



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA METALÚRGICA E DE MATERIAIS
CURSO DE ENGENHARIA METALÚRGICA

KALYNE MAYARA CARNEIRO MARTINS FARIAS

RECICLAGEM DE PARA-BRISAS

FORTALEZA

2022

KALYNE MAYARA CARNEIRO MARTINS FARIAS

RECICLAGEM DE PARA-BRISAS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Metalúrgica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharela em Engenharia Metalúrgica.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Emílio Ferreira Quevedo Nogueira.

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F238r Farias, Kalyne Mayara Carneiro Martins.

Reciclagem de para-brisas / Kalyne Mayara Carneiro Martins Farias. – 2022.

62 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
Curso de Engenharia Metalúrgica, Fortaleza, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Ricardo Emílio Ferreira Quevedo Nogueira.

1. Vidro. 2. PVB. 3. Para-brisas. 4. Reciclagem. 5. Logística reversa. I. Título.

CDD 669

KALYNE MAYARA CARNEIRO MARTINS FARIAS

RECICLAGEM DE PARA-BRISAS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Metalúrgica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharela em Engenharia Metalúrgica.

Aprovado em: 17/02/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ricardo Emílio Ferreira Quevedo Nogueira (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Enio Pontes de Deus
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Jorge Luiz Cardoso
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.
A minha família.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida.

Ao meu pai, por ter acreditado em mim.

Ao meu marido, por ter me incentivado a entrar no curso e persistir nele.

A minha mãe, com sua fé e suas orações.

À Universidade Federal do Rio de Janeiro.

À Universidade Federal do Ceará.

A Brenda Kayse, que me ajudou na execução das perguntas.

Ao meu amigo Osvaldo, que por muitas vezes me ensinou e solucionou dúvidas.

Ao graduando Daniel Azevedo, por ter sido meu companheiro e amigo fiel.

A todos os demais colegas, que contribuíram durante todo o curso com atenção e carinho.

Ao Prof. Dr. Ricardo Emílio Ferreira Quevedo Nogueira, pela importante orientação.

Aos professores participantes da Banca examinadora.

“Tudo posso naquele que me fortalece.”

Filipenses 4:13

RESUMO

Este estudo investigou a importância do processo de separação do filme polivinil butiral e do vidro de para-brisa para reciclar para-brisas como forma de possibilitar o descarte correto dos mesmos no meio ambiente, tendo como benefício estabelecer logística reversa no comércio e incentivar a reciclagem de vidros automotivos em Fortaleza. Além disso, buscou pesquisar os métodos e os processos envolvidos na reciclagem dos para-brisas de veículos, analisar a possibilidade de criar logística reversa para o comércio de reposição desses aparelhos, indicar para o comércio de reposição de para-brisas a melhor forma de enviar seus vidros para reciclagem e traçar formas que facilitem empresas a estabelecer a logística reversa para facilitar a reciclagem de para-brisas. Para tanto, foi utilizado como método para coleta de dados a pesquisa bibliográfica em livros, artigos científicos, sites, revistas virtuais e estudo de caso, através da aplicação de três modelos de questionários, sendo o primeiro em três empresas do ramo de vidro automotivo em Fortaleza/CE, o segundo com uma recicladora situada no estado de São Paulo/SP, e o terceiro com uma fabricante de vidros automotivos atuante em todo o país. A partir da pesquisa bibliográfica, foi possível ver como funciona a reciclagem de para-brisas, o método de separação do vidro, o PVB mais utilizado e quais os métodos mais eficientes para separar os materiais. Além dos resultados do estudo de caso, verificou-se a viabilidade de implementação do sistema de logística reversa aplicada ao descarte de vidros automotivos dentro das empresas, embora exista a dificuldade de coleta e transporte desses resíduos, por não haver empresas especializadas em reciclar para-brisas na região, além de não existir política de retorno por parte dos fabricantes. Conclui-se que é oportuno e vantajoso, para o meio ambiente e gerações futuras, o engajamento empresarial no descarte correto de vidros automotivos. Enfim, por meio do estudo realizado e dos almejos futuros apresentados, foi possível vislumbrar uma sociedade mais limpa e comprometida com o futuro mais sustentável reutilizando materiais antes descartados de forma abusiva na natureza.

Palavras-chave: Vidro; Polivinil Butiral; para-brisas; reciclagem; logística reversa.

ABSTRACT

This study investigated the importance of the process of separating Polyvinyl Butyral film and windshield glass to recycle windshields as a way to enable their correct disposal in the environment, with the benefit of establishing logistic reverse in trade and encouraging glass in Fortaleza. In addition, it sought to research the methods and processes involved in the recycling of vehicle windshields, analyze the possibility of creating logistic reverse for the replacement trade of these devices, indicate to the windshield replacement trade the best way to ship their glass for recycling and outline ways to make it easier for companies to establish reverse logistic to facilitate windshield recycling. Therefore, bibliographic research in books, scientific articles, websites, virtual magazines and case studies were used as a method for data collection, through the application of three models of questionnaires, the first in three companies in the field of automotive glass in Fortaleza/CE, the second with a recycler located in the state of São Paulo/SP, and the third with an automotive glass manufacturer operating throughout the country. From the bibliographical research, it was possible to see how windshield recycling works, the glass separation method, the most used PVB and which are the most efficient methods to separate materials. In addition to the results of the case study, the feasibility of implementing a reverse logistics system applied to the disposal of automotive glass within the companies was verified, although there is difficulty in collecting and transporting this waste, as there are no companies specialized in recycling for- breezes in the region, and there is no return policy on the part of the manufacturers. It is concluded that it is opportune and advantageous for the environment and future generations to engage in the correct disposal of automotive glass. Finally, through the study carried out and the future goals presented, it was possible to envision a cleaner society committed to a more sustainable future, reusing materials that were previously abusively discarded in nature.

Keywords: Glass; Polyvinyl Butyral; windshield; recycling; reverse logistic.

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

Abravidro - Associação Brasileira de Distribuidores e Processadores de Vidros Planos

Abividro - Associação Brasileira das Indústrias de Vidros

Anavidro - Associação Nacional de Vidraçarias

Cebrace - Companhia Brasileira de Cristal

IUPAC - União Internacional de Química Pura e Aplicada

NBR - Norma brasileira

PVA - Álcool polivinílico

PVAc - Acetato de polivinila

PVB - Polivinil butiral

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Linha do tempo da evolução do vidro.....	33
Figura 2: Vidro laminado.....	35
Figura 3: Fabricação de para-brisas.....	37
Figura 4: Reator com agitador mecânico.....	48
Figura 5: Fluxograma do processo de logística reversa.....	51
Figura 6: Resíduo de para-brisas.....	52
Figura 7: Resíduo de para-brisas.....	53
Figura 8: Poliguindaste.....	61
Figura 9: Roll-on.....	61
Figura 10: Processo de reciclagem do vidro.....	62

LISTA DE SÍMBOLOS

° - Grau radiano

°C - Grau Celsius

% (p/p) - Porcentagem em massa

Al - Alumínio

g - Gramas

h - Horas

kg - Quilogramas

kJ/mol - Quilojoule por mol

Mg - Magnésio

Mm - Milímetros

Na - Sódio

O - Oxigênio

OH- Hidroxila

PPM - Partes por milhão

Seg - Segundos

Si - Silício

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	26
1.1 Justificativa	27
1.2 Objetivo geral.....	27
1.3 Objetivos específicos.....	28
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	28
2.1 Vidro	30
2.2 História	31
2.2.1 Vidro temperado.....	34
2.2.2 Vidro laminado	35
2.2.3 Para-brisa	36
2.2.4 Reciclagem do vidro	38
2.3 PVB	40
2.3.1 Polímeros	40
2.3.2 Filme PVB	41
2.3.3 Força adesiva	43
2.3.4 Reciclagem do PVB	44
2.4 Método de separação por trituração.....	46
2.5 Método de separação do resíduo após trituração por ataque termoquímico	47
2.6 Método de separação por processo mecânico seguido de ataque termoquímico.	48
3 PAPEL DA RECICLAGEM DE PARA-BRISAS AUTOMOTIVOS EM RELAÇÃO AO MERCADO DE REPOSIÇÃO DE VIDROS AUTOMOTIVOS.....	50
3.1 Logística reversa	50
3.2 Descarte de vidro automotivo.....	52

4 METODOLOGIA.....	53
4.1 Estudo de caso.....	55
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	57
6 CONCLUSÃO.....	65
REFERÊNCIAS	67
APÊNDICE	72

1 INTRODUÇÃO

A reciclagem é o processo que visa reutilizar os materiais impedindo de serem descartados de forma incorreta. O objetivo é possibilitar que materiais que podem ser reciclados sejam reintroduzidos na cadeia produtiva, evitando a degradação do ambiente e o desperdício de recursos naturais.

De forma geral, a reciclagem de para-brisas possibilita a reutilização de dois materiais que podem ser reciclados, além de evitar que sejam descartados de forma danosa à natureza. Com isso, as toneladas de vidros automotivos descartadas por mês pelo mercado repositivo passam a ter destino correto, a reciclagem. Esta pesquisa foca em estudar a reciclagem de para-brisas como contribuição ao descarte correto das empresas de reposição.

O vidro laminado é feito de duas camadas de vidro e uma película plástica chamada PVB, sendo os dois materiais recicláveis. Atualmente, o destino dos para-brisas é o aterro sanitário: apenas no Brasil são cerca de cinco mil toneladas de vidro laminado, sendo vários quilos de para-brisa e de PVB descartados de forma incorreta.

Hoje, no Brasil, existem poucas empresas empenhadas na reciclagem de para-brisas, pois separar a camada plástica e o vidro não é um processo simples, além de ser difícil implementar o processo de logística reversa por parte do comércio de reposição.

A finalidade do estudo foi entender como funciona o processo de separação do vidro e do PVB, tendo em vista o aproveitamento do resíduo de descarte de para-brisa e, partir daí, contribuir para incentivar mais empresas a adentrarem no processo de reciclagem, o que poderia tornar mais fácil a implementação de uma logística reversa no comércio de reposição. Baseado nisso, pensar em meios que possam facilitar a criação de um plano estratégico onde empresas recicladoras ou fabricantes estejam diretamente ligadas ao comércio de reposição de vidros automotivos para possibilitar a reciclagem logo após o descarte se torna essencial.

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram utilizadas pesquisas bibliográficas e estudo de caso. A pesquisa bibliográfica baseou-se em: revistas, artigos científicos, livros, sites e materiais digitais. O estudo de caso foi desenvolvido através da aplicação de questionários, onde após a coleta de dados, foi feita a descrição dos fatos, apresentados de forma descritiva.

O trabalho de conclusão de curso estrutura-se em quatro capítulos. O primeiro apresenta a história do vidro, os tipos de vidros e informações sobre para-brisas e reciclagem do

vidro. O subcapítulo aborda o PVB, os polímeros, a força adesiva e a reciclagem do PVB. No segundo capítulo são apresentados os principais estudos de métodos de separação do vidro e o PVB. O terceiro capítulo aborda definição de logística reversa e como funciona o descarte de vidro automotivo.

1.1 Justificativa

O descarte indevido de materiais vítreos na natureza acontece de maneira exacerbada por parte do comércio varejista que trabalha na reposição de vidros automotivos, embora estes sejam 100% recicláveis. Isto ocorre porque não existe um programa de logística reversa entre os fornecedores e os repositores, o que exigiria um esforço de coordenação e implicaria custos. No caso dos para-brisas existe uma dificuldade maior devido à necessidade de separação do vidro e do filme de PVB, mas os dois materiais são recicláveis e podem voltar ao processo de fabricação dos mais diversos produtos.

Se existem dois materiais recicláveis, por que o pouco interesse de investimento em empresas coletoras/reciclagem? Até mesmo para os fabricantes, seria interessante a implementação de um ciclo produtivo circular para destinar esses vidros corretamente e, assim, evitar o seu descarte em aterros sanitários.

Considerando a dificuldade em separar o vidro e o filme de PVB, e a relevância da reciclagem desses materiais, esta pesquisa se justifica por apresentar uma contribuição para o problema ambiental representado pelo descarte desses materiais, bem como sugerir um aproveitamento econômico desses resíduos.

1.2 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral fazer um levantamento sobre os principais processos de separação do filme PVB e o vidro de para-brisa, visando contribuir para reciclar para-brisas como forma de possibilitar o seu descarte correto no meio ambiente, tendo como benefício implementar logística reversa no comércio de reposição e incentivar a reciclagem do material citado em Fortaleza.

1.3 Objetivos específicos

- Pesquisar os métodos e processos envolvidos na reciclagem dos para-brisas dos veículos.
- Compreender como a logística reversa pode facilitar o reaproveitamento do vidro e do PVB.
- Analisar a possibilidade de implementar logística reversa para o comércio de reposição de para-brisas.
- Sugerir formas que possibilitem a reciclagem de para-brisas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Devido ao uso crescente de vidro na indústria automotiva, tem-se o descarte indevido de vidro de para-brisa no meio ambiente. O vidro na natureza pode demorar milhares anos para se decompor, enquanto o filme plástico PVB, película entre as camadas de vidro, demora cerca de alguns anos para ser completamente eliminado da natureza. Portanto, a alternativa é a reciclagem de para-brisas, pois evita o descarte de forma descontrolada no meio ambiente, além de aproveitar um material que é 100% reciclável. “O processo de reciclagem do vidro do para-brisa é de extrema importância para a sustentabilidade do planeta” (SAINT-GOBAIN AUTOVER, 2015).

Atualmente o destino desses materiais é o aterro sanitário e só no Brasil são descartados cerca de 120 mil para-brisas/mês. Como cada um deles pesa 15 kg – sendo 14 kg de vidro e 1 kg de PVB –, aproximadamente 1,8 mil toneladas do produto termina mensalmente nos aterros, e se o cálculo for feito para um ano, encontra-se o valor de 21,6 mil toneladas de vidro laminado – lembrando que o PVB levaria 500 anos para ser assimilado pela natureza e que o vidro é praticamente indestrutível (VARGAS e WIEBECK, 2007, p. 137).

Devido ao grande número de para-brisas descartados na natureza, temos um grande impasse quando falamos de sustentabilidade, pois tanto o vidro como o PVB podem ser reutilizados.

A reciclagem de para-brisas proporciona a preservação do meio ambiente, além de reutilizar materiais que levariam anos para se decompor. Devido à dificuldade em separar o vidro e o filme PVB, a reciclagem desses vidros automotivos não tem sido muito efetiva no Brasil.

Cerca de apenas 8% desse material é reciclável no Brasil, enquanto em outros países esse valor é bem maior, além de terem mais empresas especializadas nesse tipo de reciclagem. Por isso, é necessário procurar desenvolver métodos de reciclagem que ajudem empresas a aderir à reciclagem do vidro automotivo.

O Brasil precisa de empresas engajadas em sustentabilidade, pois o número de para-brisas enviados para a reciclagem é bem inferior ao número de para-brisas descartados em aterros sanitários. Sendo assim:

Infelizmente, o Brasil ainda está engatinhando quando o assunto é reciclagem de para-brisas. Apenas 4% do total dos vidros substituídos recebem destinação adequada. Atualmente, o Instituto Autoglass recolhe, em todas as suas 32 unidades e 700 pontos de atendimento, 130 toneladas, por mês, do material. É um número muito pequeno considerando o universo do volume dos resíduos despejados na natureza mensalmente (CARREIRA, 2013).

Conforme citado acima, a reciclagem de para-brisas é de extrema importância para o Brasil. Trata-se inegavelmente de destinar dois materiais que podem ser reutilizados em diversas áreas, o vidro, sendo reciclado 100%, e o PVB, sendo reaproveitado para compor outros materiais. Seria um erro, porém, não destinar de forma correta esses vidros, e continuar na contramão da sustentabilidade. Assim, reveste-se de particular importância o desenvolvimento de métodos para separar o vidro do filme PVB, a fim de facilitar a reciclagem e atrair novos olhares para um nicho tão importante para o nosso país. Sob essa ótica, ganha particular relevância o projeto de lei “Dispõe sobre a responsabilidade das empresas que fabricam, importam, comercializam ou instalam vidros automotivos pela coleta e destinação final ambientalmente adequada dos produtos descartados” (BRASIL, 2009).

Pode-se dizer que, segundo Torquetto (2017, p. 158) “A reciclagem do vidro, como se verifica, além de representar um importante aspecto ambiental, também se torna um relevante fator socioeconômico na geração de empregos”. Nesse contexto, fica claro que a relevância do assunto reciclagem de vidros tem sido incontestável, entretanto, o Brasil, apesar da lei já existente, infelizmente ainda engatinha quando se trata de reciclagem de para-brisas.

O mais preocupante, contudo, é constatar a falta de investimento no setor; mesmo trazendo diversos benefícios, ainda não atrai atenção de empresas, pois existe a dificuldade da separação do vidro e do PVB, como também o estudo para implementação de uma logística reversa no mercado de reposição. Não é exagero afirmar a pouca preocupação do setor, pois é um processo custoso e difícil de implementar. É importante uma atenção maior desse setor, pois em países da Europa existem diversas empresas que trabalham na reciclagem de vidros, como também em todas as peças dos veículos, possibilitando reaproveitamento.

Dessa forma, a dificuldade da reciclagem de para-brisas é um empecilho para atrair empresas com intuito de reaproveitar o vidro e o PVB, mas o desenvolvimento de métodos para separação do vidro e o PVB, como também uma logística reversa bem estruturada para facilitar a coleta desse material do comércio de reposição, pode proporcionar um novo rumo para reciclar um material totalmente reciclável, e assim trazer benefícios a toda a cadeia produtiva.

Com a crescente preocupação quanto à melhoria da gestão dos resíduos sólidos, surge a busca de novas alternativas para a destinação final destes. A reutilização de resíduos incorporados a materiais de construção vem sendo apontada como uma dessas alternativas. Dentre os resíduos gerados no Brasil, destacam-se os resíduos de vidro. O vidro laminado, utilizado no setor automotivo e da construção civil, possui reciclagem limitada devido à dificuldade de separar totalmente seus componentes, vidro plano e o polímero polivinil butiral. (SAUER, TRISÃO e VIEIRA, 2013, p. 43).

Parece óbvio que há uma crescente preocupação com o descarte indevido desse material, mas não por parte das empresas, mas sim por parte ainda de uma grande minoria que se preocupa com o futuro próximo. Conforme explicado anteriormente, dentre as mais diversas áreas existem estudos que estão progredindo em relação à reciclagem dos materiais que compõem o para-brisa. Os autores deixam clara a dificuldade de reciclagem, pois existe a dificuldade de separar o vidro e camada de PVB, mas a busca de novos métodos pode atrair o interesse de empresas do ramo de reciclagem, e a partir daí, propor para o mercado de reposição de vidros automotivos uma coleta seletiva e direcionada.

2.1 Vidro

O vidro é um material que pode ser aplicado em diversos segmentos, e possui algumas qualidades que o torna um material até hoje essencial para o cotidiano. “O vidro é

uma substância inorgânica, homogênea e amorfa, obtida através do resfriamento de uma massa em fusão. Suas principais qualidades são a transparência e a dureza” (CEBRACE, 2015).

Segundo Shreve; Brink Jr. (2012), “pode-se dizer que o vidro do ponto de vista física se trata de um líquido existente que se encontra abaixo do seu ponto de ebulição normal, duro e com alta viscosidade”. Do ponto de vista químico, temos uma estrutura desorganizada que através da decomposição de compostos alcalinos, alcalinoterrosos e areia, resulta na mistura de óxidos inorgânicos não voláteis. Fica claro que é um material muito utilizado no dia a dia porque não interage com nenhuma outra substância. Não é exagero afirmar que não há material substituível para o vidro quando pensamos em todas as aplicações.

Conforme explicado acima, o vidro tem um grande papel quando se procura um material versátil, pois por ser um material transparente e rígido, pode ser utilizado em diversos objetos. É interessante, aliás, ressaltar suas qualidades através das suas características físicas e químicas para entender sua empregabilidade, mas há um fator que se sobrepõe à utilidade do vidro.

Além de bonito, o vidro é um material versátil. Pode assumir diferentes formas, tamanhos e cores, além de ser seguro e higiênico. O vidro também é a solução para as mais complexas necessidades da vida moderna: arquitetura, decoração, construção civil, embalagens, indústria automobilística e de eletrodomésticos, aplicações industriais em geral. O vidro é obtido pela fusão de componentes inorgânicos a altas temperaturas e resfriamento rápido da massa resultante até um estado rígido, não cristalino (CÉSAR, DE PAULA e KROM, 2004, p. 642).

Espera-se, dessa forma, entender que o vidro pode ser aproveitado em diversas indústrias, seja automobilística, civil, ou até mesmo em utensílios do cotidiano. Toda essa aplicabilidade é devida às qualidades das quais os materiais vítreos possuem, onde transparência e rigidez são pontos de suma importância na hora da escolha do material adequado.

2.2 História

A história do vidro não tem a origem bem precisa de acordo com os historiadores. Em torno de 4.000 anos antes de Cristo, suponha-se que o vidro já era conhecido. De acordo com alguns autores, o vidro foi descoberto de forma casual, através de mercadores fenícios em uma praia da costa da Síria. “Embora os historiadores não disponham de dados precisos sobre sua origem, foram descobertos objetos de vidro nas necrópoles egípcias, por isso,

imagina-se que o vidro já era conhecido há pelo menos 4.000 anos antes da Era Cristã, e que fora descoberto de forma casual” (CEBRACE, 2015).

De acordo com Blindex (2021) e Cebrace (2015), não se sabe ao certo o surgimento do vidro, mas sabe-se que foi há milênios antes da era Cristã. Foram os egípcios ou fenícios que começaram a utilizar os primeiros vidros, contudo, eles foram aprimorados pelos romanos. Existia uma ilha em Veneza, chamada de Murano, que se tornou especialista na fabricação de vidros. Logo se espalhou pela a Europa, onde foram aprimoradas técnicas e intensificada a produção.

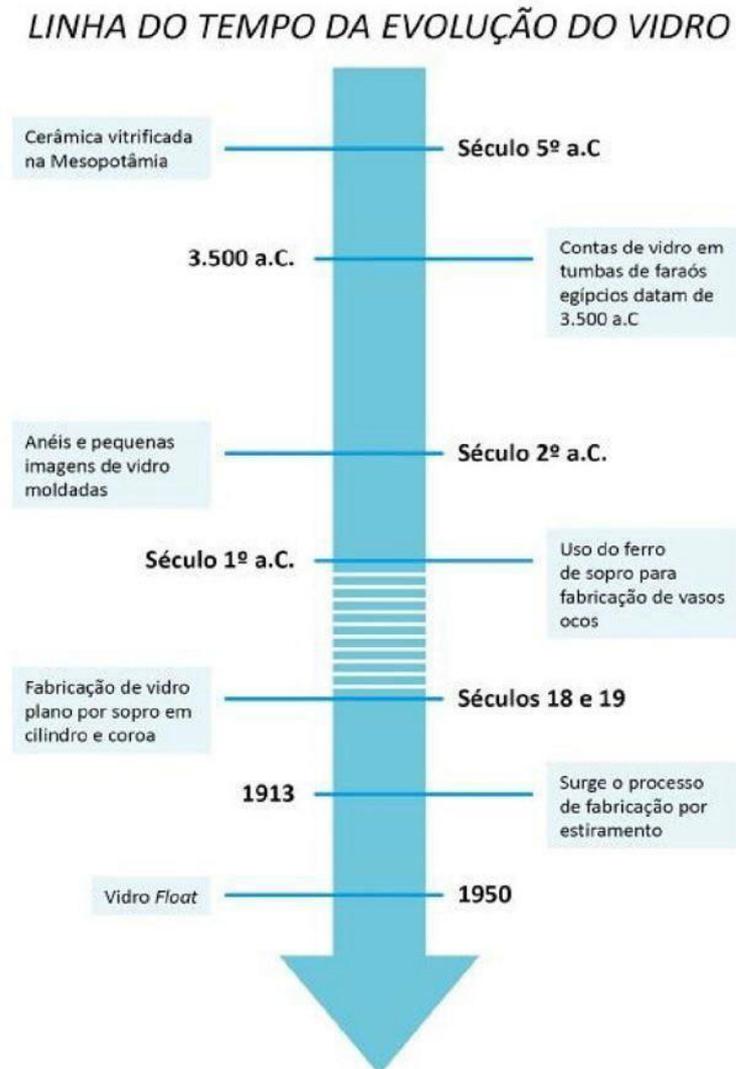
Segundo Maia (2003), “as peças eram destacadas por suas qualidades e por causa disso ficaram conhecidas por ‘Cristallo’, e isso se deve ao desenvolvimento de uma técnica, conhecida como sopro”. Com o passar do tempo, novas técnicas foram introduzidas no processo de fabricação que possibilitaram o surgimento do vidro plano. Hoje, temos processos de alta precisão, e o mais conhecido que é o Float.

Nas palavras de Blindex (2021):

A Revolução Industrial consolidou a moderna indústria do vidro e mais recentemente, sobretudo a partir dos anos 1950, a tecnologia de fabricação alcançou outros patamares, com aperfeiçoamento de novos produtos, ampla utilização dos vidros de segurança, vidros com superfícies tratadas, entre outros avanços proporcionados pelas mais recentes descobertas tecnológicas. Devido ao aumento da demanda na Revolução Industrial, o mercado foi pressionado a intensificar a produção de vidros e, com isso, aumentou a empregabilidade dos vidros em diversos segmentos.

De acordo com Setz e da Silva (2019), “existem inúmeras histórias a respeito do surgimento do primeiro vidro.” Sabe-se que existe certa desconfiança de que os vidros possam ter sido formados de forma tão aleatória, através de fogueiras que eram acesas na beira do rio, e que seriam provenientes da união de minerais alcalinos com areia. Os eventos que marcaram o surgimento foram:

Figura 1 - Linha do tempo da evolução do vidro



Fonte: Westphal (2016).

Conforme a figura 1, pode-se dizer que o vidro é um material facilmente adaptável e de uso em infinitas aplicações. Apesar de não se saber ao certo o surgimento dos primeiros materiais vítreos, o fato é que esse marco histórico no desenvolvimento humano traz benefícios de suma importância, desde aplicação em itens básicos, como também em carros, aeronaves, dentre outros. É um item indispensável quando procuramos sofisticação, versatilidade e segurança. Em suma, encontrar um material que possa substituí-lo não é tarefa simples, por isso continuará sendo uma indústria muito promissora.

2.2.1 Vidro temperado

O vidro convencional float pode passar por um processo que se chama têmpera, onde é introduzida uma resistência mecânica a fim de torná-lo um vidro de segurança. “A partir desse tratamento, confere ao produto resistência mecânica à flexão a impactos muito maiores que a do vidro convencional, e resistência térmica em relação ao seu vidro de origem, suportando variações de temperatura de até 227°C, conforme a ABNT NBR 14698:2001” (BLINDEX, 2015).

De acordo com Westphall e Simon (2016):

Pode-se afirmar que o vidro temperado trata-se do vidro convencional float. Neste contexto, fica claro que o vidro, para se tornar mais resistente, passa por um processo de têmpera. O mais importante, contudo, é constatar que após esse processo, o vidro pode ser utilizado como vidro de segurança. Não é exagero afirmar que esse tipo de vidro fica mais resistente e com a mesma configuração do float. Em todo esse processo ocorre um aquecimento até a uma temperatura de 600°C e, logo após, um resfriamento rápido, fazendo com o que as moléculas do vidro fiquem em estado de compressão.

É importante ressaltar que o vidro temperado é o mais indicado quando se trata de segurança, mas, em cima disso, para essa finalidade, é necessário que o float passe pelo processo de têmpera. Finalmente, teremos um vidro com as mesmas qualidades do convencional, e bem mais resistente. Ora, prezando pela segurança, principalmente quando se usa em certos locais, como veículos, guarda-corpo, dentre outros, a busca é sempre por segurança. Em função disso, sabe-se que esse tipo de vidro, quando se quebra, os fragmentos são pequenos e, em vista disso, evitam-se acidentes.

A fabricação do vidro temperado é realizada por meio de um forno de têmpera horizontal ou vertical. O vidro float (comum) é submetido a um processo de aquecimento e resfriamento rápido que o torna mais resistente mecanicamente (até cinco vezes mais do que o vidro comum) e a choques térmicos. É considerado um vidro de segurança, uma vez que, em caso de quebra, fragmenta-se em pequenos pedaços, diminuindo o risco de ferimentos. Tais características fazem com que ele esteja muito presente na construção civil, na indústria automotiva e também na decoração (ABRAVIDRO, 2019).

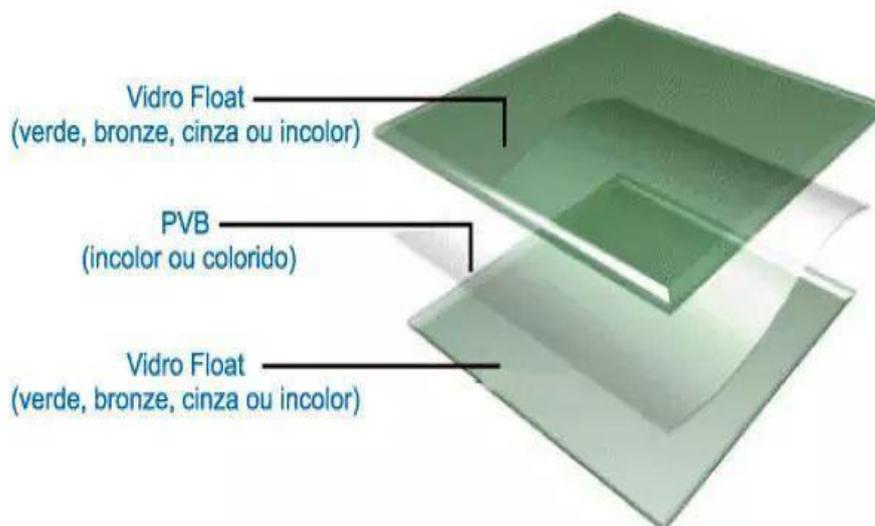
O que hoje é formalmente conhecido como vidro temperado é conceituado por Abravidro (2021): “O vidro float (comum) é submetido a um processo de aquecimento e

resfriamento rápido que o torna bem mais resistente à quebra por impacto, apresentando, assim, resistência até cinco vezes maior que a do vidro comum”. É considerado um vidro de segurança, pois quando se quebra pode ficar em pedaços pequenos evitando o risco de acidentes. Pode ser aplicado em diversas indústrias, principalmente, automobilística.

2.2.2 Vidro laminado

O vidro laminado (figura 2) é um tipo de vidro de segurança, pois ao se estilhaçar mantém-se unido a uma película plástica evitando acidentes. “O laminado é um vidro de segurança, classificação atribuída também aos temperados e aos aramados. É composto de duas ou mais lâminas de vidro fortemente interligadas, sob calor e pressão, por uma ou mais camadas de polivinil butiral (PVB) ou resina” (ABRAVIDRO, 2019).

Figura 2 - Vidro laminado



Fonte: Anavidro (2013).

De acordo com Shreve; Brink Jr.(2012), pode-se dizer que vidro laminado é definido com uma estrutura composta. Neste contexto, fica claro que é utilizado como vidro de segurança. O mais importante, contudo, é constatar que se pode utilizar vidro comum na fabricação do laminado. Não é exagero afirmar que ao utilizar esse tipo de vidro evitam-se

acidentes. Em todo esse processo, pode-se dizer que as lâminas do vidro float unem-se a uma camada de polivinil butiral.

Para Gomes (2018, p. 27), “sete estágios básicos fazem parte do processo usual, respectivamente: preparação das chapas, lavagem, sala limpa, preaquecimento, autoclave, corte automático e acabamento.”

A melhor maneira de compreender esse processo é considerar que podemos utilizar duas folhas de vidro float aderidas a uma camada plástica de PVB. Não se trata de pensar em utilizar vidros apenas como decoração, porque são materiais que podem ser empregados em muitos outros segmentos. É pertinente trazer à tona que muitos acidentes podem acontecer quando utilizamos apenas o vidro comum, por isso, hoje, vidro laminado pode ser utilizado em larga escala.

O vidro laminado compreende duas ou mais folhas de vidro separadas e unidas por camadas intermediárias. A vantagem é que, se uma folha quebrar, as demais permanecem intactas e podem manter no lugar os fragmentos da folha quebrada. A camada intermediária costuma ser composta de um plástico fino e transparente chamado PVB (polyvinylbutyrate, ou polivinil butiral), mas a resina pode ser usada (GARRISON, 2018, p. 288).

Para Westphal (2016), “O vidro laminado pode ser considerado vidro de segurança, desde que atenda aos requisitos da NBR 14697, nos quais são apresentados os procedimentos de ensaio para os vidros laminados”. Por todas essas razões, o vidro laminado é classificado como vidro de segurança, pois une o vidro comum a uma película plástica, deixando-o mais resistente, além de reter os fragmentos de vidros. Pode ser aplicado de acordo com os padrões e normas de segurança exigidos, sendo muito utilizado na construção civil.

2.2.3 Para-brisa

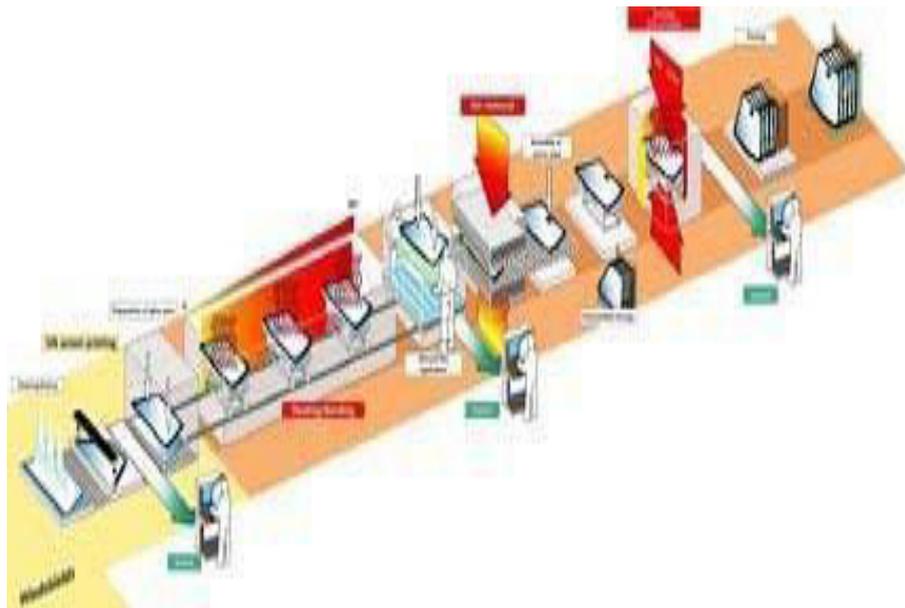
O para-brisa é um tipo de vidro que foi criado como um aparato de segurança para ser utilizado em veículos. Sendo criado há mais de 100 anos, é um item que pode ser observado na parte da frente dos carros. “Instalado na parte frontal do automóvel, foi criado para proteger o motorista e os demais passageiros de vento, chuva, poeira e neve”. (AUTOVER, 2015).

Para Autover (2015):

Pode-se dizer que para a produção de vidro laminado, o vidro plano é separado e cortado. Logo após, é necessário realizar a serigrafia em uma das camadas do vidro, pois tem as funções de proteger e trazer design para as peças. Então, para adentrar o forno, as duas camadas de vidros são emparelhadas. Depois disso, temos o aquecimento das camadas no forno, logo após, são arrefecidas. Ao final, os vidros automotivos são: separados, lavados e secados.

Então, será introduzida entre as camadas de vidro a película de PVB, contudo, é importante que todo o ar seja removido entre o vidro e o PVB. Por conseguinte, a etapa de autoclave, onde todo o ar também é retirado a fim de garantir a maior aderência entre os dois vidros e o PVB. Em conclusão, ao final desta etapa, os para-brisas estariam totalmente transparentes (AUTOVER, 2015).

Figura 3 - Fabricação de para-brisas



Fonte: Saint-Gobain-Sekurit (2014).

Conforme a figura 3, é interessante, aliás, entender o processo de fabricação de para-brisas, mas alguns fatores se sobrepõem, como a etapa de autoclave, que retira todo o ar entre as camadas de vidro e o PVB e a transparência ao final do processo. Portanto, o que se tem é um item de segurança e de qualidade. Por todas essas razões, os para-brisas tornaram-se um dos itens de maior sucesso no ramo automobilístico.

Por todas essas razões, o para-brisa é considerado um item de segurança, além de trazer conforto acústico e visibilidade. O processo de fabricação é minucioso para que a

qualidade seja garantida. A segurança para o condutor é evitar que os fragmentos o atinjam, por isso, o para-brisa cumpre bem o seu papel.

2.2.4 Reciclagem do vidro

O vidro é um material 100% reciclável e pode ser reciclado inúmeras vezes, pois é feito de minerais como, areia, barrilha, calcário e feldspato. Ao se agregar o caco na fusão, diminui-se a retirada de matéria-prima da natureza (ABIVIDRO, 2020).

É preciso, porém, ir mais além quando o assunto é reciclagem, pois impacta diretamente no futuro do homem. É exatamente o caso de repensar como lidar com o nosso “lixo” do dia a dia. Por todas essas razões, a reciclagem seletiva se torna o nosso maior aliado quando se pensa em reciclagem. É notório que isso resulta de um pensamento mais responsável. O que importa, portanto, é modificar a forma como a sociedade compreende a reciclagem, pois poderemos incentivar mais indústrias a implementar a reutilização, principalmente de vidro, pois é 100% reciclável, além de trazer uma economia de energia e matéria-prima.

A reciclagem de vidro, além de poupar uma boa parte dos recursos naturais, também consome menor quantidade de energia e emite menos material particulado se comparada com a fabricação do vidro sem a incorporação de cacos. Vale ressaltar que com um quilo de vidro se faz outro quilo de vidro, com perda zero de materiais. Outros aspectos a considerar ao se reciclar o vidro é a menor geração e descarte de resíduos sólidos urbanos, a redução nos custos de coleta urbana e o aumento de vida útil dos aterros sanitários (PS DO VIDRO, 2017).

Por todas essas razões, a reciclagem de vidro é uma forma consciente de reutilizar um material reciclável e superversátil. A coleta seletiva desse material ajuda as empresas recicladoras a coletarem e separarem para o reenvio para a indústria do vidro, ou mesmo para outras indústrias que utilizam cacos ou pó de vidro como matéria-prima em seus processos. Por isso, é importante que os consumidores colaborem e adquiram o hábito de separar o lixo.

2.3 PVB

O PVB é uma película que é utilizada para fabricação de vidro laminado, para evitar ferimento em caso de quebra, pois os cacos de vidro ficam aderidos ao filme. “Uma das matérias-primas utilizadas na fabricação de vidro laminado é uma película plástica e elástica aplicada entre as chapas de vidro. Em caso de quebra, os cacos de vidro ficam presos ao PVB, reduzindo, assim, o risco de ferimento” (ABIVIDRO, 2020).

Como bem nos assegura Canavarolo Jr. (2006):

Pode-se dizer que o PVB é um tipo de plástico e enquadra-se na categoria dos termoplásticos. O mais importante, contudo, é constatar que pode amolecer e fluir quando submetido a certa pressão e temperatura. Neste contexto fica claro que tem como objetivo promover aderência com as folhas de vidro. Não é exagero afirmar que o PVB é muito importante na fabricação de vidro laminado, pois se torna vidro de segurança.

Conforme explicado acima, o PVB é um tipo de plástico muito utilizado na produção de vidro laminado, pois suas propriedades possibilitam que esses vidros possam ser empregados como vidros de segurança. Diante disso, os laminados ganham força na construção civil e na indústria automobilística, principalmente, em vidros de para-brisa.

PVB, Poli (vinilbutiral), segundo as normas da IUPAC, recebe o nome de poli[(2-propil-1,3-dioxano-4,6-diil) metileno], é um terpolímero do tipo randômico, formado pelos monômeros de Vinil butiral (a), Vinil Álcool (b) e Vinil Acetato (c) (SANTO, 2019).

Por fim, podemos chegar à conclusão de que o PVB é um polímero do tipo termoplástico, que devido às características de amolecer e fluir pode promover alta aderência ao vidro, possibilitando a fabricação de vidros laminados, onde o objetivo é promover a segurança. Logo, é indiscutível o quão importante é a sua aplicação na indústria vidreira para corroborar com vidro em uma gama de aplicações na construção civil e automobilística.

2.3.1 Polímeros

Na natureza, são encontrados muitos polímeros importantes: celulose, amido, algodão, borracha, madeira, lã, cabelo, couro.

Segundo Nogueira, Silva e Da Silva, (2000):

Os polímeros são macromoléculas formadas pela união dos monômeros e estão dispostos de forma repetitiva, e por isso possuem alta massa molecular. A palavra polímero é utilizada para designar moléculas de substâncias formadas por um número grande de unidades moleculares repetidas, denominadas monômeros.

De acordo com Canevarolo Jr. (2006):

Pode-se dizer que polímeros são moléculas simples unidas por ligação covalente, nesse contexto fica claro que são materiais COM alta massa molecular e podem ser orgânicos ou inorgânicos. Além disso, podem ser divididos em plásticos, borrachas e fibras. Não é exagero afirmar que com o desenvolvimento dos polímeros novos materiais inovadores surgiram. Pode-se dizer que os polímeros feitos de forma sintética são os que mais estão presentes no cotidiano.

Para Canevarolo Jr. (2006), “pode-se dizer que o PVB está classificado na categoria dos plásticos, e estes podem ser subdivididos em termoplásticos e termofixos.” O PVB é considerado um termoplástico, portanto, quando submetido a temperaturas elevadas tem a capacidade de amolecer e fluir. O mais importante é constatar que é um processo reversível, pois quando retiradas a pressão e a temperatura, o polímero ganha formas definidas. Além disso, os termoplásticos são fundíveis, solúveis e recicláveis (CANEVAROLO JR., 2006).

Os polímeros podem ser divididos em polímeros, naturais e sintéticos e podem ser classificados como: polímeros de adição, polímeros de condensação, polímeros de rearranjo, elastômeros, plásticos e fibras (GOIÁS IMPERMEABILIZAÇÕES, 2021).

É interessante, aliás, saber que os polímeros estão no dia a dia e podem ser encontrados de forma natural ou produzidos de forma sintética. Conforme explicado acima, o PVB, por ser considerado um termoplástico, tem a característica de poder ser moldado diversas vezes, o que facilita seu uso, principalmente na indústria automobilística.

No entender de Goiás (2016):

Os termoplásticos são aqueles que permitem fusão por aquecimento e solidificação por resfriamento, ou seja, isso possibilita o seu tratamento e moldagem repetidas vezes, desde que sejam reaquecidos. Eles são facilmente maleáveis e usados para produção de filmes, fibras e embalagens. Os termoplásticos são recicláveis (GOIÁS, 2016).

Por fim, podemos chegar à conclusão de que os polímeros podem ser usados como matéria-prima para os mais variados artigos presentes em diversos segmentos. Logo, é indiscutível sua importância, pois na busca por materiais que substituíssem os naturais, foi possível desenvolver os sintéticos que são muito úteis. Nesse sentido, é possível afirmar que o PVB, por ser classificado como um termoplástico, possui características importantes para a sua aplicação na fabricação de vidro laminado.

2.3.2 Filme PVB

O polivinil butiral é formado pelos monômeros vinil butiral, vinil álcool e vinil acetato, sendo considerado um terpolímero do tipo randômico. “O polivinil butiral é um terpolímero, isto é, um polímero formado por cadeias de três monômeros, sendo eles o vinil butiral, o vinil álcool e o vinil acetato” (GOMES, 2018).

De acordo com Carrot *et al* (2015), a descoberta do polivinil butiral ocorreu de forma acidental, quando Edouard Benedictus, cientista francês, descobriu o vidro laminado, que recebeu o nome de Triplex de Benedictus. Após a descoberta, a fabricação de vidro laminado começou apenas 30 anos depois, antes disso usavam nitrato de celulose (denominado Pyralin), entre as camadas de vidro. Nesse contexto fica claro que o PVB se tornou um grande promissor no mercado de vidro laminado, mas somente a partir da década de 1930 quando o PVB passou a ser preparado com butiraldeído (BA). O mais importante, contudo, é constatar que a partir daí o PVB foi considerado superior aos outros polímeros de vinil acetal, pois tinha características superiores, como a tenacidade em ampla faixa de temperaturas, como também um custo mais baixo.

De acordo com Moraes *apud* Hallensleben; Mark (2008), pode-se dizer que o PVB, por apresentar tanto unidades hidrofílicas quanto hidrofóbicas em sua estrutura, tem-se um grande interesse no seu uso. Nesse contexto fica claro que do grupo (vinil butiral) temos unidades hidrofóbicas, portanto possibilitam ao polímero boa processabilidade e solubilidade em muitos solventes. As hidrofílicas que são do grupo vinil álcool têm uma grande afinidade com os vidros, pois são materiais inorgânicos (MORAIS, 2008, p. 18).

Pode-se dizer que o PVB tem características que proporcionaram o seu uso em alta escala na indústria automobilística. Neste contexto, para Tupy *et al*(2013), fica claro que o PVB pode se unir as duas camadas do vidro float por ter excelentes propriedades ópticas e mecânicas. O mais importante, contudo, é constatar que possui significativas propriedades como elasticidade, força, tenacidade alta transmissão de luz e adesão aos vidros.

Para Brendgen *et al* (2021), nesse contexto fica claro que a estrutura do PVB é composta por 81% de polivinil butiral, 19-23% de álcool polivinílico e menos de 1% de acetato de polivinila. O mais importante é que o processo de produção que vai determinar a forma exata do polímero requerido para o processo de produção.

O PVB não é utilizado de forma pura para a fabricação de para-brisas e vidros laminados, para isso são adicionados aditivos plastificantes e o produto final é na forma de filme. Pode-se dizer que são adicionados cerca de 20 a 25% em peso de plastificante. Os mais utilizados são ricinoleato de butila, sebacato de dibutila, trissebacato de glicerol, trietileno glicol bis- (2-etil hexanoato) ou óleo de rícino (BRENDGEN, 2020).

Segundo Carrotelat (2015), pode-se dizer que a capacidade de PVB mundial é estimada em 200 milhões toneladas e os principais produtores são Solutia e antiga Monsanto, com a marca Saflex e Dupont.

Segundo Gomes *apud* Vidros-Usp (2018), o filme PVB é comercializado com espessuras entre 0,38mm, 0,76mm e 1,52mm, a depender da sua aplicação, sendo que para o PVB automotivo o mais utilizado é o 0,76mm. De acordo com empresa Indoor Glass (2018), os filmes PVB proporcionam conforto térmico, além de absorverem impacto mecânico e, além disso, contêm a dilatação do vidro, e por fim, o mais importante, evitar que em uma colisão os vidros estilhaçados continuem aderidos à película.

É interessante, aliás, compreender a estrutura do polivinil butiral, pois é um material usado em larga escala na construção civil e na indústria automobilística. Nesse contexto fica claro que é importante entender como o PVB é formado e o porquê desse material ser tão utilizado, e, por enquanto, sem concorrentes. Conforme explicado acima, são indiscutíveis as qualidades que o filme PVB apresenta, como elasticidade, resistência mecânica, tenacidade, alta transmissão de luz, e, por fim, não menos importante, a adesão ao vidro.

O PVB é o material em que pode se conectar a duas folhas de vidro float resultando no laminado com excelentes propriedades ópticas e mecânicas. As propriedades mais significativas são elasticidade, força, tenacidade, alta transmissão de luz, adesão e adesão ao vidro e metais. A resistência da folha PVB depende principalmente do peso molecular do PVB. No entanto, tem que ser plastificado para ficar mais macio (TUPY, MERINSKA, *et al.*, 2013, p. 1).

O PVB é formado por monômeros das unidades vinil butiral, vinil álcool e vinil acetato. Por causa da sua unidade (vinil butiral), proporciona ao polímero boa processabilidade e solubilidade, enquanto a unidade (vinil álcool), uma grande afinidade com vidros. Por todas essas razões, a utilização do PVB nos vidros laminados é tão utilizada desde o século passado pela qualidade e segurança que oferece aos vidros.

2.3.3 Força adesiva

A adesão entre o vidro e o PVB é um destaque importante quando se trata de parabrisas, pois fornece o que mais se exige de vidros laminados, a segurança, além de ser determinante em relação à durabilidade. “Em caso de quebra, a alta adesão de PVB com segurança deve ser enfatizada, além da estabilidade em longo prazo em relação ao aparecimento de defeitos visuais ou delaminação, obviamente isto será exigido de um produto com tempo de serviço de duas décadas ou mais em aplicações arquitetônicas” (KELLER e MORTELMANS, 1999, p. 353).

Para Elzière (2016), pode-se dizer que para colagem ao vidro temos grupos de hidroxila (OH) disponíveis, como também para a formação de ligações entre as cadeias. Nesse contexto fica claro que no PVB os átomos de hidrogênio polarizado estão ligados a um oxigênio que é mais eletronegativo, que pode ser um hidrogênio do grupo vinílico, como o grupo sinanol na superfície do vidro, além de qualquer outro grupo OH. O mais importante, contudo, é a força de interação que fica em torno de 10kJ/mol, podendo ser comparada com a força de ligação covalente, como também a interação de Van der Waals. Não é exagero afirmar que o grupo de hidroxila e o grupo de acetato são grande importância quando se trata de força adesiva, além de influenciar no comportamento mecânico do polímero.

Como bem nos assegura Keller e Mortelmans (1999), pode-se dizer que na superfície do vidro encontram-se grupos silanol polares Si-OH que se formam na superfície

através de absorção de água com posterior ataque hidrolítico na ligação entre silício e o oxigênio. Neste contexto, fica claro que os grupos alcoóis presentes na cadeia do PVB e os grupos silanóis constantes na superfície do vidro têm comportamentos químicos semelhantes. O mais importante, contudo, é constatar que os grupos interagem e formam ligações fracas, mas que unidas se tornam numerosas ligações químicas. Por isso, o PVB flui e encaixa perfeitamente na superfície do vidro.

É interessante, aliás, perceber que a segurança exigida pelos vidros laminados remete na importância da força adesiva entre o vidro e o PVB, pois uma das propriedades físicas importantes é a alta resistência mecânica, além da capacidade de absorção de energia cinética durante um acidente de carro. Além disso, não menos importante, é a qualidade exigida para evitar os defeitos visuais, como manchas, distorções de grau e delaminação.

De acordo com Keller e Montemals (1999, p. 355), pode-se dizer alguns dos fatores que influenciam na força adesiva de vidro e PVB:

- Composição do vidro.
- Lado de ar *versus* estanho, o último geralmente mais baixo em adesão.
- Corrosão da superfície do vidro.
- Contaminantes na superfície.
- Processo de lavagem e qualidade da água utilizada.
- Composição e tipo de PVB.
- Teor de umidade do PVB.

Conforme verificado anteriormente, a força adesiva influencia na qualidade e nas propriedades mecânicas e físicas. Então, é de suma importância compreender como acontecem as ligações entre o filme PVB e o vidro, quais fatores influenciam e como isso pode interferir nessa força, para então buscar formas de separá-lo no futuro, quando o material for descartado.

2.3.4 Reciclagem de PVB

Grande parte do PVB produzido é descartada em aterros sanitários. Cerca de 1kg de PVB está nos para-brisas, ou seja, vidro e película plástica são eliminados na natureza a cada para-brisa substituído. “E o PVB, aplicado entre as camadas de cada para-brisa, leva cerca de 500 anos para ser eliminado da natureza” (ANAVIDRO, 2013).

Segundo Gomes (2018), pode-se dizer que a reciclagem de PVB ainda é pouco aproveitada, principalmente no Brasil. Nesse contexto, fica claro que durante o processo de fabricação de vidros laminados temos sobras de PVB que são enviadas para a reciclagem. O mais importante, contudo, é constatar que se trata de um material livre de contaminação que pode ser reinserido na fabricação de PVB.

Pode-se dizer que a reutilização do PVB é útil em várias indústrias. Neste contexto, para Tupy *et al* (2012) fica claro que o PVB reciclado pode ser utilizado para compor diversos materiais, sendo em blendas, com polímeros semelhantes, aplicações de pisos, produção de cola, na produção de tintas e na indústria automotiva. O mais preocupante, contudo, é constatar que tanto os resíduos provenientes de para-brisas, como as rebarbas, ainda são descartados.

É preciso, porém, ir mais além e pensar o quanto o PVB pode ser reaproveitado. É exatamente o caso de empresas investirem em reciclagem, tanto dos resíduos que estão nos para-brisas, como também das sobras da fabricação dos laminados. De acordo com Priore (2018, p. 44), na Europa e nos EUA, está instalada a empresa dinamarquesa Shark Solutions que está engajada nessa pleiteada, mas a separação ocorre por separação mecânica, ou seja, esse PVB não é utilizado para fabricação de novos laminados. Ainda de acordo com o autor, tem-se que recentemente uma empresa depositou o pedido de uma patente em que descreve uma nova metodologia que consiste em uma lavagem do PVB em soluções alcalinas, onde é possível ter um PVB recuperado e utilizá-lo em novos vidros laminados. O autor complementa que, após pesquisas, foi encontrado um filme que é feito de material 100% reciclável de nome comercial Butacite G, onde vidros são fabricados com polímeros reciclados.

De acordo com Santo (2019), os resíduos têm aplicações:

Tintas em pó, em combinação com resina epóxi, aumentam a eficácia da borda de cobertura, prevenindo a pulverização. Tintas para couro, agregadas com plastificantes, promovem melhor aderência e alongamento, impedindo abertura de fendas, além de substituir total ou parcialmente a nitrocelulose. Vernizes de madeira, utilizadas como componentes de massas para acabamentos, conferem ao filme excelente adesão ao substrato, ganhando assim flexibilidade. Cerâmicas, utilizadas como aglutinantes, promovem aumento de força verde para pó. Placas de circuito impresso e combinação com resinas fenólicas promovem aumento da resistência da película. Injeção e extrusão de plásticos, incorporados aos demais materiais poliméricos, servem para a melhora de fluidez dos mesmos, diminuindo a temperatura de fusão do composto incorporado, além de aumentar a flexibilidade, a resistência à tração e ao alongamento, conferindo a propriedade de anti-UV.

Portanto, torna-se evidente que é necessário investimento para concretizar o reaproveitamento do PVB no Brasil. Infelizmente, o setor carece de tecnologia e os custos são elevados. Vê-se, pois, que nos últimos anos foi possível identificar estudos para a reciclagem do PVB, mas no Brasil, a única medida tomada é o descarte em aterros sanitários. Logo, é indiscutível que nos próximos anos esse processo ganhe mais força, principalmente, dos próprios fabricantes.

2.4 Método de separação por trituração

Por ser muito difícil separar o vidro e o PVB, alguns métodos são empregados para possibilitar a reciclagem. O método mais conhecido é o da trituração. “Nesse processo, os para-brisas são triturados, moídos e, através do processo de aspersão e peneiramento, é feita a separação entre o PVB e o vidro” (GOMES, 2018, P.42).

De acordo com Schunck (2016), pode-se dizer que os vidros são recebidos e identificados de acordo com o tipo de vidro e cor. O mais importante é constatar que o material ficará livre de impurezas, pois as etapas seguintes são de moagem e, logo após, o peneiramento. Neste contexto, fica claro que o objetivo é dar um destino correto aos vidros de acordo com as granulometrias. Não é exagero afirmar, como é o método mais utilizado no mundo, para cada granulometria existe uma destinação específica.

É importante ressaltar que, apesar de ser o método mais conhecido, ainda assim, o vidro fica aderido ao PVB, mas, em cima disso, as poucas empresas que reciclam vidro no Brasil utilizam o método de trituração. Finalmente, o processo de separação do vidro e do PVB facilita a reciclagem, pois com a granulometria de vidro, pode-se designar de forma correta cada tamanho.

- O material descartado é coletado e separado para posterior transporte:
- Os vidros e os resíduos são levados até aos depósitos e pátios em empresas recicladoras e separadoras;
 - Tampas, rótulos e impressos são retirados de embalagens e peças;
 - Os vidros e rejeitos são separados, de acordo com o tipo de produto e também sua coloração;
 - Materiais contaminantes e não recicláveis são retirados e separados do vidro;
 - O vidro passa por processo de lavagem para a retirada dos últimos resíduos;
 - O material já separado, classificado e limpo passa por um processo de moagem e homogeneização;

- O vidro moído é refundido em e reprocessado para a produção de novas embalagens e artefatos (NASCIMENTO, COSTA e DAMAS, 2018, P. 4).

A empresa mais conhecida no Brasil fica localizada em Guarulhos, no estado de São Paulo, chama-se Massfix. Temos também a única empresa na Região Nordeste, chamada de Nova Brasil Ambiental, que fica localizada em Recife, no estado de Pernambuco. As duas empresas separam vidro e PVB pelo método de trituração.

2.5 Método de separação do resíduo após trituração por ataque termoquímico

Todo ano, toneladas de PVB são direcionadas para aterros sanitários, mas devido ao pensamento sobre sustentabilidade, pesquisadores estão dedicados a resolver esse problema ambiental. Para isso, desenvolveram um método possível e capaz de ser executado em alta escala. O processo desenvolvido resolve um importante problema ambiental global por meio de um mecanismo mecânico-químico simples (SWAIN; PARK, *ET AL.*, 2015).

De acordo com Swain *et al* (2015), pode-se dizer que a separação do vidro e o do PVB se dão por processo químico-mecânico. Neste contexto, para realizar esse processo, utilizaram de reciclagem de para-brisas que foram cedidos por uma empresa de reciclagem na cidade de Seul, capital da Coreia do Norte. Os resíduos que são gerados após as etapas de moagem e trituração contêm composição média de 75% de PVB e 25% de vidro.

Conforme verificado, para Swain *et al* (2015), os resíduos foram agitados mecanicamente em um meio que continha um surfactante iônico chamado de D201, logo após foram separados por um filtro de tela de malha de aço inoxidável. Depois de separados, temos o resíduo de vidro, de PVB e um vidro residual que contém vidro e PVB. A partir daí, o PVB separado passa por variáveis técnicas a fim de caracterizá-lo.

Pode-se dizer que para esse processo, os parâmetros utilizados foram rotação de 400 rpm, tempo de operação 60 minutos, 30% de surfactante D201 e uma temperatura de 35°C. O mais importante, contudo, é constatar que o PVB, após ser recuperado, foi caracterizado por alguns métodos de TGA, microscopia eletrônica de varredura (MEV), EDS, espectroscopia de infravermelho e espectroscopia de ressonância magnética nuclear (RMN). Em todo esse processo, ao final, o PVB foi comparado ao padrão (SWAIN *ET AL*, 2015).

Figura 4 - Reator com agitador mecânico



Fonte: Adaptado de Swainet *al*(2015).

É interessante, aliás, perceber que esse é um processo que busca uma máxima eficiência na separação de vidro e do PVB (figura 4), mas há um fato que se sobrepõe na utilização desse processo, é que não é executado usando nenhum produto químico, mas sim, o produto final é reinserido de forma segura no processo do laminado. Conforme explicado acima, temos o desenvolvimento de um método econômico e benéfico para o meio ambiente.

É preciso ressaltar que o método desenvolvido vem melhorar a eficiência da separação do vidro e do PVB, pois a finalidade é produzir um material reciclável que possa ser introduzido na fabricação de vidro laminado, como também em outras áreas de fabricação. Por isso, existem técnicas de separação existentes que irão depender dos fins requeridos.

2.6 Método de separação por processo mecânico seguido de ataque termoquímico

Este método foi estudado visando à reciclagem de para-brisas, onde a busca é o resultado de folhas de PVB com baixíssima quantidade de partículas de vidro. A tecnologia de reciclagem descrita é ecologicamente correta (o efluente também é totalmente reciclável) e pode reduzir o problema mundial com o descarte de resíduos do pára-brisa (TUPY *ETAL*, 2013).

De acordo com Tupy *etal* (2014), pode-se dizer que na intenção de desenvolver uma técnica para separar vidro e PVB, os autores apresentaram um método pelo qual se combina delaminação física e química do material. Neste contexto, os pesquisadores produziram amostra de vidro laminado, onde utilizaram vidro float (AGC), que tem espessura uniforme, extremamente lisa, com espessura de 2,1mm e composição química 71,5% de SiO₂; 13,4% de Na₂O; 9,2% de CaO; 4,15% de MgO; 0,7% de Al₂O₃ e outros compostos. O filme de PVB, fabricado pela DuPont americana, possui 28% (w/w) de plastificante trietilenoglicol, bis (2-etilhexanoato) sendo do plastificante 3GO. Portanto, a preparação dos vidros laminados foi feita por processo de autoclave.

O processo utilizou três tipos de folhas de PVB, uma mais adequada para a indústria automobilística, a outra mais utilizada na indústria civil e uma terceira sendo igual à primeira, porém com uma adesão diferente (TUPY, 2014).

Para Tupy (2014), pode-se dizer que o processo é dividido em três etapas. Então, na primeira, as amostras de vidro laminado sofrem impactos repetidos. Foi utilizado um martelo com peso de 450g, sendo uma frequência de 130 impactos/min., com uma inclinação de 5°, onde o objetivo era atingir partículas de vidro quebrado entre 0,5mm a 5,0mm. Logo após, é realizado um teste chamado Pummel, onde é possível medir a adesão entre o vidro e o PVB.

Conforme Tupy (2014), na segunda etapa, os vidros trincados foram colocados em contato com uma solução de solução de hidróxido de sódio (NaOH) por cerca de 1h e uma temperatura de 100°C. Os vidros desprendidos foram observados e medidos por método gravimétrico.

Ainda segundo Tupy (2014), pode-se dizer que na terceira etapa foi observado que a delaminação ocorreu, e o mais importante é constatar que a adesão diminuiu entre o vidro e o filme PVB. Então, os fragmentos foram removidos com escova de aço, e logo, a folha de PVB é lavada com água a fim de equilibrar o pH. Finalmente, as folhas de PVB são secas a 100°C.

É interessante, aliás, pontuar que o processo desenvolvido pode não ser adequado para algumas espessuras, pois caso esse PVB venha a quebrar, pode contaminar o vidro e comprometer a reciclagem. O fato importante é que o PVB pode estar apto para o processo de reciclagem.

Por causa de grandes diferenças de PVBs testados, este estudo foi focado em encontrar as condições ideais do processo de delaminação com base na influência da temperatura, exposição à delaminação no tempo, e o mais importante, da concentração de álcali a agente de delaminação (TUPY, 2014, p. 6).

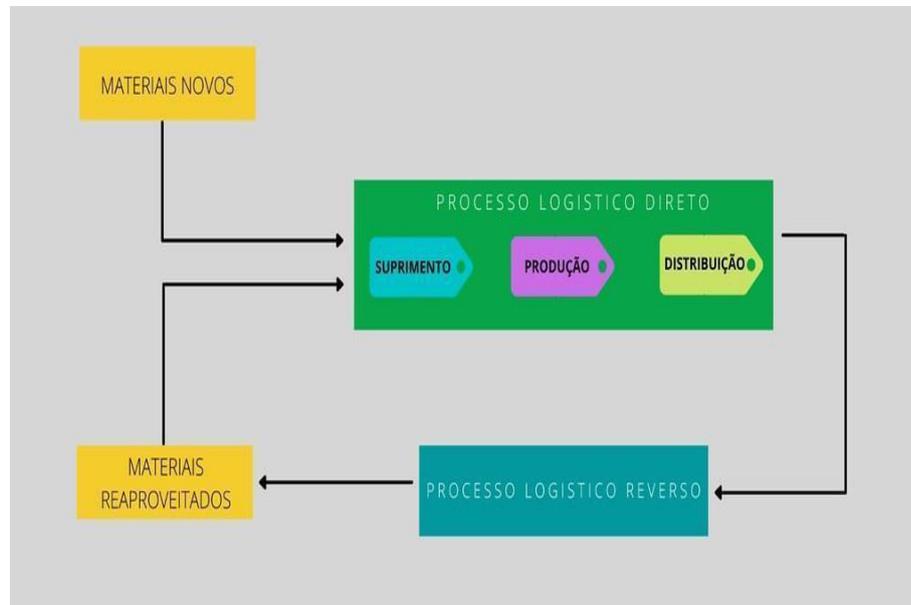
Pode-se concluir que essas três etapas têm a finalidade de promover a separação do vidro e do PVB de forma eficiente. O PVB, para ser utilizado em novos laminados, precisa conter menos 300 ppm de fragmentos de vidro. Como o processo mais utilizado é o mecânico, porém não tão eficiente, neste os pesquisadores propuseram combinar a separação física e química como forma de maximizar essa delaminação.

3 PAPEL DA RECICLAGEM DE PARA-BRISAS AUTOMOTIVOS EM RELAÇÃO AO MERCADO DE REPOSIÇÃO DE VIDROS AUTOMOTIVOS

3.1 Logística reversa

A logística reversa é um conjunto de procedimentos e métodos para coletar e dar encaminhamento às matérias-primas do momento pós-venda ou pós-consumo do setor empresarial, onde se busca pelo aproveitamento e destinação adequada dos resíduos. A logística reversa é o processo de planejamento, implementação e controle do fluxo de matérias-primas, em fluxo de informação do ponto de consumo até o ponto de origem, com o objetivo de recuperar valor ou realizar um descarte adequado (GUARNIERI, 2011).

Figura 5 - Fluxograma do processo de logística reversa



Fonte: Elaboração própria.

Os conceitos de logística reversa e logística verde se entrelaçam, conforme a figura 5, mas se diferenciam um pouco, pois a verde prioriza a sustentabilidade e responsabiliza quem produz a se encarregar do descarte adequado dos seus resíduos. A logística verde tem como objetivo principal atender aos princípios de sustentabilidade ambiental como o da produção limpa, onde a responsabilidade é do “berço da cova”, ou seja, quem produz deve se responsabilizar também pelo destino final dos produtos gerados, de forma a reduzir o impacto ambiental que eles causam (GUARNIERI, 2011, P. 46).

O que se percebe ainda nos dias atuais é a pouca preocupação das fábricas de se encarregarem de dar um destino final adequado ao produto que produzem, onde a grande maioria dos produtos é descartada de forma inadequada, e, por muitas vezes, eles terminam na incineração.

De acordo com Donato (2008), pode-se dizer que a logística verde promove a reutilização dos materiais, e neste contexto fica claro que utiliza da logística reversa para diminuir os danos ambientais. O mais importante, contudo, é constatar que a logística reversa entra com um papel importante no processo de tratamento de resíduos, e não é exagero afirmar que as duas vertentes proporcionam um descarte adequado aos resíduos e colocam o consumidor final dentro do ciclo de vida do material.

Conforme o que foi explicado acima, todo o processo é interessante, aliás, afirmar que a logística reversa juntamente com a logística verde são responsáveis por promover o descarte adequado dos resíduos, principalmente ao que se refere à sustentabilidade, colocando o consumidor final como um participante do ciclo de vida do material e responsabilizando as fábricas de se encarregarem sobre seus produtos no pós-consumo é bastante interessante. O fundamental é promover a conscientização de toda a cadeia produtiva para que os materiais possam retornar de outras formas para o consumo, como, por exemplo, o vidro, material 100% reciclável que podendo ser reciclado inúmeras vezes.

O processo de planejamento, implementação e controle do fluxo eficiente e de baixo custo de matérias-primas, estoque em processo, produto acabado e informações relacionadas, vai desde o ponto de consumo até o ponto de origem, com o propósito de recuperação de valor ou descarte para coleta e tratamento de lixo (ROGERS e TIBBE-LEMBKE, 1998, P. 2).

Fica evidente, diante do exposto, o quão a logística reversa pode impactar no ciclo de vida do material, como também promover a reciclagem dos materiais que são descartados de forma desordenada no meio ambiente. O papel da coleta desses resíduos está nas mãos dos catadores, eles são responsáveis por recolher e enviar o material para os fornecedores, e esses são responsáveis em transformá-lo em novos produtos que serão comercializados novamente.

3.2 Descarte de vidro automotivo

Os vidros automotivos geralmente são descartados em aterros sanitários, somando toneladas de sucata a céu aberto. Não existe uma política de retorno dessa matéria-prima para os fabricantes a fim de integrar novamente a cadeia produtiva. Todos os meses, no Brasil, de acordo com estudos realizados no setor, são trocados cerca de 120 mil para-brisas. E os números tendem a aumentar, já que a frota mundial de veículos está em ascensão (TALIN VIDROS, 2016).

De acordo com Autover (2015), pode-se dizer que a reciclagem é extremamente importante quando a sustentabilidade é requerida, neste contexto fica claro que os vidros, quando não aproveitados, são descartados em aterros causando prejuízo ambiental incalculável. O mais importante, contudo, é constatar que as empresas estão de fato mais

preocupadas com esse descarte incontrolável, e não é exagero afirmar que o vidro pode demorar milhões de ano para se decompor na natureza, por isso, é necessário pensar em uma melhoria de futuro o mais rápido possível.

Uma das formas de fazer isso é impulsionando uma coleta seletiva do pós-consumo, pior que, neste caso, não existe planejamento. Portanto, é importante estimular empresas a adentrarem nesse nicho de mercado, pois isto proporcionaria às empresas de reposição a enviarem todos os vidros repostos para a reciclagem. A possibilidade de gerenciar isso não é tão simples, mas sim muito custosa para as empresas envolvidas e, por isso, poucas se preocupam. Trata-se de haver uma conexão melhor das fábricas nesse processo para uma maior eficácia, mas o fato é que não existe um programa de volta desse material, e muito menos empresas interessadas.

De acordo com Hempe *apud* Revista Vidro & Alumínio (2015, p. 20):

Ao adotar o uso de material reciclado, a empresa Saint-Gobain Glass estará contribuindo significativamente para o meio ambiente, pois haverá menor extração de matéria-prima natural (areia, sulfato, barrilha, feldspato e calcário) para fabricação dos produtos que são compostos de vidro. A economia de energia é outro fator positivo, será em torno de 30%, dependendo da proporção de cacos de vidros utilizados. Por fim, o vidro produzido a partir do vidro reciclado pode reduzir a poluição da água em 50% e do ar em 20%.

Por todas essas razões, a importância de uma implementação de uma política de retorno por causa das fábricas, ou um investimento para incentivar empresas recicladoras a se interessarem por investir nesse segmento, seria o primeiro passo. Porém, o problema da separação do vidro e do filme PVB dificulta o processo e não atrai a atenção de recicladoras, portanto, o comércio de reposição, infelizmente, fica sem alternativas para o envio dos resíduos para a reciclagem.

4 METODOLOGIA

Como bem nos assegura Gehardt e Silveira (2009), pode-se dizer que a pesquisa vem através de uma pergunta, ou seja, é a busca para algum questionamento. Neste contexto, fica claro que inúmeros conhecimentos podem ser adquiridos com os questionamentos. O mais preocupante, contudo, é constatar que a pesquisa pode ser trabalhosa e demorada.

Para Gehardt e Silveira (2009), “Objetiva gerar conhecimentos para a aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais.” Devido aos fins para ampliar uma área de conhecimento, esta pesquisa se enquadra na natureza aplicada.

Como bem nos assegura Gehardt e Silveira (2009), pode-se dizer que a pesquisa exploratória procura entender mais o problema e ajuda a levantar hipóteses. Neste contexto, fica claro que a busca é aprofundada e procura por conteúdo mais explícito. O mais preocupante, contudo, é constatar que a descritiva tem intenção de descrever fatos.

A pesquisa se classifica em exploratória devido ao envolvimento investigativo profundo em literatura, e descritiva devido às informações que serão coletadas. A base da pesquisa será realizada em livros, sites e artigos para complementar a ideia central.

Conforme verificado por Gehardt e Silveira (2009), a forma da abordagem qualitativa se preocupa em compreender um grupo social, organização, entre outros. Trata-se inegavelmente de uma pesquisa mais aceitável, e seria um erro, porém, atribuir todo esse crédito apenas a essa forma de abordagem. Assim, reveste-se de particular importância a abordagem qualitativa, que faz uso do raciocínio dedutivo e das métricas estatísticas.

Conforme citado acima, a pesquisa tem a abordagem qualitativa devido à interpretação dos questionários que serão aplicados. O método de análise escolhido foi hipotético-dedutivo devido à pesquisa girar em torno de uma hipótese e um problema.

Pode-se dizer que o levantamento bibliográfico busca fontes em toda a literatura. Neste contexto, para Fonseca (2002) fica claro que para começar qualquer trabalho científico, é necessário iniciar uma pesquisa bibliográfica.

De acordo com Fonseca (2002) “Um estudo de caso pode ser caracterizado como um estudo de uma entidade bem definida como um programa, uma instituição, um sistema educativo, uma pessoa ou uma unidade social.”

Esta pesquisa teve como base livros, artigos científicos, revistas e sites na busca de coleta de dados. Neste caso, a pesquisa utilizou a literatura como fundamentação bibliográfica para então compreender o estudo de caso da situação do descarte de para-brisas.

Como instrumento para coleta de dados utilizou-se artigo e questionários, a fim de obter uma compreensão do conteúdo apresentado no trabalho, e entrevistas para a apreciação

dos fatos. De acordo com Marconi e Lakatos (2003, p. 159): a) Fontes Primárias - dados históricos, bibliográficos e estatísticos; informações, pesquisas e material cartográfico; arquivos oficiais e particulares; registros em geral; documentação pessoal (diários, memórias, autobiografias); correspondência pública ou privada etc. b) Fontes Secundárias - imprensa em geral e obras literárias.

Essa pesquisa foi classificada como fontes primárias e secundárias, pois a base de dados foi coleta de fontes disponíveis, como (livros, teses etc.), e através de questionários como objetos de estudo.

Inicialmente, foi feita uma pesquisa bibliográfica para conhecer sobre para-brisas, o processo de reciclagem, entender de logística reversa e como são descartados esses para-brisas. Logo após, um questionário com três empresas que trabalham com reposição de vidros automotivos, que estão envolvidas no processo de descarte de para-brisas, um segundo questionário aplicado a uma empresa de reciclagem de vidros em geral, e o último questionário aplicado a um fabricante de vidros automotivos, dando assim mais credibilidade e confiabilidade.

De início, para realizar esse trabalho, foi realizado um questionário com 10 perguntas relacionadas ao assunto em questão entre três empresas do ramo de reposição de vidros automotivos na cidade de Fortaleza. As empresas em questão são: Vidroautos, Vidrão e Fortglass. A pesquisa foi realizada entre 23 de agosto de 2021 e 26 de agosto de 2021. Logo após, um questionário com 15 perguntas foi realizado com uma empresa recicladora de vidros que se encontra no estado de São Paulo. E por fim, um questionário com 10 perguntas foi realizado com uma fabricante de vidros automotivos que se encontra em território nacional.

4.1 Estudo de caso

Inicialmente, foram escolhidas três empresas de reposição de vidros automotivos que estão atuantes no município de Fortaleza. O primeiro local escolhido para desenvolvimento desta pesquisa foi a empresa Vidroautos, que fica localizada no Bairro Jardim América e atua há mais de 25 anos no mercado de reposição de vidros automotivos. A Fortglass, segunda empresa escolhida, fica localizada no Bairro José Bonifácio e tem parceria

com Saint-Gobain Sekurit, uma das maiores fabricantes de vidros automotivos do mundo. A Vidrão, terceira empresa, fica localizada no Bairro Quintino Cunha, e atua no mercado de reposição há cinco anos.

Para a realização do segundo estudo, foi escolhida uma empresa de reciclagem de vidros chamada Massfix, que se encontra no estado de São Paulo e atua no mercado desde 1991.

Para a conclusão, foi escolhida uma das maiores fabricantes do mundo, a Saint Gobain Sekurit, que atua na fabricação de vidros desde 1665, sendo uma indústria bem consolidada e com filiais ao redor do mundo.

As três empresas vendem e instalam vidros automotivos na cidade de Fortaleza. Todas têm como forte a substituição de para-brisas, mas atuam na troca de vidros de porta, vigias, dentre outros. O serviço é feito em loja e delivery por montadores especializados na reposição de vidros.

A recicladora de vidros trabalha na gestão de resíduos de vidros, onde coleta e recicla vidros dos mais variados. Existem três unidades, sendo duas situadas em São Paulo e outra em Minas Gerais.

A Saint Gobain Sekurit fornece vidro para Saint Gobain Autover para comercializar e distribuir para o mercado de reposição de vidros automotivos, além de diversos outros produtos relacionados à instalação, como ferramentas, colas, entre outros.

Assim, a realização deste estudo teve como sujeitos de pesquisa os gestores responsáveis por cada empresa escolhida, pois os dirigentes estão à frente da tomada de decisão e estratégia empresarial.

Já com a empresa Massfix, entrou-se em contato com o RH para fazer a pesquisa relacionada à reciclagem de para-brisas.

E, por fim, com a Saint Gobain Sekurit, o contato foi feito com o setor de qualidade da fabricante a fim de obter mais informações sobre o processo de fabricação.

Cada gestor foi entrevistado e respondido o questionário através de perguntas abertas, que teve o objetivo de entender como acontece o descarte de para-brisas por cada empresa selecionada. As empresas demonstraram preocupação com os resíduos gerados, pois estes se acumulam dentro dela, podendo trazer risco ao meio ambiente e aos funcionários.

Para a empresa de reciclagem foram enviadas perguntas abertas por e-mail para o responsável pelo RH com o propósito de entender como funciona o processo de coleta e reciclagem de para-brisas.

Da mesma forma para o fabricante, as perguntas foram enviadas para o setor de qualidade com objetivo de buscar conhecer o processo de fabricação, como também saber a importância da reciclagem de vidro laminado para a indústria.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A revisão bibliográfica começou sobre a importância da reciclagem de para-brisas, como isso impacta diretamente no meio ambiente e as dificuldades que impedem por muitas vezes o processo. Logo, foi necessário conhecer sobre seus materiais constituintes, o vidro e o PVB. Para isso, foi feito um breve relato sobre o que é o vidro, a história, os principais tipos mais utilizados, o vidro temperado, o vidro laminado, o para-brisa, e, por fim, sobre a importância da reciclagem dos vidros. Logo após, foi abordado sobre o PVB, o que é, como pode ser caracterizado, sua aplicabilidade, entender como funciona a força adesiva entre os materiais, além de conhecer o processo de reciclagem da película plástica.

Na segunda parte da revisão, são apresentados os principais métodos encontrados na literatura para separar o vidro e o PVB, sendo o método de separação por trituração o mais conhecido e aplicado no Brasil por poucas empresas. O segundo e o terceiro métodos são feitos após a trituração por ataque termoquímico e o processo mecânico seguido de ataque termoquímico, os dois ainda são estudos e por isso ainda não são aplicados.

Na terceira parte, é feito um breve estudo sobre o que é logística reversa, quais os seus impactos no comércio, e conhecer como ocorre o descarte de vidros automotivos pelas empresas de reposição que compram de fábricas, distribuidoras e importadoras.

Para complementar o estudo, foi realizado um questionário com 10 perguntas abertas para três comércios da região de Fortaleza que trabalham no ramo de vidro automotivo, a fim de entender quais destinos são dados a esses materiais vítreos. Continuando com o estudo, foram enviadas 15 perguntas abertas para uma recicladora de vidros que

trabalha coletando e reciclando para-brisas. Para concluir, mais 10 perguntas abertas para uma indústria de vidros automotivos que fornece para todo o Brasil.

Inicialmente, a pesquisa foi realizada por meio de um questionário virtual, disponibilizado pelo aplicativo WhatsApp e enviado para os gestores responsáveis por cada empresa de reposição selecionada, sendo respondido entre os dias 21 e 23 de agosto de 2021. Essa parte da pesquisa compreendeu 10 respostas obtidas pelos responsáveis de cada empresa. Este questionário foi uma ferramenta para constatar que infelizmente não existem projetos em Fortaleza para o descarte correto dos para-brisas. Depois, foi feito contato com o responsável da empresa Massfix e enviado um questionário com 15 perguntas via e-mail, ao qual um colaborador do setor de RH respondeu no dia 02 de setembro de 2021. Por último, um questionário com 10 perguntas foi enviado via aplicativo WhatsApp para Saint Gobain Sekurit, onde um colaborador do setor de qualidade respondeu no dia 03 de setembro de 2021.

O primeiro questionário foi aplicado às três empresas de reposição no município de Fortaleza:

A primeira questão procura saber como ocorre o destino final dos para-brisas descartados por cada empresa. “Qual o destino final dos para-brisas repostos pela empresa?” Para a Vidroautos e a Fortglass, os resíduos são descartados em aterro sanitário. Já para a Vidrão, não se sabe ao certo qual o destino correto para seus resíduos.

Figura 6 - Resíduo de para-brisas



Fonte: Elaboração própria (2021).

Figura 7 - Resíduo de para-brisas



Fonte: Elaboração própria (2021).

A terceira questão é saber qual o conhecimento das empresas envolvidas sobre a reciclagem de vidro. “Você sabia que o vidro de para-brisa pode ser reciclado?” A resposta foi unânime entre eles e, sim, sabem que o vidro pode ser reciclado. É importante que a

sociedade tenha em mente o quão a reciclagem de materiais é importante para um futuro próximo.

A quarta questão se aplica para saber qual o conhecimento deles em relação ao PVB, camada de filme existente entre os vidros. “Você sabia que o filme PVB que se encontra entre as camadas dos vidros pode ser reciclado?” Infelizmente, os gestores não tinham noção sobre a reciclagem de PVB.

A quinta questão, e uma das mais importantes, é saber se o responsável por cada comércio tinha algum contato com empresas que reciclam para-brisas. “Você conhece alguma recicladora de vidro de para-brisa?” Como esperado, a resposta dos três foi que não conheciam empresas que atuam na coleta seletiva e reutilização de vidros automotivos. Fortaleza possui apenas reciclagem de resíduos gerados por qualquer atividade, não especificamente vidros.

As 15 questões aplicadas à recicladora de vidros Massfix são:

A primeira questão teve objetivo de saber quais os principais produtos reciclados pela empresa. “Quais produtos são reciclados pela empresa?”. A Massfix recicla vários tipos de vidros e é segmentada em quatro tipos, sendo: embalagem, vidros planos, vidro laminado e vidros especiais. Por conhecer o potencial que é o vidro, material 100% reciclável, sabe a importância de reciclar materiais vítreos em geral.

A terceira questão buscou compreender como funciona o processo de coleta. “Como funciona o processo de coleta?”. De acordo com a empresa, existem caçambas poli guindaste (figura 8) e *roll-on* (figura 9). Dependendo do tipo de vidro coletado, como também da localidade onde se encontra o material, este fica armazenado nessas caçambas até ser coletado.

Figura 8 - Poliguindaste



Fonte: Massfix (2020).

Figura 9 - Roll-on



Fonte: Massfix (2020).

A quarta questão buscou saber se existe alguma logística reversa envolvida no processo de coleta entre a recicladora e comércio de reposição. “Existe uma logística reversa envolvida no processo de coleta?”. O objetivo da Massfix é coletar, transportar e dar um destino final aos materiais vítreos e é justamente essa logística reversa envolvida.

Figura 10 - Processo de reciclagem do vidro



Fonte: Massfix (2019).

A sexta questão procurou entender como funciona a reciclagem de para-brisas. “Como funciona o processo de reciclagem de para-brisa?”. Após o recebimento do material, ele passa por um processo de moagem que consiste em separar o plástico PVB do vidro. Em seguida, o vidro é trabalhado para ficar na granulometria requerida por cada cliente.

A décima questão buscou saber se dentro da empresa existe algum estudo para novos métodos de separação do PVB e vidro. “Fora os métodos já existentes, existe estudo para outros novos processos?”. Apesar de ser uma informação confidencial, eles afirmaram que estão sempre em busca de novos processos para aperfeiçoar ainda mais a reciclagem.

A décima primeira questão abordou qual a maior dificuldade de reciclar vidro de para-brisa. “Para vocês, qual a maior dificuldade em reciclar vidro de para-brisa?”. Para eles, a dificuldade encontra-se na reciclagem do PVB, pois mesmo após o processo de moagem, ainda assim, apresentam fragmentos de vidro em sua superfície, o que para a empresa se torna uma dificuldade, porque o material fica sem destinação correta e acaba sendo enviado para o aterro sanitário.

Sobre o terceiro questionário aplicado à indústria Saint Gobain Sekurit, temos:

A primeira questão foi como o processo de fabricação de para-brisas é feito. “Como funciona o processo de fabricação de para-brisa?”. De forma simplificada, minérios são extraídos do solo e transformados em chapas de vidro, a partir daí é inserido o PVB entre as camadas de vidros, para então ser moldado de acordo com cada modelo de veículo e depois vai ao forno.

A segunda questão procurou saber qual é o destino dado às sobras de PVB. “Na fabricação de para-brisas, a sobra de PVB é enviada para alguma empresa de reciclagem?”. De acordo com a Sekurit, as sobras de PVB são enviadas para a reciclagem, ou seja, no processo de fabricação dos laminados, as aparas são recolhidas e enviadas para uma empresa que recicla esse tipo de material.

A quinta questão perguntou se a indústria utiliza cacos de vidro reciclados no seu processo de fabricação. “No processo de fabricação de novos produtos, são utilizados cacos de vidro provenientes de reciclagem?”. Não utilizam produto reciclado na fabricação de novos produtos.

A décima questão buscou saber se já existe algum tipo de programa de retorno dos resíduos gerados pela indústria. “A indústria tem interesse de implementar junto ao comércio de reposição algum programa para enviar resíduos de vidros automotivos para reciclagem?”. Conforme a Sekurit, existe um programa entre o fabricante e o comércio que realiza coleta dos resíduos.

Pode-se observar por este quadro que o maior desafio em reciclar para-brisas está na falta de empresas atuantes na área. Por muitas vezes, os repositores não sabem ao certo o que fazer com seus resíduos e, por isso, acabam descartando indevidamente na natureza. Em média, cinco mil toneladas de sucata de para-brisas são geradas por mês no Brasil, sendo que de acordo com a empresa Massfix, atuante no estado de São Paulo, 600 toneladas semanais são recicladas, ou seja, um número ainda muito pequeno no país.

Pode-se observar que, no Brasil, as poucas empresas que prestam o serviço de reciclagem de para-brisas utilizam do método de moagem para separar o vidro e o PVB. Porém, esse método dificulta a reciclagem do PVB, pois o mesmo encontra-se contaminado com fragmentos de vidro e, infelizmente, impossibilita a sua reutilização na fabricação de novos para-brisas. Mas, ainda assim, o PVB contaminado pode participar do processo de fabricação de outros materiais, como tintas em pó, vernizes de madeira, entre outros. De

acordo com a Massfix, estudos por métodos que possibilitem a melhor forma de separar os dois materiais estão em andamento. Porém, dos poucos artigos encontrados sobre formas mais eficientes de separação, o processo químico-mecânico é o mais atrativo, pois as condições finais do PVB são comparadas ao padrão.

Com base nas respostas, temos que já existe uma logística reversa implementada entre a empresa Massfix e as empresas repositoras. Por exemplo, a Autoglass, uma distribuidora atuante em todo o território nacional, possui seu instituto próprio destinado para recolher seus resíduos em vários locais do Brasil, inclusive foi uma iniciativa da própria empresa coletar e dar o destino correto aos para-brisas trocados em suas dependências. Entretanto, isso foi observado mais na Região Sudeste, pois os maiores fabricantes do país, dentre indústrias nacionais e multinacionais, estão situados em São Paulo, sendo o maior polo industrial. Diante disso, é mais fácil os fabricantes recolherem seus resíduos e enviarem para as recicladoras.

Em Fortaleza, a empresa citada pelos repositores que coletam resíduos de vidro automotivo, apenas coleta e envia para aterro sanitário, sendo um serviço cobrado por tonelada de resíduo recolhida. Infelizmente, fica inviável o transporte da sucata de para-brisa de Fortaleza para São Paulo, pois o frete é pago por tonelada de vidro, ou seja, o comércio repositador teria que acrescentar no custo final do seu produto 20% a mais para possibilitar o envio dos seus resíduos para a reciclagem. Na pesquisa, foi possível encontrar outra recicladora de para-brisa, porém situada em Recife-PE. Apesar de ser uma cidade mais próxima, ainda assim não compensaria o custo do envio por serviço terceirizado.

Existe ainda pouco interesse na reciclagem de laminado, pois se trata de um processo mais custoso, pois é necessário um maquinário especializado para separar o vidro do plástico dificultando o processo, ou seja, poucos se propõem. O que foi observado é que as recicladoras já existentes não apenas reciclam laminado, mas vidros em geral. O problema é que a coleta de para-brisas é bem mais complicada, pois requer caminhões com caçambas, além de deixar a coleta mais cara.

Sendo assim, os próprios fabricantes poderiam incentivar estudos para métodos mais eficazes na separação do vidro e do PVB, a fim de incentivar recicladoras a adentrarem a reciclagem de laminado, ou mesmo, dentro de suas próprias indústrias acoplarem esse processo, como forma de dar descarte correto ao seu produto gerado. Além disso, os

fabricantes sabem o quanto produzem e para quais regiões vendem, ou seja, podem aplicar uma logística reversa entre eles e o mercado repositivo, pois, por mais que o comércio tenha interesse em descartar adequadamente, a falta de estrutura e o processo custoso não colaboram para que isso ocorra.

Além do mais, foi possível constatar que, em Fortaleza, a prefeitura exige um plano de resíduos sólidos das empresas geradoras desse tipo de material, porém, as empresas que realizam esse tipo de coleta apenas coletam e levam para o aterro sanitário, ou seja, não existe um plano de reciclagem envolvido no processo. Como solução, poderia haver investimentos tanto de estudo de novos métodos de separação de vidro e PVB, como também a implementação de logística reversa entre fabricantes, distribuidores e repositores feitos pelo o Governo Federal e prefeituras municipais, a fim de contribuir para a reincorporação desses materiais na indústria.

6 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou uma análise de como acontece a reciclagem de para-brisas, a importância desse processo para dar um destino correto aos resíduos gerados pelo mercado repositivo de vidros automotivos e as dificuldades encontradas por eles, pois não existe logística reversa envolvida entre fabricantes, distribuidores e o comércio.

De um modo geral, as empresas repositivas demonstraram interesse em descartar adequadamente seus para-brisas a fim de possibilitar a reciclagem, mas possuem dificuldades, como poucas empresas que reciclam, pois se trata de um processo com maquinário especializado para separar o vidro e o filme plástico e, mesmo assim, o PVB separado ainda não é o ideal para utilizá-lo novamente na fabricação de novos vidros. Porém, existem empresas que mesmo com o PVB contaminado, ainda assim, este pode ser adicionado na fabricação de outros materiais, por isso a importância de recicladoras.

Os empresários locais demonstram bastante interesse em uma futura implementação de uma logística reversa, mas isso irá depender, principalmente, da indústria ou de possíveis investidores em reciclagem.

O questionário inicial aplicado aos empresários aguçou o interesse de saber mais sobre reciclagem e acerca de como o material que eles comercializam pode voltar 100% a ser utilizado, além de possibilitar mais conhecimento sobre o PVB e sua possibilidade de também reciclar. O segundo questionário facilitou entender o processo de separação, como acontece e suas maiores dificuldades, além de mostrar o interesse do mercado repositivo em recicladores que se instalem em Fortaleza, ou seja, abrindo filiais, ou mesmo, estudar possibilidade junto aos fabricantes de uma logística reversa. O terceiro questionário, aplicado ao fabricante, demonstrou o interesse da indústria em promover sustentabilidade com a implementação de uma política de retorno adequado aos seus resíduos, a reciclagem.

Infelizmente, devido à pandemia, não foi possível conhecer de perto uma recicladora para entender como funciona o processo e suas maiores dificuldades, além disso, não foi possível ir ao laboratório fazer testes com a finalidade de estudar métodos mais eficazes para separar vidro e o PVB.

Nesse sentido, os estudos de métodos mais eficientes de separar o vidro e o filme permitem aumentar a reciclagem de para-brisas e evitar o descarte em aterros sanitários por parte do mercado de reposição.

REFERÊNCIAS

ABIVIDRO. Associação Brasileira das Indústrias de Vidro, 2020. Disponível em: <<https://abividro.org.br/beneficios-da-reciclagem-do-vidro/>>. Acesso em: 31 jul. 2021.

ABRAVIDRO. Associação Brasileira de Distribuidores e Processadores de Vidros Planos, 2019. Disponível em: <<https://abravidro.org.br/vidros/vidro-temperado-2/>>. Acesso em: 30 jul. 2021.

ANAVIDRO. Associação Nacional de Vidraçarias, 2013. Disponível em: <<https://www.anavidro.com.br/voce-sabia-que-os-para-brisas-podem-ser-reciclados/>>. Acesso em: 25 ago. 2021.

AUTOVER. Saint-Gobain, 2015. Disponível em: <<https://www.saint-gobain-autover.com.br/reciclagem-vidro-automotivo>>. Acesso em: 20 jul. 2021.

BLINDEX. Pilkington do Brasil, 2015. Disponível em: <<https://www.blindex.com.br/sobre-a-blindex/historia-do-vidro/o-que-e-vidro-temperado-blindex>>. Acesso em: 28 jul. 2021.

BLINDEX. Pilkington Brasil LTDA, 2021. Disponível em: <<https://www.blindex.com.br/sobre-a-blindex/historia-do-vidro>>. Acesso em: 25 jul. 2021.

BRASIL. Projeto de Lei do Senado n. 477, de 21 de dezembro de 2009. **Dispõe sobre a responsabilidade das empresas que fabricam, importam, comercializam ou instalam vidros automotivos pela coleta e destinação final ambientalmente adequada dos produtos descartados**, Brasília, dez. 2009.

BRENDGEN, Rike et al. Coatings with recycled polyvinylbutyral on polyester and polyamide mono and multifilament yarns. **Journal of Coatings Technology and Research**, 07 March 2021.

CANEVAROLO, Jr. **Ciência dos polímeros**. 2. ed. Editora Artliber. 2004. 448 p.

CARROT, Christian; BENDAOU, Anime; PILLOW, Carolina. **Handbook of thermoplastics**. 2. ed. 2016.

CEBRACE. COMPANHIA BRASILEIRA DE CRISTAIS, 2015. Disponível em: <<https://www.cebrace.com.br/#!/enciclopedia/interna/a-historia-do-vidro>>. Acesso em: 22 jul. 2021.

CÉSAR, Ana Paula; DE PAULA, Débora; KROM, Valdevino. Importância da reciclagem do vidro. **Encontro Latino de Iniciação Científica**, São José dos Campos, 2004. 642-645.

DONATO, Vitorio. **Logística verde**. Editora Ciência Moderna, 2008.

EDSON, M. R. I. **PS do vidro**, 2018. Disponível em: <<https://www.psdovidro.com.br/descubra-tudo-sobre-a-reciclagem-de-vidro/>>. Acesso em: 18 ago. 2021.

ELZIÈRE, Paul. Laminated glass: dynamic rupture of adhesion. **Materials Science**, Paris, 14 Oct. 2016. 181 p.

FONSECA, J.J.S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002.

GARRISON, Philip. **Fundamentos de estrutura**. Tradução de Ronald Menezes. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.

GERHARDT, Tatiana; SILVEIRA, Denise. **Métodos de pesquisa**. 1. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2019.

GOIÁS IMPERMEABILIZAÇÕES, 2021. Disponível em: <<https://goiasimpermeabilizacoes.com.br/gerenciamento/polimeros-o-que-sao-e-qual-sua-importancia/>>. Acesso em: 22 ago. 2021.

GOMES, Ricardo. **Reciclagem de para-brisas automotivos**: separação entre o filme de PVB e o vidro. Dissertação de mestrado, Belo Horizonte, 2018. 1-82.

GUARNIERI, Patricia. **Logística reversa**: em busca de equilíbrio econômico e ambiental. 1. ed. Recife: Editora Clube de Autores, 2011.

HEMPE, Lucas; HEMPE, Cléa. A logística reversa a serviço do desenvolvimento sustentável e o papel da escola com relação à Educação Ambiental. **Revista Monografias Ambientais**. Santa Maria, p. 17-25, 2015.

INDOOR GLASS, 2018. Disponível em: <<https://mirainter.com.br/indoorglass/paginas/pvb-automotivo.html>>. Acesso em: 25 ago. 2021.

KELLER, Uwe; MORTELMANS, Hans. Adhesion in Laminated Safety Glass – What makes it work? **Glass Processing Days**, 13-16 June 1999. 353-356.

MAIA, Samuel. **O vidro e sua fabricação**. 1. ed. Editora Qualitymark, 1996. 83 p.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MORAIS, Douglas. **Avaliação da tensão superficial do PVB e da PA-6**. Dissertação de mestrado, São Paulo, 2008. 1-100.

NASCIMENTO, Luísa; COSTA, Efraim; DAMAS, Lorena. Estudo da viabilização da reciclagem do vidro em Manaus. SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GESTÃO DE PROJETOS, INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE. **Anais**. Manaus, 23 out. 2018. 1-12.

NOGUEIRA, José; SILVA, André; DA SILVA, Emerson. **Introdução a polímeros**. Mato Grosso: GPNM, 2000. p. 27.

PRIORE, Ricardo. (Oct. 16, 2018). A patent intelligence analysis in order to identify methodologies ecologically. **Elsevier**. Science Park, p. 20.

ROGERS, Dale; TIBBE-LEMBKE, Ronald. **Going Backwards: reverse logistics trends and practices**. University of Nevada, 1998. 283 p.

SAINT-GOBAIN AUTOVER. **Saiba a importância de reciclar o vidro de para-brisa**. 2015. Disponível em: <<https://www.saint-gobain-autover.com.br/reciclagem-vidro-automotivo>>. Acesso em: 20 jul. 2021.

SANTO, Fernando. **O que é PVB (Polivinil Butiral)?** São Bernardo do Campo, 25 jul. 2019.

SAUER, Aline; TRISÃO, Fernando; VIEIRA, Geilma. Caracterização do resíduo de vidro laminado de para-brisas para utilização como substituto parcial do cimento em matrizes cimentícias. **Teoria e prática na Engenharia Civil**. Espírito Santo, 22out. 2013. 43-49.

SETZ, Luiz; DA SILVA, Antônio. **O processamento cerâmico sem mistérios**. 1. ed. Editora Blucher, 2019.

SHREVE, R.; JR, Joseph. **Indústrias de processos químicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1997. 717 p.

SHUNCK, Juliana. **Vidro reciclado**, São Paulo, 16 Jul. 2016. Disponível em: <<https://vidroimpresso.com.br/noticia-setor-vidreiro/vidro-reciclado>>. Acesso em: 27 ago. 2021.

SWAIN, Basudev et al. Recycling of waste automotive laminated glass and valorization of polyvinyl butyral through mechano chemical separation. **Environmental research**, 22 Oct. 2015. 615-623.

TALIN VIDROS. **Talin vidros e acessórios automotivos**, 2016. Disponível em: <<http://www.talin.com.br/>>. Acesso em: 30 ago. 2021.

TORQUETTO, André. Vidro plano (Tecnologia Float). **Educação científica e tecnologia**, São Paulo, v. 39, n. 2, p. 153-161, maio 2017.

TUPY, Michael. PVB sheet recycling and degradation. **Material recycling: Trends and perspectives**, March 2012. 135-155.

TUPY, Michael et al. Effect of water and acid–base reactants on adhesive. **Journal of Applied Polymer Science**, Março 2013. 3474-3484.

TUPY, Michael et al. Wind shield recycling focused on effective separation of PVB. **Journal of Applied Polymer Science**. Feb 2014. 1-9.

VARGAS, Isabella; WIEBECK, Hélio. Reciclagem de vidro laminado: utilização dos vidros de baixa granulometria como carga abrasiva na formulação de vernizes de alto tráfego para pisos de madeira. **Polímeros: Ciência e tecnologia**, São Paulo, 14 mar. 2007. 137-144.

WESTPHAL, Fernando. **Manual técnico do vidro plano para edificações**. 1. ed. Simplíssimo Livros, 2016, 161 p.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Modelo do QUESTIONÁRIO aplicado

Questionário 1 - Comerciantes

Trabalho de Conclusão de Curso: Reciclagem de para-brisas

Pesquisadora: Kalyne Mayara Carneiro Martins Farias

Pesquisado: _____

- 1) Quais produtos a empresa trabalha?
- 2) Qual o destino final dos para-brisas respostos pela empresa?
- 3) Você conhece empresas que fazem coleta de resíduos?
- 4) A empresa que faz coleta cobra pelo resíduo coletado?
- 5) Você sabia que vidro de para-brisa pode ser reciclado?
- 6) Você sabia que o filme PVB que se encontra entre as camadas dos vidros pode ser reciclado?
- 7) Você sabe qual o maior empecilho para a reciclagem de para-brisas?
- 8) Seu fornecedor tem algum programa para a coleta dos resíduos?
- 9) Você conhece alguma recicladora de vidro de para-brisa?

10) Na sua opinião, você acha que a reciclagem de para-brisa pode impactar diretamente no meio ambiente?

Questionário 2 – EMPRESA RECICLADORA

Trabalho de conclusão de curso: Reciclagem de Para-Brisas

Pesquisadora: Kalyne Mayara Carneiro Martins Farias

Pesquisado: _____

- 1) Quais produtos são reciclados pela empresa?
- 2) Quando a empresa começou a reciclar para-brisas?
- 3) Como funciona o processo de coleta?
- 4) Existe uma logística reversa envolvida no processo de coleta?
- 5) Quais empresas parceiras fornecem resíduo de para-brisa?
- 6) Como funciona o processo de reciclagem de para-brisas?
- 7) Quais novos produtos são possíveis fazer com o vidro reciclado de para-brisa?
- 8) Qual o método de separação do vidro e o Filme PVB implementado pela empresa?
- 9) Qual o maquinário utilizado para a separação?

10) Fora o/os método (s) já existente (s), existe estudo para outros novos processos?

11) Para vocês, qual a maior dificuldade em reciclar vidro de para-brisa?

12) Quantos resíduos de para-brisa são reciclados por mês?

13) O resíduo de PVB é reciclado?

14) Para onde enviam o resíduo de PVB?

15) Existe possibilidade de a empresa abrir filiais em outros locais no Brasil?

Questionário 3 - FABRICANTE

Trabalho de Conclusão de Curso: Reciclagem de Para-Brisas

Pesquisadora: Kalyne Mayara Carneiro Martins Farias

Pesquisado: _____

- 1) Existe alguma política de retorno dos resíduos gerados pela indústria?
- 2) Quais são as recicladoras parceiras da empresa?
- 3) O PVB gerado nas aparas é enviado para a reciclagem?
- 4) No processo de fabricação de novos produtos são utilizados cacos de vidro provenientes da reciclagem?
- 5) Quanto de energia é possível economizar inserindo resíduo de vidro reciclado no processo?
- 6) Para vocês, qual a maior dificuldade de reciclar para-brisas?
- 7) A indústria tem interesse de implementar junto ao comércio de reposição algum programa para enviar resíduos de vidros automotivos para reciclagem?