PROPOSTA DE DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS DE EMBALAGENS DE GARRAFA PET DE UMA LINHA DE PRODUÇÃO

Paula de Oliveira Fernandes

Monografia em Engenharia Química

Orientador

Prof. Felipe Sombra dos Santos, D.Sc.

Janeiro de 2022

PROPOSTA DE DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS DE EMBALAGENS DE GARRAFA PET DE UMA LINHA DE PRODUÇÃO

Paula de Oliveira Fernandes

Monografia em Engenharia Química submetida ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química.

Aprovado por:

_____
Prof. Ricardo Schmitz Ongaratto, D.Sc.

_____
Prof. Rodrigo Fernandes Magalhães de Souza, D.Sc.

Orientado por:

_____
Prof . Felipe Sombra dos Santos, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Janeiro de 2022

Fernandes, Paula de Oliveira.

Proposta de redução da geração de resíduos de embalagens de garrafa PET de uma linha de produção./ Paula de Oliveira Fernandes. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2022.

XIV, 62 p.;22 il.

(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2022. Orientador: Felipe Sombra dos Santos.

1. Resíduos plásticos. 2. Embalagens. 3. Indústria de bebidas. 4. Monografia. (Graduação – UFRJ/EQ). 5. Felipe Sombra dos Santos. I. Título.

Aos meus avós: Dea, Francisco, José Carvalho e Raimunda, os quais não tiveram a oportunidade de acesso à uma formação acadêmica, mas que fizeram de um tudo para que nossa família tivesse.

“Mas é preciso ter manha, é preciso ter graça
É preciso ter sonho sempre
Quem traz na pele essa marca possui
A estranha mania de ter fé na vida.”

Trecho da canção “Maria Maria”
Milton Nascimento e Fernando Brant, 1978

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Dileusa e Paulo, por não somente terem sido excepcionais em exercerem uma educação orientada à minha formação como ser humano, como também por toda parceria ao longo do desenvolvimento do curso. Essa conquista pertence à eles.

À minha irmã, Mariana, por me motivar a ser uma pessoa melhor todos dias, sendo sempre um local seguro emocionalmente e sinônimo de amor incondicional.

Às instituições de fomento à pesquisa e desenvolvimento, à Escola de Química da UFRJ e a todos aqueles que, de alguma forma, exerceram seus papéis administrativos em prol da educação pública, gratuita e de qualidade.

Aos amigos feitos ao longo da jornada: Paloma Cavalcnti, Daniel Way, Isabela Gazillo e João Pedro, por exercerem total companheirismo ao longo da dura rotina enfrentada. A caminhada não teria sido tão bonita se não fosse pelas pessoas cativadas ao longo dela.

Ao meu primo, Raphael Coelho, por ter sido a primeira pessoa próxima à mim a apresentar a carreira de engenharia como algo palpável e possível. Por ter sido meu grande exemplo dentro e fora da academia, tendo transmitido a mim conhecimento não somente através de seus arquivos físicos, como também através da sua autentencidade, força e integridade.

Por fim, agradeço aos professores Raquel Massad, Felipe Sombra e Armando Cunha pela inesgotável compreensão. A vivência acadêmica se tornou humanizada e respeitosamente afetiva graças à empatia demonstrada por eles.

Resumo da Monografia apresentada à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química.

PROPOSTA DE DESTINAÇÃO DOSRESÍDUOS DE EMBALAGENS DE GARRAFA PET DE UMA LINHA DE PRODUÇÃO

Paula de Oliveira Fernandes

Janeiro, 2022

Orientador: Prof. **Felipe Sombra dos Santos, D.Sc.**

As embalagens plásticas tem a utilização difundida na indústria pela combinação de características interessantes tais como resistência e comportamento inerte. No entanto, estas fazem delas um preoupante passivo ambiental ao passo que lhe conferem elevado tempo de decomposição. Tal fato somado ao grande volume produzido pelas atividades industriais causam, juntos, alta taxa de ocupação dos aterros sanitários, uma vez que a coleta seletiva no município do Rio de Janeiro abrange apenas 1,39% de todo resíduo gerado. O presente estudo tem como objetivo apresentar uma proposta de destinação ambientalmente adequada para os resíduos de PET sob responsabilidade da fonte produtora. Para isso, foram analisados dados históricos de produção de uma indústria de bebidas situada no município do Rio de Janeiro que serviram como base para a apresentação de duas propostas. A primeira, de implementação de um sistema de logística reversa, com base em um aplicativo de entregas já existente e, posteriormente, um projeto de parque infantil construído com madeira plástica (WPC) fabricada a partir dos resíduos. Além disso. A metodologia de análise de SWOT foi empregada em todos os cenários para análise qualitativa destes. De acordo com os resultados obtidos para o cruzamento do quantitativo de garrafas produzidas e absorvidas foi possível concluir, de uma forma geral, que este se mostra como uma potencial ferramenta para alcançar maior sustentabilidade dos processos industrais em questão, pois foram produzidos no ano de 2021, uma massa de 2.193.125,64 kg de PET, que possibilitariam a construção de 458 unidades de parques apresentados, já que cada projeto, nas condições apresentadas, seria capaz de absorver 83.773 unidades de garrafas. Logo, torna-se interessante associar as alternativas aqui apresentadas à metologias de produção que visam a menor utilização de PET.

Palavras-chave: Resíduos plásticos; Embalagens; Indústria de bebidas; Reciclagem; Logística reversa; Madeira plástica.

Sumário

1 Introdução 10

2 Revisão Bibliográfica 11

2.1 O plástico como matéria-prima 11

2.1.1 – Definindo o plástico 11

2.1.2 – Poli (tereftalato de etileno): um polímero termoplástico 12

2.2 A legislação para gestão de resíduos sólidos 15

2.2.1 - Histórico da legislação no Estado do Rio de Janeiro 15

2.2.2 - Acordo Setorial de Embalagens 15

2.3 O plástico como resíduo sólido 16

2.3.1 – Impactos ambientais do plástico descartado 16

2.3.2 – Brasil como produtor de resíduo plástico 17

2.3.3 – A gestão de resíduos na cidade do Rio de Janeiro 19

2.4 A reciclagem do plástico 20

2.4.1 – A reciclagem de embalagens plásticas 21

2.4.2 – Logística reversa como elo da cadeia circular 22

2.5 Madeira plástica 23

2.5.1 – Produção industrial da madeira plástica 24

2.5.2 – Aplicações da madeira plástica 26

2.6 SWOT como ferramenta de análise estratégica 27

3 Objetivos 30

4 Metodologia 30

4.1 Levantamento de dados 30

4.1.1 Coleta de dados internos de produção 30

4.1.2 Coleta e análise de dados da cidade 31

4.2 Cálculo da massa dos itens do parque infantil 31

4.3 SWOT como ferramenta de análise estratégica..... 32

5 Resultados e discussões 33

5.1 Análise de dados do município do Rio de Janeiro 33

5.2 Análise de dados de produção da indústria 34

5.3 Análise SWOT do modelo de negócio sem destinação..... 36

5.4 Criação de um sistema de logística reversa..... 37

5.4.1 Jornada do produto na cadeia de logística reversa 41

5.4.2 SWOT do modelo de negócio proposto 44

5.5 Nova destinação para as garrafas pós-consumo 46

5.5.1 Proposta de destinação do resíduo recuperado 46

5.5.2 Consolidado das massas dos itens 46

5.5.3 Potencial de mitigação da proposta de destinação 50

5.5.4 SWOT do modelo de negócio proposto 52

6 Conclusões 53

7 Referências Bibliográficas 54

APÊNDICE A 62

1 Estimativa de unidades de PET usadas para a instalação 62

Lista de Figuras

Figura 1 - Representação esquemática da síntese do PET. 14

Figura 2 – Ranking da produção de plástico em milhões de toneladas por ano. 18

Figura 3 - Etapas da reciclagem de um resíduo sólido plástico. 221

Figura 4 - Fluxograma simplificado para produção de madeira plástica. 25

Figura 5 - Aplicações da madeira plástica. 27

Figura 6 - Modelo de matriz SWOT. 29

Figura 7 - Perfil de madeira plástica considerado para os cálculos**.** 332

Figura 8 – Histórico do descarte de resíduo plástico no município do Rio de Janeiro. 33

Figura 9 - Histórico do consumo de preformas de garrafa PET. 35

Figura 10 – Produção mensal média de NAB e o percentual deste envasado em garrafas PET. 35

Figura 11 – Comparação entre as massas a do total de plástico produzido e vendido para reinserção no mercado 38

Figura 12 – Figura esquemática do modelo de negócio para logística reversa. 41

Figura 13 – Proposta de interface com o usuário. 44

Figura 14 – Proposta de parque infantil com brinquedos em madeira plástica. 46

Figura 15 - Projeto 3D do pergolado. 62

Figura 16 – Projeto 3D das gangorras. 63

Figura 17 – Projeto 3D para um brinquedo com uma torre. 65

Figura 18 – Projeto 3D para um brinquedo sem torre. 67

Figura 19 – Projeto 3D para os bancos. 69

Figura 20 – Projeto 3D para um brinquedo de uma torre. 70

Figura 21 – Projeto 3D para um brinquedo de três torres. 73

Figura 22 – Gráfico da distribuição das unidades de garrafa por massa unitária. 49

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Dados da venda de garrafas PET como subprodutos de produção 39

Tabela 2 – Simulação do cenário de retorno total das garrafas produzidas. 40

Tabela 3 – Consolidado das massas calculadas por brinquedo. 47

Tabela 4 – Correlação entre a massa anual de PET gerada e o número de parques equivalentes a ela. 51

Lista de Quadros

Quadro 1 - Matriz de SWOT para o modelo de negócio sem destinação dos resíduos. **36**

Quadro 2 - Descritivo das etapas propostas no modelo de logística reversa. **41**

Quadro 3 - Matriz SWOT da proposta de logística reversa. **45**

Quadro 4 – Descritivo dos brinquedos presentes no projeto do parque infantil. **47**

Quadro 5 - Matriz de SWOT do modelo de negócio com destinação para os resíduos plásticos de PET. **53**

Lista de siglas

AP	Áreas de Planejamento
BHET	Tereftalato de bis(2-hidroxietileno)
CDD	Centro de Distribuição
CTR	Central de Tratamento de Resíduos
DMT	Tereftalato de dimetileno
EG	Etileno glicol
ERP	*Enterprise Resource Planning*
ETRs	Estações de Transferência
GEE	Gás de Efeito Estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMA	Instituto de Macromoléculas Eloísa Mano
MVP	Mínimo Produto Viável
NAB	*Non Alcoholic Beverages*
PDV	Ponto de venda
PE	Polietileno
PERS	Plano Estadual de Resíduos Sólidos
PET	Poli(tereftalato de etileno)
PMGIRS	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PVC	Policloreto de vinila
SAP	*System Analysis Program Development*
SKU	*Stock Kepping Unit*
TPA	Ácido tereftálico
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
WPC	*Wood Plastic Composite*

1 Introdução

A produção de materiais plásticos no ano de 2019 atingiu a incrível marca dos 400 milhões de toneladas, das quais apenas 9% são reaproveitadas na reciclagem. O Brasil é o quarto país que mais produz resíduo plástico no mundo, com 11,3 toneladas geradas no ano de 2018, sendo a Região Sudeste a maior produtora, principalmente devido às densidades demográficas das cidades de São Paulo e do Rio de Janeiro (FUNDAÇÃO HEINRICH BÖLL, 2021).

Estima-se que 40% de todo o volume de resíduo plástico já descartado no mundo seja somente de embalagens plásticas (FUNDAÇÃO HEINRICH BÖLL, 2020). A cidade do Rio de Janeiro produziu no ano de 2018, o equivalente a 348.401 toneladas de resíduos de natureza plástica, representando cerca de 15% do total. Destes, apenas 1,39% são contemplados por sistemas de coleta seletiva, em funcionamento no município (GEYER, 2019).

Apesar de já preocupante, a geração deste tipo de resíduo só tem aumentado com o passar dos anos, fazendo com que seja crescente também o foco voltado para soluções que envolvam a reciclagem dos resíduos provenientes de materiais de uso único (DOS SANTOS et al., 2018). Fatores como legislações direcionadas e o fomento ao desenvolvimento de novas tecnologias para reciclagem configuram como pautas de destaque nos setores público e privado (FORLIN et al., 2002).

Neste âmbito, a logística reversa se destaca como uma importante constituinte de uma cadeia produtiva sustentável. A implementação além de possibilitar o sistema de coleta seletiva dos resíduos gerados por uma determinada atividade industrial, viabiliza também a destinação adequada destes, incluindo a produção de novos materiais (NAZÁRIO et al., 2016).

A madeira plástica vem se destacando neste cenário, apresentando-se como um importante produto, que através de tecnologias específicas transforma resíduos plásticos de pós-consumo em um compósito que muito se assemelha à madeira de origem natural (OLIVEIRA, 2005). A versatilidade do material se consolida tendo em vista as suas mais diferentes aplicações, que permeiam os setores da construção civil, agropecuária, indústria moveleira e aplicações que

envolvam a transmissão de energia mecânica e absorção de impacto (PIRES, et al., 2007).

Dessa forma, este trabalho visa apresentar uma proposta de destinação final ambientalmente adequada dos resíduos plásticos oriundos das atividades de uma indústria do ramo de bebidas. De tal forma a também expor uma proposta para implementação de um sistema logísticos para as então garrafas plásticas, de forma a recuperar o resíduo tanto para reinserção no mercado quanto para destinação sob responsabilidade da empresa responsável pela atividade industrial em questão.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 O plástico como matéria-prima

2.1.1 – Definindo o plástico

“Plástico” é o termo comumente utilizado para um grupo de materiais formado por uma série de compostos. De maneira geral, o que os torna genericamente semelhantes são algumas características físico-químicas, como as reações de síntese, natureza da matéria-prima, maleabilidade, dentre outros. Estes compõem o grande grupo dos chamados polímeros (CANEVAROLO JR., 2006).

Os polímeros são materiais com baixa densidade, alta resistência e rigidez (ROSA, 2017). De acordo com Canevarolo (2006), podem ser classificados quanto ao comportamento mecânico em três grandes grupos: fibras, elastômeros (borrachas) e plásticos. Este último, ainda, pode subdividir-se em termorrígidos e termoplásticos.

Os plásticos termorrígidos são caracterizados, principalmente, pela baixa temperatura de fusão sendo, por isso, menos viável para processos de reciclagem. Apresentam boa resistência e dureza, porém isso os tornam bastante frágeis, e estáveis a variações térmicas, até que se atinja a temperatura

de decomposição. São exemplos desta categoria o poliuretano e o acetato de etileno vinil (CANEVAROLO JR., 2006).

Já os materiais elastoméricos apresentam elevado módulo de elasticidade em temperatura ambiente e alta resistência mecânica, comparativamente aos demais plásticos. Possuem temperaturas de fusão e decomposição muito próximos, dificultando sua possível reciclagem. (CANEVAROLO JR., 2006). O látex natural é seu principal exemplo de borracha natural, sendo extraído da árvore seringueira, muito característica da Região Norte do Brasil, principalmente no estado do Amapá (INSTITUTO AGRONÔMICO, 2016).

E, por fim, os materiais do tipo termoplásticos são considerados como polímeros que apresentam temperatura de fusão e vitrificação definidas e afastadas sendo essa uma característica relevante para reciclagem. Isso porque se tornam passíveis de diversos ciclos de aquecimento e resfriamento, com sutis alterações das propriedades mecânicas nas estruturas das cadeias poliméricas. (PIATTI et al., 2005). São altamente moldáveis e manipuláveis quimicamente, porém não possuem o mesmo modulo de elasticidade dos materiais elastoméricos. Como principais exemplos têm-se o polietileno (PE), policloreto de vinila (PVC) e o poli(tereftalato de etileno) (PET) (RICO; GOMIS, 2012).

2.1.2 – Poli (tereftalato de etileno): um polímero termoplástico

O material plástico do tipo PET surgiu no ano de 1941, em meio à uma forte crise de desabastecimento de materiais importantes para embalagens, como algodão e linho, em meados da Segunda Guerra Mundial. Foram os químicos britânicos *John Rex Whinfield* e *James Tennant Dickson* que juntos criaram o então polímero a partir de moléculas de etileno e tereftalato (ROMÃO; SPINACÉ; DE PAOLI, 2009).

A reação de obtenção do PET em escala industrial pode variar de acordo com a aplicação final, podendo ser realizada em duas, três ou mais etapas, em função dos reagentes participantes da reação de polimerização, que pode ocorrer por condensação ou no estado sólido (SOARES JÚNIOR, 2010).

Pré-polimerização

É a etapa responsável por produzir o oligômero, também chamado de pré-polímero, que no caso é o tereftalato de bis(2-hidroxietileno), o BHET. A obtenção desta molécula ocorre através de duas rotas diferentes: esterificação direta ou transesterificação. Para o caso da esterificação direta, a reação ocorre entre o ácido tereftálico (TPA) e o etileno glicol (EG). Já no caso de transesterificação, o TPA é substituído pelo tereftalato de dimetileno (DMT) (ROMÃO; SPINACÉ; DE PAOLI, 2009).

Policondensação

O polímero BHET, produzido na etapa anterior, é submetido à um sistema com aquecimento gradual até a temperatura de 280°C e um decréscimo de pressão até 1,3 x 10^2 Pa. Há obtenção de etileno glicol (EG) como subproduto, com tempo reacional podendo chegar a 10 horas (ROMÃO; SPINACÉ; DE PAOLI, 2009).

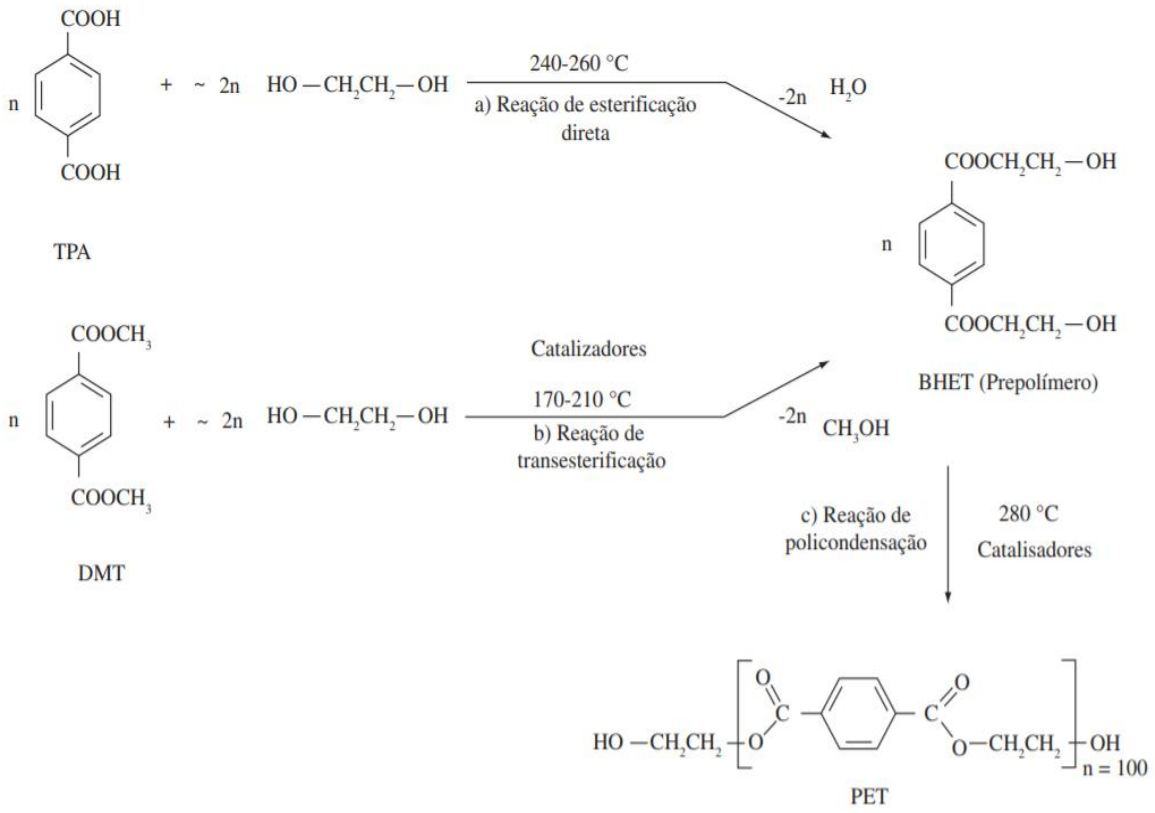
O meio reacional tem a viscosidade muito elevada ao longo do processo, uma vez que macromoléculas são formadas. Sendo assim, a difusão do EG pelo meio se torna cada vez mais difícil, reduzindo a taxa reacional, obtendo-se assim, um polímero com menor massa molar, sendo o ideal para empregabilidade na indústria têxtil. Para se obter o PET empregado em embalagens faz-se necessária mais uma etapa, para que as moléculas tenham então elevada massa molar, resultando em um material com maior resistência mecânica. Essa etapa é a polimerização no estado-sólido (SOARES JÚNIOR, 2010).

Polimerização no estado sólido (SSP)

Este tipo de reação ocorre quando se deseja obter PET com massa molar superior à 30.000 $g.mol^{1}$, em uma faixa de temperatura reacional situada entre 220 - 230°C, durante um período que pode chegar a 30 horas. Ao final do processo, obtém-se um material de PET ideal para utilização em embalagens de bebidas altamente carbonatadas, uma vez que as elevadas resistências térmica e mecânica fazem com que resistam ao processo de injeção-sopro, e conservem

a estanqueidade durante a vida de prateleira (SOARES JÚNIOR, 2010). O processo de obtenção do PET pode ser visualizado através da Figura 1.

Figura 1 - *Representação esquemática da síntese do PET.*



FONTE: Romão (2009)

A alta resistência do material obtido se deve, principalmente, aos anéis aromáticos presentes na estrutura molecular. Esta característica química torna o PET praticamente inerte à ação do meio por parte de microrganismos deteriorantes, sendo um ponto muito positivo para utilização na indústria de alimentos.

No entanto, tal fato o torna também extremamente danoso ao meio ambiente, pois quando descartado de maneira inadequada, a degradação in natura pode atingir um século de duração (DA SILVA, 2010).

2.2 A legislação para gestão de resíduos sólidos

Segundo o artigo 225 da Carta Magna, a responsabilidade sobre a preservação do meio ambiente é compartilhada a todos os pertencentes a uma sociedade. Tendo em vista esta passagem, o objeto de foco para o presente estudo será, principalmente, dois tópicos: a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e o Acordo Setorial de Embalagens (2° CONGRESSO SUL-AMERICANO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E SUSTENTABILIDADE, 2019).

2.2.1 - Histórico da legislação no Estado do Rio de Janeiro

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), foi instituída pela Lei Federal n° 12.305 de 2010, e dispõe sobre os princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis (BRASIL, 2010).

O primeiro Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS) do Rio de Janeiro foi elaborado em 2014, apresenta como principal objetivo especificar detalhadamente toda a estratégia a ser utilizada para alcançar a totalidade do atendimento à política criada dentro do prazo estipulado de uma década, compreendendo os períodos de 2013 a 2023. Dentre as várias iniciativas do plano, é possível destacar algumas ações relevantes à gestão de resíduos sólidos no estado, como os programas “Pacto pelo Saneamento” e “Lixão Zero”, ambos de 2011(MAIELLO; BRITTO; VALLE, 2018).

2.2.2 - Acordo Setorial de Embalagens

O Acordo voltado para as embalagens, denominado Acordo Setorial de Embalagens, foi assinado em 25 de novembro de 2015, com o objetivo de garantir a destinação ambientalmente adequada das embalagens, por parte dos fabricantes, importadores, comerciantes e distribuidores de embalagens em território nacional. A gestão do sistema de logística reversa das embalagens, atualmente, é gerido pela Coalizão Embalagens, que é um grupo de 13 organizações do setor empresarial (SINIR, 2021).

2.3 O plástico como resíduo sólido

O crescimento no consumo de materiais plásticos teve o seu crescimento em meados dos anos de 1950, de forma que a produção hoje representa uma média de 400 milhões de toneladas por ano. Durante o intervalo de tempo entre os anos de 1950 e 2017 foi gerado um quantitativo de 9,2 bilhões de toneladas de plásticos no Planeta, no qual somente apenas 9% são reciclados atualmente (FUNDAÇÃO HEINRICH BÖLL, 2021).

Tendo em vista que uma pequena parcela dos resíduos é reciclada, os demais resíduos acabam sendo destinados de maneira não ideal, provocando não somente impactos no solo, mas também, nos recursos hídricos. O volume total de plástico que chega aos oceanos anualmente ultrapassa o quantitativo de 10 milhões de toneladas. A expectativa é que até o ano de 2030 esse montante represente 26 mil garrafas plásticas por km² de mar (WWF, 2019).

2.3.1 – Impactos ambientais do plástico descartado

A principal vantagem econômica dos materiais plásticos diz respeito à sua alta durabilidade aliada a um baixo custo de produção. O tempo médio de degradação de uma garrafa de água comum, por exemplo, pode chegar a um século. Porém, se por um lado a resistência torna o material atrativo, por outro representa uma grande ameaça quando são analisados os impactos ambientais causados pela combinação da produção em larga escala com o descarte inadequado. (PIATTI et al., 2005).

Em termos de emissões de carbono, para cada tonelada de plástico produzida são geradas, em média, 2,5 toneladas de CO_2. Levando em conta ainda a presença inerente à composição do material, esse valor passa das 5 toneladas de CO_2 por tonelada de plástico.

No caso da poluição marítima oriunda dos materiais plásticos, a grande problemática gira em torno das vidas que habitam o ecossistema. Os principais impactos causados por esse tipo de resíduo plástico nos biomas marinhos são: emaranhamento, sufocamento, contaminação por organismos patogênicos,

ingestão de fragmentos de plástico não digeríveis e exposição a aditivos químicos presentes no plástico (PNUMA, 2021).

De maneira geral, além das preocupações acerca de grandes resíduos, que interagem com a vida marinha tal como descrito, são as partículas plásticas um dos maiores desafios neste cenário de poluição.

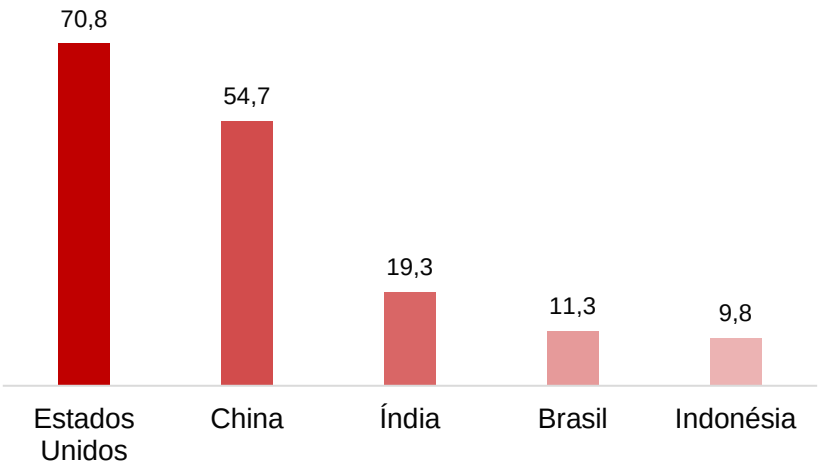
Isso porque estas partículas estão sujeitas a ações do intemperismo, como o causado pela radiação solar, biodegradações e degradações químicas. Todos esses processos afetam o transporte, deposição e granulometria das partículas plásticas, sendo aspectos de extrema importância para o estudo dos impactos causados ao ambiente aquático proveniente da má deposição desses resíduos.

Sendo assim, um dos principais pontos para o entendimento desses impactos diz respeito ao estudo de como os diferentes processos de transporte e deposição se relacionam matematicamente com cada ecossistema e origem de química dos materiais. Novas abordagens de modelagem matemática têm sido desenvolvidas ao longo dos anos, mas nenhuma ainda consegue explicar, de forma global como se dão esses mecanismos físicos de arraste. A falta deste tipo de ferramenta dificulta estudos acerca do tratamento dos resíduos já presentes no ambiente aquático, aumentando ainda mais a relevância de iniciativas acerca da mitigação do despejo destes. (DOMERCQ, 2021)

2.3.2 – Brasil como produtor de resíduo plástico

O Brasil atualmente ocupa quarto lugar dentre os 5 países que mais produzem plástico no mundo. A Figura 2 expõe o comparativo entre as demais economias que lideram o ranking:

***Figura 2** – Produção de plástico em milhões de toneladas por ano.*



Fonte: Adaptado de FUNDAÇÃO HEINRICH BÖLL (2021)

O cenário brasileiro fica ainda mais alarmante ao avaliar o espectro global de lixo produzido. Do período compreendido entre os anos de 2010 e 2018, a produção anual média de resíduos totais saltou de 67 milhões para 79 milhões de toneladas, sofrendo um incremento de 18% em menos de uma década (ABRELPE, 2020). Do total gerado observado, 13,5% são resíduos plásticos, de acordo com os dados da SELURB (Sindicato Nacional das Empresas de Limpeza Urbana). A expectativa é que seja alcançada a alarmante marca de 100 milhões de toneladas de lixo em 2030 (SELURB, 2021).

De todo o resíduo gerado, apenas 59,5% possuem destinação adequada. A coleta seletiva, que seria responsável por boa parte da reciclagem de todo o resíduo gerado, também não é suficiente para cobrir a malha nacional, tendo em vista a baixa adesão pelos municípios brasileiros (ABRELPE, 2020).

A Região Sudeste produz hoje 49,88% de todo o resíduo sólido urbano nacional, e ainda 8% ainda não são contemplados pelos serviços de coleta. O Estado do Rio de Janeiro contribuiu com um quantitativo de 8.223.815 toneladas neste montante, representando 21% do total, apresentando um crescimento de 14,5% com relação ao produzido em 2010 (ABRELPE, 2020).

2.3.3 – A gestão de resíduos na cidade do Rio de Janeiro

A cidade do Rio de Janeiro compõe hoje a zona denominada Região Metropolitana do Estado Rio de Janeiro, situada na Região Sudeste, sendo essa a segunda maior região metropolitana do país. Segundo dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), no ano de 2019, a região possuía uma população total de mais de 13 milhões de habitantes. Dentre os 22 municípios que a compõe é a capital, Rio de Janeiro, a que apresenta maior densidade demográfica (IBGE, 2021).

Tendo em vista as diferentes áreas de planejamento, a gestão dos resíduos do município é regida pelo Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), obedecendo os desdobramentos da Lei Municipal n° 4.969 de 2008, dispondo assim os objetivos, instrumentos, princípios e diretrizes envolvidas para tal. Desde 2009 são levados em conta, ainda, os objetivos acerca da diminuição das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE's) em toda a cidade (PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO,2020).

Tomando como base os dois últimos planos elaborados e publicados pela prefeitura da cidade do Rio de Janeiro é possível entender como se deu a evolução na geração de resíduo plástico na capital. De 2016 para 2020 foi possível observar uma queda de 8% no montante médio diário de resíduo coletado, saindo de 8.370 $t.dia^{-1}$ para 7.634 $t.dia^{-1}$. Em termos de resíduos plásticos o decréscimo foi de 19%, indo de uma média diária de 1.769,6 $ton.dia^{-1}$ para 1.432,1 $t.dia^{-1}$ (PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2020).

O que pode parecer um resultado positivo ainda se destaca como um cenário que demanda atenção. Isso porque os plásticos empregados na indústria alimentícia são desejáveis justamente por serem uma excelente barreira microbiológica, o que também dificulta sua decomposição quando descartados no ambiente. A diminuição do montante total de resíduos plásticos no município não deixa clara uma também diminuição desse subgrupo, no qual as embalagens PET estão inseridas (BERGHANN, 2019).

Os resíduos recicláveis representam, em média, 38,7% de todo o resíduo coletado no Município do Rio de Janeiro, durante os anos de 2015 e 2019. No

entanto, apesar disso, apenas 1,39% dos resíduos da cidade são direcionados ao sistema de coleta seletiva, sendo uma média de 123 $t.dia^{-1}$. O restante dos resíduos gerados na capital é direcionado para a Central de Tratamento de Resíduos (CTR), localizada no município de Seropédica, que recebe diariamente, uma média de 8.423 $t.dia^{-1}$. Todavia, antes de serem direcionados para a CTR eles são recebidos nas Estações de Transferência (ETR's) instaladas em 5 bairros do município (PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2020).

2.4 A reciclagem do plástico

A estimativa é de que 40% de todo o resíduo plástico já gerado no mundo seja composto por embalagens plásticas de uso único, as chamadas "descartáveis". Do todo, somente 14% são direcionadas para reciclagem, um percentual pequeno, porém ainda menor qualitativamente ao analisar que boa parte delas são, na verdade, inseridas no contexto de *downcycling*, ou seja, dão origem à produtos de origem inferior ao de início. A incrível marca de 32% de todo o plástico já produzido encontra-se hoje depositado no meio ambiente, seja sob a forma de grandes embalagens carregadas pelas ondas ou até mesmo microplásticos em suspensão no ar (GEYER; JAMBECK; LAW, 2017).

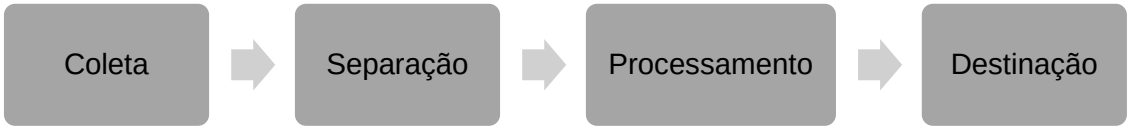
Apesar de ser uma alternativa importante sob a ótica de pós-consumo, o foco na reciclagem deve ser associado à demais iniciativas que abranjam todo o ciclo de vida do material, a fim de evitar a proliferação de plástico virgem e problemas relacionados ao lixo. A união entre designs de produtos mais inteligentes e a seleção rigorosa de matérias-primas recicláveis deve ser encarados como metodologia estratégica de gestão de resíduos pós-consumo, uma vez que a indústria de reciclagem está décadas atrás da indústria petroquímica em termos de desenvolvimento e produtividade. (SILVA, 2018)

2.4.1 – A reciclagem de embalagens plásticas

Apesar de ser, teoricamente, vista como uma saída importante para tornar a indústria de plásticos mais sustentável, a reciclagem ainda tende a ser encarada como desvantajosa economicamente se comparada ao fluxo de obtenção do material virgem. Ao se optar por investir em um projeto de criação de um canal de reciclagem, algumas etapas precisam ser avaliadas de forma minuciosa, como a coleta, armazenamento do resíduo, transporte, beneficiamento e toda a questão ambiental inerente ao novo processo (PIVA, 2004).

De forma simplificada, a reciclagem de um resíduo sólido plástico pode ser descrita de acordo com as seguintes etapas, ilustrada na Figura 3.

Figura 3 *- Etapas da reciclagem de um resíduo sólido plástico.*



FONTE: Elaboração própria.

A separação tem por objetivo identificar e segregar os diferentes tipos de plásticos provenientes da fase de coleta. Para o caso de resinas termoplásticas, a identificação visual torna-se fácil, visto que a existência de uma simbologia utilizada mundialmente já deixa clara a composição do material. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é a responsável pela alocação do código no país, regulamentado através da norma ABNT NBR 13.230, de tal forma que o símbolo referente à resina é parte integrante das embalagens (FORLIN, 2002).

O processamento é a etapa na qual o resíduo plástico será, de fato, reciclado. Nesta etapa o resíduo é submetido às transformações químicas e físicas de acordo com o seu grau de impurezas e destinação.

2.4.2 – Logística reversa como elo da cadeia circular

A Lei n°4.969 de 2008 do município do Rio de Janeiro define a Logística reversa como o objeto que garante a trajetória de retorno de resíduos ao ciclo produtivo que lhes deu origem, tornando viável não somente sua coleta, como também sua destinação ambientalmente correta sob a responsabilidade da organização que o gerou (CÂMARA MUNICIPAL DO RIO DE JANEIRO, 2008).

A Lei prevê ainda que esse sistema seja obrigatório para o setor empresarial responsável por atividades que gerem resíduos do tipo:

1) Pilhas e baterias
2) Pneus
3) Resíduos e embalagens de óleos lubrificantes
4) Lâmpadas fluorescentes
5) Produtos e componentes eletrônicos
6) Embalagens e resíduos de produtos perigosos tais como agrotóxicos

Apesar de embalagens em geral não serem contempladas pela lei acima descrita, o Acordo Setorial de Embalagens prevê o retorno dos resíduos à fonte produtora como sendo uma responsabilidade das empresas envolvidas na jornada de inserção do produto ao mercado (PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2020).

Além da possibilidade de geração de valor a partir de matérias-primas mais baratas, a pauta do reprocessamento de resíduos se mostra importante sob a ótica de gestão da saúde das comunidades e segurança ambiental por parte dos governos (LAMBERT,1998). Porém, é evidente a existência de uma dificuldade e demora na implementação das cadeias logísticas de resíduos por parte da iniciativa privada, buscando atender os princípios da PNRS (FIGUEIREDO, 2010).

Para que seja implementado um sistema de logística reversa de qualidade, podem ser pontuados seis principais pontos de atenção que influenciam diretamente os indicadores de sucesso da operação, de acordo com Lacerda (2002):

1) Padronização dos controles de entrada;

2) Mapeamento e formalização dos processos;

3) Tempo de ciclo reduzido e com otimização constante;

4) Implementação e acompanhamento de um sistema de informação;

5) Planejamento da rede logística;

6) Fomento a relações colaborativas entre clientes e fornecedores.

2.5 Madeira plástica

Apesar de não ser um nome científico, podendo ser encontrada também pela sigla WPC *(Wood-Plastic Composite),* o termo se refere ao material cuja composição majoritária é o plástico reciclado, sendo este misturado à outros materiais, tais como serragem, a fim de se obter um compósito. Este, por sua vez, apresenta vasta gama de aplicações, sendo resistente às intempéries como a alta umidade. Pode ser composta por mais de um tipo de plástico, separados ou não anteriormente ao processamento, limpos mecânica e/ou quimicamente. Sua forma de processamento são das mais diversas, podendo a moldagem ocorrer via prensagem, injeção ou extrusão (OHARA, 2011).

Sendo assim, de acordo com Ashori (2007), o termo WPCs é referente a qualquer compósito que contém fibras naturais (madeira ou não) combinadas à termoplásticos ou termorrígidos. São normalmente prensados e moldados sob um regime de alta pressão e temperatura. Podem conter ainda aditivos, tais como corantes, aglutinadores, estabilizantes, agentes de reforço, entre outros. (ASHORI, 2007).

Apesar de recente comparado à indústria de derivados de petróleo em geral, o mercado de WPCs já pode ser destacado como um dos setores mais

dinâmicos da indústria plástica, apresentando um crescimento anual de aproximadamente 18% na América do Norte e 14% da Europa (ASHORI, 2007).

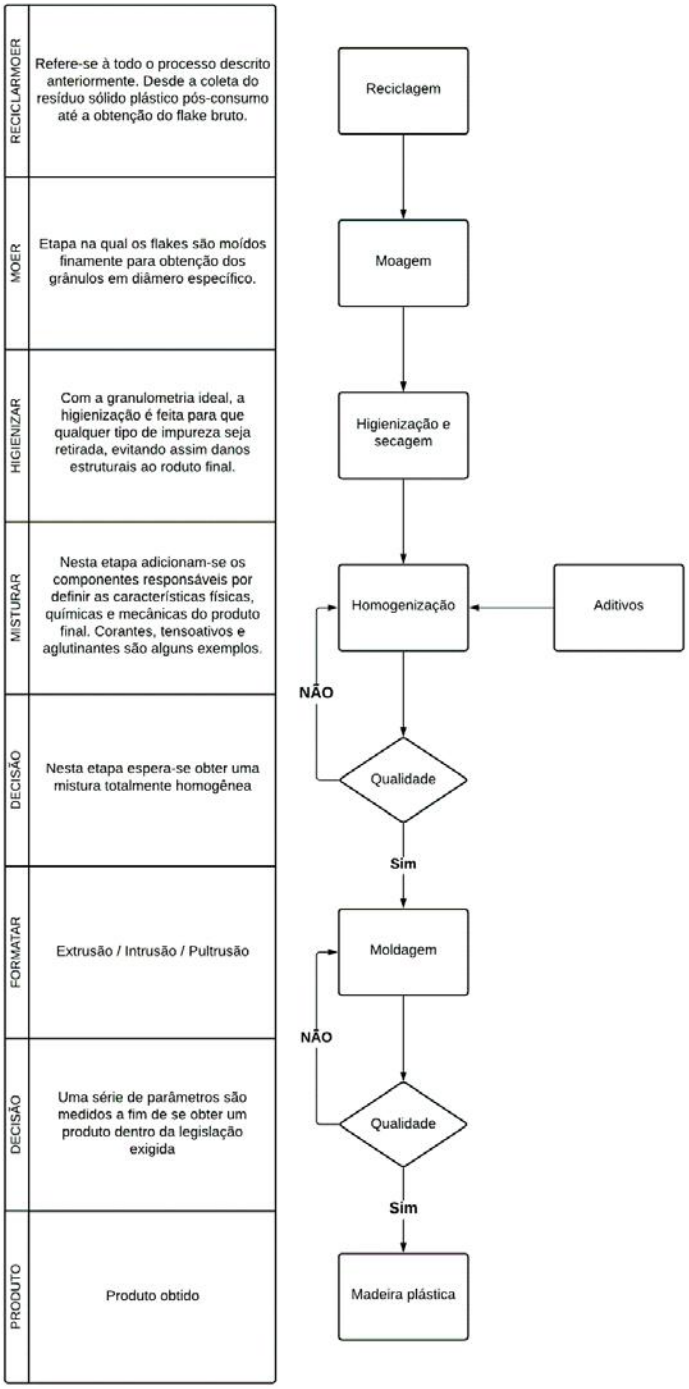
2.5.1 – Produção industrial da madeira plástica

A madeira plástica teve seu desenvolvimento na década de 1970, na Europa, chegando apenas em 1990 no Brasil. Desde então, diversos grupos de pesquisa têm se unido a fim de desenvolverem estudos acerca de diferentes composições, métodos de síntese e demais propriedades mecânicas do material, uma vez que sua produção e aplicabilidade estão associadas à processos mais sustentáveis. Hoje, no país, destacam-se dois principais grupos voltados ao estudo do material: o Instituto de Macromoléculas Eloísa Mano (IMA), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e o Diretório de Projetos Tecnológicos da Universidade Estatual Paulista (ALMEIDA, 2013).

A chamada IMAWood é o resultado de pesquisas que tiveram seu início na década de 1990, da pioneira professora Eloisa Biasotto Mano, no IMA (UFRJ). A fabricação do IMAWood se diferencia das demais do mercado por agregar em sua composição cargas de origem natural, como fibra de coco e resíduos agrícolas. Tal fato se torna particularmente interessante para aplicação nos resíduos das indústrias de bebidas, uma vez que seria possível dar um direcionamento mais sustentável para mais um subproduto da produção cervejeira, como o pó e a palha residuais do transporte de grãos (MARTINS; SUAREZ; MANO, 2003).

Para produção industrial da madeira plástica, cuja matéria-prima é advinda da reciclagem pós-consumo, uma das maiores preocupações está acerca da reprodutibilidade do produto, que é conquistada através de um processo padronizado e livre de impurezas. Tal processo está intimamente ligado à reciclagem mecânica dos resíduos, e pode ser resumido de forma esquemática tal como apresentado na Figura 4 (GUIMARÃES, 2013).

Figura 4 *- Fluxograma simplificado para produção de madeira plástica.*



Fonte: Adaptado de GUIMARÃES (2013)

Alguns pontos acerca do processo são considerados críticos e merecem atenção especial. O primeiro seria no estágio de homogeneização, uma vez que a mistura entre polímero e fibra é composta por fases muito distintas. O pó de serragem possui superfície irregular, é higroscópico, polar e estrutura cristalina,

o que diminuiu sua resistência ao calor. Já o polímero possui alta temperatura de fusão, hidrofóbico e, geralmente, apolar (GUIMARÃES, 2013). A principal dificuldade é encontrar um agente compatibilizante ideal e atuar de forma a não permitir grandes variações de temperatura ao longo de uma mistura pouco homogênea (BEHRAVESH, 2009).

Na etapa de extrusão, parte chave do processo, os principais parâmetros a serem levados em consideração são: granulometria e umidade do material de entrada da extrusora e a combinação de temperatura e pressão nas zonas de extrusão. Estudos indicam que a máxima temperatura de processo, neste caso, é de 250°C, uma vez que acima dela há a decomposição da celulose presente na serragem. Ainda, o tempo de residência é fator fundamental tanto na prevenção de decomposição da fibra quanto na questão de homogeneização desta com a matriz, característica diretamente ligada à velocidade de rotação da rosca da extrusora (GUIMARÃES, 2013).

A literatura aborda alguns fatores recorrentes que demandam maior atenção no processo de produção de compósitos termoplásticos com fibra vegetal, são eles: (BEHRAVESH, 2009)

1) Dificuldade de se obter matérias-primas de qualidade reprodutível, principalmente ao se utilizar resíduos pós-consumo;
2) Homogeneidade da mistura de abastecimento da extrusora;
3) Rigoroso controle de temperatura ao longo do processo;

2.5.2 – Aplicações da madeira plástica

Um dos grandes prós inerentes à utilização da madeira plástica em detrimento da madeira vegetal diz respeito à sua impermeabilidade, o que a deixa muito mais resistente às intempéries climáticas e degradações biológicas (como as causadas por fungos e parasitas). Especificamente, as produzidas à base de PET estão associadas à alta resistência e rigidez e baixo custo de manutenção (KIELING; SANTANA; DOS SANTOS, 2018).

Tais fatos fazem com que suas aplicações sejam das mais variadas, principalmente tendo em vistas revestimentos e estruturas instalados na área externa de construções. Na Figura 5 estão expostas algumas das aplicações

mais acessíveis e já difundidas comercialmente, com as numerações indicando as seguintes aplicações: **1**:deck de piscina; **2**: fachadas; **3**: mesa e bancos de área externa; **4**: revestimentos externos e pergolado; **5**: lixeiras para coleta seletiva; **6**: playgrounds infantis.

Figura 5 - *Aplicações da madeira plástica.*

FONTE: **1**; **2**; **3** (ECOPEX). **4** (SANTOLINHO). **5** (MUNDOCORONETTI). **6** (GREENMAD).

2.6 SWOT como ferramenta de análise estratégica

A análise de SWOT é tida como uma ferramenta clássica na disciplina de administração de empresas e se faz útil ao passo que permite a análise rápida e objetiva dos aspectos positivos e negativos inerentes à determinado modelo de negócio. É largamente empregada em estudos estratégicos, de tal forma que, normalmente, está associada à construção de um plano de ação como passo posterior (NAKAGAWA, 2001).

A metodologia é de simples entendimento, sendo capaz de ser compreendida pela análise do próprio nome da ferramenta que também é uma sigla para as vertentes a serem analisadas. São elas: (HOFRICHTER, 2021)

1) S de *Strengths*: que significa as fortalezas em português. Esta análise sugere a reflexão acerca dos pontos fortes do negócio, levando em conta o ambiente interno do negócio.
2) W de *Weaknesses*: que significa as fraquezas em português. Esta vem em contrapartida à primeira, sugerindo a reflexão acerca dos pontos fracos do negócio, também analisando o ambiente interno de negócio.
3) O de *Opportunities*: que significa as oportunidades em português. Agora, sob o ponto de vista do ambiente externo ao negócio, propõe-se a análise acerca das possíveis alavancas para o negócio ainda não exploradas.
4) T de *Threats*: que significa as ameaças em português. Também com sob a ótica do ambiente externo, a proposta é analisar todos os possíveis fatores como concorrência, mercado, economia e política podem exercer algum tipo de efeito sobre o negócio.

O principal objetivo que se vislumbra ao se aplicar a metodologia de análise de SWOT em um negócio é o de aprofundar o conhecimento acerca da operação de estudo, adquirindo uma visão multifatorial capaz de facilitar tomadas de decisão, elaboração de planos de ação e melhores direcionamentos (HOFRICHTER, 2021).

A formatação física da ferramenta se dá sob a estrutura de 4 quadrantes, de tal maneira que cada região corresponde à um dos quatro constituintes da sigla. A Figura 6 é a representação do modelo SWOT (NAKAGAWA, 2001).

Figura 6 - *Modelo de matriz SWOT.*

	Contribui para estratégia da sua empresa	Dificulta a estratégia da sua empresa
Aspectos internos	**S:** Quais são os pontos fortes do seu negócio?	**W:** Quais são os pontos fracos do seu negócio?
Aspectos externos	**O:** Quais são as oportunidades para o seu negócio?	**T:** Quais são as ameaças para o seu negócio?

FONTE: NAKAGAWA (2001)

3 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é propor uma destinação dos resíduos de embalagens de garrafas PET gerados pós-consumo, provenientes das atividades de uma indústria de bebidas.

Para tal, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

1) Propor a criação de um sistema de logística reversa das garrafas PET
2) Propor a destinação para os resíduos plásticos pós-consumo de uso único
3) Analisar qualitativamente as propostas apresentadas usando a matriz SWOT.

4 Metodologia

4.1 Levantamento de dados

4.1.1 Coleta de dados internos de produção

Todos os dados relacionados à produção e consumos internos da unidade produtiva em estudo foram retirados do sistema SAP (*System Analysis Program Development*). Este é um programa do tipo ERP (*Enterprise Resource Planning*), que cruza os mais diferentes tipos de dados de todas as áreas de negócios definidas pela empresa, unindo informações referentes à *procurement*, produção, inventário, almoxarifado, vendas, marketing, financeiro e recursos humanos (SAP, 2001).

Os dados foram coletados a partir de 2019, uma vez que a biblioteca de armazenamento digital de livre acesso não disponibilizou possibilidade de coleta para períodos anteriores. Foram utilizados os dados referentes à obtenção de produto acabado da instalação industrial em questão, que explicitam em unidades e massa a quantidade de garrafas PET colocadas no mercado no dado período.

4.1.2 Coleta e análise de dados da cidade

Os dados referentes aos resíduos sólidos da cidade do Rio de Janeiro foram coletados da base de dados do site Data Rio, administrado pelo Instituto Pereira Passos. Para se chegar à massa de plástico presente no resíduo sólido urbano carioca foram cruzadas as informações de duas Tabelas.

- Tabela 1494 - Principais características do lixo domiciliar: composição gravimétrica percentual, peso específico e teor de umidade segundo as Áreas de Planejamento (AP) do Município do Rio de Janeiro entre 1995-2019;
- Tabela 2668 - Total de resíduos sólidos provenientes dos serviços de coleta e extensão de varrição de sarjeta no Município do Rio de Janeiro entre 2003-2019.

O cálculo da série anual, dos anos de 2003 a 2019, foram realizados com base no quantitativo total apresentado na Tabela 2668, considerando apenas a coluna de lixo doméstico (CO111), tomando como base as cinco áreas de planejamento (AP).

A partir do quantitativo total por ano, foi possível estimar a fração plástica tendo como referência a Tabela 1494, que expõe a composição gravimétrica do lixo domiciliar, sendo o componente plástico de interesse, presente na linha 11. Em termos de linha temporal a Tabela limitante foi a 2668, já que sua série histórica começou em 2003.

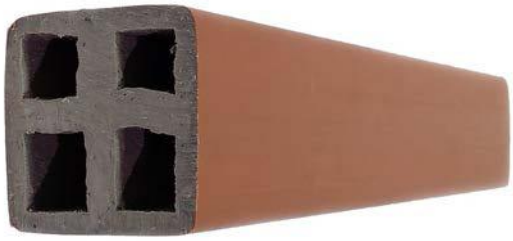
4.2 Cálculo da massa dos itens do parque infantil

A massa dos brinquedos propostos no projeto apresentado foi calculada, tendo como base uma coluna de madeira plástica já comercializada pela empresa *KinderPlay*. A peça utilizada como referência, disponível para venda no site da marca, é uma coluna de perfil quadrado, com as dimensões 11 cm x 11 cm, com estrutura interna oca, reforçada pelo modelo de cruzeta, apresentada na Figura 7.

A peça possui um peso aproximado de 7 a 7,5 kg por metro, sendo considerada para fins de cálculo o limite inferior, evitando assim um falso cenário positivo por superestimação do uso de garrafas nas instalações.

Para os cálculos da área, foi considerado que o metro quadrado é composto pelas peças dispostas lado a lado, cada uma com 1 metro de comprimento, por 0,011 metros de largura, totalizando aproximadamente 9 peças, que juntas resultam em 63,63 $kg.m^{-2}$.

Figura 7 - *Perfil de madeira plástica considerado para os cálculos.*



FONTE: KinderPlay (2001).

4.3 SWOT como ferramenta de análise estratégica

A ferramenta SWOT foi utilizada tanto como método de análise do modelo de negócio vigente quanto em todas as propostas de intervenção apresentadas. De acordo com Hofrichter (2021), essa ferramenta apresenta como uma eficaz forma de medir os riscos e recompensas inerentes à um projeto e, simultaneamente, identificar tópicos relacionados ao objetivo estipulado (HOFRICHTER, 2021).

Sendo aplicada de forma correta a ferramenta se torna capaz de explicitar os fatores negativos de um projeto, sendo desejável estar atrelada à construção de um plano de ação posterior ao seu emprego (NAKAGAWA, 2001).

Sendo assim, seu uso no presente trabalho se justifica como um primeiro passo de uma visão holística e qualitativa da viabilidade das propostas aqui então apresentadas.

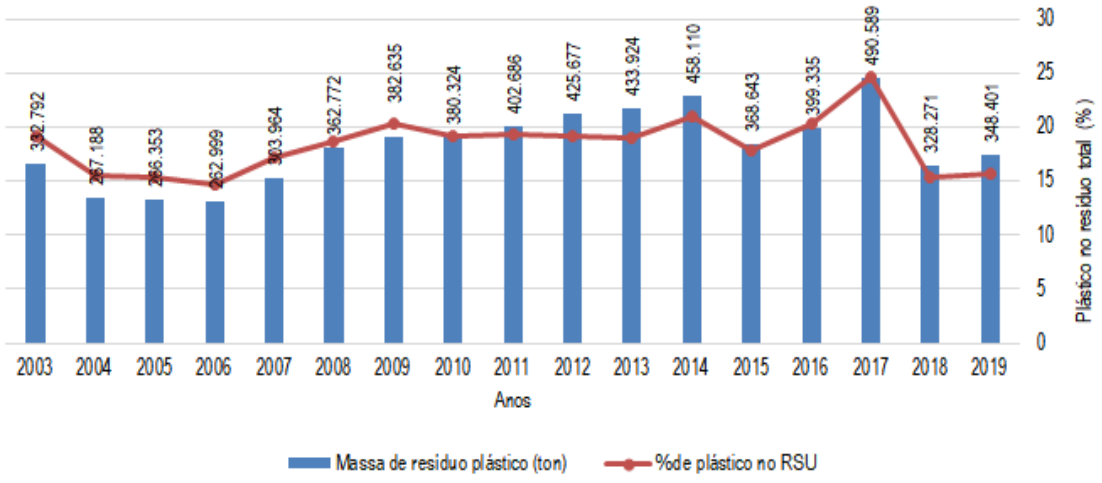
5 Resultados e discussões

5.1 Análise de dados do município do Rio de Janeiro

De acordo com os dados oficiais para consulta da Prefeitura do município do Rio de Janeiro (IPP, 2021) foi possível observar uma queda substancial na massa total de resíduos plásticos gerados na cidade do Rio de Janeiro. A série histórica, apresentada na Figura 8, evidencia uma queda de quase 10% na taxa de participação do material plástico na composição total do resíduo urbano da cidade, comparativamente ao pico apresentado no ano de 2017.

Esta redução pode estar associada ao um aumento geral de massa do resíduo do município, sem alteração significativa da fração plástica. Todavia, os números absolutos mostram que ocorreu uma queda de mais de 250.000 toneladas do ano de 2017 para o ano de 2019, evidenciando um menor descarte de plásticos, por parte da população carioca, e uma possível conscientização do uso de embalagens contendo plástico por parte dela.

Figura 8 *– Histórico do descarte de resíduo plástico no município do Rio de Janeiro.*



FONTE: Elaboração própria

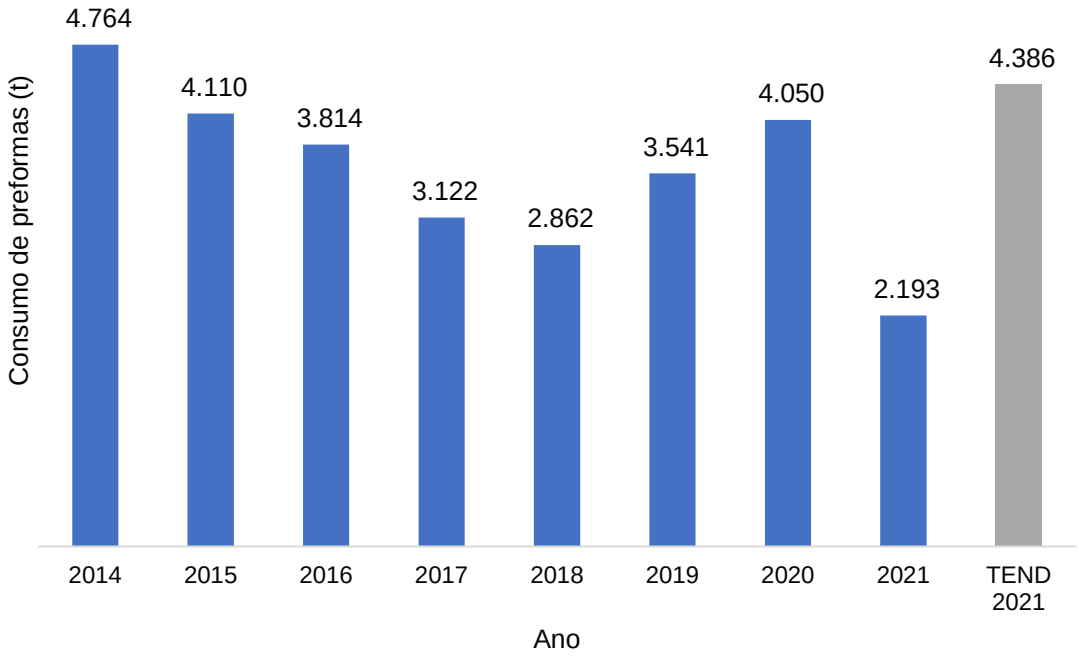
5.2 Análise de dados de produção da indústria

A operação de *packaging* da indústria de bebidas em questão, possui 15 linhas de envasamento, sendo destas 4 linhas de latas, 4 linhas de garrafas retornáveis de vidro, 2 linhas de garrafas PET, 1 linha de bag in box (xarope concentrado para diluição em máquina) e 4 linhas de embalagens *one way (long neck* e latas). Os produtos que são envasados em embalagens do tipo PET correspondem às bebidas não alcoólicas carbonatadas (NAB, *Non Alcoholic Beverages*), as popularmente chamadas refrigerantes.

Apesar da tendência de decréscimo do material plástico observado nos resíduos gerados na cidade, o cenário exposto pelos resultados demonstra um aumento substancial no montante de plásticos do tipo PET disponibilizados no mercado em diferentes embalagens de uso único. Essa constatação pode ser visualizada pela Figura 9, que abrange o período compreendido entre os anos de 2018 a 2020, no qual houve um aumento de 40% no consumo de garrafas PET, com uma tendência linear de aumento de mais 8% até o final do ano de 2021. Desta forma, o estudo acerca de ações voltadas para uma redução na oferta de embalagens plásticas de uso único se faz muito importante sob o ponto de vista de uma operação mais sustentável ambientalmente.

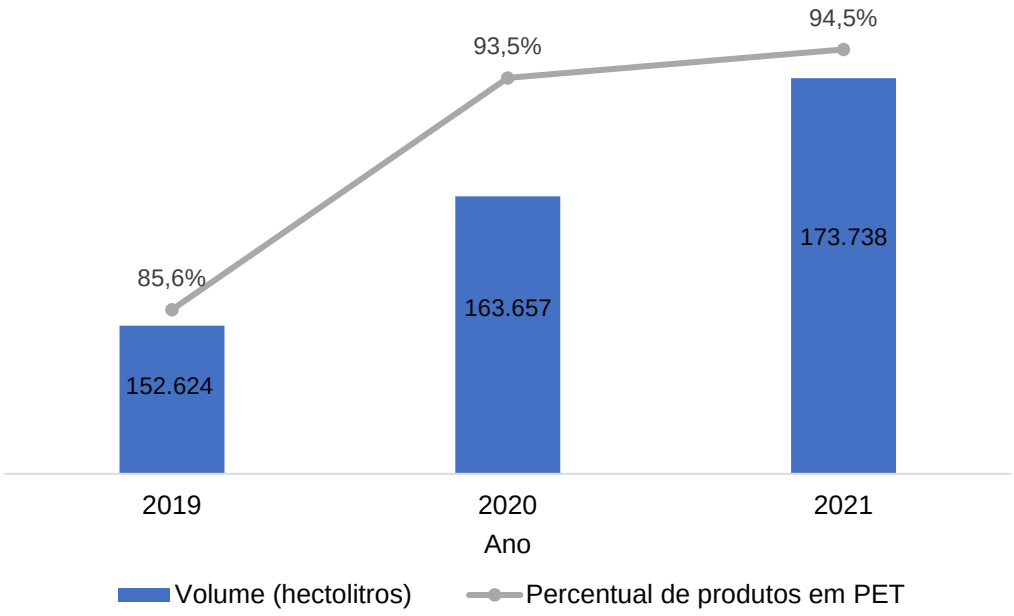
É importante destacar que cenários externos, como o estabelecido pela então pandemia do Covid-19, impactam diretamente à demanda de mercado e, por consequência, no volume de produção de determinados produtos, por consequência um maior quantitativo de embalagens PET para envase. Tal mudança no perfil de produção é apresentado na Figura 10

***Figura 9 -** Histórico do consumo de pré-formas de garrafa PET.*



FONTE: Elaboração própria (Dados internos da operação industrial).

***Figura 10 –** Produção mensal média de NAB e o percentual deste envasado em garrafas PET.*



FONTE: Elaboração própria.

A partir dos resultados de produção apresentados, fica evidente a necessidade de se levantar opções para que haja uma diminuição no quantitativo de garrafas PET que são direcionadas aos aterros da cidade. Isso porque representam expressiva participação na composição gravimétrica do município, de forma que os dados não apresentam tendencias de diminuição da produção destes.

5.3 Análise SWOT do modelo de negócio sem destinação

A análise apresentada na Tabela 1 visa expor os aspectos inerentes ao cenário atual da geração de resíduos plásticos pós-consumo dos produtos manufaturados da planta industrial.

A partir desta análise é possível traçar um paralelo com as matrizes SWOT apresentadas posteriormente, de forma a entender, qualitativamente, se as propostas apresentadas amenizariam fraquezas e ameaças. Também foi avaliado se estas propostas apresentadas, agregariam novas fortalezas e oportunidades para a instalação fabril já existente.

Quadro 1 - *Matriz de SWOT para o modelo de negócio sem destinação dos resíduos.*

	Ajuda o planejamento estratégico	Dificulta o planejamento estratégico
Aspectos internos	**S: Fortalezas**	**W: Fraquezas**
	Sistema logístico com grande capilaridade com centros de distribuição presentes em todos os estados do país	Desperdício de matéria-prima valorizada para outros processos produtivos
	Presença de infraestrutura digital para criação de um novo canal interativo com o consumidor	Grande lacuna entre a quantidade de PET produzida e a reinserida no mercado como resíduo, o que afasta a companhia das metas de sustentabilidade
	Metas de circularidade das embalagens bem definidas e presentes no planejamento estratégico da companhia	Não aderência aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável priorizados pela companhia

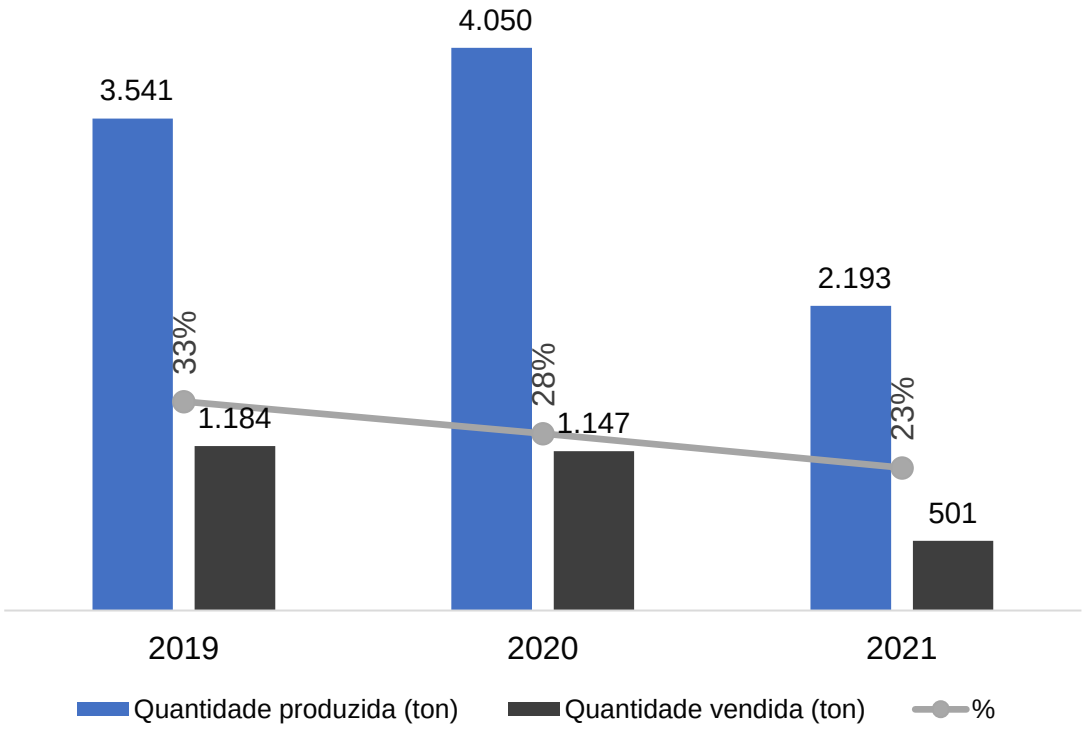
	O: Oportunidades	T: Ameaças
Aspectos externos	Criação de um novo ponto de contato com o consumidor através de ações ligadas à sustentabilidade	Não existência de ações para responsabilidade compartilhada sobre os resíduos de PET gerados, tal como proposto na PNRS
	Associação de uma marca de refrigerantes à temas como sustentabilidade e bem-estar	Vulnerabilidade à concorrência de outras marcas perante o desenvolvimento de soluções para este nicho, ocasionando diminuição no volume de resíduos retornados
	Geração de impacto social no ecossistema produtivo através da exploração de novas destinações para os resíduos de PET	Alta taxa de ocupação do aterro sanitário da cidade, com grande volume de resíduo proveniente de seus produtos. Ecossistema de produção não sustentável
	Aumento da rede de parceiros	

FONTE: Elaboração própria.

5.4 Criação de um sistema de logística reversa

O volume de material plástico do tipo PET movimentado pelas atividades da indústria é apresentado na Figura 11. É possível observar a presença de dois cenários, em que é nítida a diferença entre as quantidades de plástico vendida e a produzida pela empresa, assim como a involução desse resultado de 2019 até o fechamento do segundo trimestre de 2021. Tal involução pode estar conectada à uma maior eficiência de processo de envase, já que a ausência de um sistema de logística reversa para este tipo de embalagem sugere que todo o material vendido pela unidade é proveniente de descartes inerentes à operação. Desta forma, é possível perceber uma grande lacuna de atuação da empresa no que diz respeito à responsabilidade pelos resíduos gerados pós-consumo, revelando oportunidades no sistema de gestão de resíduos.

Figura 11 *– Comparação entre as massas a do total de plástico produzido e vendido para reinserção no mercado*



FONTE: Elaboração própria.

O montante de garrafas PET que não retorna à unidade se torna vulnerável ao serviço de coleta seletiva, público ou privado. Tal destinação não se mostra eficiente sob o ponto de vista de responsabilidade ambiental ao passo que, como mencionado anteriormente, o serviço de coleta seletiva de materiais recicláveis por parte do município tem baixa abrangência, coletando apenas 1,39% daquilo que é gerado diariamente (PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2020). E no caso da empresa, não existe um sistema de logística reversa implementado para este tipo de embalagem, e muito menos obrigatório, por parte da legislação vigente.

Através dos resultados observados para venda de plásticos como subprodutos, de 2019 a 2021, é possível observar que a unidade industrial possui grandes oportunidades de melhoria no que diz respeito à gestão de resíduos pós-consumo. Esta oportunidade seria a combinação da existência de uma lacuna no sistema de logística reversa das garrafas plásticas somada à

estrutura privilegiada da unidade que conta com um Centro de Distribuição (CDD) dentro das instalações.

Desta maneira, é esperado que a implantação de um sistema reverso de logística seja facilitado, uma vez que a dificuldade inerente à criação de uma estrutura física não se apresenta como foco de atenção neste caso. A criação de um ponto de contato com os consumidores para o estabelecimento da via de retorno dos materiais se faz necessária neste contexto.

A Tabela 1 mostra o montante produzido, vendido, e a receita obtida durante o período compreendido entre os anos de 2019 e 2021. É possível observar que, houve uma clara valorização do resíduo de PET no mercado de reciclagem, uma vez que o preço do quilograma vendido pela indústria de bebida, apresentou uma valorização de 67% no ano de 2020 para 2021. E, este resultado permitiu observar que o investimento neste nicho se mostra não somente como uma opção para a poluição plástica, mas também como uma vantajosa fonte de receita para a companhia.

Tabela 1 *- Dados da venda de garrafas PET como subprodutos de produção*

Ano	Massa produzida de PET (t)	Massa vendida como subproduto (t)	Percentagem vendida como subprodutos (%)	Receita da venda de subprodutos	Preço de venda prensado (R$/kg)
2019	3.541	1.184	33,44	R$ 2.371.672,41	R$ 2,39
2020	4.050	1.147	28,32	R$ 2.839.969,70	R$ 2,48
2021	2.193	501	22,85	R$ 2.073.399,00	R$ 4,14

FONTE: Elaboração própria.

A possibilidade da implementação de um sistema de logística reversa das embalagens, e a eventual venda do material coletado, contribuiria para diminuição deste tipo de material encontrado em lixões e aterros sanitários da cidade. Em vista disso é possível realizar uma projeção, apresentada na Tabela 2, tomando como base a neutralização total do resíduo plástico produzido, através do investimento no aumento da massa de resíduo vendido como subproduto de produção. Ou seja, considerando-se o cenário onde toda a massa

de garrafas PET produzidas pela instalação retorna à empresa, pelo sistema de logística reversa.

Tabela 2 – *Simulação do cenário de retorno total das garrafas produzidas.*

Cenário projetado			
Ano	Massa produzida de PET (t)	Preço de venda prensado (R$/kg)	Receita 2
2019	3.541	R$ 2,39	R$ 8.462.990
2020	4.050	R$ 2,48	R$ 10.029.541
2021	2.193	R$ 4,14	R$ 9.073.476

FONTE: Elaboração própria.

Os cálculos foram feitos considerando que toda a massa produzida de garrafas PET para os anos de 2019, 2020 e primeiro semestre de 2021 retornam à unidade para serem posteriormente vendidas. O preço do quilograma foi replicado tendo como base os resultados obtidos para os anos correspondentes, expostos na Tabela 2.

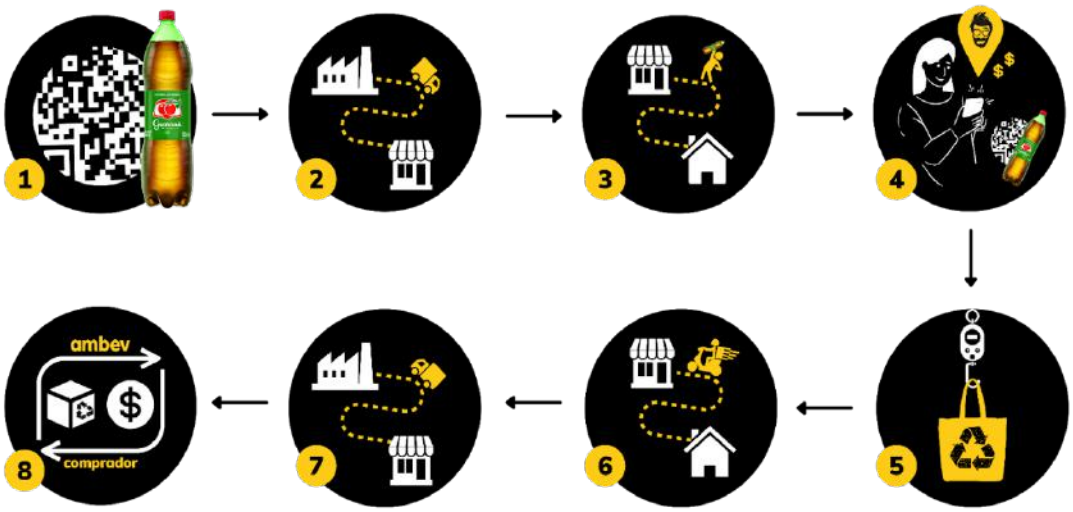
É possível perceber incrementos de 257%, 253% e 338% nos ganhos financeiros nos respectivos anos de 2019, 2020 e 2021. Além da tamanha valorização do preço de mercado dos fardos prensados de 2020 para 2021, melhorias nas instalações da planta de processamento interno tornaram o produto vendido mais bem avaliado.

Nos anos de 2017 e 2018, ainda, a utilização de resina virgem de PET apresentou queda no país, revelando ainda o crescimento da comercialização do PET pós-consumo reciclado para produção de garrafas. Tal fato respalda a importância e oportunidade de enxergar a comercialização do resíduo plástico pós-consumo como fator fundamental na estratégia mercadológica dentro do setor de bebidas (ABIPLAST, 2019).

5.4.1 Jornada do produto na cadeia de logística reversa

A possibilidade da implementação de uma rede de devolução das garrafas, tal como já acontece com as embalagens de vidro retornáveis, seguiria a logística apresentada na Figura 12.

***Figura 12** – Figura esquemática do modelo de negócio para logística reversa.*



FONTE: Elaboração própria.

***Quadro 2 -** Descritivo das etapas propostas no modelo de logística reversa.*

Etapa	Descrição	Investimento	Há mudança na jornada atual?
1	Garrafas PET sendo distribuídas com um *QR code* em posicionamento a definir	Preço de compra da garrafa	Não
2	A distribuição para os PDVs (pontos de venda) é feita normalmente	-	Não
3	Consumidor adquire o produto via PDV ou via app	-	Não
4	Consumidor registra o *QR code* no app, gerando saldo de acordo com o SKU registrado	Infra do app e marketing	Sim

5	Entregador retira as embalagens vazias, checa com a quantidade no app, pesa para o caso de ter garrafas de outros fornecedores e valida o crédito do cliente	Infra da entrega e treinamento	Sim
6	Entregador retorna as embalagens para o PDV	-	Não
7	No dia da entrega de produto ao PDV, as garrafas são retiras, tal como já ocorre como as RGBs, e redirecionadas para a cervejaria. Os PDVs parceiros somam pontos no aplicativo	-	Não
8	As garrafas são então direcionadas para a base de tratamento de sucata, instalada na indústria, e então são vendidas como subproduto	-	Não

FONTE: Elaboração própria.

Em termos de estrutura para implementação do sistema de logística reversa proposto, o foco estaria voltado para um aplicativo já utilizado pela empresa desenvolvido para venda e entrega de produtos. Isso porque a rede de transportes utilizada seria a já existente para distribuição, de forma a aproveitar tanto o entregador que precisa voltar com a nota fiscal para o ponto de venda, como o caminhão que já retorna para a instalação fabril com as garrafas de vidro retornáveis.

Vale ressaltar ainda que as instalações da indústria em questão já contam com maquinário para transformação primária da sucata plástica. Objetos como tampas, rótulos, e demais materiais são separados das garrafas, que são higienizadas, compactadas e enfardadas. No entanto, essa sucata é hoje proveniente de erros de produção, não havendo incremento de massa vendida por parte de algum sistema de coleta desenvolvido pela empresa.

Um ponto crítico no processo diz respeito à forma como os dados de quantidade são inseridos no sistema em questão. Para vias de Mínimo Produto

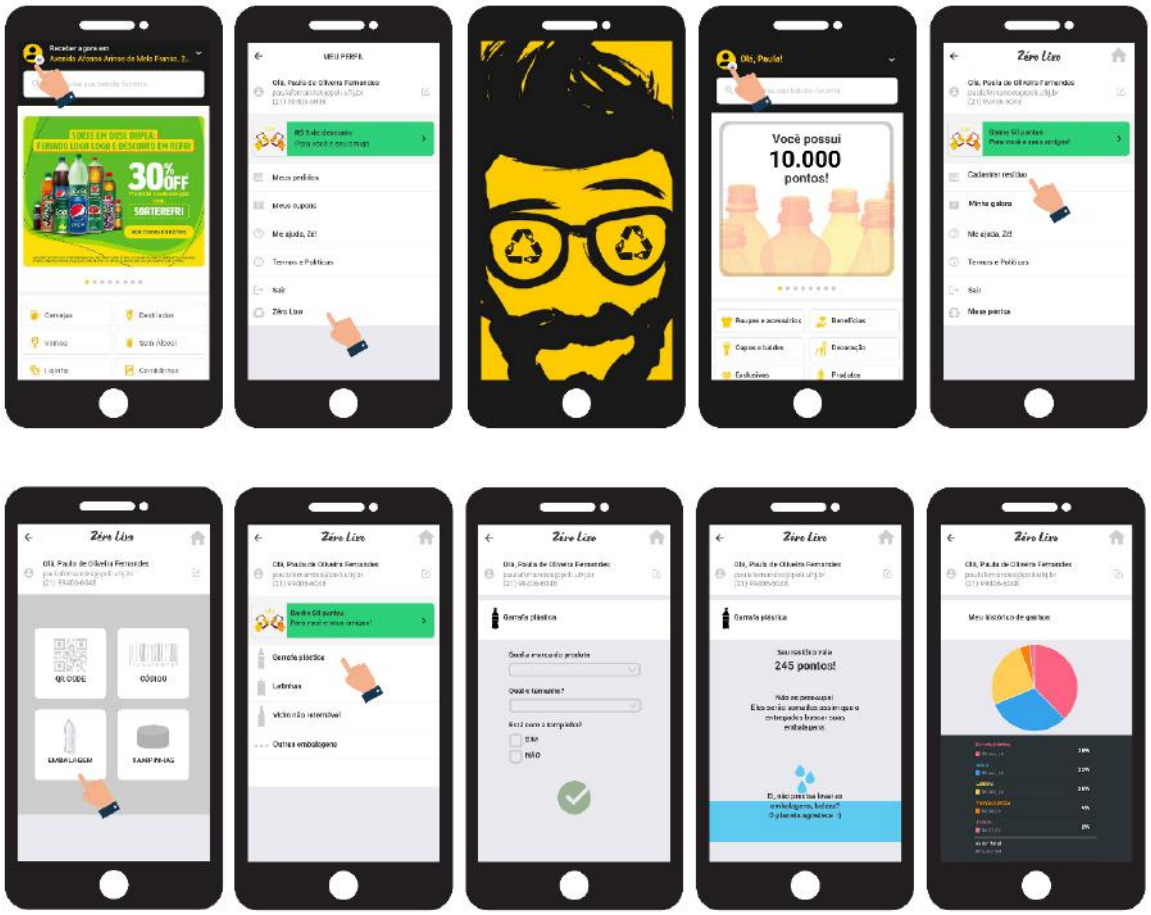
Viável (MVP), os rótulos dos produtos participantes contariam com um *QR Code*. Este, seria escaneado de tal maneira que cada SKU, em um banco de dados interno, estaria correlacionado à uma massa.

Uma vez escalonado à níveis regionais, com alto volume de material transitando pelos PDVs, se faria necessário o acompanhamento dos montantes de resíduo, de tal maneira que cada ponto de recebimento realizasse a pesagem deles. Desta forma seria possível acompanhar não somente o volume de material que transita em cada ponto, como também a variabilidade de massa entre o cadastrado para cada SKU e o medido na prática.

Agregar novas tecnologias em prol do gerenciamento das pesagens feitas se tornariam uma necessidade iminente ao processo acima proposto. Empresas nacionais, como a Toledo do Brasil, já fornecem serviços para gestão dos aparelhos de pesagem. O chamado *MGV Cloud* se apresenta como um módulo gerenciador para gestão das balanças através de dados de pesagem e monitoramento de status técnico dos equipamentos. Nesta tecnologia o destaque se dá para a integração com ERP já presente no software, o que facilitaria a inserção dos dados das pesagens no SAP, o sistema de gestão de movimentação de materiais utilizado na companhia (TOLEDO DO BRASIL, 2019).

Uma vez estabelecida a dinâmica na qual a garrafa de plástico retorna à unidade, em um volume de material expressivo, as possibilidades de direcionamento são inúmeras. Todavia, é necessário ainda, expor uma proposta do principal ponto de contato com o usuário, sendo este uma *feature* dentro de um aplicativo já existente. A Figura 13 demonstra propostas de tela usando como padrão o *designer* já estabelecido para a experiência do usuário.

***Figura 13** – Proposta de interface com o usuário.*



FONTE: Elaboração própria.

5.4.2 SWOT do modelo de negócio proposto

O Quadro 5 apresenta uma análise de SWOT para a proposta referente a implementação de um sistema de logística reversa através do canal de venda já existente.

Quadro 3 - *Matriz SWOT da proposta de logística reversa.*

	Ajuda o planejamento estratégico	Dificulta o planejamento estratégico
Aspectos internos	**S: Fortalezas**	**W: Fraquezas**
	Habilidade técnica para realização do digital já presente no time	Pouco conhecimento acerca do processo de logística reversa de garrafas PET
	Grande capilaridade logística já existente	Necessidade de disponibilização de um orçamento para adaptação dos espaços que vão servir de destino de estoque da sucata
	Marketing digital das marcas associadas já estruturado e com grande público	Necessidade de desenvolver um plano para comunicação efetiva de treinamento para os pontos de venda e entregadores
	Área interna dedicada aos assuntos de ESG	Levantamento financeiro do investimento no projeto
Aspectos externos	**O: Oportunidades**	**T: Ameaças**
	Criação de um novo ponto de contato com o consumidor	Possibilidade de furto de materiais
	Associação das marcas contempladas à sustentabilidade	Geração de algum tipo de atrito na relação com as organizações de catadores de resíduos
	Possibilidade de expansão do modelo de negócio à commodities como alumínio	Concorrência de soluções que podem vir a surgir por parte de outras marcas
	Prospecção de novos clientes em um mercado ainda não explorado	
	Reputação positiva associada ao produto digital	Falta de hábito cultural da população acerca da reciclagem
	Responsabilidade compartilhada com o setor público acerca dos resíduos plásticos gerados pós-consumo	

FONTE: Elaboração própria.

5.5 Nova destinação para as garrafas pós-consumo

5.5.1 Proposta de destinação do resíduo recuperado

Tendo em vista o quantitativo de garrafas geradas após o uso, e aproveitando a possibilidade da utilização desse resíduo, na síntese de madeira plástica, foi proposto então a construção de brinquedos infantis, em diversas modalidades, que possam ser instalados nas praças do município, para diversos usos de faixa etária infantil. A Figura 14 expõe uma proposta de paisagismo para o então espaço, e as legendas de cada objeto apresentado na imagem estão no Quadro 4.

Figura 14 – *Proposta de parque infantil com brinquedos em madeira plástica.*

FONTE: Elaboração própria.

5.5.2 Consolidado das massas dos itens

O Quadro 4 apresenta todos os itens que foram considerados no cálculo por apresentarem dimensões relevantes e serem majoritariamente feitos da madeira plástica.

Quadro 4 – *Descritivo dos brinquedos presentes no projeto do parque infantil.*

Referência	Descrição	Considerado no cálculo?
A	Pergolado	Sim
B	Girador acessível	Não
C	Balanço acessível	Não
D	Gangorras	Sim
E	Cavalinho	Não
F	Brinquedo sem torre	Sim
G	Brinquedo uma torre	Sim
H	Bancos	Sim
I	Balanço simples	Não
J	Acessório coqueiro	Não
K	Brinquedo uma torre	Sim
L	Girador simples	Não
M	Brinquedo uma torre	Sim
N	Brinquedo três torres	Sim

FONTE: Elaboração própria.

A Tabela 3 apresenta um consolidado das massas calculadas para cada item dado como considerado anteriormente. Os cálculos estão explicitados no Apêndice A.

Tabela 3 – *Consolidado das massas calculadas por brinquedo.*

Referência	Descritivo	Unidades	Massa do brinquedo (kg)	Garrafas equivalentes (un)
A	Pergolado	1	733,60	18.340
D	Gangorras	9	428,40	10.710
F	Brinquedo sem torre	1	291,30	7.283
G	Brinquedo uma torre	2	760,12	19.003
H	Bancos	16	400,00	10.000
K	Brinquedo uma torre	1	693,03	17.326
M	Brinquedo uma torre	1	693,03	17.326
N	Brinquedo três torres	1	787,52	19.688
		Total	**4.787,00**	**119.675**

FONTE: Elaboração própria.

De acordo com KIELING (2019), a proporção mais difundida atual entre os componentes do material, polímero/fibra, é a de 70/30. Ou seja, para a quantidade de garrafas PET obtida através do balanço de massa apresentado, consideraremos 70% deste como o quantitativo real de garrafas empregadas no projeto nas condições pré-definidas.

Sendo assim, a partir dos dados apresentados, é possível constatar que o projeto de um parque infantil, tal como apresentado no item 5.5.1, evitaria que 83.773 unidades de garrafas PET fossem depositados nos aterros sanitários. Ressaltando ainda que este valor foi subestimado nas considerações calculadas.

De acordo com o exposto por SILVA (2018), um big bag utilizado para coleta das garrafas PET possui massa de 23 kg quando cheio, correspondendo à um volume prensando de 0,51 m³. Logo, considerado que o resíduo pós-consumo é destinado aos aterros já compactado pelo serviço de coleta da seguinte forma:

$$V_{prensado} = \frac{0{,}51\ m^3}{23\ kg}\ x\ 4.787\ kg\ x\ 0{,}7$$

$$V_{prensado} = 74{,}31\ m^3$$

$$V_{íntegro} = \frac{0{,}002\ m^3}{0{,}040\ kg}\ x\ 4.787\ kg\ x\ 0{,}7$$

$$V_{íntegro} = 167{,}55\ m^3$$

Desta forma, foi possível estimar que para cada instalação do parque infantil apresentado, um volume de aproximadamente 74,31 m³ não seriam preenchidos com materiais provenientes de embalagens de garrafas PET nos aterros sanitários. Todavia, se for considerado que o resíduo já esteja prensado em fardos de 100 kg, essa massa então, corresponderia a um total de 48 blocos de madeiras plásticas. Levando em conta que as garrafas estejam íntegras, ou seja, com valor de volume unitário igual a 2,0 litros, esse volume não utilizado nos aterros sanitários seria de 167,55 m³

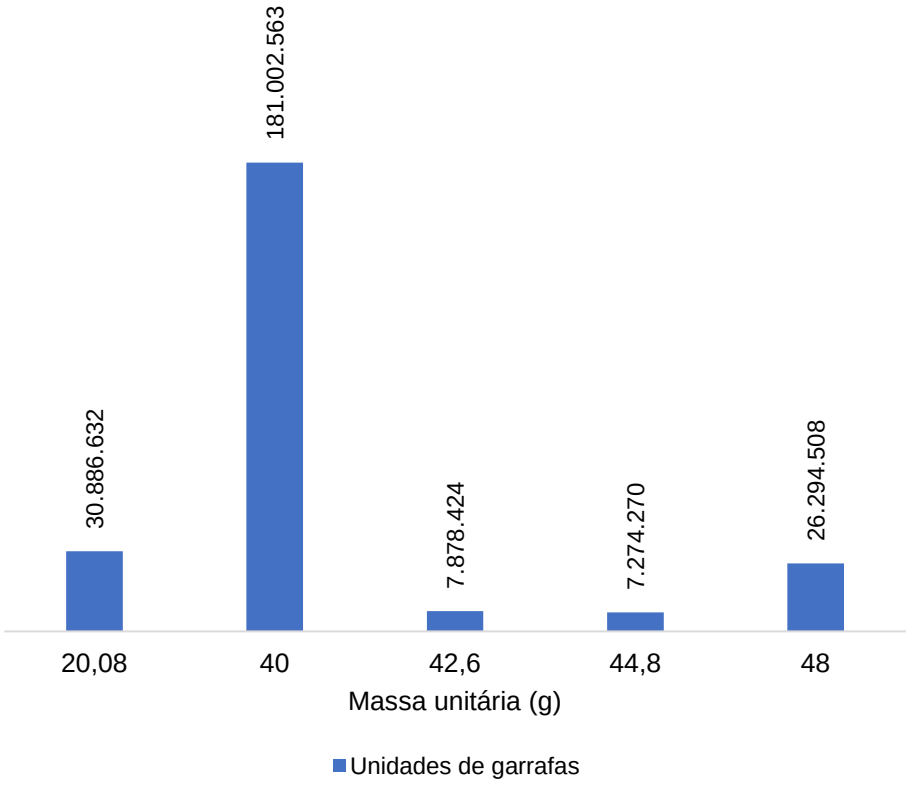
Considerando o projeto apresentado, voltado para a utilização das garrafas na produção de madeira plástica, e levando em conta os componentes acima calculados, foi possível obter a relação entre a massa dos brinquedos e a quantidade de garrafas empregadas para a fabricação destes.

Para fins de cálculo, faz-se necessário utilizar um valor médio para a massa de uma garrafa plástica, para através da correção de massa por unidade, obter-se o quantitativo de garrafas empregado no projeto.

Para tal, considerou-se o mesmo período citado anteriormente, de forma a associar cada lote de garrafa utilizado à uma massa unitária, informação essa fornecida pelo fabricante na ficha técnica do produto. Sendo assim, obtém-se o seguinte perfil de distribuição de quantidade de garrafas por massa unitária, como exposto na Figura 22.

A figura expõe o gráfico correspondente à distribuição de massa unitária por quantidade de garrafas correspondentes. Para tal, foram extraídos do SAP dados referentes à todas as garrafas utilizadas em produção para o período analisado, correlacionando cada código de cada SKU à massa informada pelo fabricante.

Figura 15 – *Gráfico da distribuição das unidades de garrafa por massa unitária.*



FONTE: Elaboração própria.

O total de garrafas considerado é de 253.336.397 unidades. A massa total do período foi obtida pela multiplicação da massa unitária pelo montante correspondente, conforme apresentado abaixo:

$$Massa_{total} = (20{,}08g\ x\ 30.886.632) + (40g\ x\ 181.002.563) + (42{,}6g\ x\ 7.878.424) + (44{,}8g\ x\ 7.274.270) + (48g\ x\ 26.294.508)$$

$$Massa_{total} = 9.783.950{,}63g$$

Sendo assim, é possível calcular uma massa média unitária ($\bar{M}$), tal como:

$$\bar{M} = Massa_{total}\ /Unidades$$

$$\bar{M} = 9.783.950{,}63g/253.336.397$$

$$\bar{M} = 38{,}62\ g\ por\ garrafa$$

$$\bar{M} = 0{,}03862\ kg/garrafa$$

$$\bar{M} = 0{,}04\ kg/garrafa$$

A partir da massa dos componentes do parque infantil e da massa unitária das garrafas, é possível calcular o número de garrafas que seriam empregadas no projeto proposto (garrafas equivalentes), como detalhado abaixo.

$$Garrafas\ equivalentes = \frac{Massa\ do\ brinquedo}{\bar{M}}$$

Tomando como base a massa unitária calculada ($\bar{M}$) e tendo posse das massas estimadas por brinquedo, é possível estimar a quantidade de garrafas equivalentes a cada item do projeto.

5.5.3 Potencial de mitigação da proposta de destinação

Uma vez tendo posse das informações acerca do quantitativo de garrafas empregas no projeto proposto, torna-se interessante, sob o ponto de vista de viabilidade, avaliar o impacto que seria gerado por cada parque construído. A correlação foi feita com base no cálculo:

$$\text{Parques equivalentes} = \frac{\text{Massa de PET gerada pela indústria}}{\text{Massa estimada para um parque}}$$

Sendo assim, a Tabela 4 consolida os resultados do cálculo proposto.

***Tabela 4** – Correlação entre a massa anual de PET gerada e o número de parques equivalentes a ela.*

Ano	Massa de PET gerada (kg)	Parques equivalentes
2019	3.540.651,39	1.056
2020	4.050.173,61	1.208
2021	2.193.125,64	655

FONTE: Elaboração própria.

É possível observar que, ainda que os parques agreguem uma quantidade significativa de resíduo, a proposta por si só seria eficiente apenas parcialmente, pois não é totalmente viável em função da geração da massa de PET gerada pela empresa. Em termos de adequação do projeto visando uma maior efetividade de destinação, aumentando o volume de garrafas pós-consumo utilizadas, uma ação interessante sob o ponto de vista tecnológico poderia ser a de utilizar uma matriz de madeira plástica mais densa, agregando assim, um quantitativo maior de garrafas nos blocos de madeira plástica.

De acordo com Santos (2018), a densidade da madeira plástica produzida pelo Instituto Eloísa Mano, a IMAWood, pode variar de 700 a 1.400 kg/m³. Empregar no projeto um material produzido no limite superior da densidade permitiria a maximização da destinação em 100% com relação ao calculado.

Sendo assim, torna-se interessante, sob o ponto de vista tecnológico, ressaltar alguns aspectos diretamente ligados à obtenção de um compósito mais denso. O principal fator responsável por essa característica é o grau de mistura de cargas entre os componentes da madeira plástica. Agentes de acoplamento, ou aglutinadores, tendem a melhorar a interação fibra-matriz, diminuindo os espaços vazios e aumentando a densidade do produto final. Tal fato está ainda

intimamente ligado ao também aumento da resistência ao impacto, propriedade altamente desejável para a aplicação proposta (SILVEIRA et al., 2009).

Os estudos desenvolvidos por Zimmermann (2014) apud Silva (2019) corroboram para o exposto, uma vez que a avaliação da adição de pó de madeira e fibra de bananeira constatou a redução de densidade dos produtos finais. Zimmermann correlacionou o comportamento da fibra vegetal ao de um agente de nucleação de formação de espaços vazios. A este fato foram associadas uma menor resistência á compressão acompanhada da também redução de densidade

Porém, a limitação da aplicação no estudo apresentado, está voltado somente para o emprego de sacolas plásticas na produção do material. (DOS SANTOS, 2018) Tal fato impediria a aplicação imediata do projeto, demandando pesquisas para o desenvolvimento do material utilizando os resíduos de garrafa PET.

5.5.4 SWOT do modelo de negócio proposto

O Quadro 5 apresenta uma análise de SWOT para a proposta referente ao projeto de destinação das garrafas plásticas descartadas apresentado.

Quadro 5 - *Matriz de SWOT do modelo de negócio com destinação para os resíduos plásticos de PET.*

	Ajuda o planejamento estratégico	Dificulta o planejamento estratégico
Aspectos internos	**S: Fortalezas**	**W: Fraquezas**
	Existência de uma equipe dedicada à assuntos relacionados à ESG	Criação de um processo para acompanhamento e manutenção dos espaços
	Conhecimento maduro em ações ligadas à manutenção de espaços externos	Criação de um parâmetro mensurável para acompanhar o retorno do investimento em termos de reputação
	Disposição de todas as áreas em fazer acontecer os planos ligados às metas de sustentabilidade traçadas até 2025	Dedicar um orçamento anual para manutenção dos espaços
A	**O: Oportunidades**	**T: Ameaças**

	Associação da imagem da marca envolvida em um novo contexto ligado à saúde e bem-estar	Imagem negativa gerada por uma possível falta de gestão dos espaços
	Fortalecimento dos laços com prefeituras e associações de moradores	Depredação proposital das estruturas
	Impacto social positivo através da criação de uma nova área de lazer infantil	

FONTE: Elaboração própria.

6 Conclusões

Foi possível concluir que a instalação industrial em questão possui grandes oportunidades com relação ao resíduo de garrafa PET gerado após o consumo de seus produtos. Cada projeto, sob as condições de cálculos consideradas, seria capaz de absorver 83.773 unidades de garrafas PET, representando um volume de 167,55 m3 de resíduos não descartados no ambiente indevidamente.

Desta maneira, a combinação das iniciativas de logística reversa e destinação dos resíduos coletados pode se apresentar como uma saída interessante em prol do objetivo de embalagens 100% circulares. No entanto, a destinação dos resíduos para construção de parques infantis não se faz eficaz por si só, uma vez que seria necessária a existência de mais parques do que os que a cidade dispõe.

A implementação de novos modelos de negócio que visem a destinação dos resíduos plásticos gerados deve vir acompanhada de uma série de opções de destinos que possam ser retroalimentados ao longo do tempo. Essas, podem ainda estar associadas à não somente ações que visem os resíduos, como também na escolha de insumos menos agressivos ambientalmente, como garrafas plásticas de menor densidade e emprego de retornáveis de vidro.

7 Referências Bibliográficas

2° CONGRESSO SUL-AMERICANO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E SUSTENTABILIDADE, 2019, Foz do Iguaçu. **Evolução da legislação ambiental brasileira sobre resíduos sólidos**. 2º ConReSol. Foz do Iguaçu: [s. n.], Maio 2019. Disponível em: http://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2019/XV-108.pdf. Acesso em: 15 out. 2021.

ABIPLAST. **Perfil 2018: Indústria Brasileira de Transformação e Reciclagem de Material Plástico**, 27 jun. 2019. Disponível em: http://www.abiplast.org.br/publicacoes/perfil2018/. Acesso em: 7 dez. 2021.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020**. ABRELPE, São Paulo, SP, p. 14-18, 12 dez. 2020. Disponível em: https://abrelpe.org.br/panorama-2020/. Acesso em: 13 nov. 2021.

ALMEIDA, Aquiles Bezerra. **Madeira plástica: estudo de viabilidade técnico e econômico a partir do resíduo sólido**. 2013. 135 f. Dissertação (Mestre em Engenharia) - UFRGS, Porto Alegre, RS, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/5780696_Wood-plastic_composites_as_promising_green-composites_for_automotive_industries_Review_Paper. Acesso em: 22 nov. 2021.

ASHORI, Alireza. ***Wood–plastic composites as promising green-compositesfor automotive industries*!**. Science Direct, Tehran, Iran, v. 99, p. 4661–4667, 18 dez. 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/5780696_Wood-plastic_composites_as_promising_green-composites_for_automotive_industries_Review_Paper. Acesso em: 22 nov. 2021.

BEHRAVESH, A. H. (2009). **Design and Manufacture of an Extrusion Die for Wood-Plastic Composite**. Iran: Tarbiat Modares University. Disponível em:

http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.899.3833&rep=rep1&type=pdf. Acesso em: 23 nov. 2021.

BERGHANN, Gislaine. **Vevê: design como agente transformador no cenário das embalagens poliméricas para delivery.** Orientador: Rodolfo Rolim Dalla Costa. -. 132 p. Monografia (Design) - Universidade de Caxias do Sul, Bento Gonçalves, RS, 2019. Disponível em: https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/5171/TCC%20Gislaine%20Berghann.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 14 nov. 2021.

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Presidência da República, Departamento da Casa Civil. Brasília, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 14 out. 2021.

CÂMARA MUNICIPAL DO RIO DE JANEIRO. **Lei Ordinária nº 4969/2008, de 12 de março de 2008**. art. 79, § 7º. Rio de Janeiro, RJ, 12 mar. 2008. Disponível em: http://mail.camara.rj.gov.br/APL/Legislativos/contlei.nsf/f25edae7e64db53b032564fe005262ef/7553253433e5130c032576ac00727adc?OpenDocument. Acesso em: 19 nov. 2021.

CANEVAROLO JR., Sebastião V. **Ciência dos Polímeros: Um texto básico para tecnólogos e engenheiro**s. 2. ed. rev. e aum. São Paulo: Artliber Editora Ltda, 2006. 277 p. v. 1. ISBN CDD-620.192.

DA SILVA, George Amaro**. A descoberta do plástico e uma imersão no PET (politereftalato de etileno)**. Jornal Eletrônico - Faculdades Integradas Vianna Júnior, Juiz de Fora, MG, ano II, ed. II, Setembro 2010. Disponível em: https://www.jornaleletronicofivj.com.br/jefvj/article/view/579. Acesso em: 15 out. 2021.

DOMERCQ, Prado; PRAETORIUS, Antonia; MACLEOD, Matthew. The Full Multi: An open-source framework for modelling the transport and fate of nano- and microplastics in aquatic systems. **ELSEVIER**: Environmental Modelling and Software, Stockholm, n. 105291, ed. 148, p. 1-13, 15 jan. 2021.

DOI https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105291. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815221003339?via%3Dihub. Acesso em: 19 fev. 2021.

DOS SANTOS, Fernanda A. et al. ***Processing and Properties of Plastic Lumber.*** *IntechOpen: Thermosoftening Plastics*, Londres, UK, ed. 1, 28 dez. 2018. DOI 10.5772/intechopen.82819. Disponível em: https://www.intechopen.com/chapters/64975. Acesso em: 21 dez. 2021.

ECOPEX; **Deck de madeira plástica**. Barueri, SP, 30 dez. 2021. Disponível em: https://ecopex.com.br/deck-de-madeira-plastica/. Acesso em: 29 nov. 2021.

FIGUEIREDO, Marco Antonio Gaya; DEORSOLA, Alberto Chenú. **A questão da responsabilidade socioambiental na reciclagem de plástico no Rio de Janeiro**. SciELO, Rio de Janeiro, RJ, v. 21, ed. 1, p. 190-195, 28 maio 2010. DOI https://doi.org/10.1590/S0103-65132010005000036. Disponível em: https://www.scielo.br/j/prod/a/T3dr9p4Mkxf3gHghHqcv83J/?lang=pt. Acesso em: 19 nov. 2021.

FORLIN, Flávio J. et al. **Considerações Sobre a Reciclagem de Embalagens Plásticas**. SciELO, São Paulo, SP, 3 jul. 2002. DOI https://doi.org/10.1590/S0104-14282002000100006. Disponível em: https://www.scielo.br/j/po/a/YNNvN9nLDV8rS5ffJp9rF4Q/?lang=pt. Acesso em: 9 set. 2021.

FUNDAÇÃO HEINRICH BÖLL. **Atlas do Plástico: Fatos e números sobre o mundo dos polímeros sintéticos**., Berlim, Alemanha, n. 1, p. 18-30, 29 nov. 2020. Disponível em: https://br.boell.org/pt-br/2020/11/29/atlas-do-plastico. Acesso em: 5 set. 2021.

GEYER, R.: ***Production, use, and fate of synthetic polymers***. *In*: LETCHER, T.M. (ed.): *Plastic waste and recycling, Academic Press*, Cambridge, MA, 2019

GEYER, Roland; JAMBECK, Jenna R.; LAW, Kara Lavender. ***Production, use, and fate of all plastics ever made****. Science Advances,* USA, v. 3, ed.

e1700782, p. 1-5, 19 jul. 2017. DOI 10.1126/sciadv.1700782. Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5517107/. Acesso em: 14 nov. 2021.

GREENMAD; **Playgrounds: Áreas externas**. São Paulo, SP, 30 dez. 2021. Disponível em: https://www.greenmad.com.br/playgrounds_externo.php. Acesso em: 29 nov. 2021.

GUIMARÃES, Luiz Felipe Cerceau. **Avaliação dos aspectos técnicos e econômicos na produção de madeira plástica por meio da utilização de materiais reciclados.** Orientador: Ricardo Geraldo de Sousa. 2013. 111 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2013. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-9KSJ28. Acesso em: 23 nov. 2021.

HOFRICHTER, Markus. **Análise SWOT: quando usar e como fazer.** *[S. l.]:* Simplíssimo, 2021. 31 p. v. 1. ISBN 9788582454206. Disponível em: https://play.google.com/store/books/details?id=yXEEDgAAQBAJ&rdid=book-yXEEDgAAQBAJ&rdot=1&source=gbs_vpt_read&pcampaignid=books_booksearch_viewport. Acesso em: 29 nov. 2021.

IBGE. **Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação**. Rio de Janeiro, RJ, 29 nov. 2021. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/index.html?utm_source=portal&utm_medium=popclock&utm_campaign=novo_popclock. Acesso em: 29 nov. 2021.

INSTITUTO AGRONÔMICO (São Paulo). Centros de Pesquisa. *In*: Centro de Seringueira e Sistemas Agroflorestais. São Paulo, SP, 2016. Disponível em: https://www.iac.sp.gov.br/areasdepesquisa/seringueira/. Acesso em: 9 set. 2021.

KIELING, Antonio Claudio; SANTANA, Genilson Pereira; DOS SANTOS, Maria Cristina. **Compósitos de madeira plástica: considerações gerais**. Scientia Amazonia, Manaus, AM, v. 8, n. 1, p. B1-B14, 25 nov. 2018.

Disponível em: http://scientia-amazonia.org/wp-content/uploads/2018/11/v8-n1-b1-b14-2019.pdf. Acesso em: 23 nov. 2021.

LAMBERT, D. M.; STOCK, J. R.; VANTINE, J. G. **Administração estratégica da logística.** São Paulo: Vantine Consultoria, 1998.

MAIELLO, Antonella; BRITTO, Ana Lucia Nogueira de Paiva; VALLE, Tatiana Freitas. **Implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Revista de Administração Pública: FGV EBAPE, Rio de Janeiro, RJ, n. 1, ed. 52, p. 24-51, Janeiro 2018. DOI http://dx.doi.org/10.1590/0034-7612155117. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rap/a/tn3MvKggXHXHfgxw7xZD9Xy/?format=pdf&lang=pt. Acesso em: 17 out. 2021.

MARTINS, Agnes F.; SUAREZ, João Carlos M.; MANO, Eloisa B. **Produtos poliolefínicos reciclados com desempenho superior aos materiais virgens correspondentes**. SciELO, Rio de Janeiro, RJ, ano 4, ed. Polímeros 9, 21 maio 2003. DOI https://doi.org/10.1590/S0104-14281999000400005. Disponível em: https://www.scielo.br/j/po/a/KyxbHMXypB8CfSGnynWD99w/?lang=pt#. Acesso em: 22 nov. 2021.

MUNDO CORONETTI; **Madeira plástica: lixeiras e cachepots**. Tapejara, RS. Disponível em: https://santolinho.com.br/. Acesso em: 29 nov. 2021.

NAKAGAWA, Marcelo. **Análise SWOT: Estratégia e Gestão**. SEBRAE. Disponível em: https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/ME_Analise-Swot.PDF. Acesso em: 29 nov. 2021.

NAZÁRIO, G. F. et. al. **Madeira plástica: Uma revisão conceitual.** Revista Engenharia em Ação UniToledo, v. 01, n. 01, p. 54–71, 2016.

OHARA, WILTON SHIGUEAKI. **Estudo das propriedades mecânicas da madeira plástica.** Orientador: Nazem Nascimento. 2011. 54 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista,

Guaratinguetá, 2011. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/handle/11449/120223. Acesso em: 22 nov. 2021.

OLIVEIRA, S.M.M. **Meio Ambiente, Reciclagem e Tratamento de Resíduos.** Tecpar, 2005. Disponível em: http://sbrtv1.ibict.br/upload/sbrt409.pdf?PHPSESSID=6aa56910df57f5c60f1bee9de0deeaf0. Acesso em 29 de dez de 2021.

PIATTI, Tania Maria et al. **Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais.** Conversando sobre ciências em Alagoas, Maceió/AL, n. CDU: 678.5, p. 50-51, 2005. Disponível em: https://usinaciencia.ufal.br/multimidia/livros-digitais-cadernos-tematicos/plasticos_caracteristicas_usos_producao_e_impactos_ambientais.pdf/view. Acesso em: 12 out. 2021.

PIRES, E. O. et al. ***Pentagonal Ecowood*: a empresa.** Disponível em: http://www.incubadorasorocaba.com.br/incubada_pentagonal.php. Incubadora Sorocaba, 2007. Acesso em 29 de dez de 2021

Piva, A. M.; Wiebeck, H. **Reciclagem do Plástico: Como fazer da reciclagem um negócio lucrativo**, 2ª Edição,2004, p. 110-117.

PNUMA. *United Nations Environment Programme.* ***From pollution to solution: A global assessment of marine litter and plastic pollution***. -, Nairobi, KE, n. 1, p. 12-38, 21 out. 2021. DOI ISBN: 978-92-807-3881-0. Disponível em: https://www.unep.org/pt-br/resources/da-poluicao-solucao-uma-analise-global-sobre-lixo-marinho-e-poluicao-plastica. Acesso em: 10 nov. 2021.

PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos.** PMGIRS da Cidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, p. 5-32, 12 dez. 2020. Disponível em: http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/13305794/4334422/PMGIRSVERSAO12_08_21.pdf. Acesso em: 13 nov. 2021.

RICO, Maribel Beltrán; GOMIS, Antonio Marcilla Gomis. ***Tecnología de Polímeros: Procesado y Propiedades***. 1. ed. Alicante, Espanha: Unión de Editoriales Universitarias Españolas, 2012. 283 p. ISBN 978-84-9717-232-5

ROMÃO, Wanderson; SPINACÉ, Márcia A.S.; DE PAOLI, Marco-A. Poli(tereftalato de etileno), **PET: uma revisão sobre os processos de síntese, mecanismos de degradação e sua reciclagem**. SciELO, São Paulo, ano 19, 13 ago. 2009. Polímeros, p. 3-4. DOI https://doi.org/10.1590/S0104-14282009000200009. Disponível em: https://www.scielo.br/j/po/a/M977rShFktsw4DpHbqk6KYN/?lang=pt. Acesso em: 13 out. 2021.

ROSA, Bruno de Paula. **Caracterização mecânica e térmica de um polímero termorrígido modificado com fibra de buriti.** Orientador: Newton Dias Filho. 2017. 75 f. Dissertação (Mestrado em Materiais e Processos de Fabricação) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2017. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/150094/rosa_bp_me_ilha.pdf?sequence=3&isAllowed=y). Acesso em: 12 out. 2021.

SANTO LINHO; **Madeira plástica**. Santos, SP. Disponível em: https://santolinho.com.br/. Acesso em: 29 nov. 2021.

SAP. **O que é a SAP?** São Paulo, SP. Disponível em: https://www.sap.com/brazil/about/company/what-is-sap.html. Acesso em: 29 nov. 2021.

SELURB. **Índice de Sustentabilidade da Limpeza Urbana**. São Paulo, SP, p. 4-28, 21 maio 2021. Disponível em: https://selur.org.br/wp-content/uploads/2021/05/ISLU-2020-a.pdf. Acesso em: 13 nov. 2021.

SILVEIRA, Mauro R. S *et al*. ESTUDO DAS PROPRIEDADES TERMO-MECÂNICAS DE MADEIRA PLÁSTICA COM DIFERENTES ESPÉCIES DE PÓ DE MADEIRA. **Anais do X Congresso Brasileiro de Polímero**, Porto Alegre, RS, Outubro 2009. Disponível em: https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbpol/2009/PDF/1251.pdf. Acesso em: 19 fev. 2022.

SILVA, William Cesar Livramento. Influência das Condições de Processamento nas Propriedades de Madeira Plástica com Pó da Casca da Castanha de Caju. Dissertação de Mestrado. UFPB, 2019.

SOARES JÚNIOR, Aldo Batista. **Produção do Poli(tereftalato de etileno) Modificado com Glicerol e Derivados**. Orientador: José Carlos Costa da Silva Pinto. 2010. 79 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Química, Rio de Janeiro, 2010. DOI https://doi.org/10.1590/S0104-14282009000200009. Disponível em: http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_m/AldoBatistaSoaresJunior.pdf. Acesso em: 13 out. 2021.

TOLEDO DO BRASIL. ***MGV Cloud Web***. -, São Bernardo do Campo, SP, p. -, 1 nov. 2019. Disponível em: https://app.toledobrasil.com/mgv-cloud. Acesso em: 27 dez. 2021.

WWF (Suíça). **Solucionar a poluição plástica: transparência e responsabilização**, Gland, Suíça, n. 1, p. 12-38. 2019. Disponível em: https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms/files/51804/1552932397PLASTIC_REPORT_02-2019_Portugues_FINAL.pdf. Acesso em: 21 out. 2021.

ZIMMERMANN, Matheus Vinicius Gregory. Desenvolvimento de compósitos expandidos de poli (etileno-co-acetato de vinila)-eva reforçados com pó de madeira e com fibra de bananeira. 2014.

APÊNDICE A

1 Estimativa de unidades de PET usadas para a instalação

1.1 Pergolado (referência A)

Para este cálculo, considerou-se os perfis de madeira plástica tais como apresentado no item 4.2, e apenas uma unidade do componente de referência K. Com projeto visual exposto na Figura 15, a estrutura conta com 6 colunas verticais e 25 horizontais, todas com 2,50 metros de comprimento.

Figura 16 *- Projeto 3D do pergolado.*

FONTE: Elaboração própria.

1) Colunas: 6 colunas verticais e 25 horizontais de 2,50 m cada

$$M_{A1} = 31\ x\ 2{,}50\ m\ x\ 7\ \frac{kg}{m}$$

$$M_{A1} = 542{,}5\ kg$$

2) Arcos estruturais: 1 arco interno de 13 m de comprimento e 1 arco externo de 14,30m.

$$M_{A2} = (13\ m + \ 14{,}30\ m)\ x\ 7\ \frac{kg}{m}$$

$$M_{A2} = 191{,}10\ kg$$

Massa total de 1 item A:

$$M_{A\ Total}\ =\ M_{A1} + \ M_{A2}$$

$$M_{A\ Total}\ =\ 542{,}5\ kg + \ 191{,}10\ kg$$

$$M_{A\ Total}\ = 733{,}60\ kg$$

1.2 Gangorras (referência D)

Para este cálculo, considerou-se os perfis de madeira plástica tais como apresentado no item 4.2, e 9 unidades do componente de referência D. Com projeto visual exposto na Figura 16, a estrutura conta com uma coluna de apoio e elevação de 0,5 metros e uma horizontal transposta de 2,00 metros.

Figura 17 – *Projeto 3D das gangorras*.

FONTE: Elaboração própria.

Massa total de 1 item D:

$$M_D = [(44{,}1kg) + (3{,}5kg)]$$

$$M_D = 47{,}6\ kg$$

Considerando 9 unidades:

$$M_{D\ Total} = 47{,}6\ kg\ x\ 9$$

$$M_{D\ Total} = 428{,}4\ kg$$

1.3 Brinquedo uma torre (referência G)

Para este cálculo, considerou-se os perfis de madeira plástica tais como apresentado no item 4.2, de tal forma a extrapolar sua densidade levando em conta a área. Com projeto visual exposto na Figura 17, foram consideradas duas unidades do componente de referência G.

A estrutura conta com diversos componentes calculados separadamente, com destaque para 4 colunas com 2,80 metros de comprimento elevados à 1,40 metro do chão, uma escalada de 1,50 metro de comprimento por 0,80 metro de largura, e um pavimento elevado, quadrado, com lado medindo 1,05 metro.

Figura 18 – *Projeto 3D para um brinquedo com uma torre.*

FONTE: Elaboração própria.

Dimensões e cálculos:

1) Escalada: 1,55m x 0,80m

$$M_{G1} = \left[(1{,}55\ m\ x\ 0{,}80\ m)\ x\ 63{,}63\ \frac{kg}{m^2}\right]$$

$$M_{G1} = 78{,}90\ kg$$

2) Pavimento: 1,05m x 1,05m

$$M_{G2} = \left[(1{,}05\ m\ x\ 1{,}05\ m)\ x\ 63{,}63\ \frac{kg}{m^2}\right]$$

$$M_{G2} = 70{,}15\ kg$$

3) Cobertura: aproximação por pavimento – 1,05m x 1,05m

$$M_{G3} = \left[(1{,}05\ m\ x\ 1{,}05\ m)\ x\ 63{,}63\ \frac{kg}{m^2}\right]$$

$$M_{G3} = 70{,}15\ kg$$

4) Colunas: 2,10m

$$M_{G4} = \left[\left(2{,}80m\ x\ 7\frac{kg}{m}\right)\ x\ 4\right]$$

$$M_{G4} = 78{,}40\ kg$$

5) Escorregador: 2,70m x 0,48m

$$M_{G5} = \left[(2{,}70m\ x\ 0{,}48m)\ x\ 63{,}63\ \frac{kg}{m^2}\right]$$

$$M_{G5} = 82{,}46\ kg$$

6) Guarda-corpo: à título de estimativa, por possuírem espessura fina comparativamente, não serão contabilizados.

Massa total de 1 item G:

$$M_G = M_{G1} + M_{G2} + M_{G3} + M_{G4} + M_{G5}$$

$$M_G = 78{,}90\ kg + 70{,}15\ kg + 70{,}15\ kg + 78{,}40\ kg + 82{,}46\ kg$$

$$M_G = 380{,}06\ kg$$

Considerando 2 brinquedos do mesmo tipo:

$$M_{G\ Total} = 380{,}06\ kg\ x\ 2$$

$$M_{G\ Total} = 760{,}12\ kg$$

1.4 Brinquedo sem torre (referência F)

Para este cálculo, considerou-se os perfis de madeira plástica tais como apresentado no item 4.2, de tal forma a extrapolar sua densidade levando em

conta a área. Com projeto visual exposto na Figura 18, foi considerando apenas uma unidade do componente de referência K.

A estrutura conta com diversos componentes calculados separadamente, com destaque para 6 colunas: 4 com 1,80 metro de altura, 1 com 1,80 metro e 1 de 2,50 metros. O pavimento possui dimensões de 2,10 metros de comprimento por 1,05 metro de largura.

Figura 19 – *Projeto 3D para um brinquedo sem torre.*

FONTE: Elaboração própria.

Dimensões e cálculos:

1) Pavimento: 2,10 m x 1,05m

$$M_{F1} = \left[(2{,}10\ m\ x\ 1{,}05\ m)\ x\ 63{,}63\ \frac{kg}{m^2}\right]$$

$$M_{F1} = 140{,}30\ kg$$

2) Escorregador: igual à M_{G5}

$$M_{F2} = M_{G5} = 63{,}50\ kg$$

3) Colunas: 1 x 2,80 m; 4 x 1,80 m e 1 x 2,50 m

$$M_{F3} = [2{,}80\ m + (4\ x\ 1{,}80\ m) + 2{,}50\ m\ ]\ x\ 7\ \frac{kg}{m}$$

$$M_{F3} = \ 12{,}50\ m\ x\ 7\ \frac{kg}{m}$$

$$M_{F3} = 87{,}5\ kg$$

4) Guarda-corpo e folhas dos coqueiros: à título de estimativa, por possuírem espessura fina comparativamente, não serão contabilizados.

Massa total de 1 item F:

$$M_{F\ Total} \ = \ M_{F1} + \ M_{F2} + \ M_{F3}$$

$$M_{F\ Total} \ = \ 140{,}30\ \ kg + \ 63{,}50\ kg + \ 87{,}5\ kg$$

$$M_{F\ Total} \ = 291{,}30\ kg$$

1.5 Bancos (referência H)

Para este cálculo, considerando os perfis de madeira utilizados mais delgados do que as colunas estruturais, a título de aproximação com a realidade considerou-se o peso de um banco de madeira plástica já comercializado. Foram

consideradas 16 unidades para este projeto. A Figura 19 apresenta a proposta de projeto para os itens.

Figura 20 – *Projeto 3D para os bancos*.

FONTE: Elaboração própria.

A empresa GreenMad disponibiliza o dimensionamento de um banco de 3 lugares, no tamanho 1,50 m x 0,76 m, correspondendo à uma massa de 25 kg. Extrapolando para as unidades propostas no projeto, tem-se: (GREENMAD, 2020)

$$M_{H\,Total} = 25\ kg\ x\ 16$$

$$M_{H\,Total} = 400\ kg$$

1.6 Brinquedo uma torre (referências M e K)

Para este cálculo, considerou-se os perfis de madeira plástica tais como apresentado no item 4.2, de tal forma a extrapolar sua densidade levando em

conta a área. Com projeto visual exposto na Figura 20, foram consideradas duas unidades do componente de referência G.

A estrutura conta com diversos componentes calculados separadamente, com destaque para 8 colunas: 1 de 2,90 metros de altura, 4 de 2,80 metros, 2 de 2,20 metros e 2 de 0,80 metro. Um pavimento elevado, com base quadrado e lado igual à 1,05 m, com escalada de dimensões de 1,55 metro de comprimento por 1,05 de largura. A estrutura conta ainda com uma escada, explicitada posteriormente.

Figura 21 – *Projeto 3D para um brinquedo de uma torre.*

FONTE: Elaboração própria.

Dimensões e cálculos:

1) Escorregadores: 1 unidade com descida dupla. Consideração: igual à duas unidades de M_{G5}.

$$M_{K1} = 2\ x\ M_{G5}$$

$$M_{K1} = 2\ x\ 63{,}50\ kg$$

$$M_{K1} = 127\ kg$$

2) Escada curva: 5 degraus com 0,20 m de profundidade e 0,15 m de altura. Largura de 1,05 m tal como o pavimento. Aproximação de cálculo para uma rampa com comprimento tal qual as dimensões dos degraus.

$$M_{K1} = [(0{,}20\ m + 0{,}15\ m)\ x\ 5\ x\ 1{,}05\ m]\ x\ 63{,}63\ \frac{kg}{m^2}$$

$$M_{K1} = 116{,}92\ kg$$

3) Escalada: 1,55 m x 1,05 m

$$M_{K3} = \left[(1{,}55\ m\ x\ 1{,}05\ m)\ x\ 63{,}63\ \frac{kg}{m^2}\right]$$

$$M_{K3} = 103{,}56\ kg$$

4) Colunas: 1 x 2,90 m, 4 x 2,80 m, 2 x 2,20 m, 2 x 0,80 m

$$M_{K4} = [(1\ x\ 2{,}90\ m) + (4\ x\ 2{,}80\ m) + (2\ x\ 2{,}20\ m) + (2\ x\ 0{,}80\ m)]\ x\ 7\ \frac{kg}{m}$$

$$M_{K4} = 135{,}1\ kg$$

5) Pavimentos: 2 x (1,05 m x 1,05 m)

$$M_{K5} = \left[2\ x\ (1{,}05\ m)^2\ x\ 63{,}63\ \frac{kg}{m^2}\right]$$

$$M_{K5} = 140{,}30\ kg$$

6) Cobertura: aproximação por pavimento

$$M_{K6} = (1{,}05\ m)^2\ x\ 63{,}63\ \frac{kg}{m^2}$$

$$M_{K6} = 70{,}15\ kg$$

Massa total de 1 item K:

$$M_{K\ Total} = M_{K1} + M_{K2} + M_{K3} + M_{K4} + M_{K5} + M_{K6}$$

$$M_{K\ Total} = 127\ kg + 116{,}92\ kg + 103{,}56 kg + 135{,}1\ kg + 140{,}30\ kg + 70{,}15\ kg$$

$$M_{K\ Total} = M_{M\ Total} = 693{,}03\ kg$$

1.7 Brinquedo três torres (referência N)

Para este cálculo, considerou-se os perfis de madeira plástica tais como apresentado no item 4.2, de tal forma a extrapolar sua densidade levando em conta a área. Com projeto visual exposto na Figura 21, foi considerada apenas um componente de referência N.

A estrutura conta com diversos componentes calculados separadamente, com destaque para 10 colunas de 2,80 metros cada, 2 de 1,55 metro e 3 de 2,50 metros. Grande pavimento elevado, escada, escalada e escorregadores foram explicitados, posteriormente.

Figura 22 – *Projeto 3D para um brinquedo de três torres.*

FONTE: Elaboração própria.

Dimensões e cálculos:

1) Escorregadores: 3 unidades iguais à M_{G5}

$$M_{N1} = M_{G5} = 3\ x\ 63{,}50\ kg$$

$$M_{N1} = 190{,}50\ kg$$

2) Escada curva + ponte: 2 x (11 x 0,80 m)

$$M_{N2} = 2\ x\ (11\ x\ 0{,}80\ m\ )\ x\ 7\ \frac{kg}{m}$$

$$M_{N2} = 2\ x\ 61{,}60\ kg$$

$$M_{N2} = 123{,}20\ kg$$

3) Pavimentos: 3 x (0,80 m)²

$$M_{N3} = 3\ x\ (\ 0{,}80\ m\ )^2\ x\ 63{,}63\ \frac{kg}{m^2}$$

$$M_{N3} = 122{,}17\ kg$$

4) Coberturas: aproximação por pavimento: 0,80 m x 0,80 m

$$M_{N4} = 2\ x\ (0{,}80\ m)^2\ x\ 63{,}63\ \frac{kg}{m^2}$$

$$M_{N4} = 81{,}45\ kg$$

5) Colunas: (2 x 1,55 m) + (10 x 2,80 m) + (3 x 2,50 m)

$$M_{N5} = [(2\ x\ 1{,}55\ m) + (10\ x\ 2{,}80\ m) + (3\ x\ 2{,}50\ m)]\ x\ 7\ \frac{kg}{m}$$

$$M_{N5} = 38{,}60\ m\ x\ 7\ \frac{kg}{m}$$

$$M_{N5} = 270{,}20\ kg$$

Massa total de 1 item N:

$$M_{N\ Total} = M_{N1} + M_{N2} + M_{N3} + M_{N4} + M_{N5}$$

$$M_{N\ Total} = 190{,}50\ kg + 123{,}20\ kg + 122{,}17\ kg + 81{,}45\ kg + 270{,}20\ kg$$

$$M_{N\ Total} = 787{,}52\ kg$$