by Boucher et al., (2019), the consumption of plastics that occurred inside the Patos Lagoon basin was then extrapolated by the number of people living in the cities that compose the basin and then separated into the main domains of consumption.

2.2.2. Estimating the Inputs

From the amount of plastic produced and consumed by the population living in the cities of Patos Lagoon Basin, a percentage inherent to these activities is lost to the environment (Boucher et al., 2019). Plastic can enter the environment through diverse pathways, and in this study, losses occurring during production and consumption processes are considered (Figure 02 - Squared dotted-line).

2.2.2.1 Inputs of Production

Resin pellets are the main feedstock that plastic products are made (Redford et al., 1997). In this study, they are specified as the 2nd generation plastic products. Losses in this phase are significantly related to the production process and transportation, where spillages can occur during handling, loading, and unloading the cargo (Pruter, 1987; Redford et al., 1997; Verschoor et al., 2017). Thus, to estimate pellet loss inside the Patos Lagoon basin, a probable range published by Essel et al., (2015) was used, where 0.1 to 1.0 percent of the total production of 2nd generation plastics is considered to be lost. It is likely that this percentage is different in the Brazilian territory. However, so far, no quantifications of this type have been made in the country. Thus, the percentages proposed by Essel et al., (2015) serve as approximate values for quantifying this type of contribution following equation 07.

Equation 07. Calculation of production inputs based on the production amounts of plastic resins (PIA-Produto) and the percentage of pellet loss according to Essel et al., [2015].

$$2nd\ Generation\ Plastic\ Products \times \% \ of\ Loss = Inputs\ of\ Production$$

2.2.2.2 Inputs from Consumption

Estimates were based on the usage duration of the plastic materials identified in the main plastic-consuming domains. The life cycle duration of the products inside each plastic-consuming domain was classified based on ABIPLAST (2018). For those that were not covered by the publication, an evaluation of the main products was done to determine the best life cycle fit for the domain (Attachment C).

This 'life cycle approach' was carried out to identify the plastics that are most probable to be disposed of (i.e., plastic waste) and was based on two types of plastic life cycle duration: short- and average life cycles. Long life cycle activities were not considered in the calculations for plastic loss because there is a small likelihood of these materials being discarded within a year of use (Figure 02 – Plastic consuming activities).

Recycling in the Lagoon's municipalities was considered from the National Sanitation Information System (SINIS - <http://www.snis.gov.br/>). There was no data available for all the Lagoon's cities, thus plastic recycling was accounted only for the cities covered by SINIS during the studied years.

The remaining plastic waste was compared with data about general waste collection and final destination for Patos Lagoon's State published by the Brazilian Association of Public Cleaning and Special Waste Companies (ABRELPE - <https://abrelpe.org.br/>). The mass of plastics that were 'available' to end up in the environment was composed by the amount of plastic waste not collected, calculated from the deficit (%) of waste collection in the State; the number of plastics that were collected, but sent to treating facilities considered not adequate (controlled landfill and dumps). Therefore, the quantification of mismanaged plastic waste in the hydrographic regions of Patos Lagoon was based by the combination of production and consumption inputs described in Equation 08.

Equation 08. Calculation for quantification of mismanaged plastic waste in the hydrographic regions of Patos Lagoon.

(Generated Plastic Waste from Short/Average LifeCycle Activities – Recycling)

×

(% Not Collected + % Going to Controlled Landfills and Dumps)

+

$$\begin{aligned}
 & \textit{Production Inputs} \\
 & = \\
 & \textit{Mismanaged Plastic Waste}
 \end{aligned}$$

2.2.3 Estimating the releases

The amount of mismanaged plastic waste that effectively ends up in Patos Lagoon's waters was based on the probable percentages of 1.2 to 4.0% of plastic waste leakage into the ocean calculated by Meijer et al., (2021). Thus, the calculations estimating the minimum (maximum) amount of plastic entering the Lagoon was the amount of mismanaged plastic waste coming from short life-cycle (short + average life-cycle) activities plus the minimum (maximum) amount of pellet loss considered in the manufacturing phase, multiplied by the lower (higher) percentage of mismanaged waste entering the oceans according to Meijer et al., (2021), as shown in Equations 09 and 10. Therefore, finding a working range of plastic debris pollution reaching Patos Lagoon's waters. The remaining mismanaged plastic waste is considered present in other environmental compartments, such as the soil and the atmosphere (Boucher et al., 2019).

Equation 09. Calculation of minimum release of plastic waste in Patos Lagoon.

$$\begin{aligned}
 & \textit{Mismanaged Plastic Waste} \\
 & \text{(Considering only Short lifecycle plastics + 0,1% Production Input)} \\
 & \times \\
 & \textit{Release Rate 1.2\%} \\
 & = \\
 & \textit{Minimum release of plastic waste in Lagoa dos Patos}
 \end{aligned}$$

Equation 10. Calculation of maximum release of plastic waste in Patos Lagoon.

$$\begin{aligned}
 & \textit{Mismanaged Plastic Waste} \\
 & \text{(Considering the sum of Short and Medium lifecycle plastics + 1% Production Input)} \\
 & \times \\
 & \textit{Release Rate 4.0\%}
 \end{aligned}$$

=

Maximun release of plastic waste in Lagoa dos Patos

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Characteristics of plastic production and the associated inputs in Patos Lagoon Hydrographic Regions

The production of plastics in the Patos Lagoon hydrographic regions during the studied years was on average 4.54 Mton. 2nd generation plastics represented 17% and the main resins produced were High- and Low-Density Polyethylene (LDPE and HDPE), Polypropylene (PP), and Polyvinyl Chloride (PVC) (Figure 03). The 3rd generation plastics represented the other 83%, with ‘plastic products not otherwise specified’ and ‘Plastic Packaging’ the main CNAE 2.0 categories produced. The most produced utensils form these categories were Preforms of Plastic Bottles, Plastic Bags, and Plastic Packaging’s (Figure 04).

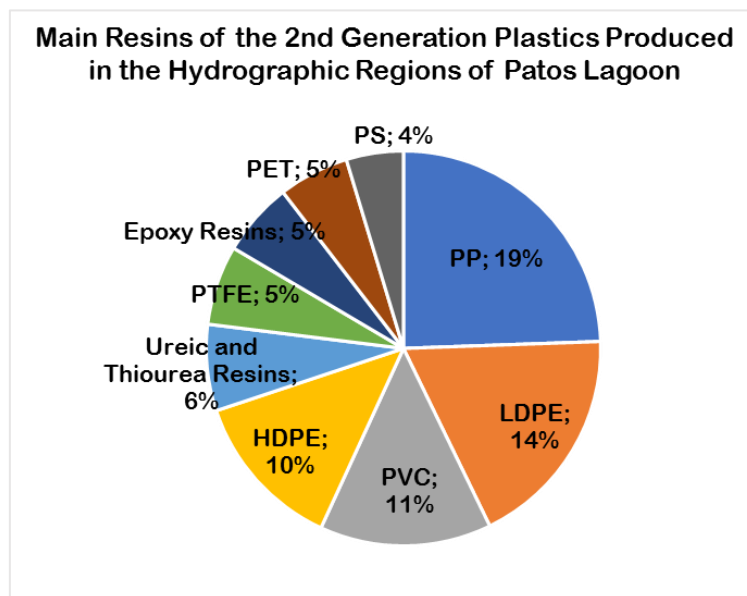


Figure 03. Main resins composing 2nd generation plastics produced in the Hydrographic Regions of Patos Lagoon. PP = Polypropylene; LDPE = Low-density polyethylene; PVC = Polyvinyl chloride; HDPE = High-density polyethylene; PTFE = Polytetrafluoroethylene; PET = Polyethylene terephthalate; PS = Polystyrene.

Characteristics of plastics production can give insights about the main resins and utensils that can be found contaminating the environment, thus revealing

the most probable sources of plastic to the environment. The industrial composition of the main resins produced in the Hydrographic Regions of Patos Lagoon were in accordance with the main resins found for Patos Lagoon reported by e Silva and de Souza (2021) in Laranjal Beach, and Vogelmann et al., (2019) in São Lourenço do Sul city, where they found polymers of Polyethylene (LDPE and HDPE), PP, PFTE. After identifying the plastic fragments composition, the authors presumed the sources to be of packages, single-use bags and thread sealing tapes. These were also the main utensils found to be produced in the Hydrographic Regions of Patos Lagoon.

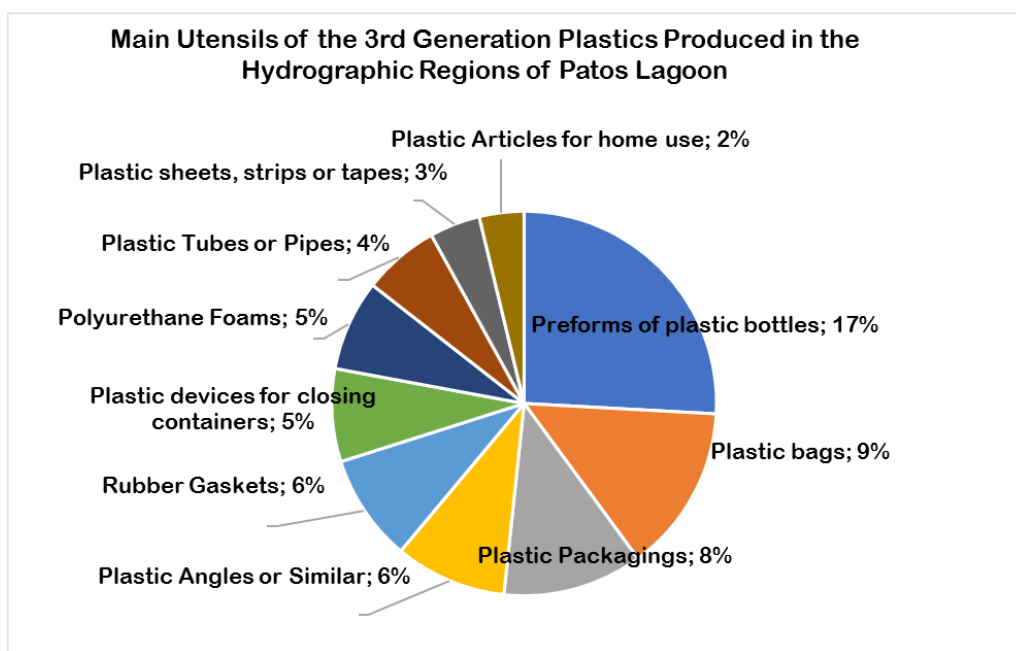


Figure 04. Main plastic utensils produced from 3rd generation plastics in the Hydrographic Regions of Patos Lagoon.

The production of resins and its use for making other plastics utensils are done in the form of pellets. These can be lost to the environment during manufacturing processes and transportation (Pruter, 1987; Redford et al., 1997; Verschoor et al., 2017). Global production of resins and fibers reported by Geyer et al., (2017) for 2015 was 380 Mton. Patel et al., (1998) reported that for Germany in 1994, the production of primary plastics was 10.77 Mton. These values compared to the production of 2nd generation plastics found for Patos Lagoon Hydrographic Regions corresponded respectively to 0.19% and 8%. The production of 'Thermoplastics Resins' in the studied region corresponded to

10% of what was reported by Mikulasch (2016) for Brazil in the same period. These comparisons demonstrate the relevance that the Hydrographic Regions of Patos Lagoon have on the global/local production of plastics and as such, draw attention to the use of pellets inside this area.

No reports on the amount of pellet loss from plastic industries in the area were ever published. However, it is known that this is a problem that occurs on most plastic manufacturing companies (PLASTIVIDA, 2020). Thus, using the percentage of pellet loss published by Essel et al., (2015) (Eq. 07), the number of pellets estimated to be lost to the environment in the Hydrographic Regions of Patos Lagoon ranged between 0.78 Kton and 7.75 Kton (Figure 05).

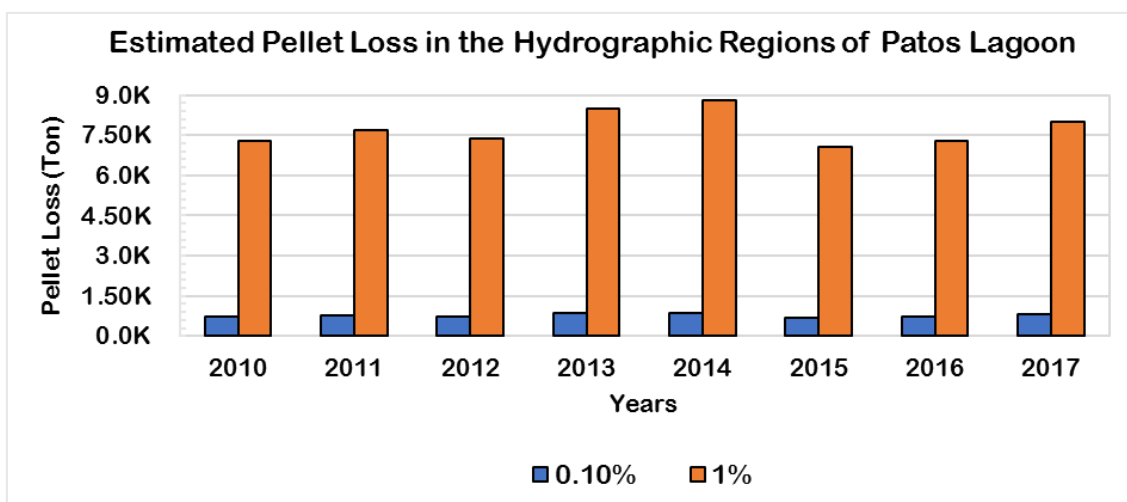


Figure 05. Estimated pellet loss in the Hydrographic Regions of Patos Lagoon using the percentages published by Essel et al., (2015) and the production amounts of plastic resins (PIA-Produto).

Pellet collections in the Hydrographic Regions of Patos Lagoon are scarce. A scientific review of the microplastics found in South Atlantic waters compiled by Rocha et al., (2021) showed that there are pellets in the area, although the microplastics were predominately associated with secondary processes, such as fragmentation. Neto et al., (2020) studied the characteristic of the plastics ingested by commercially important marine fish in Southeast-South Brazil and found that pellets were the third most common type of ingested plastic. de Ramos et al., (2021) in a report about the general waste found in Cassino Beach, an area adjacent to Patos Lagoon mouth, also found that plastic fragments were the most abundant type of plastic present, with no reports on

the presence/absence of pellets. Therefore, there is still a need for better assessments of the pellet presence in the Hydrographic Regions of Patos Lagoon, mainly in the Lagoon itself and associated rivers, to better determine the degree of pellet loss occurring in the area. Thus, as a precautionary approach, the value found here using Essel et al., (2015) percentages, production data from PIA-Product and associated calculations, serve as a proxy for estimations of pellet loss and pellet contamination in the area.

3.2. Plastics Consumption and the associated inputs in Patos Lagoon Hydrographic Regions

Plastic consumption by the people living in the hydrographic regions of Patos Lagoon varied during the studied years as shown in Figure 06. In 2010 consumption was 1.37 Mton, the lowest in the analyzed period; in 2014, it peaked to 2.54 Mton, with 'plastic packaging's' representing 40% of the consumed manufactures. On the next year, consumption dropped to 1.54 Mton, and rose again in 2017, to 2.42 Mton. 'Plastic packaging's' and 'plastic products not otherwise specified', however, were now the main CNAE 2.0 manufactures consumed, representing 29% and 30% of that year's consumption, respectively.

Consumption is mainly a three-stage process: acquisition of goods; use; and the disposal of consumption residues (Magrabi et al., 1991). Thus, from consumption amounts and characteristics, it can be inferred the types and number of materials disposed. In the Hydrographic Regions of Patos Lagoon the consumption of plastic packaging's was among the highest during the studied period. Knowing that the lifetime of plastic packages is short and that they are disposed mainly in the same year they are produced (Geyer et al., 2017) these have a higher chance to also be the main type of plastic found in the waste and environment.

The consumption in the Hydrographic Regions of Patos Lagoon could then be specified by plastic-consuming domains based on economic activities from IBGE's Use and Resources Tables. The category of 'Resins, Elastomers, and Artificial/Synthetic Fibers' had as their main consumers economic activities

related to the feedstock of 3rd generation plastics (42%), 'textiles and clothing' (13%), 'chemicals' (10%), and 'machinery' (8%) (Figure 07).

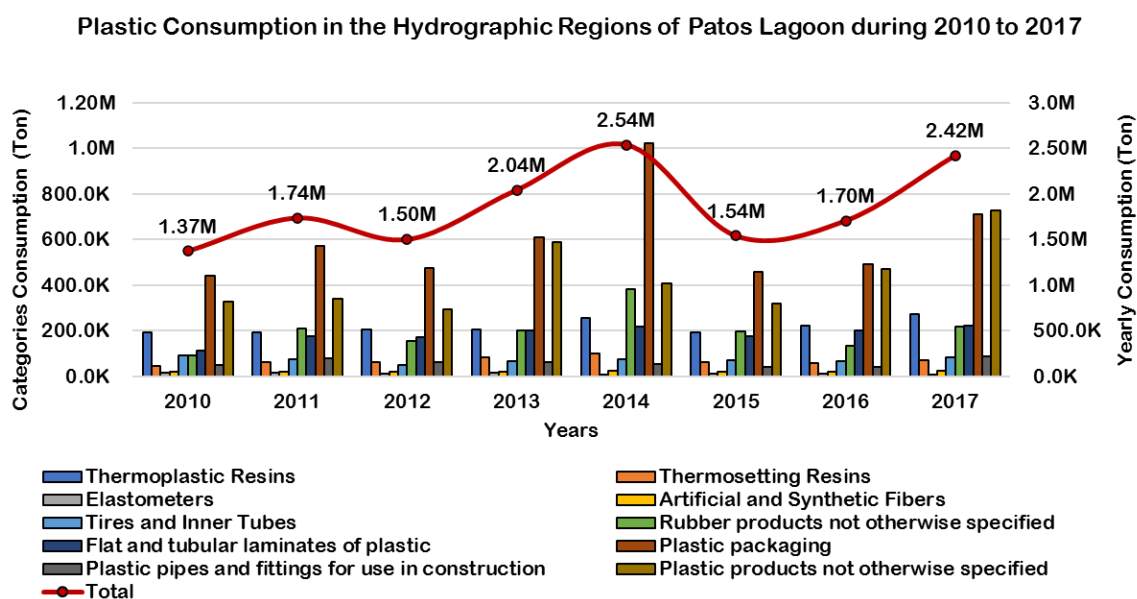


Figure 06. Plastic consumption from the people living in the Hydrographic Regions of Patos Lagoon according the CNAE 2.0 categories (Column) and yearly general consumption (Line).

The last three economic activities mentioned relates to the use of the plastic materials as it is, corresponding to utensils such as fabrics, coatings, industrial abrasives, cosmetics, and many others. Thus, indicating the magnitude of primary microplastics consumption, besides pellets. Of the plastic-consuming activities in this category 46% were classified as long life cycle; average and short life cycle activities corresponded to 33% and 21% respectively. Thus, the possible generated plastic waste from short/average life cycle activities in this category ranged between 67 Kton and 172 Kton on average (Eq. 08).

The category 'Rubber articles,' main consumer activities were 'transportation' (75%), 'machinery' (8%), and as feedstock (auto-consumption) for other 3rd generation utensils (7%). The main classifications of these activities were of long life cycle (91%), while average life cycle and short life cycle represented 9% and 0.14%, respectively. The possible generated plastic waste estimated in this category ranged between 383 tons and 23 Ktons on average (Figure 08).

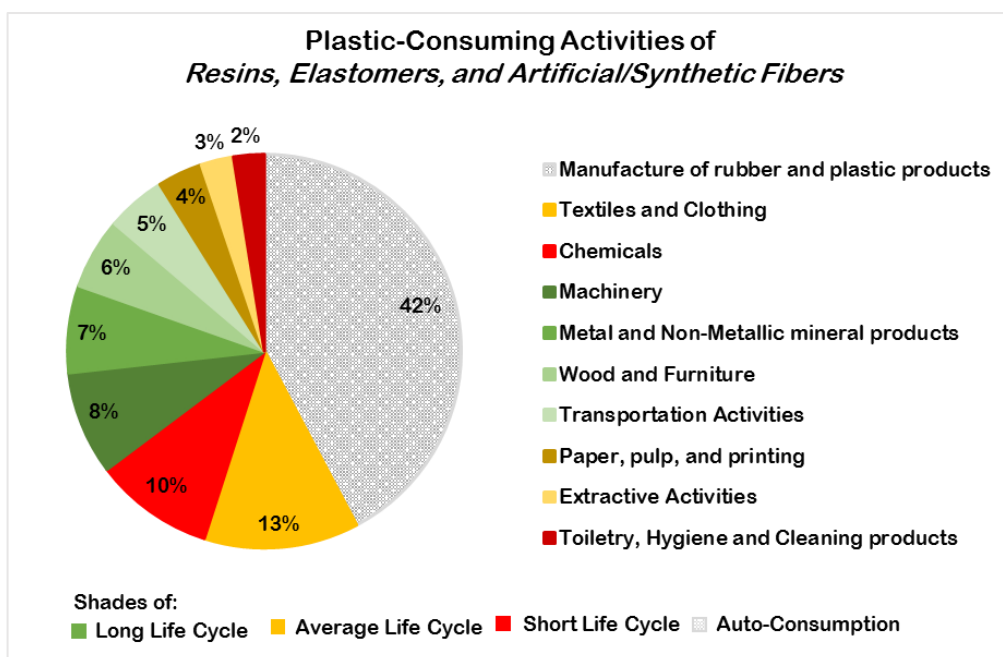


Figure 07. Plastic-consuming domains for Resins, Elastomers and Artificial/Synthetic. Shades of Green, Yellow and Red represent respectively domains with long, average, and short life cycle and were made to group different activities of equal life cycle classification. The area in grey represents plastics used as feedstock to produce other plastic utensils.

In the 'Plastic Articles' category, the main consumer activity was related to the auto-consumption for other plastic utensils (19%); followed by 'food activities' (17.98%), 'civil construction' (17.52%), and 'transportation' (9.20%). Considering that plastic packaging's was the main type of plastic item consumed in the studied area and that food activities was the main plastic-consuming domain, there is a clear link that shows that in the Hydrographic Regions of Patos Lagoon there is a high demand for food packaging's. Food packaging are often single use and combined with poor waste management and low recycling, contributes in a large part to the plastic contamination found in the area (Tourinho and Fillmann, 2011; de Ramos et al., 2021; Pinheiro et al., 2021). Of these activities, 52% corresponded with long life cycle, 18% was of average life cycle, and 31% of short life cycle (the highest among all the other categories). The estimated plastic waste in this category ranged between 376 Kton and 590 Kton on average.

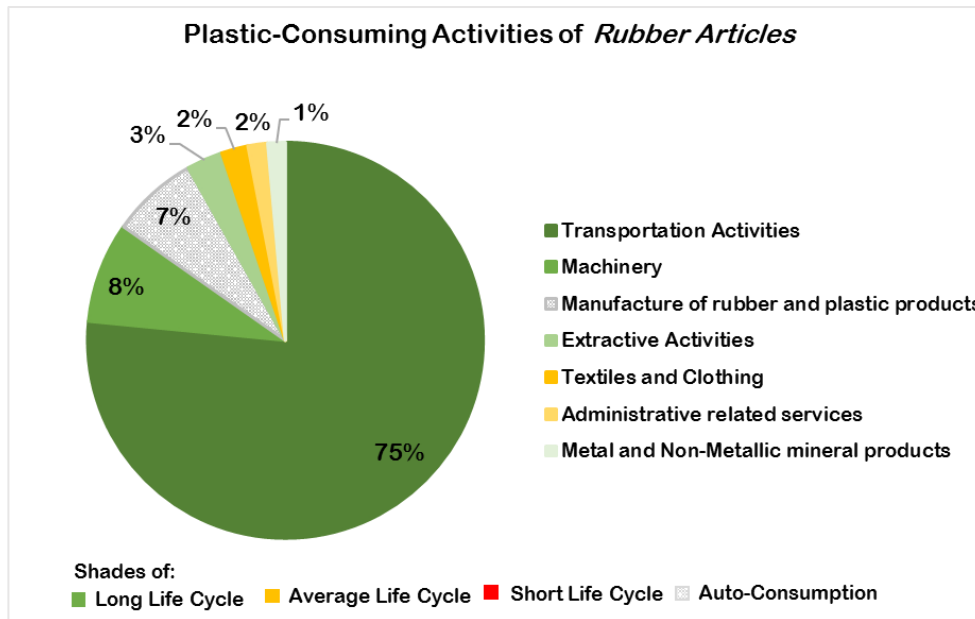


Figure 08. Plastic-consuming domains for Rubber Articles. Shades of Green, Yellow and Red represent respectively domains with long, average, and short life cycle and were made to group different activities of equal life cycle classification. The area in grey represents plastics used as feedstock to produce other plastic utensils.

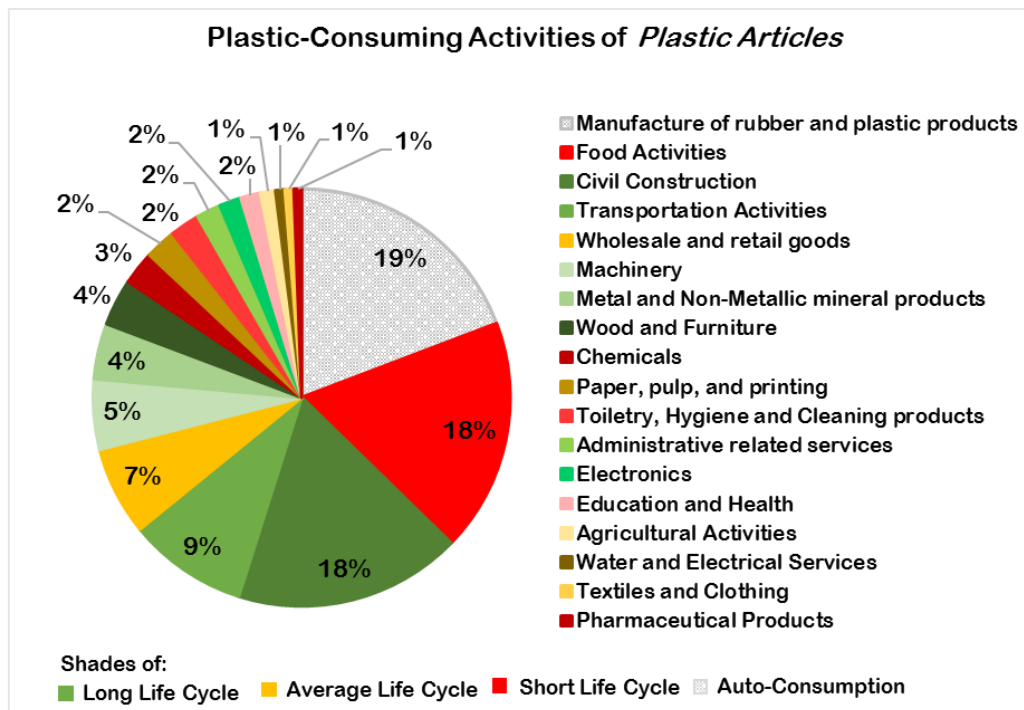


Figure 09. Plastic-consuming domains for Plastic Articles. Shades of Green, Yellow and Red represent respectively domains with long, average, and short life cycle and were made to group different activities of equal life cycle classification. The area in grey represents plastics used as feedstock to produce other plastic utensils.

Recycling of plastics were 24.02 Kton, representing a recycling rate ranging between 5.40% (considering only plastics of short life cycle) and 3.06% (sum of plastics of short to average life cycle). Rates of recycling for Brazil are reported to be only 1% (WWF, 2019). Comparing these values reveals local variations between the waste management activities in the country (SNIS, 2018), showing that in the studied area there is a better treatment for the plastic waste generated than the national mean.

General waste collections in Rio Grande do Sul State, from ABRELPE, corresponded to 93.64%. 65.66% of that was destined to sanitary landfills, 16.44% went to controlled landfills, and 11.53% was destined to dumps. The remainder (6.36%) was not collected by any of the waste collection agencies in the State.

Considering that the plastic waste goes through the State's general waste destination, and following Equation 8, the amount of mismanaged plastic waste generated in the Hydrographic Regions of Patos Lagoon ranged between 144.5 Kton to 268 Kton on average during the studied period. The yearly variation of the estimated mismanaged plastic waste is shown in Figure 10. That way, for all plastics consumed in the Patos Lagoon Basin, a mean of 8% to 14% ended up as mismanage waste.

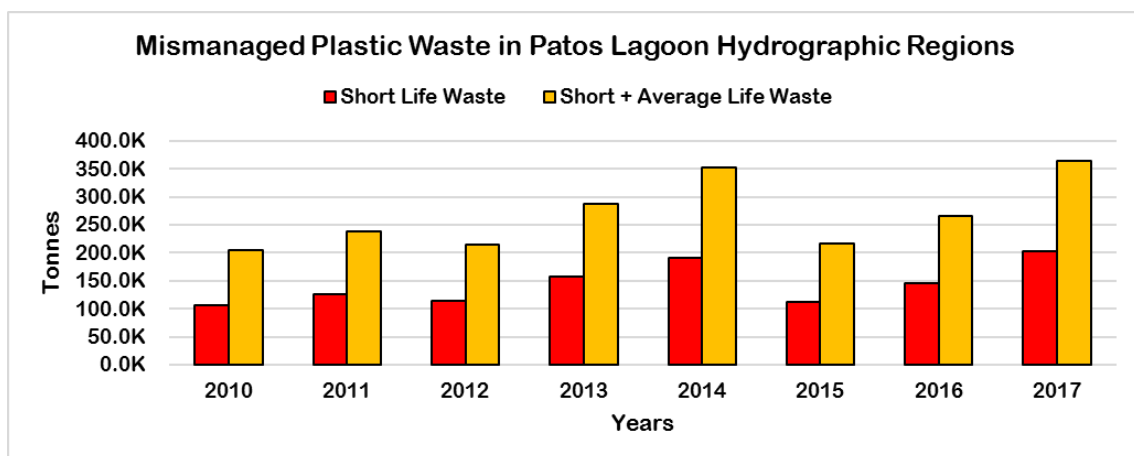


Figure 10. Estimated mismanaged plastic waste of Patos Lagoon Hydrographic Regions calculated following equation 08 for the studied period.

3.3. Releases of Plastic Waste in Patos Lagoon Water's

Plastic debris estimated to be entering Patos Lagoon's waters between 2010 and 2017 ranged between 1.73 Kton and 10.72 Kton using Meijer et al., (2021) percentages and associated calculations (Equation 09 and 10). Yearly variations of marine debris leakage to Patos Lagoon are shown in Figure 11. This, divided by the number of people living inside the Hydrographic Regions of Patos Lagoon resulted in a per capita of plastic debris that ranged between 0.5 g/per/d and 3.2 g/per/d. This amount is in the same order of magnitude as the ranges reported by Jambeck et al., (2015); Boucher et al., (2019); Tramoy et al., (2019); Ghayebzadeh et al., (2020a; 2020b) and Meijer et al., (2021) for other areas of the world. The accumulated plastic leakage during the studied period resulted in a range of 13.87 Kton to 85.97 Kton. Thus, if these types of coastal formations can act as buffer zones, as hypothesized by Liu and Fang (2020), the accumulation of this contaminant in such areas can impact the overall ocean's plastic budget.

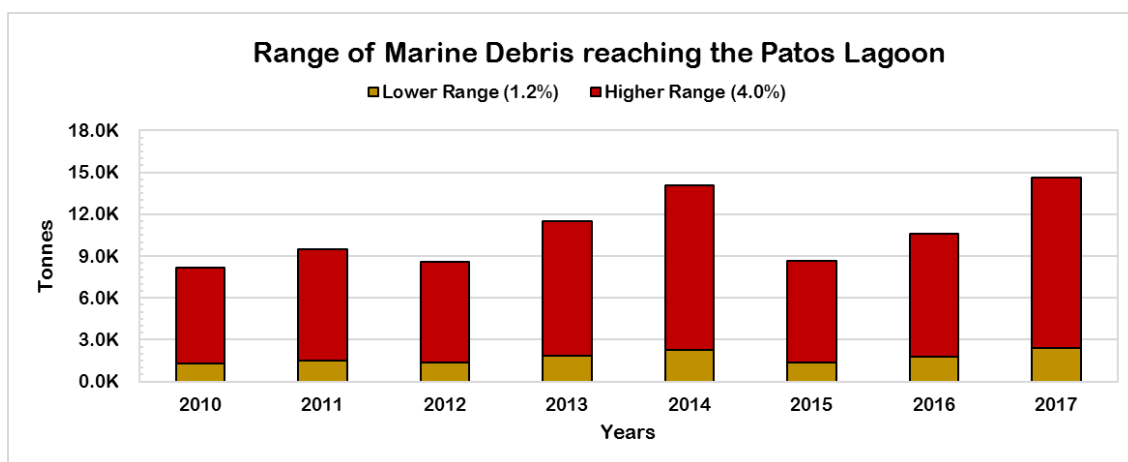


Figure 11. Amount of plastic debris reaching Patos Lagoon based on Meijer et al., (2021)'s percentages of release and equations 09 and 10.

It is important, however, to highlight that the approximation used for the mismanaged plastic waste entering Patos Lagoon's waters were originally aimed for potential plastic waste leakage into the ocean, according to Meijer et al., (2021). Thus, specific characteristics of the Hydrographic Regions of Patos Lagoon such as land use, distance to river mouth, river discharge, precipitation

and winds characteristics, inhabitants' income distribution, among other physical and sociological characteristics can play a significant role on the dynamics of plastic waste leakage to the Lagoon. Nonetheless, this study serves as a proxy for estimating plastic waste contamination and debris amount serving as tool to guide efforts aiming to reduce plastics contamination in such sensible and important environment such as Patos Lagoon.

4. CONCLUSIONS

The top-down methodology proposed by Boucher et al., (2019) was adapted to better represent the production and use of plastics in the Hydrographic Regions of Patos Lagoon. Together with simplifications provided by Meijers et al., (2021) it was possible to estimate the amount of plastics debris leaking to Patos Lagoon's waters. Results showed that a range between 1.73 Kton and 10.72 Kton of plastic debris was estimated to have reached Patos Lagoon between 2010 and 2017. The plastics debris in Patos Lagoon's waters should follow the same characteristics from plastics during the production and consumption phases, which means, that these debris are likely to be composed of Polyethylene (LDPE and HDPE) and PP; derived from items such as Plastic Bottles, Plastic Bags, and Plastic Packaging's. These items were ultimately associated with Food Activities. These were the same items found by Tourinho e Fillmann (2011); Vogelmann et al., (2019); Pinheiro et al., (2021), de Ramos et al., (2021), e Silva and de Souza (2021) in the regions near/in Patos Lagoon. The per capita amount of plastic debris leaked ranged between 0.5 g/per/d and 3.2 g/per/d which was in the same order of magnitude as the ranges reported by Jambeck et al., (2015); Boucher et al., (2019); Tramoy et al., (2019); Ghayebzadeh et al., (2020a; 2020b) and Meijer et al., (2021). Thus, with this methodology it was possible to reach conclusions that were seen by other studies using official socioeconomic data of production and consumption amounts and characteristics, together with local data of waste destination and disposal. This study also shows that coastal lagoons are important coastal formations that should be more studied since it can influence the overall ocean's plastic budget.

Acknowledgments

The authors are grateful to Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) for sponsoring the first author research grant [132861/2019-4] and to Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES). G. Pinho (PQ2 No 304495/2019-0) is a research fellow of CNPq

Authors Contributions

Ítele E. dos Santos: Conceptualization, Methodology, Investigation, Formal analysis, Writing - original draft, Writing - reviewing. Elisa H.L. Fernandes: Resources, Conceptualization, Writing - reviewing, Supervision. Grasiela L. L. Pinho: Writing - reviewing, Supervision, Conceptualization. Patrícia R. Abdallah: Conceptualization.

Funding

This work was sponsored by Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) through the first author research grant [132861/2019-4].

Data Availability Statement

The data presented in this study are available on request from the corresponding author.

Competing Interests

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

VI. Síntese da Discussão e Conclusões

Este estudo é um primeiro esforço para estimar a quantidade de resíduos plásticos que atingem a Lagoa dos Patos usando dados de produção, consumo e práticas de coleta e destino do resíduo a partir de dados nacionais e regionais. A metodologia *top-down* desenvolvida por Boucher et al., [2019] foi adaptada para melhor representar a produção e o consumo de plásticos nas bacias da Laguna, que juntamente com as simplificações propostas por Meijer et al., [2021], possibilitou a estimativa do fluxo de plásticos que entrou na Lagoa dos Patos durante o período analisado (2010 a 2017), evidenciando variações anuais da produção e do consumo que, conseqüentemente, afetam as quantidades de resíduos plásticos que chegam às águas da Lagoa dos Patos.

A produção de plásticos nas regiões hidrográficas da Lagoa dos Patos durante os anos estudados foi em média 4,54 Mton. As principais resinas produzidas foram Polietileno de Alta e Baixa Densidade (PEBD e PEAD), Polipropileno (PP) e Cloreto de Polivinila (PVC). As principais categorias de produtos (CNAE 2.0) mais produzidos foram ‘produtos de plástico não especificados’ e ‘Embalagens Plásticas’. Os utensílios mais produzidos dessas categorias foram as pré-formas de garrafas plásticas, sacolas plásticas e embalagens plásticas.

O Polietileno (PEBD e PEAD), PP e o PFTE foram também os principais polímeros encontradas por e Silva e de Souza (2021) na Praia do Laranjal, e

Vogelmann et al., (2019) no município de São Lourenço do Sul, corroborando com os dados de produção. Após identificar a composição dos fragmentos plásticos, esses autores presumiram que os percursos daquele material seriam embalagens, sacolas descartáveis e fitas de vedação, sendo também esses os principais utensílios produzidos nas Regiões Hidrográficas da Lagoa dos Patos.

A perda de *pellets* que ocorre nas Regiões Hidrográficas da Lagoa dos Patos variou entre 0,78 Kton e 7,75 Kton no período estudado. Os dados sobre a presença e abundância de *pellets* na região estudada são escassos. Uma revisão científica dos microplásticos encontrados nas águas do Atlântico Sul compilada por Rocha et al., 2021 mostrou que há *pellets* na área, embora os microplásticos secundários sejam predominantes. Neto et al., (2020) sobre as características dos plásticos ingeridos por peixes marinhos de importância comercial no Sudeste-Sul do Brasil constataram que os *pellets* foram o terceiro tipo mais comum de plástico ingerido. No entanto, de Ramos et al., (2021) em um relatório sobre resíduos sólidos encontrados na Praia do Cassino, área adjacente a boca da Lagoa dos Patos, constataram que fragmentos de plástico eram o tipo de resíduo mais abundante, não havendo relatos sobre a presença/ausência de *pellets* na área. Portanto, ainda há necessidade de melhores avaliações da presença de *pellets* nas Regiões Hidrográficas da Lagoa dos Patos, principalmente na própria Lagoa e seus rios, para melhor determinar o grau de perda de *pellets* que ocorre na área.

Em média, 1,86 Mton de plásticos foram consumidos pela população nas regiões hidrográficas da Lagoa dos Patos, e a categoria (CNAE 2.0) mais consumida foi também, 'Embalagens Plásticas', representando 40% do consumo. Sabendo que o ciclo de vida das embalagens de plástico é curto e que elas são descartadas principalmente no mesmo ano em que são produzidas (Geyer et al., 2017) assume-se que este também é o tipo de plástico mais descartado e mais encontrado no ambiente.

O consumo nas Regiões Hidrográficas da Lagoa dos Patos foi mais especificado usando os domínios de consumo, definidos com base nas atividades econômicas das Tabelas de Uso e Recursos do IBGE. A categoria 'Resinas, Elastômeros, Fibras Artificiais e Sintéticas' teve como principais consumidoras atividades econômicas relacionadas à matéria-prima de plásticos

de 3ª geração (42%), 'Têxteis e vestuário' (13%), 'Produtos Químicos' (10%), e 'máquinas' (8%). As três últimas atividades econômicas mencionadas referem-se ao uso dos materiais plásticos tal como estão, correspondendo a utensílios como tecidos, revestimentos, abrasivos industriais, cosméticos, entre outros. Indicando a magnitude do consumo de microplásticos primários, além dos *pellets*.

Na categoria 'Artigos de borracha', as principais atividades de consumo foram 'transporte' (75%), 'máquinas' (8%) e como matéria-prima (autoconsumo) para outros utensílios de 3ª geração (7%).

Já na categoria 'Artigos de Plástico', a principal atividade consumidora estava relacionada com a produção de outros utensílios plásticos (19%) (autoconsumo); seguido por 'atividades de alimentação' (17,98%), 'construção civil' (17,52%) e 'transporte' (9,20%).

Considerando que as embalagens plásticas foram o principal tipo de artigo plástico consumido na área estudada e que atividades relacionadas a alimentação foram o principal domínio consumidor de plásticos, há uma ligação clara que mostra que nas Regiões Hidrográficas da Lagoa dos Patos existe uma grande demanda por embalagens plásticas para alimentos. As embalagens de alimentos, muitas vezes, de uso único combinadas com uma má gestão de resíduos e uma baixa taxa de reciclagem, contribuem em grande parte para os plásticos encontrados nas regiões da Lagoa dos Patos (Tourinho e Fillmann, 2011; de Ramos et al., 2021; Pinheiro et al., 2021).

Considerando os serviços de coleta e destinação de resíduos sólidos do Rio Grande do Sul, em média, 8% a 14% do plástico consumido pelas populações das regiões hidrográficas da Lagoa dos Patos terminam como resíduos plásticos mal gerenciados. A entrada de resíduos plásticos para a Lagoa dos Patos para o período estudado foi estimada entre 1,73 Kton e 10,72 Kton de acordo com as porcentagens de Meijer et al., (2021) e cálculos associados. Este valor está na mesma ordem de magnitude que os intervalos apresentados por Jambeck et al., (2015); Boucher et al., (2019); Tramoy et al., (2019); Ghayebzadeh et al., (2020a; 2020b) e Meijer et al., (2021) para outras áreas do mundo. O valor acumulado de resíduos durante o período estudado resultou em uma faixa de 13,87 Kton a 85,97 Kton. Assim, se esses tipos de formações costeiras podem atuar como zonas de amortecimento, como

hipotetizado por Liu e Fang (2020), o acúmulo desse contaminante em tais áreas pode impactar o balanço global de plástico para os Oceanos. No entanto, características específicas das Regiões Hidrográficas da Lagoa dos Patos, como uso do solo, distância dos rios, vazão, característica de precipitação e ventos, distribuição de renda dos habitantes, entre outras especificidades físicas e sociológicas podem desempenhar um papel mais significativo na entrada de resíduos plásticos para a Lagoa dos Patos, diferindo localmente das porcentagens de Meijer et al., (2021). De forma que, este estudo teve como objetivo ser um proxy para as estimativas de contaminação de resíduos plásticos na Lagoa dos Patos, servindo como uma importante ferramenta para ajudar a orientar esforços que visam reduzir esse tipo de contaminação em um ambiente tão importante.

Referências Bibliográficas

Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial - ABDI (2009) Caracterização da Cadeia Petroquímica e da Transformação de Plásticos., 1st ed, ABDI. São Paulo.

Associação Brasileira da Indústria de Plástico – ABIPLAST (2018) Perfil 2018 – Industria Brasileira de Transformação e Reciclagem de Material Plástico. São Paulo.

Allen, D.T., Rosselot, K.S. (1994). Pollution prevention at the macro scale: flows of wastes, industrial ecology and life cycle analyses. *Waste Manag.* 14, 317–328. [https://doi.org/10.1016/0956-053X\(94\)90078-7](https://doi.org/10.1016/0956-053X(94)90078-7)

American Chemistry Concil – ACC (2019). Resin Sales and Captive Use by Major Market Percentage: Distribution of Thermoplastic Resins.

Andrady, A.L. (2011) Microplastics in the marine environment. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 1596–1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>

Andrady, A.L. (2017) The plastic in microplastics: A review. *Mar. Pollut. Bull.* 119, 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.082>

Andrady, A.L., Neal, M.A. (2009) Applications and societal benefits of plastics. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 364, 1977–1984. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0304>

Antônio, M.H.P., Fernandes, E.H.L., Muelbert, J.H., (2020) Impact of Jetty Configuration Changes on the Hydrodynamics of the Subtropical Patos Lagoon Estuary, Brazil. *Water* 12, 3197–3224. <http://dx.doi.org/10.3390/w12113197>, In press.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE (2011). Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2010.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE (2012). Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2011.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE (2013). Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2012.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE, (2014). Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2013.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE, (2015). Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2014.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE, (2016). Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2015.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE, (2017). Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2016.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE, (2018). Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2017.

Balassiano, M.G., (2018). Recessão Brasileira (2014-2016): Uma Análise por Meio do Método do Controle Sintético do PIB, PIB per capita, Taxa de Investimento e Taxa de Desemprego. 46º Encontro Nac. Econ. 1–20.

Barnes, D.K.A., Galgani, F., Thompson, R.C., Barlaz, M., (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 364, 1985–1998. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>

Blettler, M. C. M., Abrial, E., Khan, F. R., Sivri, N., & Espinola, L. A. (2018). Freshwater plastic pollution: Recognizing research biases and identifying

knowledge gaps. *Water Research*, 143, 416–424.
doi:10.1016/j.watres.2018.06.015

Blyth, J., Hofmann, A.W., (1845). Ueber das Styrol und einige seiner Zersetzungsproducte. *Ann. der Chemie und Pharm.* 53, 289–329.
<https://doi.org/10.1002/jlac.18450530302>

Boucher, J.; Friot, D. (2017). Primary microplastics in the oceans: A global evaluation of sources. <https://doi.org/10.2305/iucn.ch.2017.01.en>.

Boucher, J., Faure, F., Pompini, O., Plummer, Z., Wieser, O., Felipe de Alencastro, L., (2019). (Micro) plastic fluxes and stocks in Lake Geneva basin. *TrAC Trends Anal. Chem.* 112, 66–74.
<https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.11.037>

Campos da Rocha, F.O., Martinez, S.T., Campos, V.P., da Rocha, G.O., de Andrade, J.B., (2021). Microplastic pollution in Southern Atlantic marine waters: Review of current trends, sources, and perspectives. *Sci. Total Environ.* 782, 146541. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146541>

Carbone, J.P., Reinert, K.H., (2015). Synthetic Polymers☆, in: Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.00802-2>

Carvalho, L.M. de, Ribeiro, F.J. da S.P., (2017). Metodologia de cálculo do indicador Ipea mensal de formação bruta de capital fixo, IPEA. Rio de Janeiro.

Carvalho, L.M. de, Ribeiro, F.J. da S.P., (2015). Indicadores de Consumo Aparente de Bens Industriais: Metodologia e Resultados, 1st ed. Instituto de Pesquisa Aplicada - IPEA, Rio de Janeiro.

Castelão, R.M., Moller Jr, O.O., (2003). Sobre a circulação tridimensional forçada por ventos na lagoa dos patos. *Rev. Atl.* 25, 91–106.
<https://doi.org/https://doi.org/10.5088/atlântica.v25i2.2297>

Coe, J.M., Rogers, D.B. (Eds.), (1997). *Marine Debris*, Springer Series on Environmental Management. Springer-Verlag, New York, NY.
<https://doi.org/10.1007/978-1-4613-8486-1>

Cohen, M.A., Konar, S., (2000). Why do Firms Pollute (and Reduce) Toxic Emissions? SSRN Electron. J. <https://doi.org/10.2139/ssrn.922491>

Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., Galloway, T.S., (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 2588–2597. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>

Coran, A.Y., (2013). Vulcanization, in: *The Science and Technology of Rubber*. Elsevier Inc., pp. 337–381. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394584-6.00007-8>

Cozar, A., Echevarria, F., Gonzalez-Gordillo, J.I., Irigoien, X., Ubeda, B., Hernandez-Leon, S., Palma, A.T., Navarro, S., Garcia-de-Lomas, J., Ruiz, A., Fernandez-de-Puelles, M.L., Duarte, C.M., (2014). Plastic debris in the open ocean. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 111, 10239–10244. <https://doi.org/10.1073/pnas.1314705111>

Cózar, A., Elisa Martí, Carlos M. Duarte, Juan García-De-Lomas, Erik Van Sebille, Thomas J. Ballatore, Victor M. Eguíluz, J. Ignacio González-Gordillo, Maria L. Pedrotti, Fidel Echevarría, Romain Troublè, Xabier Irigoien, (2017). The Arctic Ocean as a dead end for floating plastics in the North Atlantic branch of the Thermohaline Circulation. *Science Advances*, v. 3, n. 4, <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600582>

Darvell, B.W., (2018). *Polymers, Mat. Sci. for Den.* Elsevier, pp. 70–91. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101035-8.50003-1>

Derraik, J.G., (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Mar. Pollut. Bull.* 44, 842–852. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00220-5](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00220-5)

De Haan, W. P.; Sanchez-Vidal, A.; Canals, M. (2019). Floating microplastics and aggregate formation in the Western Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, v. 140, p. 523–535. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.01.053>

de Ramos, B., Alencar, M.V., Rodrigues, F.L., Lacerda, A.L. de F., Proietti, M.C., (2021). Spatio-temporal characterization of litter at a touristic sandy beach in South Brazil. *Environ. Pollut.* 280, 116927. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116927>

Díez-Minguito, M. (2020). Observations and idealized modelling of microplastic transport in estuaries: The exemplary case of an upwelling system (Ría de Vigo, NW Spain). *Marine Chemistry*, v. 222, p. 103780, <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2020.103780>

E Silva, P. H. S., & de Sousa, F. D. B. (2021). Microplastic pollution of Patos Lagoon, south of Brazil. *Environmental Challenges*, 4, 100076. [doi:10.1016/j.envc.2021.100076](https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100076)

Eriksen, M., Lebreton, L.C.M., Carson, H.S., Thiel, M., Moore, C.J., Borerro, J.C., Galgani, F., Ryan, P.G., Reisser, J., (2014). Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLoS One* 9, e111913. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111913>

Essel, R., Engel, L., Carus, M., (2015). Sources of microplastics relevant to marine protection in Germany. *Umweltbundesamt* 64, 48.

Fernandes, E. H., Dyer, K. R., & Niencheski, L. F. H. (2001). Calibration and Validation of the TELEMAC-2D Model to the Patos Lagoon (Brazil). *Journal of Coastal Research*, 470–488. <http://www.jstor.org/stable/25736313>

Fernandes, E.H.L., Mariño-Tapia, I., Dyer, K.R., Möller, O.O., (2004). The attenuation of tidal and subtidal oscillations in the Patos Lagoon estuary. *Ocean Dyn.* 54. <https://doi.org/10.1007/s10236-004-0090-y>

Fernandes, Elisa Helena L.; Dyer, Keith Richard; Moller, Osmar Olinto (2005). Spatial Gradients in the Flow of Southern Patos Lagoon. *Journal of Coastal Research*, 214(), 759–769. doi:10.2112/006-NIS.1

Fiedler, H., Kallenborn, R., Boer, J. de, Sydnes, L.K., (2019). The Stockholm Convention: A Tool for the Global Regulation of Persistent Organic Pollutants. *Chem. Int.* 41, 4–11. <https://doi.org/10.1515/ci-2019-0202>

Frias, J.P.G.L., Nash, R., (2019). Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Mar. Pollut. Bull.* 138, 145–147. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.022>

Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler - FEPAM, (2003). Região Hidrográfica do Guaíba [WWW Document]. URL <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/guaiba.asp> (accessed 5.18.20).

Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler - FEPAM, (2003). Região Hidrográfica do Litoral [WWW Document]. URL http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/bacias_hidro.asp (accessed 5.18.20).

Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler - FEPAM, (2020). Biblioteca Digital [WWW Document]. Arq. Digit. para uso em SIG - base Cart. Digit. do RS 1250.000. URL http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/geo/bases_geo.asp (accessed 3.23.20).

Gad, S.E., (2014). Polymers, in: *Enc. of Tox.* Elsevier, pp. 1045–1050. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.00912-X>

Galloway, T.S., Cole, M., Lewis, C., (2017). Interactions of microplastic debris throughout the marine ecosystem. *Nat. Ecol. Evol.* 1, 0116. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0116>

GESAMP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection, (2016). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part 2 of a global assessment. (IMO, FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP). In: Kershaw, P.J. (Ed.), Rep. Stud. GESAMP No. 90 (96 pp). Reports Stud. GESAMP, No. 93, 96 p. 93.

Geyer, R., Jambeck, J.R., Law, K.L., (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci. Adv.* 3, e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>

Ghayebzadeh, M., Aslani, H., Taghipour, H., Mousavi, S., (2020a). Estimation of plastic waste inputs from land into the Caspian Sea: A significant unseen marine pollution. *Mar. Pollut. Bull.* 151, 110871. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110871>

Ghayebzadeh, M., Taghipour, H., Aslani, H., (2020b). Estimation of plastic waste inputs from land into the Persian Gulf and the Gulf of Oman: An environmental disaster, scientific and social concerns. *Sci. Total Environ.* 733, 138942. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138942>

Gregory Murray R. (2009) Environmental implications of plastic debris in marine settings—entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions *Phil. Trans. R. Soc.* B364:2013–2025 <http://doi.org/10.1098/rstb.2008.0265>

Grimm, A.M., Ferraz, S.E.T., Gomes, J., (1998). Precipitation anomalies in southern Brazil associated with El Nino and La Nina events. *J. Clim.* 11, 2863–2880. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1998\)011<2863:PAISBA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1998)011<2863:PAISBA>2.0.CO;2)

Hartmann, N.B., Hüffer, T., Thompson, R.C., Hassellöv, M., Verschoor, A., Daugaard, A.E., Rist, S., Karlsson, T., Brennholt, N., Cole, M., Herrling, M.P., Hess, M.C., Ivleva, N.P., Lusher, A.L., Wagner, M., (2019). Are We Speaking the Same Language? Recommendations for a Definition and Categorization Framework for Plastic Debris. *Environ. Sci. Technol.* 53, 1039–1047. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05297>

Hill, R.G., (2005). Polymers, in: *Biomaterials, Artificial Organs and Tissue Engineering*. Elsevier, pp. 37–47. <https://doi.org/10.1533/9781845690861.1.37>

Hoellein, T.J., Rochman, C.M., (2021). The “plastic cycle”: a watershed-scale model of plastic pools and fluxes. *Front. Ecol. Environ.* 19, 176–183. <https://doi.org/10.1002/fee.2294>

Hoffman, M. J.; Hittinger, E. (2017). Inventory and transport of plastic debris in the Laurentian Great Lakes. *Marine Pollution Bulletin*, v. 115, n. 1, p. 273–281. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.11.061>

Horton, A.A., Dixon, S.J., (2018). Microplastics: An introduction to environmental transport processes. *WIREs Water* 5. <https://doi.org/10.1002/wat2.1268>

Horton, A.A., Walton, A., Spurgeon, D.J., Lahive, E., Svendsen, C., (2017). Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. *Sci. Total Environ.* 586, 127–141. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.190>

Hosler, D., Burkett, S.L., Tarkanian, M.J., (1999). Prehistoric polymers: Rubber processing in ancient Mesoamerica. *Science* (80-). 284, 1988–1991. <https://doi.org/10.1126/science.284.5422.1988>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, (2016). Pesquisa Industrial Anual - Produto (PIA-Produto) [WWW Document]. IBGE. URL

<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9044-pesquisa-industrial-anual-produto.html?=&t=o-que-e> (accessed 3.21.20).

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, (2019). Sistema de Contas Nacionais - SCN [WWW Document]. O que é? URL <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/servicos/9052-sistema-de-contas-nacionais-brasil.html?=&t=o-que-e> (accessed 4.14.20).

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, (2011). Sinopse do Censo 2010, Ibge. Rio de Janeiro. <https://doi.org/ISSN 0101-4234>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, (2007). Relação Anual de Informações Sociais – RAIS [WWW Document]. Com. Estatísticas Sociais. URL <https://ces.ibge.gov.br/base-de-dados/metadados/mte/relacao-anual-de-informacoes-sociais-rais.html> (accessed 3.24.20).

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, (1977). Geografia do Brasil - Região Sul, Volume 5. ed. IBGE, Rio de Janeiro.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, (2015). Bases Cartográficas e Malhas Digitais [WWW Document]. Mapas. URL ftp://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/municipio_2015/ (accessed 8.2.19).

Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., Law, K.L., (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* (80-.). 347, 768–771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>

Kjerfve, B., (1986). Comparative Oceanography Of Coastal Lagoons, in: *Estuarine Variability*. Elsevier, pp. 63–81. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-761890-6.50009-5>

Kreider, M.L., Panko, J.M., McAtee, B.L., Sweet, L.I., Finley, B.L., (2010). Physical and chemical characterization of tire-related particles: Comparison of

particles generated using different methodologies. *Sci. Total Environ.* 408, 652–659. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.10.016>

Lacerda, A.L. d. F., Proietti, M.C., Secchi, E.R., Taylor, J.D., (2020). Diverse groups of fungi are associated with plastics in the surface waters of the Western South Atlantic and the Antarctic Peninsula. *Mol. Ecol.* 29, 1903–1918. <https://doi.org/10.1111/mec.15444>

Law, K.L., (2017). Plastics in the Marine Environment. *Ann. Rev. Mar. Sci.* 9, 205–229. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010816-060409>

Lebreton, L.C.M., van der Zwet, J., Damsteeg, J.-W., Slat, B., Andrady, A., Reisser, J., (2017). River plastic emissions to the world's oceans. *Nat. Commun.* 8, 15611. <https://doi.org/10.1038/ncomms15611>

Lechner, A., Keckeis, H., Lumesberger-Loisl, F., Zens, B., Krusch, R., Tritthart, M., ... Schludermann, E. (2014). The Danube so colourful: A potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river. *Environmental Pollution*, 188, 177–181. doi:10.1016/j.envpol.2014.02.006

Lee, J., Hong, S., Song, Y.K., Hong, S.H., Jang, Y.C., Jang, M., Heo, N.W., Han, G.M., Lee, M.J., Kang, D., Shim, W.J., (2013). Relationships among the abundances of plastic debris in different size classes on beaches in South Korea. *Mar. Pollut. Bull.* 77, 349–354. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.08.013>

Liu, Y., Fang, J., (2020). Coastal Lakes as a Buffer Zone for the Accumulation and Redistribution of Plastic Particles from Continental to Marine Environment: A Case Study of the Dishui Lake in Shanghai, China. *Appl. Sci.* 10, 1974. <https://doi.org/10.3390/app10061974>

Magrabi F. M., Chung, Y. S., Cha, S. S. Yang, S. (2001) The economics of household consumption. PRAEGER. New York. ISBN: 0-275-93406-3.

McCormick, A., Hoellein, T.J., Mason, S.A., Schlupe, J. and Kelly, J.J. (2016) Microplastic in Surface Waters of Urban Rivers: Concentration, Sources, and Associated Bacterial Assemblages. *Ecosphere*, 7, e01556.

<https://doi.org/10.1002/ecs2.1556>

Meijer, L. J. J., van Emmerik, T., van der Ent, R., Schmidt, C., & Lebreton, L. (2021). More than 1000 rivers account for 80% of global riverine plastic emissions into the ocean. *Science Advances*, 7(18), eaaz5803. doi:10.1126/sciadv.aaz5803

Merrington, A., (2017). Recycling of Plastics, in: *Applied Plastics Engineering Handbook*. Elsevier, pp. 167–189. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-39040-8.00009-2>

METI, (2016). *Future Supply and Demand Trend of Petrochemical Products Worldwide*. Tokyo.

Mikulasch, F., (2016). *Plastics Resin Production and Consumption in 63 Countries Worldwide, European Plastics and Rubber Machinery - EUROMAP*.

Moller, O.O., Castaing, P., Salomon, J.-C., Lazure, P., (2001). The Influence of Local and Non-Local Forcing Effects on the Subtidal Circulation of Patos Lagoon. *Estuaries* 24, 297. <https://doi.org/10.2307/1352953>

Moore, C.J., (2008). Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, long-term threat. *Environ. Res.* 108, 131–139. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2008.07.025>

Mohan, R. K., Short, A. D., Cambers, G., MacLeod, M., Cooper, J. A. G., Hopley, D., ... Craig-Smith, S. J. (2005). Coastal Lakes and Lagoons. *Encyclopedia of Coastal Science*, 263–266. doi:10.1007/1-4020-3880-1_81

MSWCONSULTANTS (2009). *National Visible Litter Survey and Litter Cost Study* Stamford, CT: Keep America Beautiful, Inc.

Mutha, N.H., Patel, M., Premnath, V., (2006). Plastics materials flow analysis for India. *Resour. Conserv. Recycl.* 47, 222–244. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2005.09.003>

Neto, J.G.B., Rodrigues, F.L., Ortega, I., Rodrigues, L. dos S., Lacerda, A.L. d. F., Coletto, J.L., Kessler, F., Cardoso, L.G., Madureira, L., Proietti, M.C., (2020). Ingestion of plastic debris by commercially important marine fish in southeast-south Brazil. *Environ. Pollut.* 267, 115508. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115508>

Niencheski, L.F., H., Baumgarten Zepka, M.G., Cabrera, L., Juliano, S.K., (2006). Patos Lagoon: indicators of organic pollution. *J. Coast. Res.* SI 39, 1356–1359.

Oehlmann Jörg, Schulte-Oehlmann Ulrike, Kloas Werner, Jagnytsch Oana, Lutz Ilka, Kusk Kresten O., Wollenberger Leah, Santos Eduarda M., Paull Gregory C., Van Look Katrien J. W. and Tyler Charles R. 2009A critical analysis of the biological impacts of plasticizers on wildlife *Phil. Trans. R. Soc.* B3642047–2062 <http://doi.org/10.1098/rstb.2008.0242>

Owens, K.A., Kamil, P.I., (2020). Adapting Coastal Collection Methods for River Assessment to Increase Data on Global Plastic Pollution: Examples From India and Indonesia. *Front. Environ. Sci.* 7. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00208>

Panda, A.K., Singh, R.K., Mishra, D.K., (2010). Thermolysis of waste plastics to liquid fuel: A suitable method for plastic waste management and manufacture of value added products—A world prospective. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 14, 233–248. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.005>

Patel, M.K., Jochem, E., Radgen, P., Worrell, E., (1998). Plastics streams in Germany—an analysis of production, consumption and waste generation. *Resour. Conserv. Recycl.* 24, 191–215. <https://doi.org/10.1016/>

Pereira, F.C., (2014). Microplásticos no ambiente marinho: mapeamento de fontes e identificação de mecanismos de gestão para minimização da perda de pellets plásticos. Universidade de São Paulo, São Paulo. <https://doi.org/10.11606/D.21.2014.tde-30032015-150240>

Pereira, R.S., Nienchesky, L.F.H., Baumgarten, M.G.Z., (2005). Condição ambiental da Lagoa dos Patos, in: I Simpósio de Recursos Hídricos Do Sul. pp. 1–19.

Pinheiro, L.M., Agostini, V.O., Lima, A.R.A., Ward, R.D., Pinho, G.L.L., (2021). The fate of plastic litter within estuarine compartments: An overview of current knowledge for the transboundary issue to guide future assessments. *Environ. Pollut.* 279, 116908. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116908>

Pinheiro, L.M., Carvalho, I. V., Agostini, V.O., Martinez-Souza, G., Galloway, T.S., Pinho, G.L.L., (2021). Litter contamination at a salt marsh: An ecological niche for biofouling in South Brazil. *Environ. Pollut.* 285, 117647. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117647>

Plastics Europe, (2020). *Plastics—The Facts 2020: An Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data.*

Programa de Disseminação das Estatísticas do Trabalho - PDET, (2016). *Relação Anual de Informações Sociais - RAIS [WWW Document]. O que é RAIS?* URL <http://pdet.mte.gov.br/microdados-rais-e-caged> (accessed 3.24.20).

PLASTIVIDA (2018) *Manual Perda Zero de Pellets.* Plastivida 1ª Ed. São Paulo. URL: http://www.plastivida.org.br/images/temas/Manual_Perda_Zero_de_Pellets_Digital.pdf

Pruter, A.T., (1987). Sources, quantities and distribution of persistent plastics in the marine environment. *Mar. Pollut. Bull.* 18, 305–310. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(87\)80016-4](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(87)80016-4)

Redford, D.P., Trulli, H.K., Trulli, W.R., (1997). Sources of Plastic Pellets in the Aquatic Environment, in: Coe J.M., R.D.B. (Ed.), *Marine Debris*. Springer, New York, pp. 335–343. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-8486-1_30

Reynolds, C., & Ryan, P. G. (2018). Micro-plastic ingestion by waterbirds from contaminated wetlands in South Africa. *Marine Pollution Bulletin*, 126, 330–333. doi:10.1016/j.marpolbul.2017.11.0

Ritchie, H., Roser, M., (2017). *Plastic Pollution*, *Frontiers Research Topics*. Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/978-2-88945-330-6>

Rizzi, M., Rodrigues, F.L., Medeiros, L., Ortega, I., Rodrigues, L., Monteiro, D.S., Kessler, F., Proietti, M.C., (2019). Ingestion of plastic marine litter by sea turtles in southern Brazil: abundance, characteristics and potential selectivity. *Mar. Pollut. Bull.* 140, 536–548. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.01.054>

Schmidt, C., Krauth, T., Wagner, S., (2017). Export of Plastic Debris by Rivers into the Sea. *Environ. Sci. Technol.* 51, 12246–12253. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b02368>

Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura - SEMA, (2017). *Bacias Hidrográficas do Rio Grande do Sul [WWW Document]*. URL <https://www.sema.rs.gov.br/bacias-hidrograficas> (accessed 5.18.20).

Secretaria Nacional de Saneamento - SNS, (2018). *17o Diagnóstico do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos*. Brasília.

Seeliger, U., Costa, C.S.B., (1997). Natural and Human Impact, in: Seeliger, Ulrich, Odebrecht, C., Castello, J.P. (Eds.), *Subtropical Convergence Environments: The Coast and Sea in the Southwestern Atlantic*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 197–203. https://doi.org/10.1007/978-3-642-60467-6_10

Shashoua, Y., (2008). Conservation of Plastics, 1st Ed. ed. Routledge, London.
<https://doi.org/10.4324/9780080878782>

Sivan, A., (2011). New perspectives in plastic biodegradation. *Curr. Opin. Biotechnol.* 22, 422–426. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2011.01.013>

Secretaria Nacional de Saneamento - SNIS, (2018). 17º Diagnóstico do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos. Brasília.

Spengler, Wallner-Kersanach, A., Baumgarten, M.&, (2007). Rio Grande municipal dump site impact on the estuary of the Patos Lagoon (Rs, Brazil). *Acta Limnol. Bras* 19, 197–210.

Tagliani, P.R., Landazuri, H., Reis, E., Tagliani, C., Asmus, M., Sánchez-Arcilla, A., (2003). Integrated coastal zone management in the Patos Lagoon estuary: perspectives in context of developing country. *Ocean Coast. Manag.* 46, 807–822. [https://doi.org/10.1016/S0964-5691\(03\)00063-2](https://doi.org/10.1016/S0964-5691(03)00063-2)

Tavora, J., Fernandes, E.H.L., Thomas, A.C., Weatherbee, R., Schettini, C.A.F., (2019). The influence of river discharge and wind on Patos Lagoon, Brazil, Suspended Particulate Matter. *Int. J. Remote Sens.* 40, 4506–4525. <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1569279>

Tourinho P. S.; Fillmann G. (2011) Temporal trend of litter contamination at Cassino beach, Southern Brazil *Revista de Gestão Costeira Integrada* Volume 11, Número 1, Março 2011, Páginas 97-102 DOI: 10.5894/rgci201

Tramoy, R., Gasperi, J., Dris, R., Colasse, L., Fisson, C., Sananes, S., ... Tassin, B. (2019). Assessment of the Plastic Inputs From the Seine Basin to the Sea Using Statistical and Field Approaches. *Frontiers in Marine Science*, 6. doi:10.3389/fmars.2019.00151

Tyrrell, D.A., George, K.J., (2006). Finite Element Modelling of the Hydrodynamics and Water Quality of The Patos Lagoon System, Brazil. *J. Coast. Res.* 1594–1599.

Van Biesebroeck, J., (2005). Firm Size Matters: Growth and Productivity Growth in African Manufacturing. *Econ. Dev. Cult. Change* 53, 545–583. <https://doi.org/10.1086/426407>

van Sebille, E., Wilcox, C., Lebreton, L., Maximenko, N., Hardesty, B.D., van Franeker, J.A., Eriksen, M., Siegel, D., Galgani, F., Law, K.L., (2015). A global inventory of small floating plastic debris. *Environ. Res. Lett.* 10, 124006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/12/124006>

Vaz, A.C., Möller jr, O.O., de Almeida., T.L., (2006). Análise quantitativa da descarga dos rios afluentes da Lagoa dos Patos. *Atlântica* 28, 13–23. <https://doi.org/https://doi.org/10.5088/atlantica.v28i1.1724>

Verschoor, A., van Herwijnen, R., Posthuma, C., Klesse, K., Werner, S., (2017). Assessment document of land-based inputs of microplastics in the marine environment, in: *The Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic*. p. 94.

Vogelmann, E. S., Alegrini, V. R., Awe, G. O., & Prevedello, J. (2019). Prospects of microplastics in the sedimentary deposits on Patos Lagoon coast. *Water Perspectives in Emerging Countries: Microplastics in the Water Environment*. August 19-21, 2019-Island of Koh Samui, Thailand.

Wallner-Kersanach, M., Mirlean, N., Baumgarten, M. da G.Z., Costa, L.D.F., Baisch, P., (2016). Temporal evolution of the contamination in the southern area of the Patos Lagoon estuary, RS, Brazil. *Rev. Gestão Costeira Integr.* 16, 263–279. <https://doi.org/10.5894/rgci596>

Wetzel, R.G., (2001). Freshwater Ecosystems. *Encycl. Biodivers.* 75–87. <https://doi.org/10.1016/B0-12-226865-2/00130-9>

Windsor, F.M., Durance, I., Horton, A.A., Thompson, R.C., Tyler, C.R., Ormerod, S.J., (2019). A catchment-scale perspective of plastic pollution. *Glob. Chang. Biol.* 25, 1207–1221. <https://doi.org/10.1111/gcb.14572>

World Wide Fund For Nature - WWF, (2019). Solving Plastic pollution through accountability. <https://doi.org/978-2-940529-93-3>

Worm, B., Lotze, H.K., Jubinville, I., Wilcox, C., Jambeck, J., (2017). Plastic as a Persistent Marine Pollutant. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 42, 1–26. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102016-060700>

Anexos

Anexo 01. Tabela PIA-Produto do ano de 2017 [IBGE, 2017], evidenciando a classe de atividades de acordo com a CNAE 2.0 e a descrição dos produtos plásticos usados neste estudo. A unidade de cada produto assim como o valor de produção em quantidade e valor monetário também são evidenciadas e foram usadas para padronizar todas as unidades em valores de massa.

Código CNAE 2.0	Classes de Atividades e Descrição dos Produtos	Unidade	Produção	
			Quantidade	Valor (1 000 R\$)
2031-2	Fabricação de resinas termoplásticas		..	34 277 964
2031.2010	Acetato de polivinila	kg	1 314 111	11 637
2031.2020	Copolímeros de acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS)	t	422 108	154 189
2031.2030	Copolímero de etileno / acetato de vinila (EVA)	t	1 184 015	667 198
2031.2040	Permutadores de ions à base de polímeros, em formas primárias	kg	(x)	(x)
2031.2055	Poliacetais em formas primárias	t	8 420	87 229
2031.2060	Poliamida-6 ou poliamida-6,6; poliamida-1; poliamida(x) em formas primárias (em blocos irregulares, pedaços, pós, grumos, líquidos ou pastas)	t	79 981	701 454
2031.2070	Poliâmidas, n.e., em formas primárias	t	14 028	142 859
2031.2080	Policarbonatos	t	17 813	220 589
2031.2090	Policloreto de vinila (PVC)	t	1 260 124	4 602 595
2031.2100	Poliestireno (cristal ou de alto impacto)	t	483 844	2 528 892
2031.2110	Poliestireno expansível	t	117 852	310 970
2031.2120	Polietilenaminas, sem carga, em formas primárias	kg	(x)	(x)
2031.2130	Polietileno de alta densidade (PEAD)	t	1 088 112	4 962 371
2031.2140	Polietileno de baixa densidade (PEBD)	t	828 613	3 156 558
2031.2150	Polietileno linear, em forma primária, com densidade inferior a 0,94	t	1 050 528	4 435 676
2031.2160	Polímeros de acetato de vinila ou de outros ésteres de vinila em formas primárias, n.e.	t	9 216	48 233
2031.2170	Polímeros acrílicos em formas primárias	t	244 632	1 151 124
2031.2185	Polímeros de estireno em formas primárias, n.e.	t	52 450	90 239
2031.2190	Polímeros de etileno em formas primárias, n.e.	t	8 484	65 680

2031.2200	Polímeros de cloreto de vinila ou de outras olefinas halogenadas em formas primárias, n.e.	t	24 993	155 406
2031.2210	Polímeros de propileno em formas primárias, n.e.	t	244 799	255 267
2031.2220	Polímeros naturais; polímeros naturais modificados, n.e., em formas primárias	t	1 418	88 408
2031.2230	Polipropileno (PP)	t	2 505 694	7 845 606
2031.2240	Polioxifenileno com e sem carga, em forma primária	kg	(x)	(x)
2031.2250	Polissulfeto de fenileno, sem carga, em formas primárias	kg	-	-
2031.2260	Politetrafluoretilenos (PTFE) em formas primárias, n.e.	kg	18 476	41 788
2031.2270	Resina de petróleo, de cumarona	t	42 077	165 639
2031.2280	Tereftalato de polibutileno	t	26 084	245 096
2031.2290	Tereftalato de polietileno (PET)	t	541 079	2 092 554
2031.9010	Serviço de produção de resinas termoplásticas ou serviços relacionados	nenhuma	-	38 300
2032-1	Fabricação de resinas termofixas		..	4 978 775
2032.2010	Óleos hidrolisados de dimetildiclorosilano (silicone)	kg	(x)	(x)
2032.2020	Poliésteres, n.e., em formas primárias	t	518 490	331 968
2032.2030	Politerpenos, polissulfetos, polissulfonas e outros produtos semelhantes, n.e.	t	4 477	38 392
2032.2040	Poliuretanos	t	85 335	957 849
2032.2050	Resina fenol-formaldeído	t	243 028	796 974
2032.2060	Resina melamina-formaldeído	t	11 745	29 730
2032.2070	Resina poliéster insaturada	t	118 102	706 814
2032.2080	Resinas alquídicas	t	926 767	135 380
2032.2090	Resinas amínicas	t	84 320	395 888
2032.2100	Resinas epóxicas	t	20 975	167 060
2032.2110	Resinas uréicas e resinas de tiourea, em forma primária	t	572 542	757 989
2032.2120	Silicones em formas primárias, exceto óleos hidrolisados de dimetildiclorosilano	t	75 456	481 062
2032.9010	Serviço de produção de resinas termofixas ou serviços relacionados	nenhuma	-	(x)
2033-9	Fabricação de elastômeros		..	2 356 494
2033.2010	Borracha de estireno-butadieno	t	203 992	1 442 544

2033.2020	Borracha estireno-isopreno-estireno em chapas	kg	(x)	(x)
2033.2030	Borracha etileno-propileno-dieno (EPDM)	kg	(x)	(x)
2033.2040	Borracha sintética e borracha artificial; misturas com borracha natural, em formas primárias ou em chapas, folhas ou tiras (clorobutadieno, butila, halogenada, butadieno (BR))	t	54 496	406 947
2033.2050	Látex de borracha de estireno-butadieno (SBR)	kg	(x)	(x)
2033.9010	Serviço de produção de elastômeros ou serviços relacionados	nenhuma	-	-
2040-1	Fabricação de fibras artificiais e sintéticas		..	3 507 800
2040.2010	Cabos de filamentos artificiais	kg	(x)	(x)
2040.2020	Cabos de filamentos sintéticos	t	3 901	101 119
2040.2045	Desperdícios de fibras sintéticas ou artificiais	kg	3 421 222	6 033
2040.2050	Fibras artificiais descontínuas não cardadas nem penteadas	t	-	-
2040.2060	Fibras sintéticas descontínuas não cardadas nem penteadas	t	102 656	446 507
2040.2070	Fios de alta tenacidade, de poliésteres, de náilon ou de outras poliamidas	t	10 037	125 897
2040.2080	Fios de filamentos artificiais (simples e de alta tenacidade), inclusive monofilamentos artificiais	kg	522 046	11 839
2040.2100	Fios simples de náilon e de outras poliamidas	t	13 690	163 666
2040.2110	Fios simples de poliésteres	t	98 497	888 949
2040.2120	Fios simples de polipropileno	t	9 740	84 611
2040.2135	Fios sintéticos simples de outros tipos	t	32 673	568 470
2040.2140	Fios sintéticos texturizados de outros tipos	t	6 111	32 294
2040.2150	Fios texturizados de náilon e de outras poliamidas	t	21 889	434 541
2040.2160	Fios texturizados de poliésteres	t	44 844	294 458
2040.2170	Fios texturizados de polipropileno	t	550	9 072
2040.2180	Monofilamentos, lâminas e formas semelhantes de matérias têxteis sintéticas	t	68 050	73 274
2040.9010	Serviço de produção de fibras, fios, cabos e filamentos contínuos artificiais ou sintéticos ou serviços relacionados	nenhuma	-	(x)
2211-1	Fabricação de pneumáticos e de câmaras-de-ar		..	17 405 508
2211.2010	Câmaras-de-ar usadas em automóveis, camionetas ou utilitários	mil	(x)	(x)
2211.2020	Câmaras-de-ar usadas em aviões	mil	-	-
2211.2030	Câmaras-de-ar usadas em bicicletas e motocicletas	mil	11 210	50 501

2211.2040	Câmaras-de-ar para máquinas e outros usos, exceto para veículos e para bolas esportivas	mil	(x)	(x)
2211.2050	Câmaras-de-ar usadas em motocicletas	mil	11 434	82 124
2211.2060	Câmaras-de-ar usadas em ônibus e caminhões	mil	3 506	135 558
2211.2070	Perfis de borracha para recauchutagem	t	8 718	44 419
2211.2080	Pneumáticos novos de borracha, usados em automóveis, camionetas ou utilitários	mil	52 601	7 634 579
2211.2090	Pneumáticos novos de borracha, usados em aviões	mil	-	-
2211.2100	Pneumáticos novos de borracha, usados em bicicletas e motocicletas	mil	16 134	131 000
2211.2110	Pneumáticos novos de borracha, usados em máquinas ou outros usos	mil	49 143	1 460 299
2211.2120	Pneumáticos novos de borracha, usados em motocicletas	mil	8 491	443 265
2211.2130	Pneumáticos novos de borracha, usados em ônibus e caminhões	mil	10 100	5 716 457
2211.2140	Protetores, bandas de rodagem amovíveis para pneumáticos (camelbacks) e "flaps" de borracha	t	170 949	1 517 572
2211.9010	Serviço de produção de pneumáticos e de câmaras-de-ar ou serviços relacionados	nenhuma	-	174 171
2212-9	Reforma de pneumáticos usados		..	1 577 761
2212.2010	Pneumáticos recauchutados, recondicionados, remoldados ou recapados	mil	39 599	577 248
2212.9010	Serviço de recauchutagem, recondicionamento, remoldagem ou recapagem de pneumáticos	nenhuma	-	1 000 513
2219	Fabricação de artefatos de borracha não especificados anteriormente		..	8 101 621
2219.2010	Artigos de borracha para higiene ou farmácia (p. ex. Bolsas para gelo ou para água quente)	kg	113 387	7 287
2219.2020	Artigos de borracha vulcanizada para usos n.e.	t	1 117 850	772 761
2219.2030	Artigos diversos de borracha endurecida	t	3 694	20 202
2219.2040	Borracha endurecida (por exemplo ebonite) em barras, perfis, tubos, chapas, massas, blocos ou formas semelhantes	t	37 914	236 372
2219.2050	Borracha misturada, não vulcanizada, em formas primárias ou em chapas, folhas ou tiras	t	255 255	1 723 018
2219.2060	Borracha regenerada, em formas primárias ou em chapas, folhas ou tiras	t	31 083	236 489
2219.2070	Capachos e tapetes de borracha, inclusive para veículos	t	5 933	23 940
2219.2080	Blocos, chapas, folhas e tiras de borracha vulcanizada não endurecida	t	32 131	295 872
2219.2090	Chupetas, bicos para mamadeira e similares, de borracha	mil	27 672	106 058
2219.2100	Correias de transmissão de borracha vulcanizada	t	13 269	262 312
2219.2110	Correias transportadoras de borracha vulcanizada, reforçadas com metal, plástico ou outro material	t	41 199	783 767

2219.2120	Fios (sem revestimentos) e cordas de borracha vulcanizada	t	4 561	36 616
2219.2125	Juntas, gaxetas, coxins e semelhantes de borracha vulcanizada não endurecida (para veículos, máquinas, etc.)	t	1 884 134	804 517
2219.2140	Peças e acessórios de borracha vulcanizada não endurecida para máquinas e aparelhos	t	1 709	10 601
2219.2150	Peças e acessórios de borracha vulcanizada não endurecida, para veículos	t	52 010	673 102
2219.2160	Peças e acessórios de borracha para usos industriais, n.e.	t	94 737	453 815
2219.2170	Preservativos de borracha	mil	117 154	50 894
2219.2185	Resíduos, desperdícios e aparas de borracha não endurecida, mesmo reduzidos a pó ou a grânulos	t	43 230	43 700
2219.2190	Revestimentos de borracha para cilindros	t	393 955	118 608
2219.2200	Revestimentos de borracha para pavimentos	kg	-	-
2219.2205	Tecidos com borracha	t	5 179	46 505
2219.2210	Tubos, canos e mangueiras de borracha vulcanizada não endurecida, reforçados com matérias têxteis, com ou sem acessórios, inclusive mangueiras para veículos	t	369 947	315 372
2219.2220	Tubos, canos e mangueiras de borracha vulcanizada não endurecida, reforçados com outras matérias (exceto têxteis), com ou sem acessórios	t	315 796	266 410
2219.2230	Tubos, canos e mangueiras de borracha vulcanizada não endurecida, não reforçados, com ou sem acessórios, inclusive mangueiras para veículos	t	167 044	367 590
2219.2240	Varetas e perfis de borracha vulcanizada não endurecida	t	90 377	193 512
2219.2250	Varetas, tubos, discos e arruelas de borracha não vulcanizada	t	36 225	144 698
2219.9010	Serviço de produção de artefatos, peças e acessórios de borracha ou serviços relacionados	nenhuma	-	75 075
2219.9020	Serviço de revestimento, à base de borracha, em cilindros e outras peças para máquinas e veículos	nenhuma	-	32 528
2221-8	Fabricação de laminados planos e tubulares de material plástico		..	19 479 371
2221.2010	Chapas, folhas e outras formas planas autoadesivas de plásticos, n.e.	t	592 786	1 171 267
2221.2020	Chapas, folhas, tiras e lâminas de plásticos, alveolares, não reforçadas (material plástico expandido, microporoso, esponjoso, microalveolar, tipo isopor, etc.)	t	515 734	1 294 229
2221.2030	Chapas, folhas, tiras e lâminas de plásticos, alveolares ou não, reforçadas, estratificadas, com ou sem suporte	t	306 601	1 257 713
2221.2040	Chapas, folhas, tiras ou fitas de plásticos, não alveolares, não reforçadas nem estratificadas, sem suporte	t	1 179 706	3 095 257
2221.2050	Espumas de poliuretano	t	783 776	1 294 971
2221.2060	Filmes (películas) de material plástico (exceto BOPP) para embalagem, mesmo impressos, metalizados ou trabalhados por outro processo, inclusive em bobinas ou rolos	t	1 490 089	7 075 285

2221.2070	Filmes de polipropileno biorientado (BOPP), mesmo impressos, metalizados ou trabalhados por outro processo, inclusive em bobinas ou rolos	t	616 333	2 648 230
2221.2080	Películas autoadesivas de plásticos, mesmo em rolos	t	317 039	413 668
2221.2090	Tiras ou fitas autoadesivas de plásticos, mesmo em rolos (fita isolante)	t	181 015	425 015
2221.2100	Tripas artificiais de proteína endurecida ou de plásticos celulósicos	t	23 187	690 807
2221.9010	Serviços de pigmentação, tingimento e outros beneficiamentos em laminados plásticos	nenhuma	-	(x)
2221.9020	Serviço de produção de laminados planos e tubulares de plástico ou serviços relacionados	nenhuma	-	(x)
2222-6	Fabricação de embalagens de material plástico		..	27 139 131
2222.2010	Artigos de plástico para embalagem, n.e.	t	3 151 557	4 831 620
2222.2020	Artigos de plástico para transporte, reforçados ou não, n.e.	t	696 997	198 839
2222.2030	Barris ou tambores de plástico, reforçados ou não	mil	77 127	395 745
2222.2040	Caixas, caixotes engradados e artigos semelhantes de plástico, para embalagens	t	347 438	801 336
2222.2050	Carretéis, fusos e suportes semelhantes de plástico	t	64 431	139 746
2222.2060	Cartuchos de plástico para embalagens	t	327 752	664 371
2222.2070	Copos, bisnagas ou embalagens semelhantes de plástico, impressas, para produtos alimentícios ou bebidas	t	842 789	1 497 082
2222.2080	Embalagens de plástico impressas para produtos farmacêuticos	t	1 565	21 371
2222.2090	Embalagens de plástico impressas para produtos de perfumaria, higiene e limpeza	t	105 879	119 858
2222.2100	Copos, bisnagas ou embalagens semelhantes de plástico, não impressas, para produtos alimentícios ou bebidas	t	431 399	603 887
2222.2110	Embalagens de plástico não impressas para produtos farmacêuticos	t	5 870	64 306
2222.2120	Embalagens de plástico não impressas para produtos de perfumaria, higiene e limpeza	t	97 217	107 378
2222.2130	Pré-formas (esboços) de garrafas plásticas, inclusive de garrafas PET	t	1 932 244	3 148 996
2222.2140	Garrafas, garrafões e artigos semelhantes de plástico	mil	14 219 039	4 911 585
2222.2150	Rolhas, tampas, cápsulas e outros dispositivos de plástico para fechar recipientes	t	4 747 863	3 055 995
2222.2160	Sacos de plástico para lixo	t	485 866	454 044
2222.2170	Sacos, sacolas ou bolsas de plástico de qualquer dimensão, não impressos, para embalagem ou transporte, inclusive em bobinas	t	366 564	1 939 280
2222.2180	Sacos, sacolas e bolsas de plástico de qualquer dimensão, impressos, para embalagem ou transporte, inclusive em bobinas	t	1 747 679	3 122 174
2222.9010	Serviço de produção de embalagens de material plástico impressas e serviços relacionados	nenhuma	-	239 676
2222.9020	Serviço de produção de embalagens de material plástico não impressas e serviços relacionados	nenhuma	-	821 841

2223	Fabricação de tubos e acessórios de material plástico para uso na construção		..	5 295 929
2223.2010	Conexões, juntas, cotovelos, flanges e outros acessórios de plásticos para tubos, reforçados ou não	t	1 431 506	1 336 269
2223.2020	Tubos ou canos de plásticos, não reforçados, com ou sem acessórios, para construção civil	t	614 751	2 731 706
2223.2030	Tubos ou canos de plásticos, reforçados, com ou sem acessórios, para construção civil	t	192 870	606 640
2223.2040	Tubos ou canos flexíveis de plásticos (eletrodutos), para construção civil	t	61 607	590 922
2223.9010	Serviço de produção de tubos e acessórios de material plástico ou serviços relacionados	nenhuma	-	30 392
2229-3	Fabricação de artefatos de material plástico não especificados anteriormente		..	19 654 168
2229.2010	Artigos de plástico para escritório	t	39 623	149 320
2229.2020	Artigos de plástico para higiene e toucador, n.e.	t	161 331	609 295
2229.2030	Artigos de plástico para uso doméstico	t	891 438	3 179 221
2229.2040	Artigos de plástico para uso em medicina, em laboratório ou artigos de farmácia	t	65 915	350 577
2229.2050	Artigos de plástico para uso escolar	t	7 693	35 597
2229.2060	Artigos de plástico, n.e.	t	972 409	2 174 870
2229.2070	Artigos descartáveis de plástico (copos, pratos, talheres e semelhantes)	t	232 994	1 831 742
2229.2080	Artigos diversos de plástico para uso sanitário ou higiênico, n.e.	t	21 685	263 407
2229.2090	Assentos e tampas de sanitário, de plástico	mil	15 163	235 071
2229.2100	Banheiras, chuveiros, pias e lavatórios de plástico	kg	6 198 941	337 599
2229.2110	Banheiras de plástico para bebês	mil	2 475	33 515
2229.2120	Caixas de descarga de plástico, inclusive com mecanismo	t	3 549	29 621
2229.2130	Cantoneiras e similares de plástico	t	4 472 973	279 857
2229.2140	Canudos (canudinhos) de plástico para líquidos	t	3 562	24 748
2229.2150	Construções pré-fabricadas de plástico, reforçado ou não	t	2 273	37 682
2229.2160	Correias de transmissão, transportadoras ou para elevadores, de plástico	t	2 665	92 933
2229.2170	Desperdícios, resíduos e aparas de material plástico	t	143 837	218 321
2229.2180	Elementos estruturais de plástico, reforçado ou não, utilizados em pisos, paredes, telhados, etc.	t	71 057	214 163
2229.2185	Equipamentos para uso em ostomia (bolsas para uso em colostomia, etc.)	kg	(x)	(x)
2229.2187	Linóleos, inclusive passadeiras	m2	-	-

2229.2190	Mangueiras de plásticos, reforçadas ou não, com ou sem acessórios, exceto mangueiras flexíveis	t	62 222	443 274
2229.2200	Mangueiras flexíveis de plásticos	kg	23 976 154	132 833
2229.2210	Monofilamentos (monofios), varas, bastões e perfis de matérias plásticas, não reforçados com fibras	kg	80 264 564	883 197
2229.2220	Monofilamentos (monofios), varas, bastões e perfis de plásticos, reforçados com fibras	t	73 460	182 528
2229.2230	Peças e acessórios de plástico para aparelhos de iluminação	kg	480 983	7 123
2229.2240	Peças e acessórios de plástico, reforçados ou não, para a indústria eletroeletrônica	t	139 153	402 602
2229.2250	Peças e acessórios de plástico, reforçados ou não, para a indústria mecânica	t	77 387	204 528
2229.2260	Peças e acessórios de plástico, reforçados ou não, para aeronaves	t	1 930	18 808
2229.2270	Peças, componentes ou acessórios de plástico, reforçados ou não, para usos n.e.	t	280 860	720 103
2229.2280	Peças e acessórios de plástico, reforçados ou não, para veículos automotores, motocicletas, bicicletas e similares	t	599 640	2 322 930
2229.2290	Peças e acessórios de plástico, reforçados ou não, para veículos ferroviários e semelhantes	t	(x)	(x)
2229.2305	Peças e acessórios de plástico, reforçados ou não, para uso na construção civil, n.e.	t	730 415	680 017
2229.2310	Peças e tubos isolantes de plástico para máquinas, aparelhos e instalações elétricas	t	41 193	72 080
2229.2315	Persianas construídas em plástico e revestidas por qualquer tipo de material	m2	1 849 420	71 772
2229.2320	Portas, janelas, alizares, soleiras e semelhantes, de plástico	t	70 969	290 880
2229.2330	Reservatórios, caixas-d'água (caixas de água), cisternas, piscinas e artefatos semelhantes, de plástico reforçados ou não	kg	111 477 940	1 229 840
2229.2340	Revestimentos de plásticos para pavimentos, paredes ou tetos, em rolos ou em forma de ladrilhos ou mosaicos, mesmo autoadesivos	t	371 057	223 229
2229.2350	Tubos e tubetes flexíveis de plásticos, exceto para construção civil	kg	119 738 629	990 953
2229.9010	Serviços de pigmentação, tingimento e outros beneficiamentos em artefatos de material plástico	nenhuma	-	64 888
2229.9020	Serviço de produção de peças e acessórios e artefatos diversos de material plástico ou serviços relacionados	nenhuma	-	602 531

Anexo 02. Classes de estabelecimentos da RAIS, de acordo com o número de empregados ativos.

Classe de Tamanho dos Estabelecimentos	Empregados ativos em 31/12
1	Zero
2	Até 4
3	De 5 a 9
4	De 10 a 19
5	De 20 a 49
6	De 50 a 99
7	De 100 a 249
8	De 250 a 499

9	De 500 a 999
10	1000 ou mais
-1	Ignorado

Anexo 03. Classes e descrições de cada atividade econômica utilizadas para determinar a quantidade de plásticos produzidos no Brasil. As classes em cinza representam os Produtos de 2ª Geração enquanto as classes em branco representam os Produtos de 3ª Geração (IBGE, 2007). A última coluna mostra a correspondência entre as listas CNAE2.0 e ISIC4.0 utilizadas para importação e exportação de dados.

CNAE 2.0	DESCRIÇÃO	ISIC 4.0
Fabricação de Resinas Termoplásticas	Fabricação de Polietileno, Polipropileno, Acetato de Etileno-Vinila (EVA), Cloreto de Polivinila (PVC), Poliamidas, Poliestireno, Resinas Celulósicas, Resinas Vinílicas, Resinas de Petróleo, etc.	<i>Manufacture of Plastics and Synthetic Rubber in Primary Forms</i>
Fabricação de resinas termofixas	Fabricação de resinas alquídicas, cresílicas, fenólicas, poliuretânicas, ftálicas, epóxi e silicone em forma primária.	
Fabricação de Elastômeros	Fabricação de borrachas sintéticas, como Acrílico, Colorado, Silicone, Nitrila. Misturas de borracha sintética e natural ou gomas semelhantes à borracha. Fabricação de borracha de estireno-butadieno e látex, borracha não vulcanizada, neoprene, etc.	
Fabricação de Fibras Artificiais e Sintéticas	Fabricação de fios, cabos e filamentos artificiais. Filamentos ou fibras descontínuas de acetato, rayon, viscose, acrílico, poliéster, poliamida (Nylon), polietileno, polipropileno, poliuretano, etc.	<i>Manufacture of Artificial Fibers</i>
Fabricação de Pneus e Câmaras de Ar	Fabricação de pneus e câmaras de ar novos para todos os tipos de veículos e máquinas e também peças de pneus como colagem de borracha, camelbacks, etc.	<i>Manufacture of Rubber Tires and inner tubes; retreading and renovation of rubber tires</i>
Fabricação de produtos de borracha não especificados anteriormente	Fabricação de laminados, fios, espuma e artigos de espuma de borracha. Materiais de borracha para reparar câmaras de ar e outros artigos. Colchões insufláveis de borracha. Artefatos para as indústrias eletroeletrônica, transporte, mecânica, etc. Produtos de borracha para uso doméstico, pessoal, higiênico e farmacêutico. Também artigos de borracha natural, sintética, vulcanizada ou não vulcanizada e borracha dura.	<i>Manufacture of other Rubber Products</i>
Fabricação de laminados planos e tubulares de plástico	Fabricação de laminados planos e tubulares de material plástico (ou seja, folhas, filmes, tecidos, placas, etc.). Cordas de plástico, cordas e espumas de material plástico expandido e também de polipropileno biaxialmente orientado (BOPP).	<i>Manufacture of Plastic Products</i>
Fabricação de embalagens plásticas	Fabricação de embalagens plásticas (ou seja, caixas, sacos, garrafas, frascos, etc.).	

Fabricação de tubos e conexões de plástico para construção.	Fabricação de manilhas, tubos e conexões de material plástico para construção civil.	
Fabricação de produtos de plástico não especificados anteriormente	Fabricação de artigos e utensílios de material plástico para uso doméstico e pessoal e fabricação de vários artefatos de material plástico	

Anexo 04. Os setores de consumo de produtos plásticos divididos em domínios de atividades e suas respectivas durações de ciclo de vida. A classe *Fabricação de produtos de borracha e de material plástico* é destacada por indicar a quantidade de plástico utilizado na produção de outros produtos plásticos.

Setor de Consumo	Domínios de Atividades	Duração de Ciclo de Vida
Agricultura, inclusive o apoio à agricultura e a pós-colheita	Atividades Agropecuárias	Médio (ABIPLAST, 2018)
Pecuária, inclusive o apoio à pecuária		
Produção florestal; pesca e aquicultura		
Extração de carvão mineral e de minerais não-metálicos	Atividades Extrativistas	Médio
Extração de petróleo e gás, inclusive as atividades de apoio		
Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração		
Extração de minerais metálicos não-ferrosos, inclusive beneficiamentos		
Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca	Atividades Alimentares	Curto (ABIPLAST, 2018)
Fabricação e refino de açúcar		

Outros produtos alimentares		
Fabricação de bebidas		
Fabricação de produtos do fumo	Atividades de Fumo	Curto
Fabricação de produtos têxteis	Atividades Têxteis e de Vestimentas	Médio (ABIPLAST, 2018)
Confeção de artefatos do vestuário e acessórios		
Fabricação de calçados e de artefatos de couro		
Fabricação de produtos da madeira	Atividades de Marcenaria e Mobília	Longo (ABIPLAST, 2018)
Fabricação de móveis e de produtos de indústrias diversas		
Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	Atividades de Papelarias e Impressões	Médio (ABIPLAST, 2018)
Impressão e reprodução de gravações		
Refino de petróleo e coquerias	Atividades de Refino e Combustíveis	Médio
Fabricação de biocombustíveis		
Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros	Atividades Químicas	Curto (ABIPLAST, 2018)
Fabricação de defensivos, desinfestantes, tintas e químicos diversos		
Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal	Atividades de Higiene	Curto (ABIPLAST, 2018)
Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	Atividades Farmacêuticas	Curto (ABIPLAST, 2018)
Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	AUTOCONSUMO	

Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	Atividades de Siderurgia	Longo (ABIPLAST, 2018)
Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura		
Metalurgia de metais não-ferrosos e a fundição de metais		
Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos		
Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos	Atividades Eletrônicas	Longo (ABIPLAST, 2018)
Fabricação de máquinas e equipamentos elétricos	Atividades Maquinárias	Longo (ABIPLAST, 2018)
Fabricação de máquinas e equipamentos mecânicos		
Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos		
Fabricação de automóveis, caminhões e ônibus, exceto peças	Atividades de Transportes	Longo (ABIPLAST, 2018)
Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores		
Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores		
Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas		
Transporte terrestre		
Transporte aquaviário		

Transporte aéreo		
Armazenamento, atividades auxiliares dos transportes e correio		
Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	Atividades de Água e Energia	Médio
Água, esgoto e gestão de resíduos		
Construção	Atividades de Construção	Longo (ABIPLAST, 2018)
Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores	Atividades de Comércio	Médio (ABIPLAST, 2018)
Desenvolvimento de sistemas e outros serviços de informação	Atividades Administrativas	Médio
Intermediação financeira, seguros e previdência complementar		
Atividades imobiliárias		
Atividades jurídicas, contábeis, consultoria e sedes de empresas		
Serviços de arquitetura, engenharia, testes/análises técnicas e P & D		
Outras atividades profissionais, científicas e técnicas		
Aluguéis não-imobiliários e gestão de ativos de propriedade intelectual		
Outras atividades administrativas e serviços complementares		
Atividades de vigilância, segurança e investigação		

Administração pública, defesa e seguridade social		
Educação pública	Atividades de Educação e Saúde	Curto
Educação privada		
Saúde pública		
Saúde privada		

Anexo 05. Municípios das Regiões Hidrográficas da Lagoa dos Patos usados nesse estudo.

Código do Município	Nome do Município
4314076	PASSO DO SOBRADO
4305124	CERRITO
4302659	BROCHIER
4323457	VILA NOVA DO SUL
4302238	BOA VISTA DO INCRA
4304606	CANOAS
4306700	DONA FRANCISCA
4321451	TEUTANIA
4311007	JAGUARÃO
4318440	SÃO JORGE
4311627	LINDOLFO COLLOR
4317251	SANTA TEREZA
4308300	FONTOURA XAVIER
4305306	CHAPADA
4314035	PARECI NOVO
4319000	SÃO MARCOS
4323200	VICTOR GRAEFF
4319356	SÃO PEDRO DA SERRA
4322350	UNIÃO DA SERRA
4305603	COLORADO
4313953	PANTANO GRANDE
4311254	LAGOÃO
4312807	NOVA ARAÁ
4308433	FORQUETINHA
4318408	SÃO JERÂNIMO
4304689	CAPELA DE SANTANA
4310579	ITAPUCA
4323770	WESTFÁLIA
4311775	MAQUINÁ
4301909	BARRA DO RIBEIRO
4312138	MATO CASTELHANO
4318614	SÃO JOSÉ DO SUL
4314423	PICADA CAFÁ

4314605	PIRATINI
4320552	SERTÃO SANTANA
4320701	SOBRADINHO
4310439	IPÃS
4308854	GENTIL
4314100	PASSO FUNDO
4304804	CARLOS BARBOSA
4313359	NOVA ROMA DO SUL
4317301	SANTA VITORIA DO PALMAR
4304630	CAPÃO DA CANOA
4312617	MUITOS CAPÃES
4311643	LINHA NOVA
4320800	SOLEDADE
4317608	SANTO ANTONIO DA PATRULHA
4301107	ARROIO DOS RATOS
4309258	GUABIJU
4307807	ESTRELA
4301404	ARVOREZINHA
4310538	ITAARA
4314159	PAVERAMA
4300001	LAGOA MIRIM
4300109	AGUDO
4307104	HERVAL
4321352	TAVARES
4313003	NOVA BRESCIA
4313391	NOVO CABRAIS
4314902	PORTO ALEGRE
4322558	VANINI
4301073	ARROIO DO PADRE
4317004	SANTANA DA BOA VISTA
4302402	BOM RETIRO DO SUL
4309308	GUAÍBA
4321709	TRÊS COROAS
4306551	DOM PEDRO DE ALÃNTARA
4318622	SÃO JOSÉ DOS AUSENTES
4305173	CERRO GRANDE DO SUL
4308201	FLORES DA CUNHA
4301750	BARÃO DO TRIUNFO
4320263	SEGREDO
4300638	AMARAL FERRADOR
4319604	SÃO SEPÁ
4311239	LAGOA BONITA DO SUL
4308607	GARIBALDI
4300851	ARAMBARÉ
4302006	BARROS CASSAL
4304952	CASEIROS
4316709	SANTA BÁRBARA DO SUL
4304697	CAPITAO

4305439	CHUI
4312625	MULITERNO
4312476	MORRO REUTER
4306205	CRUZEIRO DO SUL
4302105	BENTO GONÇALVES
4315131	POUSO NOVO
4322855	VESPASIANO CORREIA
4322509	VACARIA
4313656	PALMARES DO SUL
4311809	MARAU
4302352	BOM PRINCÍPIO
4320404	SERAFINA CORREIA
4320453	SÁRIO
4300554	ALTO ALEGRE
4309159	GRAMADO XAVIER
4319752	SÃO VENDELINO
4320305	SELBACH
4309407	GUAPORÁ
4321303	TAQUARI
4310009	IBIRUBÁ
4312674	NICOLAU VERGUEIRO
4314068	PASSA SETE
4312054	MARQUES DE SOUZA
4318051	SÃO DOMINGOS DO SUL
4322004	TRIUNFO
4301636	BALNEÁRIO PINHAL
4302303	BOM JESUS
4314472	PINHAL GRANDE
4322202	TUPANCIRETÁ
4313060	NOVA HARTZ
4321105	TAPES
4310751	IVORÁ
4303103	CACHOEIRINHA
4312427	MORMAO
4309100	GRAMADO
4312401	MONTENEGRO
4305454	CIDREIRA
4309753	IBARAMA
4314027	PARAÍSO DO SUL
4321501	TORRES
4310363	IMIGRANTE
4316501	SALVADOR DO SUL
4314506	PINHEIRO MACHADO
4310306	ILÁPOLIS
4316451	SALTO DO JACUÁ
4304713	CARAÁ
4316956	SANTA MARIA DO HERVAL
4311122	JAQUIRANA

4315503	RESTINGA SECA
4306056	CRISTAL
4306106	CRUZ ALTA
4311270	LAGOA DOS TRÊS CANTOS
4307906	FARROUPILHA
4318804	SÃO LOURENÇO DO SUL
4321600	TRAMANDAÉ
4313086	NOVA PÁDUA
4315354	QUINZE DE NOVEMBRO
4301651	BARÉ
4318481	SÃO JOSÉ DO HORTÊNCIO
4323002	VIAMÃO
4311304	LAGOA VERMELHA
4322152	TUNAS
4321832	TRÊS FORQUILHAS
4321436	TERRA DE AREIA
4315750	RIOZINHO
4311981	MARIANA PIMENTEL
4314050	PAROBÉ
4312385	MONTE BELO DO SUL
4320354	SENTINELA DO SUL
4314175	PEDRAS ALTAS
4300002	LAGOA DOS PATOS
4322525	VALE VERDE
4304101	CAMPOS BORGES
4317756	SANTO ANTÔNIO DO PLANALTO
4312757	NOVA ALVORADA
4301602	BAGÉ
4306403	DOIS IRMÃOS
4305355	CHARQUEADAS
4301305	ARROIO GRANDE
4306809	ENCANTADO
4313508	OSÁRIO
4306379	DILERMANDO DE AGUIAR
4300570	ALTO FELIZ
4313409	NOVO HAMBURGO
4312377	MONTE ALEGRE DOS CAMPOS
4306452	DOIS LAJEADOS
4322608	VENÂNCIO AIRES
4308458	FORTALEZA DOS VALOS
4305587	COLINAS
4307708	ESTEIO
4308003	FAXINAL DO SOTURNO
4311403	LAJEADO
4305108	CAXIAS DO SUL
4303004	CACHOEIRA DO SUL
4303509	CAMAQUÁ
4322327	TURUÁU

4304663	CAPÃO DO LEÃO
4304408	CANELA
4305959	COTIPORÁ
4318705	SÃO LEOPOLDO
4300877	ARARICÁ
4306767	ELDORADO DO SUL
4318432	SÃO JOÃO DO POLÉSINE
4312906	NOVA BASSANO
4310876	JACUIZINHO
4320677	SINIMBU
4318309	SÃO GABRIEL
4307054	ERNESTINA
4307815	ESTRELA VELHA
4304507	CANGUÂU
4301008	ARROIO DO MEIO
4319711	SÃO VALENTIM DO SUL
4300703	ANTA GORDA
4304358	CANDIOTA
4321469	TIO HUGO
4323309	VILA FLORES
4300034	ACEGUÁ
4309571	HERVEIRAS
4310108	IGREJINHA
4306759	DOUTOR RICARDO
4315800	ROCA SALES
4316006	ROLANTE
4314407	PELOTAS
4305835	COQUEIRO BAIXO
4316907	SANTA MARIA
4308078	FAZENDA VILANOVA
4306908	ENCRUZILHADA DO SUL
4304614	CANUDOS DO VALE
4303905	CAMPO BOM
4322251	TUPANDI
4302253	BOA VISTA DO SUL
4322806	VERANÁPOLIS
4319901	SAPIRANGA
4303558	CAMARGO
4312443	MORRINHOS DO SUL
4309209	GRAVATAÍ
4313201	NOVA PETRÓPOLIS
4312658	NÃO-ME-TOQUE
4304622	CAPÃO BONITO DO SUL
4309951	IBIRAPUITÁ
4315206	PUTINGA
4309654	HULHA NEGRA
4321626	TRAVESSEIRO
4304705	CARAZINHO

4317558	SANTO ANTÔNIO DO PALMA
4323408	VILA MARIA
4315172	PROTÁSIO ALVES
4314803	PORTÃO
4302451	BOQUEIRÃO DO LEÃO
4323804	XANGRI-LÁ
4312450	MORRO REDONDO
4306304	DAVID CANABARRO
4318200	SÃO FRANCISCO DE PAULA
4305934	CORONEL PILAR
4320651	SILVEIRA MARTINS
4322533	VALE DO SOL
4314001	PARAÃ
4315701	RIO PARDO
4305504	CIRÁACO
4301206	ARROIO DO TIGRE
4300604	ALVORADA
4315149	PRÉSIDENTE LUCENA
4306601	DOM PEDRITO
4315156	PROGRESSO
4314209	PEDRO OSÁRIO
4309555	HARMONIA
4316972	SANTA MARGARIDA DO SUL
4306502	DOM FELICIANO
4310652	ITATI
4312609	MUÁUM
4310801	IVOTI
4308409	FORMIGUEIRO
4315602	RIO GRANDE
4300661	ANDRÉ DA ROCHA
4313300	NOVA PRATA
4312351	MONTAURI
4310330	IMBÉ
4322707	VERA CRUZ
4309902	IBIRAIARAS
4309050	GLORINHA
4318507	SÃO JOSÉ DO NORTE
4304903	CASCA
4321204	TAQUARA
4300802	ANTÔNIO PRADO
4307500	ESPUMOSO
4314548	PINTO BANDEIRA
4311205	JÚLIO DE CASTILHOS
4303608	CAMBARÁ DO SUL
4311791	MARATÃ
4321006	TAPERA
4313102	NOVA PALMA
4321667	TRÊS CACHOEIRAS

4307864	FAGUNDES VARELA
4312252	MINAS DO LEÃO
4311502	LAVRAS DO SUL
4316436	SALDANHA MARINHO
4320008	SAPUCAIA DO SUL
4316758	SANTA CLARA DO SUL
4305447	CHUVISCA
4322541	VALE REAL
4304200	CANDELÁRIA
4304671	CAPIVARI DO SUL
4312153	MATO LEITÃO
4308805	GENERAL CÂMARA
4318465	SÃO JOSÉ DO HERVAL
4311734	MAMPITUBA
4303673	CAMPESTRE DA SERRA
4320859	TABAAÍ
4301057	ARROIO DO SAL
4314753	POÃO DAS ANTAS
4312500	MOSTARDAS
4323606	VISTA ALEGRE DO PRATA
4313375	NOVA SANTA RITA
4302808	CARAPAVA DO SUL
4302709	BUTIÁ
4319505	SÃO SEBASTIÃO DO CAÉ
4307609	ESTÂNCIA VELHA
4315453	RELVADO
4305132	CERRO BRANCO
4308102	FELIZ
4316808	SANTA CRUZ DO SUL

Anexo 06. Lista de municípios atendidos pelo SNIS no Rio Grande do Sul.

Municípios (SNIS)					
Araricá	Arroio do Sal	Arroio do Padre	Balneário Pinhal	Bento Gonçalves	Cachoeirinha
Campo Bom	Canoas	Capão do Leão	Caraá	Carlos Barbosa	Caxias do Sul
Charqueadas	Dois Irmãos	Estância Velha	Esteio	Farroupilha	Flores da Cunha
Garibaldi	Glorinha	Gravataí	Guaíba	Maquiné	Monte Belo do Sul
Montenegro	Nova Hartz	Nova Santa Rita	Novo Hamburgo	Osório	Parobé
Pelotas	Portão	Porto Alegre	Rio Grande	Santo Antônio da Patrulha	São Leopoldo
São Marcos	Sapucaia do Sul	Torres	Tramandaí	Três Cachoeiras	Triunfo
Xangri-lá	Alvorada	Arroio dos Ratos	Capão da Canoa	Capela de Santana	Ivoti
Mampituba	Morrinhos do Sul	Palmares do Sul	São Jerônimo	São José do Norte	Sapiranga
Terra de Areia	Três Forquilhas	Viamão	Imbé	Nova Pádua	Santa Tereza
Taquara	Capivari do Sul	Cidreira	Dom Pedro de Alcântara	Itati	

Attachments

Attachment A. Classes and descriptions of each economic activity used to determine the number of plastics produced by Brazil. Classes in grey represent the 2nd Generation Products while classes in white represent 3rd Generation Products (IBGE, 2007). The last column shows the correspondence between CNAE2.0 and ISIC4.0 list used for imports and export data.

CNAE 2.0	DESCRIPTION	ISIC 4.0
Manufacture of Thermoplastic Resins	Manufacture of Polyethylene, Polypropylene, Ethylene-Vinyl Acetate (EVA), Polyvinyl Chloride (PVC), Polyamides, Polystyrene, Cellulosic resins, Vinyl resins, Petroleum resins, etc.	<i>Manufacture of Plastics and Synthetic Rubber in Primary Forms</i>
Manufacture of Thermosetting Resins	Manufacture of Alkyd, Cresylic, Phenolic, Polyurethane, Phthalic, and Epoxy resins and silicone in primary form.	
Manufacture of Elastomers	Manufacture of synthetic rubbers, such as Acrylic, Chlorinated, Silicone, Nitrile. Blends of synthetic and natural rubber or gums similar to rubber. Manufacture of Styrene-Butadiene rubber and latex, Non-Vulcanized rubber, Neoprene, etc.	
Manufacture of Artificial and Synthetic Fibers	Manufacture of artificial threads, cables, and filaments. Filament or Staple fibers of Acetate, Rayon, Viscose, Acrylic, Polyester, Polyamide (Nylon), Polyethylene, Polypropylene, Polyurethane, etc.	<i>Manufacture of Artificial Fibers</i>
Manufacture of Tires and Inner Tubes	Manufacture of new tires and inner tubes for all types of vehicles and machines and also tire parts such as rubber bonding, camelbacks, etc.	<i>Manufacture of Rubber Tires and inner tubes; retreading and renovation of rubber tires</i>
Manufacture of rubber products not otherwise specified	Manufacture of rubber laminates, threads, foam, and rubber foam articles. Rubber materials for repairing inner tubes and other articles. Inflatable rubber mattresses. Artifacts for the electrical and electronic industries, transport, mechanics, etc. Rubber products for household, personal, hygienic, and pharmaceutical use. Also articles from natural, synthetic, vulcanized, or non-vulcanized rubber and hard rubber.	<i>Manufacture of other Rubber Products</i>
Manufacture of flat and tubular laminates of plastic	Manufacture of flat and tubular laminates of plastic material (i.e. sheet, films, fabrics, plates, etc). Plastic ropes, strings, and foams from expanded plastic material and also Biaxially Oriented Polypropylene (BOPP).	<i>Manufacture of Plastic Products</i>
Manufacture of plastic packaging	Manufacture of plastic packaging (i.e. boxes, bags, bottles, flasks, etc).	
Manufacture of	Manufacture of shackles, tubes, and connections of	

plastic pipes and fittings for use in construction	plastic material used in civil construction.	
Manufacture of plastic products not otherwise specified	Manufacture articles and utensils made of plastic material for domestic and personal use and the fabrication of various plastic material artifacts	

Attachment B. RAIS size classes of establishments by the number of actively working employees.

Establishment Size Class	Active Working Employees on Dec, 31
1	0
2	1 – 4
3	5 – 9
4	10 – 19
5	20 – 49
6	50 – 99
7	100 – 249
8	250 – 499
9	500 – 999
10	1000 +

Attachment C. Consumer sectors of plastic products are divided into domains and their respective life cycle duration. The class '*manufacture of rubber and plastic products*' is highlighted because it indicates the amounts of plastics used to produce other plastic products.

Consumer Sectors	Domains of Activities	Life Cycle Duration
Agriculture, including support for agriculture and post-harvest	Agricultural Activities	Average useful life (Between 1 and 5 years)
Livestock, including support for livestock		
Forest production; fisheries and aquaculture		
Extraction of mineral coal and non-metallic minerals	Extractive Activities	Average useful life (Between 1 and 5 years)
Oil and gas extraction, including support activities		
Iron ore extraction, including beneficiation and agglomeration		
Extraction of non-ferrous metal minerals, including processing		
Meat products, including dairy and fishery products	Food Activities	Short useful life (Up to 1 year)
Sugar manufacture and refining		

Other food products		
Beverage Manufacturing		
Feeding Services		
Manufacture of tobacco products	Tobacco Products	Short useful life (Up to 1 year)
Manufacture of textile products	Textiles and Clothing	Average useful life (Between 1 and 5 years)
Manufacture of clothing artifacts and accessories		
Manufacture of footwear and leather goods		
Manufacture of furniture and products from different industries	Wood and Furniture	Long useful life (Over 5 years)
Manufacture of wood products	Paper, pulp, and printing	Average useful life (Between 1 and 5 years)
Manufacture of cellulose, paper, and paper products		
Printing and reproduction recordings		
Oil refining and coking plants	Oil and Biofuels	Average useful life (Between 1 and 5 years)
Manufacture of biofuels		
Manufacture of organic and inorganic chemicals, resins, and elastomers	Chemicals	Short useful life (Up to 1 year)
Manufacture of pesticides, disinfectants, paints, and various chemicals		
Manufacture of cleaning products, cosmetics/perfumery, and personal hygiene	Toiletry, Hygiene and Cleaning products	Short useful life (Up to 1 year)
Manufacture of pharmaceutical chemicals and pharmaceutical products	Pharmaceutical Products	Short useful life (Up to 1 year)
Manufacture of non-metallic mineral products	Metal and Non-Metallic mineral products	Long useful life (Over 5 years)
Production of pig iron/ferroalloys, steel, and seamless steel tubes		
Non-ferrous metal metallurgy and metal casting		
Manufacture of metal products, except machinery and equipment		
Manufacture of computer equipment, electronic and optical products	Electronics	Long useful life (Over 5 years)
Manufacture of electrical machinery and equipment	Machinery	Long useful life (Over 5 years)
Manufacture of machinery and mechanical equipment		
Maintenance, repair, and installation of machinery and		

equipment		
Manufacture of cars, trucks, and buses, except parts	Transportation Activities	Long useful life (Over 5 years)
Manufacture of parts and accessories for motor vehicles		
Manufacture of other transport equipment, except motor vehicles		
Trade and repair of motor vehicles and motorcycles		
Ground transportation		
Water transportation		
Air Transport		
Storage, auxiliary transport and mail activities		
Electricity, natural gas, and other utilities	Water and Electrical Services	Average useful life (Between 1 and 5 years)
Water, sewage and waste management		
Construction	Civil Construction	Long useful life (Over 5 years)
Wholesale and retail trade, except motor vehicles	Wholesale and retail goods	Average useful life (Between 1 and 5 years)
Accommodation		Average useful life (Between 1 and 5 years)
Manufacture of rubber and plastic products		
Development of systems and other information services	Administrative related services	Average useful life (Between 1 and 5 years)
Financial intermediation, insurance, and private pension		
Real estate activities		
Legal, accounting, consulting and corporate headquarters activities		
Architectural, engineering, technical testing/analysis, and R & D services		
Non-real estate rentals and management of intellectual property assets		
Other administrative activities and complementary services		
Public administration, defense, and social security		
Membership organizations and other personal services		
Public education		
Public health		
Private health		

Supplementary Materials

Tables showing the steps of the calculations.

Plastic Loss in Patos Lagoon Basin									
<i>Formulation: (Life Cycle Plastics - Recycled) * (Waste Not Collected + Disposed in Controlled Landfill and Waste) + Pellets</i>									
Year	Pellets (0.1%)	Short Life Cycle	Amount Recycled (SINIS)	Not Collected	Sanitary Landfill	Controlled Landfill	Dumps	Plastic Loss	Accumulated
2010	0.73K	317.64K	25.25K	8.27%	63.75%	16.15%	11.83%	106.70K	106.70K
2011	0.77K	386.28K	27.68K	7.21%	64.96%	16.15%	11.69%	126.43K	233.14K
2012	0.74K	341.42K	17.48K	7.17%	64.98%	16.24%	11.60%	114.19K	347.33K
2013	0.85K	479.61K	22.81K	6.27%	65.80%	16.50%	11.44%	157.08K	504.41K
2014	0.88K	580.93K	21.51K	6.02%	66.16%	16.54%	11.28%	190.16K	694.57K
2015	0.71K	359.97K	27.61K	5.88%	66.45%	16.56%	11.11%	112.22K	806.80K
2016	0.73K	458.52K	22.34K	5.15%	66.71%	16.77%	11.34%	145.79K	952.59K
2017	0.80K	631.07K	27.45K	4.91%	66.50%	16.63%	11.99%	203.17K	1.16M
Mean	0.78K	444.43K	24.02K	6.36%	65.66%	16.44%	11.53%	144.47K	
SD	0.06K	114.71K	3.64K	1.13%	1.02%	0.23%	0.30%	36.65K	

Year	Pellets (1%)	Short and Average Life Cycle	Amount Recycled (SINIS)	Not Collected	Sanitary Landfill	Controlled Landfill	Dumps	Plastic Loss	Accumulated
2010	7.27K	570.56K	25.25K	8.27%	63.75%	16.15%	11.83%	204.92K	204.92K
2011	7.69K	683.51K	27.68K	7.21%	64.96%	16.15%	11.69%	237.52K	442.44K
2012	7.39K	608.31K	17.48K	7.17%	64.98%	16.24%	11.60%	214.30K	656.74K
2013	8.49K	840.20K	22.81K	6.27%	65.80%	16.50%	11.44%	288.05K	944.79K
2014	8.80K	1.04M	21.51K	6.02%	66.16%	16.54%	11.28%	352.32K	1.30M
2015	7.06K	651.93K	27.61K	5.88%	66.45%	16.56%	11.11%	216.53K	1.51M
2016	7.31K	797.35K	22.34K	5.15%	66.71%	16.77%	11.34%	265.05K	1.78M
2017	8.0K	1.09M	27.45K	4.91%	66.50%	16.63%	11.99%	365.09K	2.14M
Mean	7.75K	785.14K	24.02K	6.36%	65.66%	16.44%	11.53%	267.97K	
SD	0.63K	195.07K	3.64K	1.13%	1.02%	0.23%	0.30%	62.55K	