



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
ENGENHARIA MECÂNICA**



FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

GUILHERME ROMERO CORDEIRO

HUGO HENRIQUE MARCHENA CAMPOS

LUCAS SABINO DE MEDONÇA

RENATO DA SILVA GONÇALVES

**PROCESSAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS DE
ACRILONITRILA-BUTADIENO-ESTIRENO (ABS) REFORÇADOS COM PÓ DE
VIDRO**

VOLTA REDONDA

2019

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**PROCESSAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS DE
ACRILONITRILA-BUTADIENO-ESTIRENO (ABS) REFORÇADOS COM PÓ DE
VIDRO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica ao Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro

Coorientador:

VOLTA REDONDA

2019

FOLHA DE APROVAÇÃO

Alunos: Lucas Sabino de Mendonça, Renato da Silva Gonçalves, Hugo Henrique Marchena Campos, Guilherme Romero Cordeiro

PROCESSAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS DE ACRILONITRILA-BUTADIENO-ESTIRENO (ABS) REFORÇADOS COM PÓ DE VIDRO

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro

Banca Examinadora

Prof. Dr. Alexandre Alvarenga Palmeira

Prof. Dr. Alexandre Fernandes Habibe

Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro

Prof. MSc. Rui Aurélio Barbosa

RESUMO

Devido a um incentivo em mesclar materiais de diferentes características, ocorreu, nesses últimos 30 anos, uma evolução progressiva das características dos materiais; além disso, houve um grande progresso nos ensaios de análise metalúrgica, ocasionando em processos mais precisos, rápidos e de uma maior variedade de análise dos materiais. Nesses ensaios, serão abordados os ensaios mecânicos, morfológicos e térmicos; portanto, nesses casos, serão analisadas as propriedades mecânicas, as microestruturas e a resistência térmica do compósito ABS (Acrilonitrila-Butadieno-Estireno) com a adição de 10%, 15% e 20% pó de vidro, respectivamente. Terá que ocorrer o processamento e a injeção para depois ocorrer a realização dos ensaios requisitados com o objetivo de caracterizar o material. Deve – se então, neste TCC, analisar e também determinar se o pó de vidro influencia ou não nas propriedades do material. Será necessário, portanto, determinar se haverá novas características, ou não, com a adição de desse componente.

Palavras Chave: Polímeros, Compósitos, Ensaios, Pó de Vidro, Propriedades.

ABSTRACT

Due to an incentive to merge materials of different characteristics, in the last 30 years, there has been a progressive evolution of material characteristics; in addition, It was made great progress in metallurgical analysis tests, causing more accurate, fast processes and a greater variety of material analysis. In these tests, mechanical, morphological and thermal tests will be addressed; therefore, in these cases, the mechanical properties, microstructures and thermal resistance of abs composite (Acrylonitrile-Butadieno-Styrene) will be analyzed with the addition of 10%, 15% and 20% glass powder, respectively. Processing and injection will have to occur and then the requested tests will have to be performed in order to characterize the material. It should, then, in this TCC, analyze and also determine whether the glass powder influences or not, on the properties of the material. It will therefore be necessary to determine whether there is new characteristics, or not, with the addition of this component.

Keywords: Polymers, composites, tests, glasspowder, properties.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos	15
1.1.1	Geral	15
1.1.2	Específicos	15
1.1.3	Justificativa	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1	Polímeros.....	17
2.1.1	Classificação dos polímeros.....	17
2.1.2	Termofixos.....	18
2.1.3	Termoplásticos	19
2.2	Compósitos.....	20
2.2.1	Classificação dos compósitos	20
2.2.2	Compósito com fibra	21
2.2.3	Compósitos com partículas	23
2.2.4	Matérias primas dos polímeros.....	23
2.3	Petróleo	23
2.4	Gás Natural.....	24
2.5	Naturais	25
2.6	Vidros	26
2.6.1	Constituição do vidro	27
2.6.2	Reutilização do pó de vidro	28
2.7	O Compósito ABS	29
2.7.1	Toxicidade do ABS	30
2.8	Acrilonitrila.....	32
2.8.1	Obtenção da acrilonitrila.....	32
2.8.2	Obtenção por amoxidação do propeno	33
2.8.3	Síntese	34
2.8.4	Catalisadores	36
2.8.5	Comércio e aplicações.....	40
2.9	Butadieno	43
2.9.1	Processos de sintetização.....	43
2.9.2	Obtenção do Butadieno	44
2.9.3	Derivados do Butadieno	44

2.9.4	Estireno Butadieno (SBR)	45
2.9.5	Polibutadieno (BR).....	46
2.9.6	Nitrílica (NBR).....	46
2.9.7	Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS).....	47
2.9.8	Destilação Extrativa do Butadieno	48
2.9.9	Primeira Seção de Destilação Extrativa.....	49
2.9.10	Segunda Seção de Destilação Extrativa.....	51
2.9.11	Seção de Fracionamento.....	52
2.9.12	Seção de Purificação do Solvente	52
2.10	Estireno	53
3	METODOLOGIA.....	58
3.1	Cronograma.....	58
3.2	Teste Granulométrico de pó de vidro	58
3.3	Ensaio de Picnometria de Hélio	59
3.4	Processamento do compósito.....	60
3.4.1	Homogeneização dos materiais	61
3.4.2	Trituração do compósito	63
3.4.3	Injeção dos corpos de prova	65
3.5	Microscópio Eletrônico com Varredura (MEV)	66
3.6	Calorímetro Diferencial por Varredura (DSC).....	67
3.7	Ensaio de Tração e Flexão	67
3.8	Ensaio de Termogravimetria (TGA).....	69
3.9	Difração de Raio X (DRX)	70
3.10	Dureza Shore D.....	70
3.11	Pêndulo de Charpy	71
3.12	Microscopia Óptica (MO)	72
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
4.1	DSC dos compósitos	72
4.2	TGA dos compósitos.....	75
4.3	Picnometria de Hélio.....	76
4.4	MEV – Análise da incorporação do pó de vidro	77
4.5	MO – Análise da distribuição do pó de vidro	78
4.6	Ensaio de dureza	80
4.7	Ensaio de impacto	82

4.8	Ensaio de tração	83
4.9	Ensaio de flexão	85
4.10	Difração de Raio-X.....	87
5	CONCLUSÕES.....	88
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Polímeros termofixos não ramificados e ramificados	18
Figura 2 - Polímeros termoplásticos não ramificados e ramificados.....	19
Figura 3 - Classificação dos materiais compósitos	21
Figura 4 - Configurações das fibras para a introdução nos materiais compósitos	22
Figura 5 - (Continuação). Configurações possíveis de fibras para os materiais poliméricos	22
Figura 6 - Processo de obtenção dos compósitos derivados de petróleo.....	24
Figura 7 - Esquematização da obtenção de polímeros derivados de gás natural	25
Figura 8 – Composição química do poli(cis-1,4-isopropeno)	26
Figura 9 - Plástico ABS	29
Figura 10 - Brinquedos ABS	30
Figura 11 - Filamento ABS.....	31
Figura 12 - Impressora 3D	31
Figura 13 - Processo desenvolvido pelo <i>Sohio</i>	33
Figura 14 – Seletividade de acrilonitrila e acroleína com diferentes teores de antimônio nos catalisadores Fe-Sb.....	37
Figura 15 - O procedimento na fabricação de catalisadores.....	39
Figura 16 - Precipitação: Etapas do processo	40
Figura 17 - Estrutura química da acrilonitrila	40
Figura 18 - Aplicações do uso da acrilonitrila	42
Figura 19 - Utilização da acrilonitrila 2013	43
Figura 20 – SBR	45
Figura 21 – BR.....	46
Figura 22 - NBR.....	47
Figura 23 – ABS	48
Figura 24 - Destilação Extrativa do Butadieno.....	49
Figura 25 - Seção de Purificação do Solvente	53
Figura 26 - Fórmula química do estireno.....	54
Figura 27 - Fluxograma básico da produção de estireno.	57
Figura 28 - Fluxograma do Cronograma	58
Figura 29 – Pó de vidro 150µm.....	59
Figura 45 – Quanta chrome Instruments – Analisador de Densidade Real.....	60
Figura 30 – Homogeneizador Termocinético.....	61
Figura 31 – Pesagem ABS puro	62
Figura 32 – Pesagem pó de vidro.....	62
Figura 33 – Material homogeneizado.....	63
Figura 34 - Triturador Plastimax.....	64
Figura 35 – Compósito triturado.....	64
Figura 36 – Injetora de plásticos RAY RAN	65
Figura 37 – Molde do corpo de prova de tração.....	65
Figura 38 – Molde do corpo de prova de flexão	66
Figura 39 – Microscópio de marca Hitachi modelo TM300	66
Figura 40 - Suporte de ensaio de tração	68
Figura 41 - Suporta de ensaio de flexão.....	68
Figura 42 - Máquina de ensaio mecânico EMIC	69

Figura 43 - Difratômetro de raio-x Shimadzu.....	70
Figura 44 – Durômetro Portátil Digital Digimess	71
Figura 46 – Pêndulo de Charpy PSW 04.....	71
Figura 47 - Microscópio Óptico Opton	72
Figura 48 – DSCABS PURO	73
Figura 49 – DSC compósito ABS e pó de vidro família 90/10.....	74
Figura 50 – DSC compósito ABS e pó de vidro família 85/15.....	74
Figura 51 – DSC compósito ABS e pó de vidro família 80/20.....	75
Figura 52 - Análise ABS 9010, 8515 e 8020 via TGA	76
Figura 53 - MEV ABS puro	77
Figura 54 – MEV Compósito família 90/10.....	77
Figura 55 – MEV Compósito família 85/15.....	78
Figura 56 – MEV Compósito família 80/20.....	78
Figura 57 – MO ABS puro.....	79
Figura 58 - MO Compósito família 90/10.....	79
Figura 59 – MO Compósito família 85/15.....	80
Figura 60 – MO Compósito família 80/20.....	80
Figura 61 – Gráfico dureza Shore D.....	82
Figura 62 - Gráfico do ensaio de tração	84
Figura 63 - Gráfico do ensaio de flexão.....	86
Figura 64 - Gráfico do ensaio de difração de raio x.....	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição típica do látex.....	26
Tabela 2 - Tecnologia dos catalisadores para melhoria na fabricação de acrilonitrila	36

Tabela 3 - Função dos promotores.....	38
Tabela 4 – Temperatura de transições vítreas ABS puro e dos compósitos.....	73
Tabela 5 – Massa específica do compósito	76
Tabela 6 - Resultados do ensaio de dureza Shore D.....	81
Tabela 7 – Resultados do ensaio de resistência ao impacto	83
Tabela 8 - Resultados do ensaio de tração.....	84
Tabela 9 - Resultados do ensaio de flexão	86

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Constituições usuais dos vidros comerciais.....	27
Quadro 2 - Porcentagens dos vidros reciclados em alguns países	28
Quadro 3 – Resultados do ensaio TGA	75

LISTA DE SIGLAS

ABS: Acrilonitrila-Butadieno-Estireno

SBR: Estireno Butadieno

BR: Polibutadieno

NBR: Nítrica

MEV: Microscopia Eletrônica de Varredura

DSC: Calorímetro Diferencial por Varredura

DRX: Difração de Raio X

MO: Microscópio Óptico

1 INTRODUÇÃO

Os materiais poliméricos, dependendo de sua composição, possuem uma grande variação de propriedades que dependem, em sua maior parte, da composição e da aglomeração dessas substâncias. Para isso é necessário fazer a análise de suas propriedades através de ensaios para a determinação de suas propriedades.

Esses materiais, desde o século passado, estão sendo desenvolvidos a uma taxa elevada. Eles estão sendo testados para o encontro de composições melhores, com o intuito de superar os limites estabelecidos pelos polímeros existentes; Para isso, estão sendo utilizadas uma mistura de tipos distintos para uma relação de propriedades desejadas e, por esse motivo, será necessário a utilização de vários tipos diferentes de ensaios, com o objetivo de ocorrer uma análise profunda e completa.

Ocorreu, nesses últimos tempos, uma grande evolução dos vários tipos de ensaios existentes. Isso ocorreu, em sua grande parte, devido à evolução da tecnologia, ocasionando, em muitos casos, a substituição do sistema de medição analógica pelo digital. O efeito foi à otimização junto com uma melhor precisão, fazendo com que os materiais fossem melhores diagnosticados, com uma maior rapidez.

Os plásticos, então, podem ser desenvolvidos para o objetivo em que na aplicação são exigidos grandes esforços mecânicos, mas para isso é essencial ocorrer o desenvolvimento de uma produção em massa com alta rentabilidade, para ocorrer um menor custo e melhor qualidade na produção.

Como resultado desses estudos, ocorreu o surgimento dos materiais compósitos poliméricos, nesse TCC será estudado o ABS (Acrilonitrila-Butadieno-Estireno). Eles têm como uma importante vantagem, em comparação aos outros materiais, a combinação entre resistência mecânica, resistência ao impacto, trabalhabilidade, entre outros. Dependendo da composição desses três materiais, poderá ocorrer alteração dessas propriedades. É importante, então, ressaltar que as propriedades e, conseqüentemente, os resultados dos ensaios dependerão da configuração e dos tipos de materiais utilizados, podendo, ocorrer obtenção de resultados distintos.

1.1 Objetivos

O objetivo deste estudo visa definir as propriedades do compósito ABS com a adição de pó de vidro em sua composição com o intuito de ocorrer a determinação de suas características com ele puro e com a adição do material mencionado acima.

1.1.1 Geral

O objetivo é a realização de ensaios para a análise das características do ABS (Acrilonitrila-Butadieno-Estireno) com a adição de pó de vidro.

1.1.2 Específicos

Processamento dos compósitos via homogeneizador termo cinético (incorporação do vidro moído já classificado), nas proporções de 10%, 15% e 20%;

Separação de amostras para a confecção dos corpos de prova para os ensaios mecânicos: tração, Flexão, impacto e dureza Shore D;

Confecção dos corpos de prova para os ensaios mecânicos: tração, flexão, dureza e impacto, seguido da realização dos ensaios citados com o intuito de saber sobre, as características do material relacionado ao seu comportamento mecânico sob esses esforços.

Determinação de sua cristalinidade através do ensaio de difração de raio x;

Determinação das massas específicas reais dos compósitos via Picnometria de Hélio;

Determinação da caracterização térmica via TGA e DSC.

1.1.3 Justificativa

É importante saber quais são as suas propriedades, para saber as suas qualidades e seus defeitos e, também, se é viável a sua aplicação na área de engenharia.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Polímeros

“[...] O termo polímero quer dizer muitas unidades e, nesse contexto, o termo mero se refere a um grupo unitário de átomos ou moléculas, que define um arranjo unitário característico de um polímero.” (Askeland e Wright,2019,p426).

Conforme afirmado por Oliveira apud Akcelrud, (2007,p 18),

“Materiais poliméricos são provenientes de macromoléculas com massa molar de ordem 10^4 a 10^6 g/mol, formadas com muitas unidades de repetição conhecidas como meros, e podem ser de origem natural ou sintética. A partir disto o nome Polímero, que é derivado do grego onde Poly (muitos) e Mero (partes). (Akcelrud, 2007). E é exatamente isto, a repetição de muitas unidades (poli) de um tipo de composto químico (mero).” Oliveira apud Akcelrud, (2007,p 18).

Para Callister e Rethwisch (2016, p 466),

“[...] Desde o término da Segunda Guerra Mundial, o campo dos materiais foi virtualmente revolucionado pelo advento dos polímeros sintéticos. Os materiais sintéticos podem ser produzidos a baixo custo, e suas propriedades podem ser moldadas a valores que tornam muitos deles superiores aos seus análogos naturais. Em algumas aplicações, peças metálicas e de madeira foram substituídas por plásticos, os quais têm propriedades satisfatórias e podem ser produzidos a custos mais baixos.” Callister e Rethwisch (2016,p 499).

Segundo Askeland e Wright (2019), os polímeros são materiais resistentes a corrosão e eles estão tendo uma evolução para a utilização na engenharia. Esses materiais estão sendo introduzidos na engenharia devido ao desenvolvimento de uma maior resistência mecânica, que junto com a resistência a corrosão, ocasiona em um material valioso. Porém esse grupo pode ter uma grande variedade de propriedades, incluindo, até mesmo, condutividade elétrica, como os poliacetais.

2.1.1 Classificação dos polímeros

Conforme Callister e Rethwisch (2016), esses ordenamentos moleculares são classificados, tendo como critério o seu comportamento em relação aos diferentes tipos de temperaturas, levando em consideração os extremos superiores e inferiores; conseqüentemente, esses materiais irão ter umas especificações moleculares distintas

2.1.2 Termofixos

Os polímeros termofixos são assim chamados devido a sua constância estrutural, com o advento de altas temperaturas. Esses tipos possuem uma alta resistência e dureza a esforços mecânicos e são difíceis de serem conformados.

De acordo com Askeland e Wright (2019), esse tipo é formado devido a uma constituição de cadeias de moléculas, que são ligadas umas às outras por meio de ligações covalentes, e elas podem ser ramificadas ou não ramificadas. Nas ramificações, ocorrem formações de sub cadeias em diferentes pontos das cadeias primárias. Em relação às estruturas sem ramificação, não há a formação dessas cadeias secundárias em relação a principal.

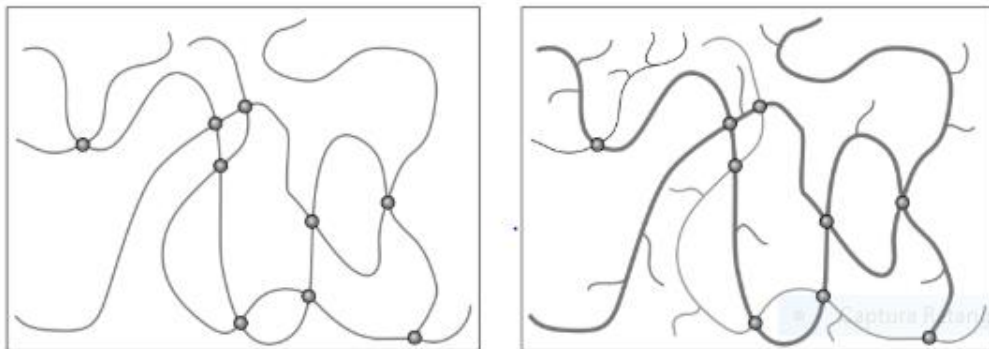


Figura 1 - Polímeros termofixos não ramificados e ramificados
Fonte: Askeland e Wright (2019)

Segundo Garcez apud Callister (2002), para ocorrer o fabrico dos termorrígidos têm que ocorrer o endurecimento dos polímeros lineares, que estavam inicialmente no seu estado líquido. Em seguida ocorrerá a cura, que poderá ser feita a alta temperatura sob pressão, onde serão formadas as ligações cruzadas ou em rede. Só é possível fazer a conformação durante a fabricação.

2.1.3 Termoplásticos

Os materiais termoplásticos têm como sua principal característica uma mudança de propriedades de acordo com a mudança de temperatura. Quanto maior a temperatura, mais tenaz fica o material e o oposto ocorre com o resfriamento excessivo, sendo, em comparação ao termorrígido, mais tenaz, porém menos resistente, podendo ser mais bem trabalhado para aplicações industriais.

Segundo Askeland e Wright (2019), esse tipo é formado com cadeias ramificadas ou não ramificadas lineares com flexibilidade, diferentemente do termorrígido que possui cadeias ramificadas e não ramificadas, porém possui uma rede tridimensional rígida. Nesse caso, as cadeias moleculares, diferentemente dos termorrígidos, não são ligadas por ligação covalente, mas pode possuir ou não ramificações.

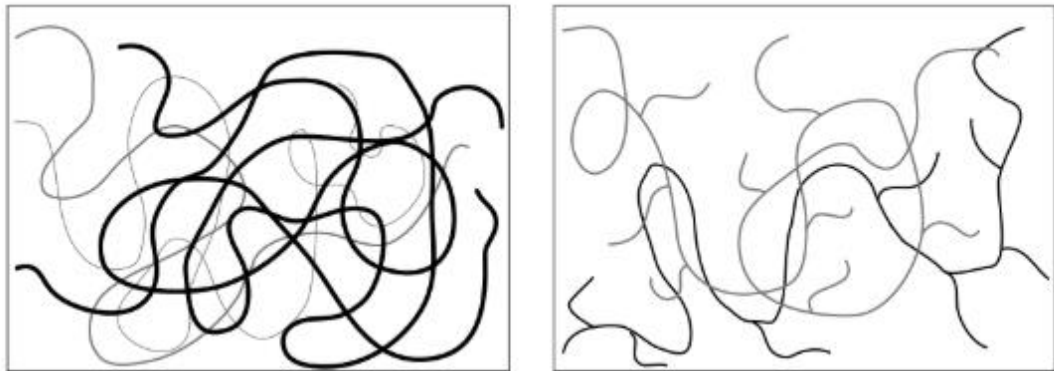


Figura 2 - Polímeros termoplásticos não ramificados e ramificados
Fonte: Askeland e Wright (2019)

Segundo Garcez apud Callister (2002), os termoplásticos possuem características apostas ao termorrígido em relação a sua capacidade de conformação. Neste caso, essa classe é facilmente conformada, mesmo depois de sua fabricação e o método mais utilizado para a sua conformação é a moldagem, que é feita no seu estado líquido e a alta pressão.

2.2 Compósitos

Os compósitos são diferentes materiais em que são ajuntados, com o intuito de ocorrer à aglomeração das melhores características, em relação ao estado anterior.

Levando isso em consideração, é possível alcançar variáveis configurações diferentes no que se refere aos materiais. Poderá ocorrer à junção de diferentes, ou não, classificações de materiais. Para isso ocorrer, os materiais que serão unidos têm que possuir características distintas, e com a sua união deverá ocorrer à obtenção das melhores propriedades, como mencionado acima.

Segundo Martins (2013), para a junção das propriedades, ocorrerá à formação de matriz (fase contínua), sendo influenciada pelo reforço (fase descontínua). Os reforços têm como objetivo agregar novas características as matrizes poliméricas.

2.2.1 Classificação dos compósitos

Segundo Silva (2010), os compósitos são classificados em dois grupos chamados fibras e partículas, que são mecanismos de adição ao compósito comum para a melhora de suas características.

Através de Casaril (2009), o reforço de fibra e partícula são influenciados pelo respectivo, formato do material e suas composições.

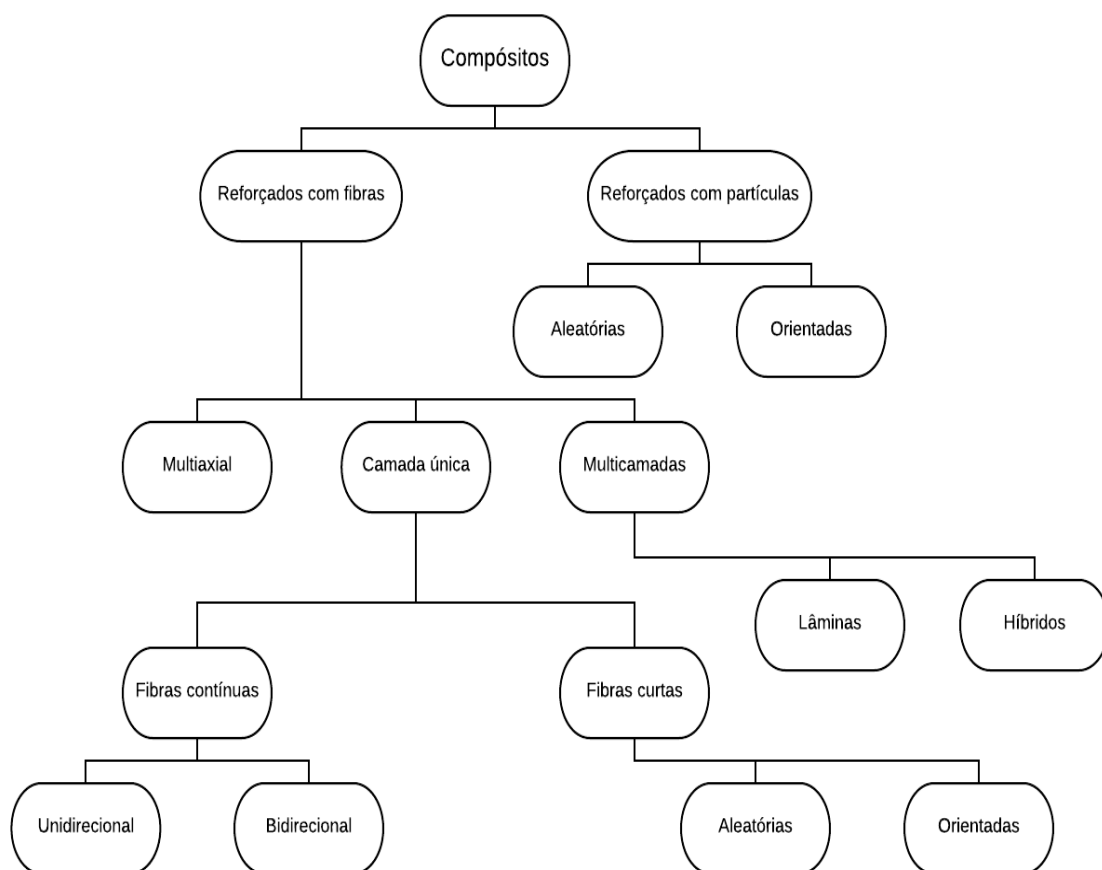


Figura 3 - Classificação dos materiais compósitos
Fonte: Silva 2010

2.2.2 Compósito com fibra

De acordo com Lachnit apud Callister (2008), os materiais compósitos fibrosos, como o nome já diz, são reforçados com fibras. Geralmente o resultado almejado pela introdução dessas fibras é obter um material leve e resistente, que são muito valorizados pela indústria automobilística e aeroespacial.

De acordo com Gabriel (2018), o exemplo mais utilizado de compósitos fibrosos é a fibra de vidro, que está, ultimamente, sendo utilizado para ensaios, com a missão de ocorrer às melhoras dos corpos testados.

Conforme Barros apud Chou ET AL (1986); Bannister (2001); Tsai et al (2000), os fibrosos poderão ser aplicados como fibras longas ou curtas, de forma não orientada ou orientada, tem a configuração de utilização na forma de mantas, tecidos ou disperso; Sendo que os tecidos podem ser unidirecional ou bidirecional e as mantas com fios curtos ou contínuos. As fibras podem se configurar na forma

de construção tridimensional, construção cilíndrica tridimensional e interlock. Como observado nas duas figuras abaixo:

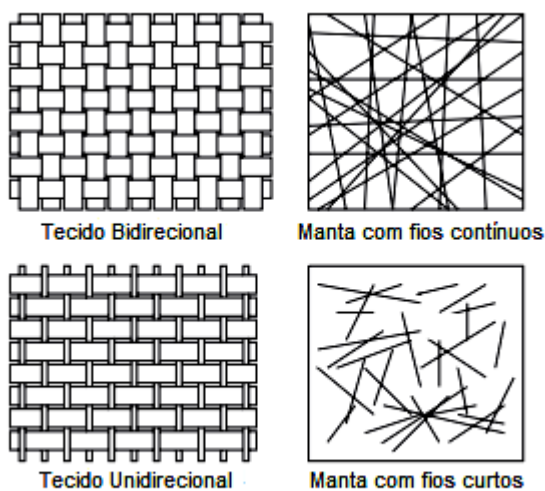


Figura 4 - Configurações das fibras para a introdução nos materiais compósitos
Fonte: Barros apud Chou et al, 1986

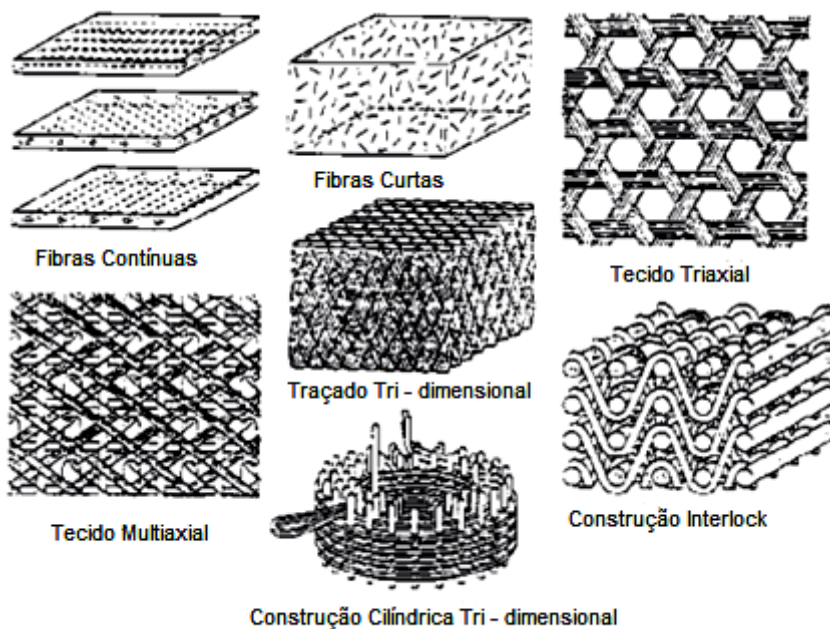


Figura 5 - (Continuação). Configurações possíveis de fibras para os materiais poliméricos
Fonte: Barros apud Chou et al, 1986

2.2.3 Compósitos com partículas

Conforme Gomes (2009), os compósitos com adição de partículas são chamados desse modo devido à inclusão de partículas não fibrosas às matrizes poliméricas.

De acordo com Casaril (2009), o reforço particulado influencia de maneira diferente, as características do compósito, em comparação com o de fibra. Os particulados aumentam a rigidez enquanto os fibrosos possuem uma maior influência no aumento de resistência do material.

Segundo Gabriel apud Andrade (2017), há alguns reforços que devem ser mencionados como: farinha de madeira, farinha de sílica, vidro, argila, talco, calcário, entre outros. Os tamanhos são pequenos (geralmente próximos a 10 nm).

Conforme dito por (Casaril, 2009, p 10),

“[...] Materiais particulados são utilizados para modificar propriedades térmicas, elétricas, características de usinagem, dureza superficial, propriedades de atrito e desgaste[...]” (Casaril, 2009, p 10).

2.2.4 Matérias primas dos polímeros

Segundo Gabriel (2008) apud Carnevarolo (2006), os materiais poliméricos podem ser derivados de combustíveis fósseis ou de biomassa. A sua fabricação dependerá dos tipos de materiais em que se deseja obter o material e a viabilidade de produção.

2.3 Petróleo

O petróleo é um combustível fóssil muito conhecido pela sua aplicação em forma de combustível, além de poder ocasionar na formação de alguns materiais poliméricos

Segundo Pitt, Boing e Barros (2011), o processo de produção desses materiais é feito a partir da perfuração feita pela plataforma de petróleo, refino do petróleo para a obtenção da nafta, que é o componente derivado do petróleo,

utilizado para a utilização as alterações químicas necessárias. O procedimento para a formação de materiais poliméricos será mostrado abaixo:

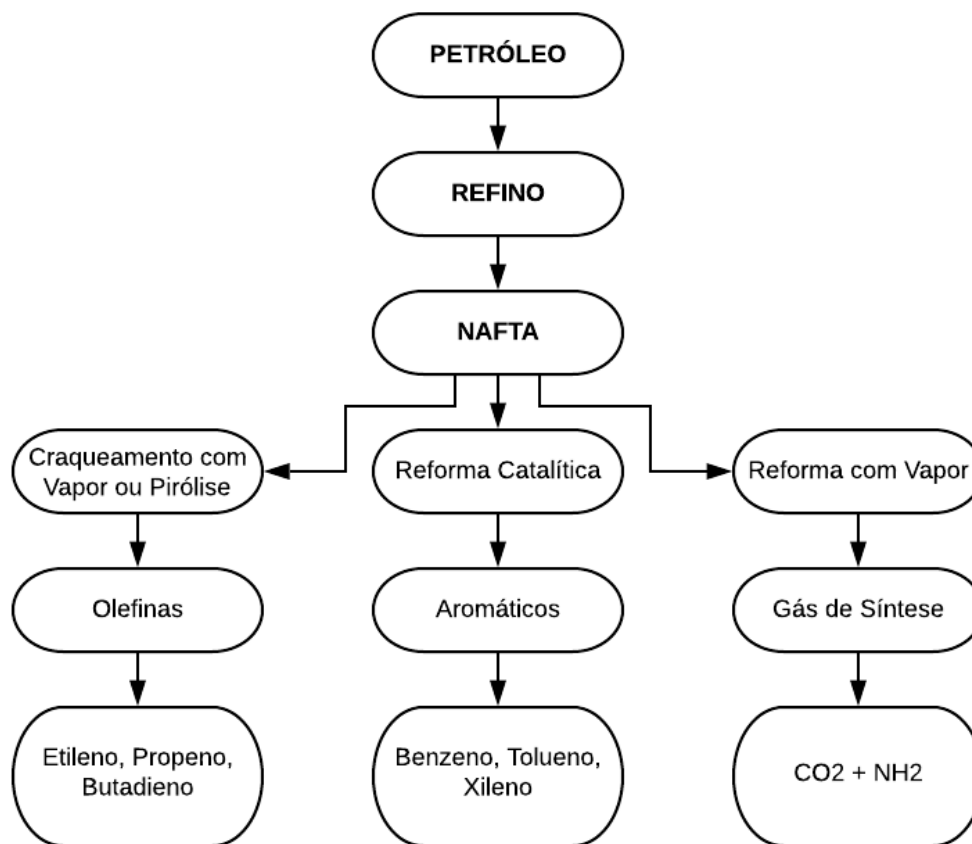


Figura 6 - Processo de obtenção dos compostos derivados de petróleo
 Fonte: Pitt, Boing e Barros (2011) apud Antunes (2007)

2.4 Gás Natural

Pitt, Boing e Barros (2011), o gás natural é combustível fóssil, essencial, para o abastecimento de carros (posto GNV), gás de cozinha e, principalmente, fonte de energia para o aquecedor, muito utilizado na Europa, além disso, também é possível a formação de materiais poliméricos.

Em relação ao procedimento de obtenção de materiais poliméricos com base em gás natural, podem ocorrer dois procedimentos: Reforma com Vapor e Liquefação, que ocasionam no gás de síntese e etileno ou propileno, respectivamente. O processo completo está na imagem abaixo:

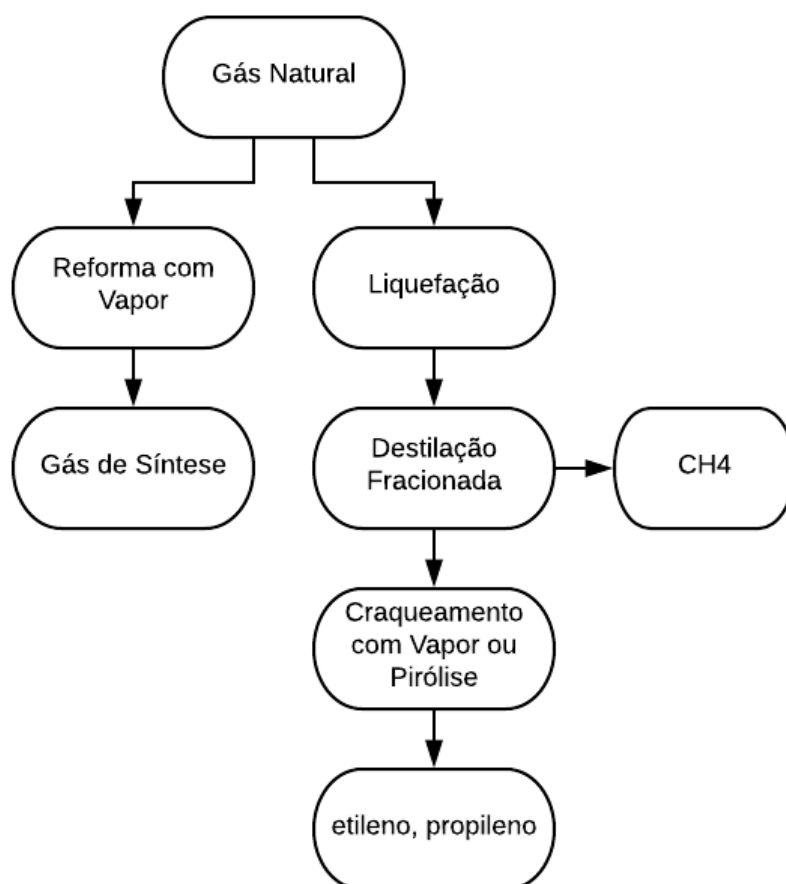


Figura 7 - Esquematização da obtenção de polímeros derivados de gás natural
 Fonte: Pitt, Boing e Barros (2011) apud Antunes (2007)

2.5 Naturais

Devido aos países procurarem uma menor dependência à utilização de combustíveis fósseis. Está ocorrendo uma grande procura por fontes de energia renováveis para a produção de combustível e também para a formação de novos materiais. Levando em consideração que, a biomassa são materiais poliméricos naturais como madeira, couro, entre outros.

Segundo Silva (2017), a borracha natural, por exemplo, é um polímero natural extraído do látex, que é uma seiva que se extrai das seringueiras. Têm ótimas propriedades relacionadas à sua elasticidade, quando aplicadas a altas tensões.

Conforme Júnior (2012), devido aos problemas de saúde ocasionados pelo látex e também a logística, muitos países estão procurando alternativas para a

substituição da borracha natural, sendo uma delas: as borrachas produzidas por técnicas de vulcanização.

Segundo Silva (2017), o poliisopreno é o polímero que compõe a maior parte do látex, sendo o que mais influência em relação as suas propriedades, como será mostrada na tabela abaixo:

Tabela 1 - Composição típica do látex

Componente	Quantidade (%)
Cis- 1,4-poliisopreno	33,0
Proteínas	1,0 - 1,5
Resinas	1,0 - 1,5
Cinzas	< 1,0
Açúcares	< 1,0
Água	60,0

Fonte: Silva (2017)

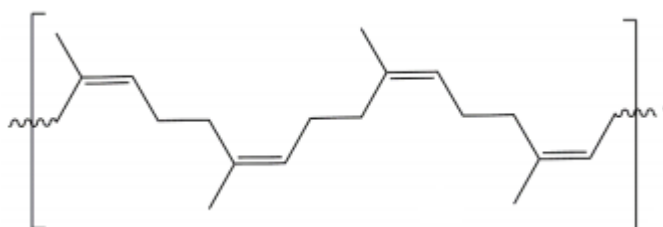


Figura 8 – Composição química do poli(cis-1,4-isopreno)

Fonte: Silva (2017)

2.6 Vidros

Os vidros são caracterizados como materiais sem estrutura cristalina (amorfo). São muito utilizados em janelas, confecção de objetos decorativos, além de visores de alguns equipamentos eletrônicos, entre outras aplicações.

Segundo Galvão (2014), os vidros são materiais com alta resistência a ruptura, mas não absorve o impacto imposto sobre ele. O vidro é um material com

alta rigidez quando o material não entra no regime plástico, porém se ultrapassar a zona elástica o material irá se romper. Isso ocorre porque, nesse sólido amorfo, o limite de resistência é igual ao limite de ruptura e, assim, não é um material conformável no seu estado final.

2.6.1 Constituição do vidro

De acordo com Oliveira (2009) apud Maia (2003), o vidro é formado, na sua maioria, pela Sílica (SiO_2), tendo a complementação da composição de outros elementos, na sua maioria de óxidos. Deve – se considerar, também, que há vidros que são formados, na sua totalidade, por esses óxidos.

Quadro 1 - Constituições usuais dos vidros comerciais

Vidro	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	PbO	Na_2O	K_2O	SO_3	F_2	B_2O_3	CuO
Frascarias	72,7	2,0	0,06	10,4	...	...	13,6	0,4	0,3	0,2	...	...
Vidraçaria Verde	71,7	0,2	0,1	9,6	4,4	...	13,1	...	0,4	...	...	...
Vidro Plano	71,6	1,0	...	9,8	4,3	...	13,3	...	0,2	...	...	...
Pote opalino	71,2	7,3	...	4,8	...	4,2	...	...	12,2	2,0	...	...
Rubi	72,0	2,0	0,04	9,0	...	...	16,6	0,2	...	...	...	0,05
Boro-silicato	76,2	3,7	...	0,8	...	...	5,4	0,4	...	...	13,5	...
Fibra de vidro	54,5	14,5	0,4	15,9	4,4	...	0,5	...	...	0,3	10,0	...
Chumbo técnico	56,3	1,3	...	...	...	29,5	4,7	7,2	...	0,6	...	...
Bulbo	72,9	2,2	...	4,7	3,6	...	16,3	0,2	0,2	...	0,2	...

Fonte: Oliveira (2009) apud Maia (2003)

2.6.2 Reutilização do pó de vidro

Segundo Gabriel (2018) apud Caldas (2012), a reciclagem do vidro ocorre pela separação dos tipos de vidros (automotivo, plano e embalagem) e ele é direcionado a uma máquina, no qual esse sólido amorfo é triturado.

Conforme Galvão (2014) apud Reciclar para Construir (2012), a reciclagem do vidro pode ocasionar numa maior facilidade de ocorrer à fundição, devido ao fato de consumir menos energia, além de amenizar o desperdício desses recursos e, assim, ajudar no principal problema na atualidade que é a exaustão dos recursos naturais do planeta.

De acordo com o Winter (2018) apud Mohajerani (2017), o vidro reciclado atraiu o interesse de vários países devido à preocupação ambiental e porque o vidro pode demorar 1.000.000 de anos para se decompor na natureza, tornando a negligência ao seu despejo uma situação que deve ser resolvida.

Quadro 2 - Porcentagens dos vidros reciclados em alguns países

País	Porcentagem de vidro reciclado
Bélgica	96%
Suíça	94%
Luxemburgo	93%
Holanda	91%
Suécia	91%
Noruega	89%
Alemanha	82%
Itália	74%
França	67%
Reino Unido	61%
Espanha	57%
Austrália	34%
Estados Unidos	33%

Fonte: Winter (2018) apud Container RecyclingInstitute (2017)

2.7 O Compósito ABS

O plástico ABS é definido como uma resina termoplástica proveniente do petróleo. Sua sigla provém da língua inglesa e define um compósito formado por “*Acrylonitrile, Butadiene e Styrene*”, em português Acrilonitrila, Butadieno e Estireno. Por ser um termoplástico, as características de flexibilidade e dureza são notáveis neste material.



Figura 9 - Plástico ABS

Fonte: <https://plastbrinq.com.br/plastico-abs/>

Ressalta-se que mesmo possuindo várias qualidades, este material é economicamente acessível e por isso muito praticado nas indústrias (com o aumento da competitividade entre as empresas tende a ficar ainda mais viável sua comercialização). Além disso, não é pesado, permite ser moldado de maneira fácil e apresenta boa resistência à **tração**, ao impacto e à **abrasão**.

Destaca-se também seu excelente aspecto visual, já que pode ser pigmentado com as mais variadas cores, garantindo um excelente acabamento ao produto final.

Sua moldação pode se dar por injeção e extrusão, garantindo que as camadas fiquem bem unidas e com o mínimo de deformação.

Outras características interessantes deste material é que ele apresenta certa resistência ao calor e a temperaturas mais baixas. Sua faixa recomendada

de temperatura varia de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Além disso, ele também pode ser usado como isolante elétrico.

Com todas estas características este polímero termoplástico é usado em fartas aplicações, como por exemplo, brinquedos, filamentos de impressões 3D (um ramo que vem crescendo muito nos últimos tempos, elevando o comércio de filamentos ABS), peças automobilísticas, capacetes de segurança, teclados, fios etc.

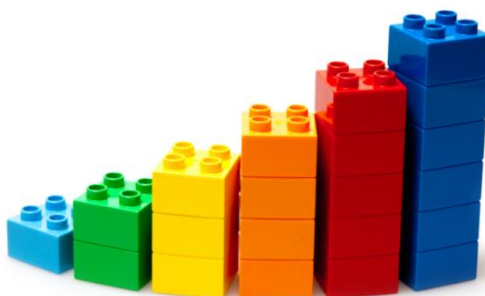


Figura 10 - Brinquedos ABS

Fonte: https://www.nicepng.com/ourpic/u2q8y3t4e6r5u2o0_lego-blocks-abs-acrylonitrile-butadiene-styrene/

2.7.1 Toxicidade do ABS

Muito se questiona a respeito da toxicidade deste material. Sabe-se que em temperatura ambiente, não ocasiona nenhum tipo de dano à saúde, já que não ocorrem quebras no arranjo do plástico nestas condições.

Com sua grande utilização em impressões 3D, intensificou-se os estudos neste sentido. Recomenda-se realizar as impressões em locais abertos e ventilados, já que um forte odor é liberto durante as impressões que utilizam este tipo de filamento.

Pesquisas apontam que durante os processos de fusão e processamento, inúmeras partículas são expelidas na forma de gás, várias dessas, tóxicas. É importante se atentar as nanopartículas liberadas, pois as mesmas podem se alojar nos alvéolos pulmonares e desenvolver doenças ao longo do tempo. Optar

por impressoras fechadas pode ser uma alternativa, na impossibilidade de se trabalhar em um ambiente ideal.



Figura 11 - Filamento ABS

Fonte: <https://www.agru.at/en/applications/semi-finished/pla-filaments-for-3d-printing/>



Figura 12 - Impressora 3D

Fonte: <https://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2016/12/impressora-3d-principais-lancamentos-de-2016-e-o-que-esperar-para-2017.html>

Deve-se destacar ainda que é contraindicado utilizar materiais feitos de ABS para o contato com alimentos, já que o Estireno está presente em sua composição. Além disso bactérias podem se depositar entre as camadas de filamentos, podendo não ser removidas com uma simples lavagem.

2.8 Acrilonitrila

2.8.1 Obtenção da acrilonitrila

Primeiramente a acrilonitrila foi utilizada em laboratório para a fabricação de borracha sintética. Ela foi encontrada no ano de 1843 por Ferdinand Redtenbacher, depois foi sintetizada depois de cinquenta anos por Charles Moureu (SCHATER, 2009).

O Estados Unidos e a Alemanha fabricaram industrialmente a acrilonitrila no ano de 1940. Inicialmente os métodos eram fundamentados no método de catalisação de cianidrina de etileno desidratado, fabricada de ácidos cianídricos e óxidos de etileno. Os estudos de novas tecnologias de fabricação foram incentivados por causa da fibra acrílica em 1950 (BRAZDIL, 1991). Desta forma, em 1960, foi industrializado com sucesso a criação do processo de fabricação em fase vapor. Com isto foi obtido a acrilonitrila mais barata e mais pura, enquanto os demais métodos ficaram ultrapassados. Na década de sessenta a *Sohio* desenvolveu este processo que ficou responsável por mais de 90% da produção deste elemento no mundo todo (*THE SOHIO ACRYLONITRILE PROCESS*, 1996).

The Standard Oil Company fundamentou um método que é utilizado pela *Unigel* que utiliza um reator de leito fluidizado incluindo catalisador de óxidos mistos. É aplicado ar, propeno e amônia no reator para a geração da acrilonitrila (GRASSELLI, 1999).

A acrilonitrila é afastada dos gases monóxido e dióxido de carbono, de hidrocarbonetos e de nitrogênios através de uma torre de absorção logo após serem resfriados nesta mesma torre e são dedicados à exaustão. Estes

elementos são chamados de efluentes que foram aquecidos no reator antes da separação.

O soluto contendo acrilonitrila atravessa em uma coluna de recuperação, onde é alimentada de HCN para afastar a acrilonitrila seca e os ácidos cianídricos, e com a recuperação da acetonitrila e água obtemos a acrilonitrila bruta. Então após a remoção das impurezas, surge a acrilonitrila purificada.

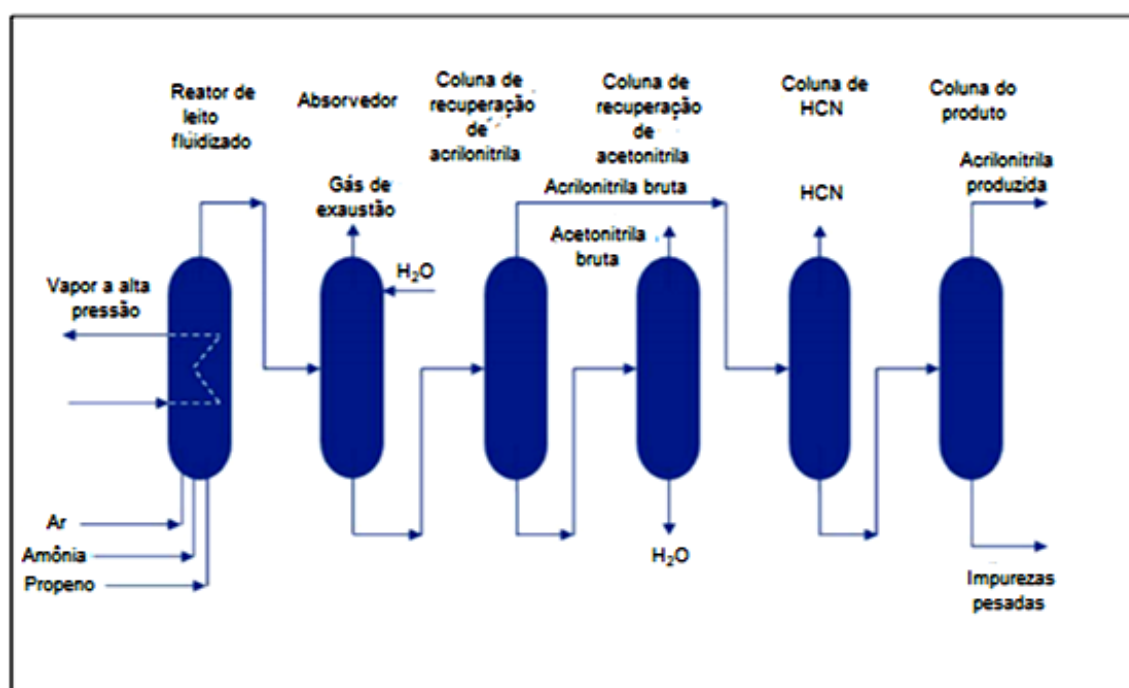


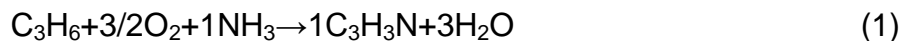
Figura 13 - Processo desenvolvido pelo *Sohio*

Fonte: CESPI et al, 2014

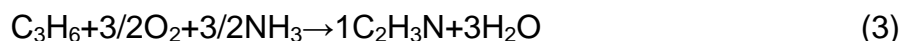
2.8.2 Obtenção por amoxidação do propeno

Neste processo temos uma reação oxidativa, onde temos a união das olefinas, do oxigênio e da amônia para a obtenção de água e nitrila. esta mistura tem um comportamento exotérmico em fase vapor. Catalisadores fundamentados em óxidos mistos e em sílica são os mais usados neste processo. Dentre os óxidos mais utilizados temos o molibdênio e o bismuto, outros utilizados em menor escala são os de cobalto e ferro. A temperatura durante a amoxidação está entre 350 a 500°C e a pressão variando de 1 a 3atm nos reatores (GRASSELLI,

1985; PUDAR et al, 2010). A equação 1 demonstra a reação fundamental na fabricação de acrilonitrila por amoxidação do propeno.



Este processo não apenas fabrica a acrilonitrila, mas dá origem a dois outros produtos comercializados, tais como: o HCN (ácido cianídrico) e a ACN (acetonitrila) que são representadas, respectivamente, de acordo com as equações 2 e 3, sendo que a quantidade gerada de acetonitrila é inferior à geração de ácido (DIMIAN et al, 2008).



Desta forma, analisando a demanda no mercado controlamos a quantidade de geração desses subprodutos trocando o catalisador ou apenas colocando álcool no processo de amoxidação.

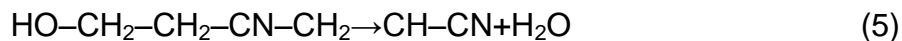
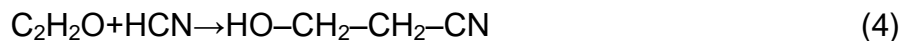
Paparizos em 1992 propôs uma nova tecnologia buscando melhorar o rendimento destes produtos secundários, utilizando-se álcool e propeno no reator de leito fluidizado (PAPARIZOS et al, 1992).

O rendimento do processo de fabricação da acrilonitrila pela amoxidação de propeno é variado com três fatores, tais como: quantidade de mols entre amônia e propeno, temperatura no processo de reação e quantidade molar de ar e propeno. Estas variáveis influenciam diretamente na quantia gerada de acrilonitrila.

2.8.3 Síntese

Anteriormente a tecnologia *Sohio*, foram criadas outras teorias utilizando ácidos cianídricos e óxido de eliteno para geração de acrilonitrila. Este processo consiste em duas fases. Primeiramente tem-se uma solução eteno-cianidrina que

em seguida é desidratada criando a acrilonitrila de maior pureza. As equações 4 e 5 demonstram a reação (*THE SOHIO ACRYLONITRILE PROCESS*, 1996).



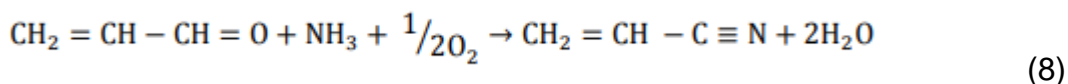
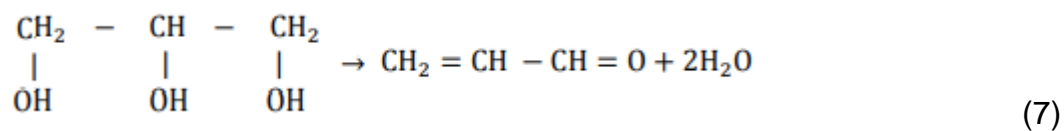
Em sistemas usando acetileno e ácidos cianídricos, são indispensáveis catalisadores sólidos (platina) a 300-380 °C, em conformidade com a equação 6 (MOFFAT et al, 1973).



Ultimamente, a produção da acrilonitrila na indústria é realizada a partir da tecnologia desenvolvida pela *Sohio* e outros similares baseados nesta tecnologia. A diferença dos processos das empresas é o processo ou o catalisador.

Na geração de acrilonitrila pela amoxidação do propano tem como missão viabilizar o processo. Os catalisadores são fundamentados na mistura de óxidos de telúrio, vanádio, nióbio e molibdênio e o processo usado é o mesmo da amoxidação do propeno (*Sohio*).

Outra tecnologia alternativa usa a glicerina como reagente. Que é um coproduto do biodiesel e tem custo baixo. Esta tecnologia fornece um aumento na variação de destino do glicerol. A glicerina é desidratada gerando a acroleína que também pode ser empregada na reação do oxigênio com a amônia (amoxidação da acroleína) para fabricação de acrilonitrila, segundo as equações 7 e 8.



Os catalisadores de glicerina usados na obtenção de acrilonitrila, são fundamentados em óxidos de antimônio e vanádio suportado em alumina que admitem a transformação da glicerina em acrilonitrila (CASILDA et al, 2009).

2.8.4 Catalisadores

No método de fabricação de acrilonitrila por amoxidação do propeno, utilizamos catalisadores fabricados de óxidos, mas contendo no mínimo dois metais. Os catalisadores mais usados na atualidade são formados de molibdênio, ferro, potássio, boro e etc. É importante que esse catalisador utilize elementos com atributo redox.

A *Sohio* em 1978 criou catalisadores de bismuto e molibdênio com atributos melhores, apresentando pouca quantia de potássio e fósforo. Desde então sempre estão buscando evoluções em catalisadores que resulta na melhoria do processo aumentando o rendimento em acrilonitrila. Os catalisadores foram reformulados com a adição de novos elementos químicos como cobalto, níquel etc, o que resulta nestas melhorias. Na tabela 1 vimos alguns catalisadores e seus respectivos rendimentos em acrilonitrila.

Tabela 2 - Tecnologia dos catalisadores para melhoria na fabricação de acrilonitrila

Tecnologia	Seletividade em acrilonitrila (%)	Referência
Catalisador composto por molibdênio, bismuto, níquel ou cobalto e cromo para reação de amoxidação de olefinas	78,8	Grasselli, et al., 1976
Catalisador contendo molibdênio, bismuto, níquel ou cobalto, manganês, magnésio, zinco, e cádmio para acrilonitrila.	80,2	Grasselli, et al., 1980
Catalisador de óxidos de molibdênio, bismuto, ferro, cobalto, níquel, cromo potássio com diversos promotores para acrilonitrila	83,2	Paparizos, et al., 1992
Catalisador de óxidos de molibdênio, bismuto, ferro, cobalto, níquel e cromo para acrilonitrila.	84,8	Drenski, et al., 1998

Catalisador que contém óxidos de molibdênio, bismuto, ferro, cério com diversos promotores para acrilonitrila.	89,7	Brazdil, et al., 2012
--	------	-----------------------

Fonte: Silva, 2014

Existem catalisadores formados com antimônio aplicados ao processo de amoxidação do propano e também do propeno. Neste caso o aumento no teor de antimônio no catalisador resultou no aumento do agrupamento da acroleína e da acrilonitrila. Isto ocorre pois aumenta o acúmulo de oxigênio na superfície contribuindo para o catalisador. Desta forma, a figura 2 demonstra que o melhor método foi o da amoxidação do propeno.

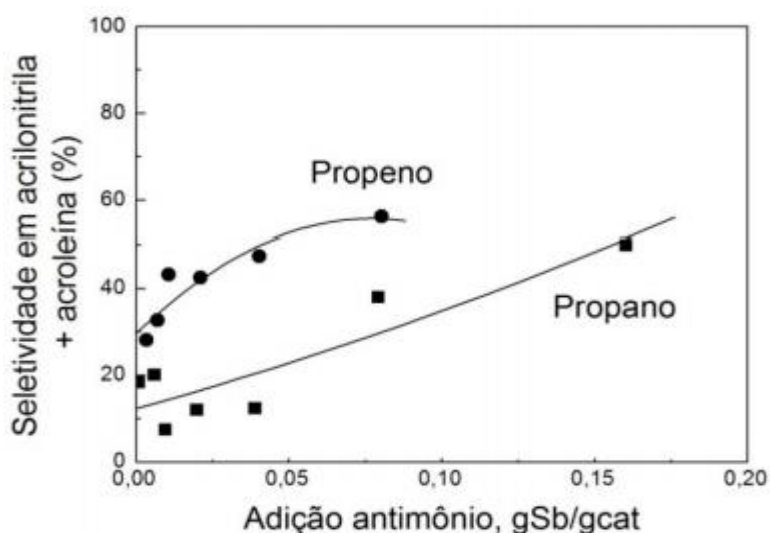


Figura 14 – Seletividade de acrilonitrila e acroleína com diferentes teores de antimônio nos catalisadores Fe-Sb

Fonte: STEEN et al, 1997

Os promotores nos catalisadores não alteram ações catalíticas, mas melhoram o rendimento dos catalisadores ao adicionarmos poucas quantidades de promotores. A tabela 3 representa a função dos promotores.

Tabela 3 - Função dos promotores

Promotores	Funções
Q1: Ni, Co, Cu, Zn, Mg	Alteração da estrutura do tetróxido de antimônio
Q2: Al, Cr, Ce	Aumento da estabilidade térmica
X: V, Mo, W	Aumento da taxa de reação e estabilidade redox
Y: P, B, Te, Bi, K, Cs	Aumento da seletividade

Fonte: SASAKI, 2000

Em geral os promotores são separados em grupos de acordo com Hagen em 2006:

1. Estruturais: Melhoram a seletividade mudando as paredes do catalisador com o intuito de contribuir a uma certa reação;
2. Eletrônicos: Afeta a transmissão de elétrons quando se espalham na etapa ativa do catalisador;
3. Texturas: vetam o desenvolvimento das partículas do catalisador, atrapalhando a criação de partículas superiores de menor influência na reação e que elevam o equilíbrio térmico do catalisador;
4. Inibidores de anulação por intoxicação: que resguardam a etapa ativa contra a intoxicação das sujeiras dos materiais iniciais ou subprodutos criados.

Na amoxidação do propeno são utilizados os dois primeiros grupos de promotores que visam elevar a seletividade em acrilonitrila. Nos estruturais, observa-se que se utiliza cromo nos catalisadores. Já em catalisadores com antimônio o nível de seletividade aumenta. Desta forma, é viável a alteração do cromo por antimônio nos catalisadores.

O preparo do catalisador para os processos engloba diversas etapas como a estabilidade iônica do líquido-sólido, a química dos colóides e precipitados, os procedimentos de purificação, secagem, moagem e calcinação. A maioria das etapas de preparo não utiliza o catalisador, utiliza-se um sólido que é um precursor do catalisador. Normalmente, obtêm-se o catalisador na última etapa do processo.

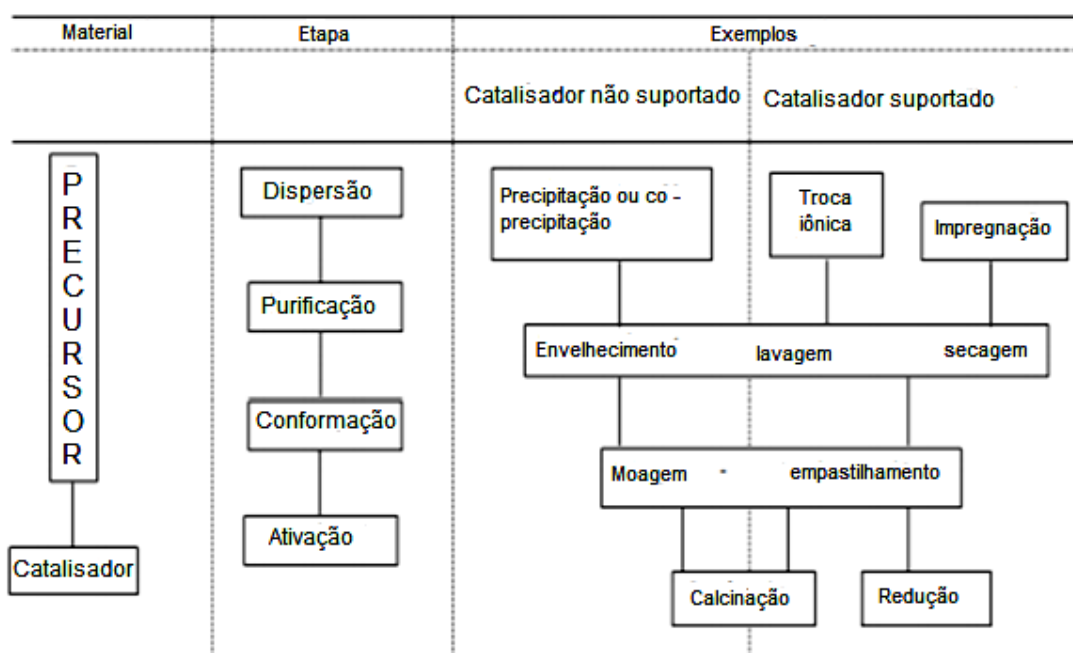


Figura 15 - O procedimento na fabricação de catalisadores

Fonte: CARDOSO, 1987

Os métodos mais utilizados no preparo dos catalisadores para o método de amoxidação do propeno são: coprecipitação e impregnação.

Na impregnação, a estrutura permanece ligada aos elementos do catalisador na fase líquida criando os óxidos mistos que depois é seco e calcinado.

Já no processo de coprecipitação, é criado um sólido através da solução. O elemento sujeito a este processo tem por obrigação ser filtrado, limpo e calcinado. Este processo é feito em condições ambientes.

A técnica de preparação do catalisador através da coprecipitação é a mais eficaz que se baseia em precipitar dois íons ou mais ao mesmo tempo na solução aquosa.



Figura 16 - Precipitação: Etapas do processo

Fonte: SOUZA, 2010

2.8.5 Comércio e aplicações

Acrilonitrila consiste em um composto químico C_3H_3N . Esta estrutura molecular incide em um grupo vinil unido ao grupo nitrila, mostrado na figura 5.

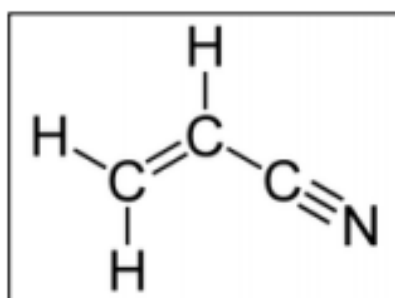


Figura 17 - Estrutura química da acrilonitrila

Fonte: ACRYLONITRILE, 2014

A acrilonitrila, sendo um mediador químico, é utilizada na produção de vários produtos. 52% da acrilonitrila são usadas nas indústrias de tecido sintético e elásticos, fabricando fibras sintéticas, mantas e vestimentas. Este polímero

contem elevada resistência aos solventes e elevada resistência ao tracionamento depois do estiramento (KARMAKAR, 1999).

Em resinas ABS/SAN são consumidas, aproximadamente, 15% de acrilonitrila. O composto de acrilonitrila, butadieno e estireno, resulta em um composto chamado ABS. Variando as quantidades destas matérias-primas, obtêm-se diversos tipos de ABS de acordo com cada aplicação, como elementos automotivos, materiais domésticos e equipamentos de escritório. Em contrapartida, as resinas SAN, produzidas através de estireno e acrilonitrila, são usados em ventiladores, pratos, batedeiras, etc (BRASKEM, 2013).

A aplicação da acrilonitrila está em diversos produtos variados, por exemplo: com 15% de acrilonitrila adquirimos acrilamida e adiponitrila. A produção de Nylon 66 se dá através da adiponitrila, sendo um composto intermediário na mistura, em formato de fibras muito usados na composição de trajes, tapeçaria, pneus e estofamentos (GUEDES, 1993). A acrilamida é utilizada na fabricação de tintas através de elementos como a poliacrilamida, coagulantes no tratamento de águas e na fabricação de elementos poliméricos (ACRILAMIDA, 2014).

A fabricação de borracha nitrílica, fibras de carbono entre outros materiais na utilização da acrilonitrila correspondem a 18%. A borracha é composta de butadieno-acrilonitrila, com aproximadamente 20 e 45% de acrilonitrila (BRASKEM, 2002). Já fibra de carbono estão em várias seções da atividade humana, como na indústria automobilística, equipamentos esportivos e medicinais, tendo alta resistência em elevadas temperaturas (CARVALHO et al, 1999).

A figura 18 demonstra a classificação em porcentagem das aplicações da acrilonitrila.

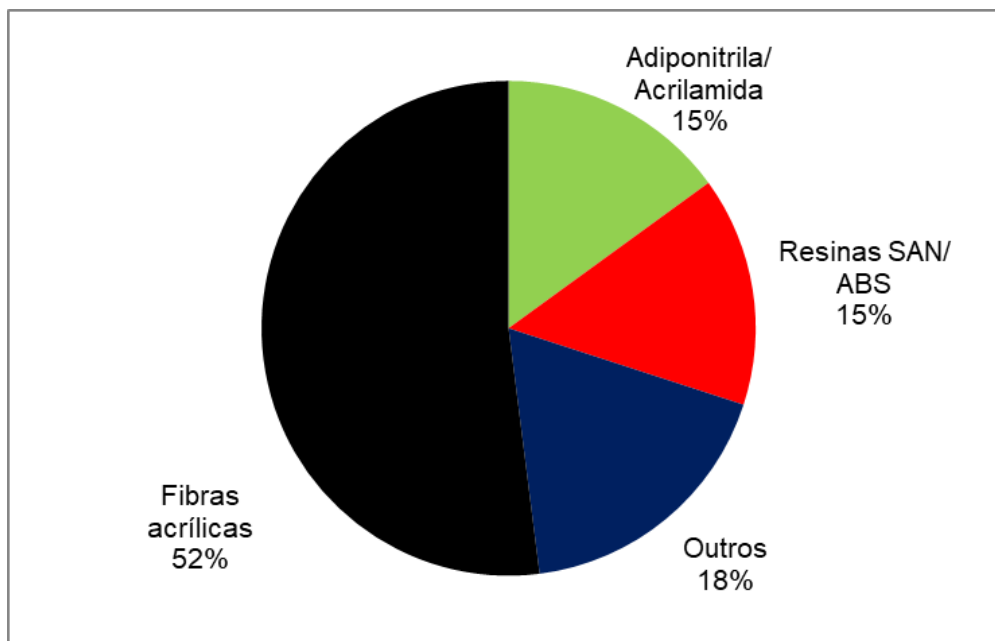


Figura 18 - Aplicações do uso da acrilonitrila

Fonte: ACRYLONITRILE, 2014

A maior utilização de acrilonitrila estão nos países asiáticos, sobressaindo-se a China. O maior exportador é o Estados Unidos da América, porém ultimamente sua participação reduziu, por conta do aumento de utilização da Ásia (ACRYLONITRILE, 2014). A acrilonitrila é utilizada em grande escala na China, Europa Ocidental, Estados Unidos da América, Japão e Coréia do Sul como monômero para produção de fibras acrílicas e resinas de ABS e SAN.

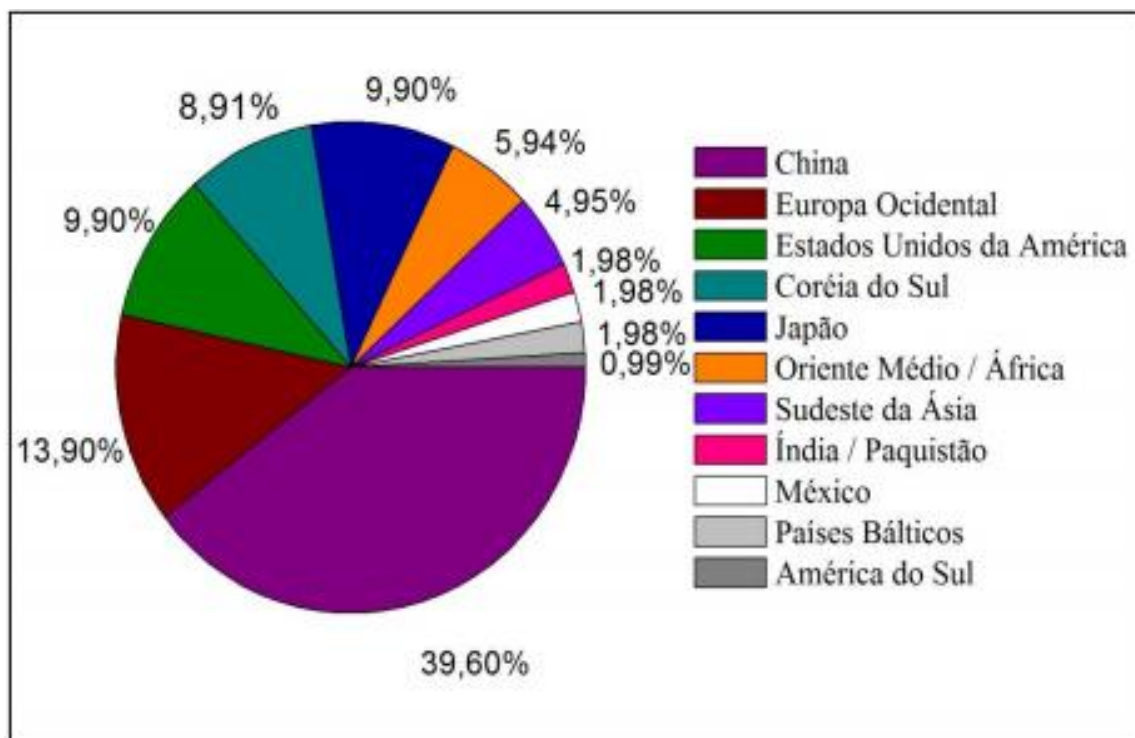


Figura 19 - Utilização da acrilonitrila 2013

Fonte: ACRYLONITRILE, 2014

2.9 Butadieno

É um monômero utilizado na composição de diversos compósitos como algumas borrachas sintéticas. Tem sua fórmula C_4H_6 , é encontrado na natureza na forma gasosa incolor, tem características incendiáveis. Ele é utilizado na forma isométrica que é 1,3 butadieno.

2.9.1 Processos de síntese

O butadieno pode ser sintetizado de duas formas diferentes na produção de compósitos como as borrachas sintéticas, sendo elas homopolimerizado onde a reação realiza-se com único monômero como no caso do polibutadieno, ou de copolimerização que envolve diversos tipos de monômeros como acrilonitrila –

butadieno (NBR), as borrachas estireno butadieno (SBS) e a acrilonitrilabutadieno estireno (ABS) que será usada neste projeto.

2.9.2 Obtenção do Butadieno

Existem diversos modos de obtenção do butadieno, a comumente utilizada é a destilação extrativa onde o butadieno é extraído da corrente C4, que é um subproduto do processo de produção do propeno e eteno.

Outro processo utilizado é a desidrogenação que consiste em retirar o butadieno partido da conversão do n-butano e butano de acordo com sucessivas desidrogenações, que ocorre em etapa única utilizando um catalisador. Após o processo os n-butenos e os butanos que restarem sem alteração podem ser reciclados.

O butadieno também pode ser obtido através do etanol onde a matéria-prima é transformada em butadieno, hidrogênio e água, porém este processo é menos utilizado devido ao seu custo de produção ser elevado comparado com as demais formas de obtenção, mas ainda assim, é utilizado na China, Índia e Europa Ocidental.

2.9.3 Derivados do Butadieno

Para produção de borrachas que utilizam o butadieno é utilizado a polimerização por solução ou por emulsão.

O processo de produção por emulsão passa-se de forma heterogênea, em meio aquoso. Abrangendo além dos monômeros uma variedade de aditivos com funções como: tamponadores de pH, emulsificante, coloides protetores, reguladores de tensão superficial, reguladores de polimerização e ativadores. Este processo tem como sua vantagem a polimerização rápida, o fácil controle da temperatura, além de resultar no final da reação polímeros com elevado peso molecular. Porém sua desvantagem é que devido a utilização de muitos aditivos ocorre a contaminação do polímero o que dificulta a sua purificação.

Já o processo de polimerização por solução é formado pelo monômero, iniciador e solvente que é responsável por fazer com que a reação ocorra em meio homogêneo. Esta reação pode resultar em um polímero solúvel ou não no solvente. Caso seja solúvel sua remoção ocorre através da utilização de um não solvente de forma a precipitá-lo. Já no caso de o polímero não ser solúvel, sua remoção ocorre de forma simples por filtração. Este processo tem como vantagem a facilidade de controle térmico e uso direto da solução polimérica resultante. Já suas desvantagens são a redução do peso molecular do polímero e da velocidade de reação do solvente.

Este processo de destilação tem como objetivo remover o 1,3-butadieno da corrente C4

2.9.4 Estireno Butadieno (SBR)

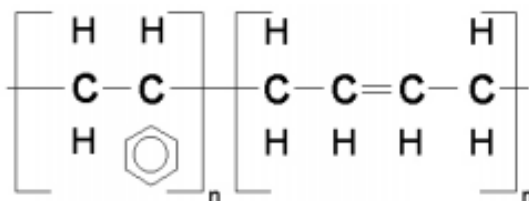


Figura 20 – SBR

Fonte: BACKES, 2011

Tendo como composição butadieno e estireno, é o compósito mais utilizado no mundo, tendo sua produção em maior parte por polimerização por emulsão

O SBR tem propriedades semelhantes às da borracha natural, tendo como principal diferença a menor resiliência, ou seja, uma menor capacidade de absorver energia no material quando uma tensão é aplicada sobre ele e devolvê-la, voltando ao seu estado de origem quando a tensão aplicada é cessada.

Este compósito tem sua principal aplicação em pneus, devido a característica de histerese consideravelmente alta que resulta em menores chances de derrapagem em pista molhadas. Porém a desvantagem dessa propriedade é a maior produção de calor.

2.9.5 Polibutadieno (BR)

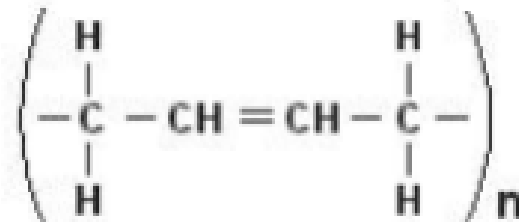


Figura 21 – BR

Fonte: BACKES, 2011

Tendo somente em sua composição o butadieno como monômero, é o segundo composto mais utilizado no mundo. É conhecida por ser a única borracha sintética com resiliência maior que a da borracha natural.

Tendo como vantagem diversas características superiores como flexibilidade a baixas temperaturas, resistência ao ozônio e resistência ao calor do que as da borracha natural e da Borracha de estireno e butadieno. Sua desvantagem é a baixa resistência ao rasgo e tração quando comparada com as outras, além da sua fraca aderência da banda de rodagem dos pneus nas estradas que ocorre devido a característica de alta resiliência.

2.9.6 Nitrílica (NBR)

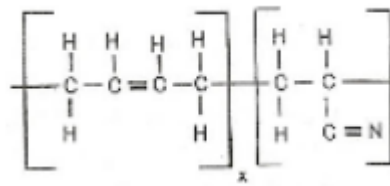


Figura 22 - NBR

Fonte: BACKES, 2011

É uma borracha sintética formada por butadieno e acrilonitrila sendo um copolímero, sua produção é normalmente através do processo de polimerização por emulsão.

Tem como característica a facilidade a vulcanização com enxofre devido a sua dupla ligação da estrutura NBR, além de ter elevada resistência aos óleos e ao calor graças ao grupo nítrico polar que tende a aumentar a temperatura de transição vítrea, que é definida como a temperatura que separa o comportamento viscoso e o comportamento frágil. Acima da temperatura de transição vítrea o copolímero se torna mole e dúctil, quando abaixo da temperatura se tem seu comportamento duro e quebradiço.

Este compósito tem como principais aplicações a utilização em mangueiras para diferentes óleos e solventes, gaxetas, selos para óleos, lonas de freio, revestimento de cilindros.

2.9.7 Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS)

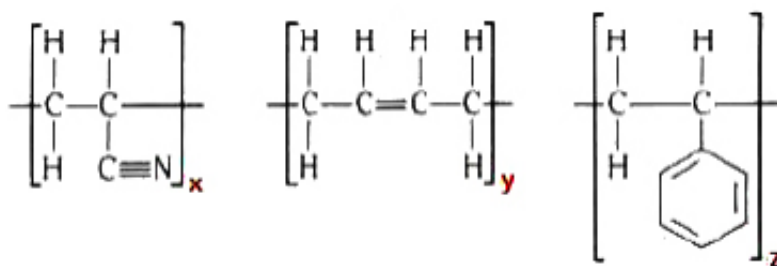


Figura 23 – ABS

Fonte: BACKES, 2011

É um compósito formado pela combinação de três monômeros: acrilonitrila, butadieno e estireno. Os processos de produção deste compósito são por polimerização por emulsão, polimerização por bulk ou pela combinação de ambos os processos.

As borrachas ABS tem como características a alta resistência ao impacto devido ao butadieno, e rigidez ao polímero devido ao anel benzênico do estireno que também pode sofrer reações de coloração, nitração, hidrogenação e sulfonação que são responsáveis pela degradação e descoloração.

Este compósito é amplamente utilizado pela indústria de tecnologia e telecomunicações, materiais de construção, industriais automotivas, equipamentos de refrigeração, brinquedos e artigos esportivos.

2.9.8 Destilação Extrativa do Butadieno

O processo de destilação extrativa do butadieno tem como objetivo remover o 1,3-butadieno da corrente C4, que é proveniente da produção do eteno, neste processo para modificar a volatilidade relativa dos componentes na corrente C4 é utilizado solventes possibilitando assim sua separação. O solvente mais comum utilizado para este processo é a dimetilformamida (DMF).

Este processo é formado por quatro etapas sendo elas:

1. Primeira seção de destilação extrativa
2. Segunda seção de destilação extrativa
3. Seção de fracionamento

4. Seção de purificação do solvente

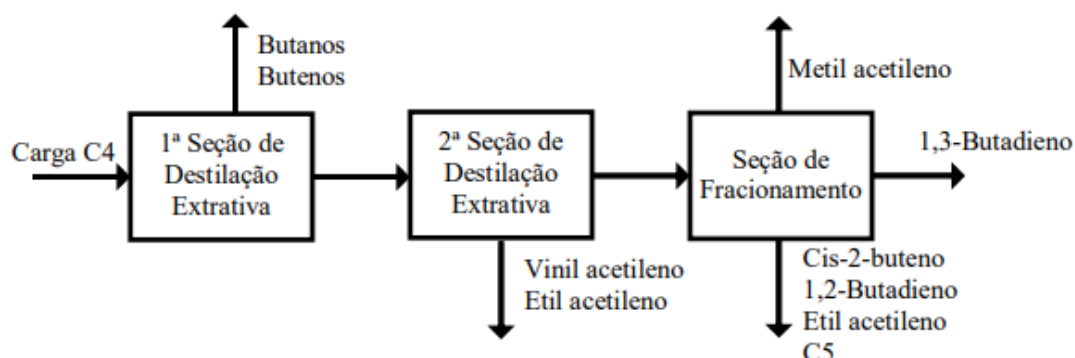


Figura 24 - Destilação Extrativa do Butadieno

Fonte: BACKES, 2011

2.9.9 Primeira Seção de Destilação Extrativa

Nesta etapa ocorre a remoção dos elementos com volatilidade relativa superior em comparação ao butadieno na presença do solvente, sendo eles trans-2-buteno, buteno-1, buteno-2, butano, isobuteno.

Esta seção é composta por uma vaporizador, a primeira coluna de destilação extrativa e a primeira coluna retificadora, que é responsável pela remoção dos hidrocarbonetos do solvente circulante.

É enviado então a corrente C4, que é um subproduto da produção do eteno, para um tambor de vaporização. Esta corrente é vaporizada aproveitando a troca de calor do solvente em temperatura elevada que é proveniente dos fundos de duas retificadoras. Após está etapa de vaporização, a corrente C4 é encaminhada para a primeira coluna de destilação extrativa, que é alimentado abaixo da entrada de solvente. Este solvente é normalmente alimentado a alguns pratos abaixo do topo da coluna permitindo assim que todo solvente seja removido do refinado de butanos e butenos.

Neste sistema a vazão de refluxo e de solvente são ajustadas de acordo com a composição da carga de C4 com a finalidade de reduzir a perda de butadieno e controlar a composição de fração de fundo. O teor de 1,3-butadieno é

controlado para se manter baixo no destilado de BBR, de modo a reduzir a perda de butadieno produto e não influenciar o processo de produção.

O refluxo retorna para coluna até o prato de alimentação percorrendo através dos pratos superiores. Este prato é desenvolvido com a finalidade de promover a perfeita mistura do refluxo e da alimentação. O cis-2-buteno é um dos menos voláteis dos componentes da corrente C4 que o butadieno, sendo assim difícil a separação completa na primeira coluna, sendo somente removido na segunda coluna.

As correntes de topo e fundo normalmente possuem analisadores com a finalidade melhorar as condições de operação do processo. Deve-se manter a temperatura de operação do fundo da coluna abaixo de um limite máximo que é determinante pelo teor de butadieno na corrente C4, para evitar a consequente formação de depósito e a polimerização.

Quando no fundo o solvente nestas condições dissolve uma maior quantidade de butadieno do que nas condições de carga. Alguns gases que são removidos da primeira coluna retificadora serão reciclados após serem comprimidos pela primeira coluna de destilação extrativa no fundo, visando dessa forma o equilíbrio entre o fundo da coluna das duas torres e o balanço material entre o BBR.

Após sair da coluna de destilação extrativa a corrente é encaminhada para segunda coluna de destilação extrativa, podendo ocorrer um vaso *pré-stripper* alternado com a finalidade de aliviar a etapa de compressão mudando parte do C4 diretamente até a segunda etapa de destilação extrativa.

Os hidrocarbonetos são removidos do solvente na primeira coluna retificadora, sobre a pressão atmosférica. No fundo da coluna a pressão aumenta ligeiramente graças a temperatura no fundo e a perda de carga é controlada com a finalidade de corresponder à temperatura de ebulição do solvente. Após a remoção dos solventes condensados os hidrocarbonetos seguem no processo de separação.

No topo da primeira retificadora a maioria do solvente reciclado é utilizado como refluxo. Sendo enviado o solvente até a seção de recuperação a fim de eliminar impurezas como dímero de butadieno e água.

Os hidrocarbonetos resfriados e separados passam pelo compressor de gás de butadieno e após comprimidos passam para a segunda coluna de destilação extrativa. A fim de evitar polimerização do butadieno a temperatura deve ser menor que 80°C.

2.9.10 Segunda Seção de Destilação Extrativa

Nesta seção ocorre a remoção dos componentes com menor volatilidade relativa em relação ao butadieno quando estiver na presença de solvente, entre eles etilacetileno, vinilacetileno, C5 e 1,2-bitadieno.

Esta seção é formada pela segunda retificadora e pela segunda coluna de destilação extrativa.

Devido a solubilidade do metilacetileno ser próxima a do 1,3-butadieno no solvente, tem-se a maior parte não removida, pois será um componente importante na alimentação da seção de fracionamento.

Nesta segunda etapa os responsáveis pela remoção do solvente do destilado são os pratos superiores. O vapor contendo impurezas e butadieno que é expelido pelo topo da coluna que não foi removido nas seções anteriores é condensado e encaminhado para a seção de fracionamento.

A corrente C4 proveniente do fundo da segunda coluna, ainda tem uma quantidade de butadieno, que para ser removidos é enviado a corrente para coluna de recuperação de butadieno, que funciona a uma pressão superior à da pressão atmosférica. Na coluna de recuperação os vapores com hidrocarbonetos, 1,3-butadieno passam por um compressor e posteriormente é reciclado na segunda seção de destilação extrativa.

Ao sair do fundo da coluna de recuperação o solvente passa para a segunda retificadora com a finalidade de remover os hidrocarbonetos presente no solvente. Este solvente proveniente do fundo é reciclado é os vapores do topo, são diluídos no gás BBR, proveniente da primeira seção. Ocorre a redução do teor de vinilacetileno na mistura do vapor do topo, devido a este componente instável ter alta explosividade em concentrações altas podendo sofrer condensação no inverno.

Ocorre então a mistura do gás destilado da primeira coluna fracionada com o destilado do topo, que é comprimido e mandando á caldeira. A fim de recuperar o solvente do destilado foi feito o projeto dos pratos superiores ao prato de alimentação existente na segunda retificadora.

2.9.11 Seção de Fracionamento

Nesta seção são removidos alguns componentes que permaneceram no processo devido a sua volatilidade relativa ser próxima ao 1,3-butadieno.

Esta etapa é composta pela primeira e segunda seção fracionada.

Na coluna de remoção o metilacetileno é removido assim como outros componentes leves. No topo a pressão de operação varia de acordo com a temperatura da água de refrigeração e do teor de metilacetileno no destilado. Sendo assim diretamente proporcional a perda de butadieno no vapor de topo o teor de metilacetileno presente na carga C4. Este vapor de metilacetileno que foi destilado é misturado com outros como vinil e etil que são outros acetilenos provenientes da segunda retificadora, sendo utilizado como gás combustível essa mistura posteriormente a esse processo.

No refeedor são utilizados o solvente quente proveniente do fundo das refeedoras. Adicionando Terbutilcatecol (TBC) em baixas quantidades no topo da coluna evita a formação de polímero. Após esse processo a corrente C4 do fundo é mandada para segunda fracionadora.

Esta fracionadora tem a função de remover o 1,2-butadieno, cis-2-buten, C5 e etilacetilno que não foram removidos nas seções anteriores de destilação extrativa. Ocorre a recuperação do butadieno produto, no topo da fracionadora, se em sequência é resfriado no resfriador de butadieno produto. Nesta etapa existem dois refeedores que refeedem a coluna: um que utiliza condensado de vapor d'água e outro que utiliza solvente.

2.9.12 Seção de Purificação do Solvente

Nesta seção são feitos os refinamentos dos solventes que foram reciclados para utilização das seções de destilação extrativa. Sendo responsável também por purificar o solvente proveniente do receptor do dreno do processo. O solvente é enviado e passa pela remoção de compostos de baixo e elevado ponto de ebulição, dependendo das impurezas podem ser até de ambos.

A figura abaixo mostra um diagrama simplificado de uma unidade de extração do butadieno.

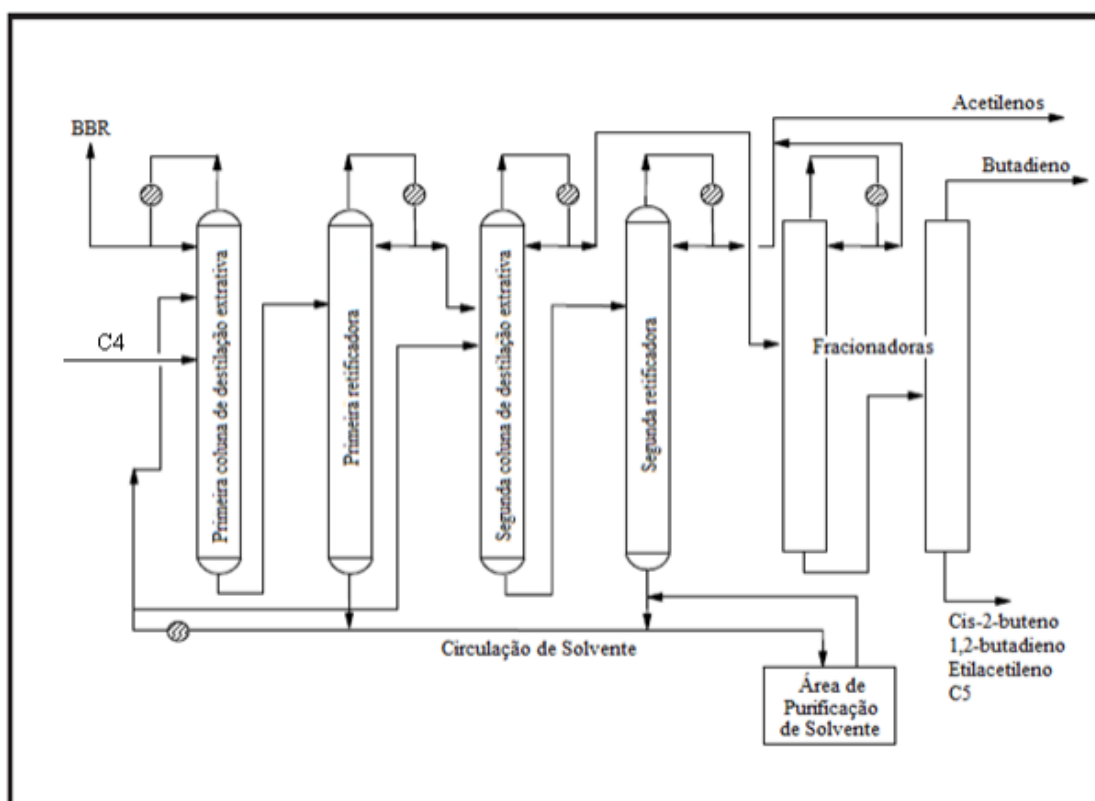


Figura 25 - Seção de Purificação do Solvente

Fonte: BACKES, 2011

2.10 Estireno

O farmacêutico alemão, Johann Eduard Simon foi quem descobriu imprevisivelmente, em 1839, o estireno. A descoberta se deu quando foi extraída uma matéria oleosa da árvore de estoraque, que após permanecer em repouso por determinado tempo, permitiu a verificação de sua polimerização.

O estireno (nomenclatura oficial utilizada pela *International Union of Pure and Applied Chemistry*), também chamado de estírol, vinilbenzeno ou feniletileno é definido como um hidrocarboneto aromático não saturado. Este monômero também é conhecido por ser predecessor do poliestireno, importante material artificial com características de dureza e translucidez muito utilizado no mercado.

A fórmula molecular do estireno é o C₈H₈, sendo sua massa molecular equivalente a 104,15 g/mol. Sua aparência é de líquido aquoso incolor, sendo seu ponto de ebulição 145°C (418,15K) e o de fusão -30°C (243,15K). Além disso, sua densidade corresponde a 0,909 g/cm³ e a solubilidade em água não atinge nem 1%.

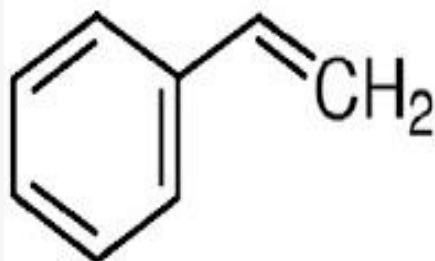


Figura 26 - Fórmula química do estireno

Fonte: <https://2.bp.blogspot.com/-4Eq0RYR6-Xs/Vh1gs2Ur2xI/AAAAAAAAADH8/R33yae5gT5w/s1600/formula-quimica-do-estireno.jpg>

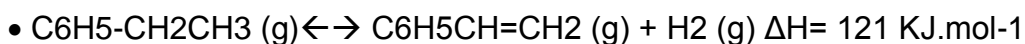
É importante mencionar que o estireno se faz presente em nozes, frutos, carnes, vegetais, plantas e bebidas, todavia, é baixa sua concentração no estado natural.

O monômero citado está entre os intermediários químicos mais importantes e aplicados em sínteses orgânicas, devido a sua utilização como matéria-prima na fabricação de resinas poliméricas, borrachas artificiais, além de plásticos. Aproximadamente, por ano, são fabricadas 3.000.000 de toneladas de estireno na

Ásia, 8.000.000.000 de toneladas na América, e 15.000.000.000 de toneladas em toda Europa.

Existem diversos meios para se obter o estireno, seja nos laboratórios ou nas indústrias, sobressaindo-se a alquilação do metanol, a alquilação do metanol, a desidrogenação oxidativa do etil benzeno, a dimerização do estireno, seguida de desproporcionamento e degradação do próprio poliestireno reciclado, entre outros.

A principal reação da desidrogenação oxidativa do etil benzeno, na presença de vapor d'água ocorre da seguinte maneira:



Reações secundárias:

- $C_6H_5-CH_2CH_3 (g) \leftrightarrow C_6H_6 (g) + C_2H_4 (g)$
- $C_6H_5-CH_2CH_3 (g) \leftrightarrow C_6H_5-CH_3 (g) + CH_4 (g)$
- Hidrocarboneto ou coque $\leftrightarrow CO_2 + yH_2$

A utilização de vapor d'água possui várias serventias, como, por exemplo, impedir a formação de coque, reação mais indesejada já que atrapalha o rendimento da reação e também prejudica o catalisador. O vapor d'água ajuda na oxidação dos depósitos de carbono, desloca o equilíbrio químico e também fornece o calor necessário à reação, fazendo com que a produção de estireno seja aumentada.

A todo instante o vapor reage com os hidrocarbonetos e o coque, formados a partir das reações secundárias. Um acúmulo estacionário de carbono, na faixa de 3 a 6%, é resultado desta remoção.

Os catalisadores que mais são mais aproveitados na desidrogenação do etilbenzeno fazendo uso de vapor d'água são os óxidos inorgânicos, destacando os óxidos de ferro (hematita) contendo vários promotores, dos quais os mais relevantes são óxidos de cromo, de potássio e de cério.

A endotermicidade da reação, pode ocasionar a diminuição da temperatura do meio catalítico de maneira considerável durante o progresso da reação, nos

reatores adiabáticos comerciais, ocasionando um valor de conversão baixo. O decréscimo na temperatura também irá afetar a seletividade do estireno, pois nas condições de equilíbrio ocorrem apenas reações indesejáveis. Deste modo, é importante manter a temperatura em um valor adequado, afim de a promover elevado nível de conversão e velocidade de reação.

Entre as principais indústrias que fabricam estireno, em território nacional, utilizando o princípio da desidrogenação do etilbenzeno estão: INNOVA, Cia Brasileira de Estireno – CBE e também a Estireno do Nordeste S/A – EDN.

No procedimento mais comum, adiciona-se vapor superaquecido no meio dos leitos catalíticos para aquecer a corrente do produto, mantendo a temperatura constante. O processo básico é de fácil entendimento: o etil benzeno é desidrogenado, formando hidrogênio e estireno, sobre o catalisador, na existência de vapor, sendo o benzeno e o tolueno os subprodutos de maior importância; o vapor é então condensado e depois reciclado para uma caldeira, sendo os elementos orgânicos separados por meio da destilação. Em contrapartida, a reação é favorecida por pressões parciais baixas e geralmente é conduzida a pressões menores que 1 atm. As temperaturas são elevadas, em torno de 550°C a 620 °C, e é necessário um resfriamento rápido dos produtos da reação afim de diminuir a formação de subprodutos.

O estireno pode ser polimerizado com extrema facilidade e submetido a temperaturas mais elevadas, de modo que as misturas que contenham este monômero necessitam ser destiladas a vácuo, fazendo-se necessária a presença de inibidores. Na figura 2 está esquematizado um fluxograma básico do processo de desidrogenação do etil benzeno afim de produzir estireno.

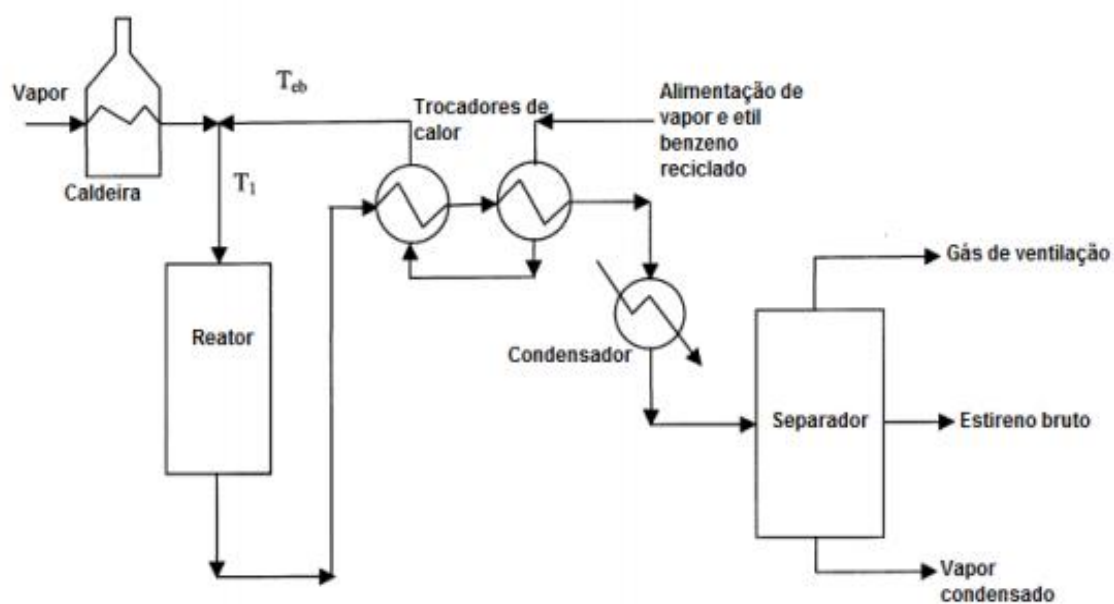


Figura 27 - Fluxograma básico da produção de estireno.

Fonte: Próprio

3 METODOLOGIA

3.1 Cronograma

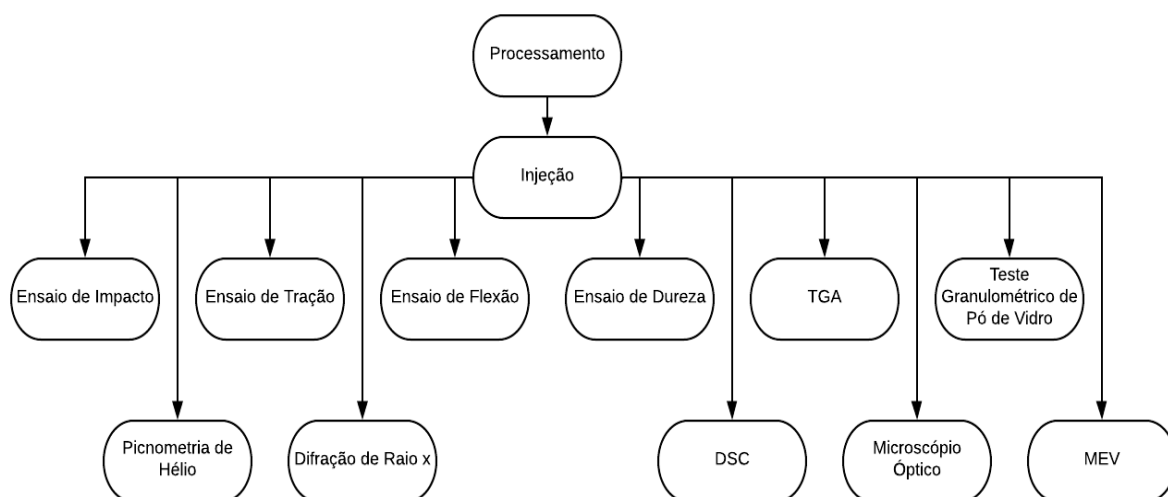


Figura 28 - Fluxograma do Cronograma

Fonte: Próprio

3.2 Teste Granulométrico de pó de vidro

Segundo Gabriel (2018), o pó de vidro será pesado e depois será colocado em peneiras distintas, que irão obter resultados distintos relacionado à sua granulometria. Nesse método, é encontrado as características relacionadas, principalmente, a retenção de material na peneira.

O pó de vidro utilizado contem granulometria de 150 μ m que foi obtido através da coleta em uma esteira de uma fábrica de vidros. Sendo coletada sem nenhum processo de moagem. A figura a seguir demonstra o material coletado.



Figura 29 – Pó de vidro 150 μ m

Fonte: GABRIEL, 2018

3.3 Ensaio de Picnometria de Hélio

Conforme Gabriel (2018) apud Pereira (2016), o ensaio de picnometria de hélio é o processo em que permite a obtenção do volume do material medido, utilizando o gás hélio. Esse gás é utilizado porque ele é inerte e assim não reage com a superfície do material e o seu processo é caracterizado pela redução de gás de dentro da câmara, onde o gás entra nos poros nas superfícies não uniformes do material inserido.

Segundo Gabriel (2018) apud Pereira (2016), o material, antes de ser colocado na câmara de medida, deve passar por um processo de degaseificação, que ocorre através das purgas com hélio, com o intuito de ocorrer à retirada de umidade, impurezas e voláteis, para garantir um processo eficiente e confiável.

Concluindo – se ocorrerá a análise da massa específica do ABS com adição de pó de vidro, através do analisador de densidade real.

O objetivo deste ensaio é avaliar a densidade real do material estudado, além de seu volume real utilizando o gás Hélio (He), onde ocorre uma

comparação entre a pressão em uma câmara de volume conhecido contendo gás hélio e uma com a amostra a ser estudada.

A utilização do gás Hélio é devido a sua capacidade de maior precisão em sua análise graças a sua facilidade de penetrar na amostra estudada e preencher os vazios existentes.

O ensaio foi realizado no equipamento Analisador de Densidade Real *Quanta Chrome Instruments* de acordo com a figura a seguir.



Figura 30 – Quanta chrome Instruments – Analisador de Densidade Real

Fonte: GABRIEL, 2018

3.4 Processamento do compósito

Todos os processos serão realizados com as três famílias de compósitos (90/10; 85/15 e 80/20). Somente no processo de injeção que será realizado mais uma família que será do ABS puro para a realização de corpos de prova para fins de comparação das propriedades alteradas com a adição do pó de vidro.

3.4.1 Homogeneização dos materiais

Irá ocorrer a homogeneização do ABS com o pó de vidro já moído para a obtenção de um material uniforme, no tamanho de partículas. Essa mistura irá formar uma matéria distinta ao ABS e o pó de vidro.

Para a homogeneização do pó de vidro com o ABS utilizamos o homogeneizador termocinético MH de acordo com a figura a seguir.



Figura 31 – Homogeneizador Termocinético

Figura: Fonte própria

Este equipamento tem capacidade apenas de 70g de material por vez, a quantidade necessária para injeção de corpos de prova são de aproximadamente 200g. Então foi realizado três vezes por família de compósitos.

Por exemplo, na primeira família (90/10), ou seja, 90% de ABS e 10% de pó de vidro, foi pesado 63g de ABS puro e 7g de pó de vidro para a homogeneização. As figuras a seguir mostram a pesagem do ABS puro e do pó de vidro.



Figura 32 – Pesagem ABS puro

Figura: Fonte própria

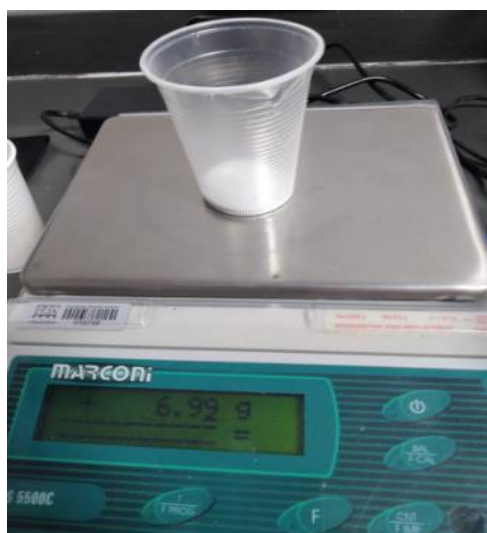


Figura 33 – Pesagem pó de vidro

Fonte: Fonte própria

Após a pesagem de cada material separado, é realizado a mistura dos dois e a adição dos mesmos no homogeneizador. A figura a seguir demonstra o material após passar pelo processo de homogeneização.



Figura 34 – Material homogeneizado

Fonte: Própria

3.4.2 Trituração do compósito

O compósito é retirado do homogeneizador em alta temperatura e é esticado com o auxílio de um rolo para facilitar o processo de trituração. A figura a seguir mostra o equipamento Plastimax.



Figura 35 - Triturador Plastimax

Fonte: Própria

Após o processo de trituração o material é coletado e segue para a injeção do corpo de prova. A figura a seguir mostra o compósito triturado.



Figura 36 – Compósito triturado

Fonte: Própria

3.4.3 Injeção dos corpos de prova

Para a fabricação dos corpos de prova é utilizado a injetora RAY RAN. O compósito moído é colocado no equipamento e é injetado em um molde, podendo ser molde de corpo de prova de tração ou de flexão. As figuras a seguir demonstram os equipamentos utilizados neste processo.



Figura 37 – Injetora de plásticos RAY RAN

Fonte: Própria



Figura 38 – Molde do corpo de prova de tração

Fonte: Própria



Figura 39 – Molde do corpo de prova de flexão

Fonte: Própria

3.5 Microscópio Eletrônico com Varredura (MEV)

No ensaio, o intuito é de analisar a microestrutura do compósito e depois a obtenção do resultado para a sua descrição. A obtenção será feita através de imagens do compósito ABS, emitidas pelo microscópio eletrônico de varredura com ampliações distintas da superfície. A figura a seguir demonstra o equipamento utilizado.

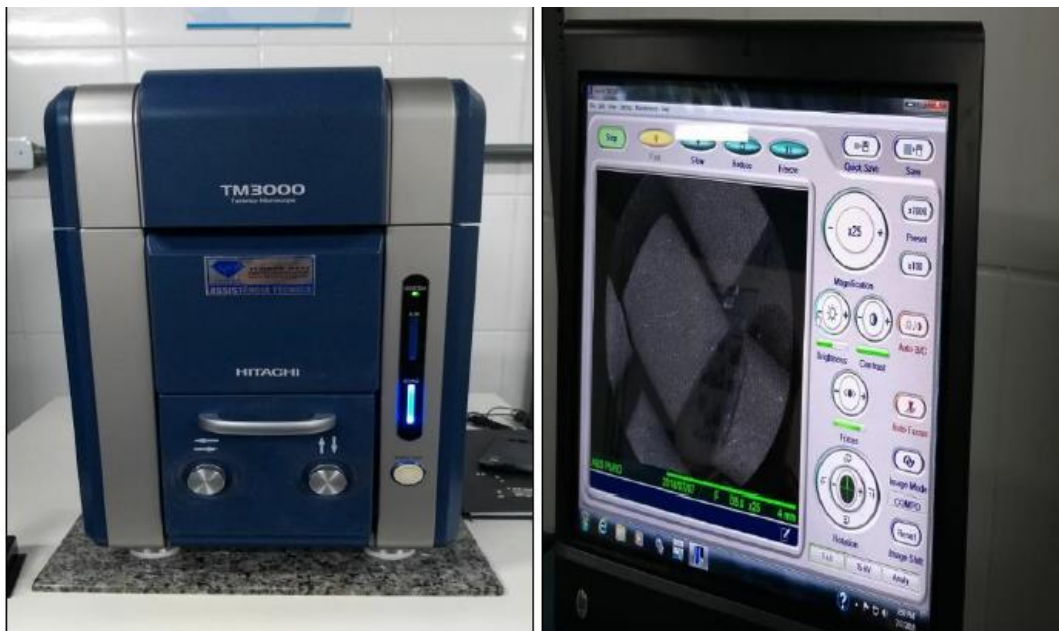


Figura 40 – Microscópio de marca Hitachi modelo TM300

Fonte: Própria

Este ensaio foi realizado com a diferença de potencial em 5kV em escalas de 25x, 50x, 100x e 200x de ampliação, sendo realizado à temperatura de 20°C.

3.6 Calorímetro Diferencial por Varredura (DSC)

O ensaio é feito com o ABS com adição de pó de vidro para realizar a análise térmica das propriedades desse compósito. O seu objetivo, então, será adquirir os dados necessários que irão determinar as características desse compósito polimérico relacionados às faixas de temperaturas determinadas no ensaio.

3.7 Ensaio de Tração e Flexão

O ensaio de tração e flexão é utilizado para a determinação do limite de escoamento e de ruptura do material aplicado. Isso acontece porque essas características (limite de escoamento e ruptura) são determinadas pela aplicação de tensão (tração ou flexão) na peça, através da, no caso do experimento feito, máquina de ensaio mecânico EMIC para ambos os tipos, sendo que o suporte onde será inserido o corpo de prova é diferente para a realização dos distintos ensaios.



Figura 41 - Suporte de ensaio de tração

Fonte: Silva, 2017

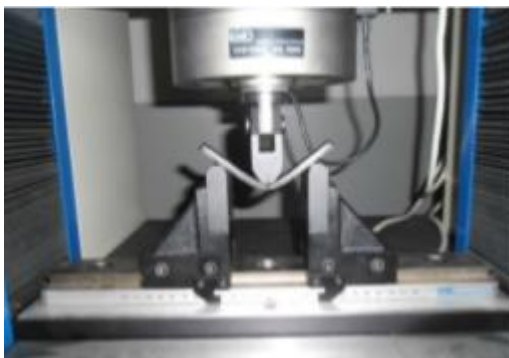


Figura 42 - Suporta de ensaio de flexão

Fonte: Silva, 2017



Figura 43 - Máquina de ensaio mecânico EMIC

Fonte: Própria

3.8 Ensaio de Termogravimetria (TGA)

Segundo Belini (2018), a análise termogravimétrica que será feita é a relação em que ocorre entre a temperatura e a massa do material que será analisado.

Dependendo do resultado, o material pode acabar se deteriorando o que leva a conclusão que essa análise determina a estabilidade térmica a temperaturas distintas.

3.9 Difração de Raio X (DRX)

Conforme Brondi (2012) apud Eisberg; Resnick (1979), nesse processo o material irá receber um feixe de elétrons para, após de esse feixe ter atingido o alvo, ocorrer a geração de radiações eletromagnéticas (raio x), onde acontecerá a medição dos comprimentos de ondas de raio x, emitidas após atingir o alvo.

O ABS terá a medição da intensidade de seu comprimento de onda e também a determinação de sua estrutura cristalina, através da introdução de elétrons no material.



Figura 44 - Difratorômetro de raio-x Shimadzu

Fonte: Própria

3.10 Dureza Shore D

O ensaio de dureza Shore D será realizado no compósito ABS, ocorrendo à medição, através da profundidade da impressão deixada no material feita de forma manual. O nome do equipamento utilizado para essa análise é o durômetro e a escala de dureza Shore D foi escolhida porque o ABS é um material polimérico duro o suficiente para ser utilizado nessa escala.



Figura 45 – Durômetro Portátil Digital Digimess

Fonte: Próprio

3.11 Pêndulo de Charpy

O ensaio foi realizado no laboratório A28 da UFF – Universidade Federal Fluminense. Foi utilizado o Pêndulo de Charpy PSW 04 de acordo com a imagem abaixo. Os resultados obtidos estão descritos na tabela 7.

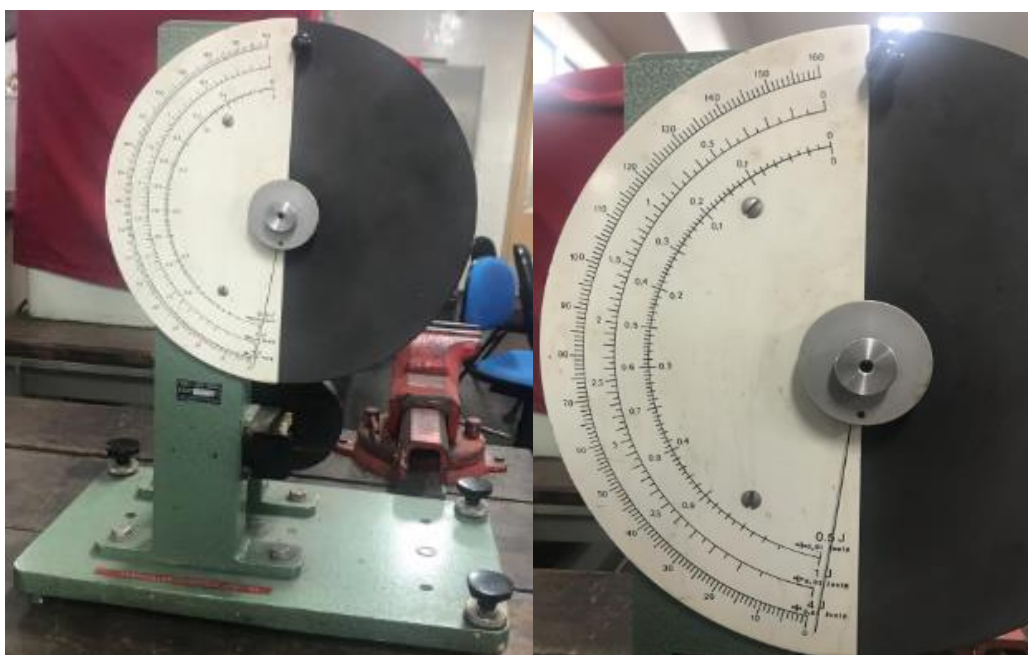


Figura 46 – Pêndulo de Charpy PSW 04

Fonte: Próprio

3.12 Microscopia Óptica (MO)

Foi utilizado o Microscópio Óptico (MO) localizado no UniFOA, da marca Opton, onde ocorreu o embutimento de fragmentos a frio das amostras de ABS puro, ABS 80-20, ABS 85-15 e ABS 90-10. Neste processo foi utilizado lentes com ampliações de 100, 200 e 400 vezes das amostras estudadas.



Figura 47 - Microscópio Óptico Opton

Fonte: Gabriel, 2018

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DSC dos compósitos

Grande parte do ABS comercial apresenta efeitos térmicos distintos. Um deles é a transição vítrea do polibutadieno e é de acordo com a quantidade no composto e ocorre por volta de -85°C . Porém este efeito não é visto nas amostras, pois há limitações de resfriamento do equipamento.

Outro efeito é a transição vítrea decorrente do poliestireno que aconteceu por volta de 112°C .

O terceiro efeito é similar a um pico. Neste caso a amostra apresenta baixa intensidade, o que indica pouca quantidade de poliacrilonitrila. Este efeito ocorre em torno de 130°C.

Tabela 4 – Temperatura de transições vítreas ABS puro e dos compósitos

Material	Tg do polibutadieno (°C)	Tg do poliestireno (°C)	Temperatura de pico da poliacrilonitrila (°C)
ABS puro	...	112,04	130,07
ABS 80-20	...	112,43	...
ABS 85-15	...	111,37	...
ABS 90-10	...	112,04	...

Fonte: GABRIEL, 2018

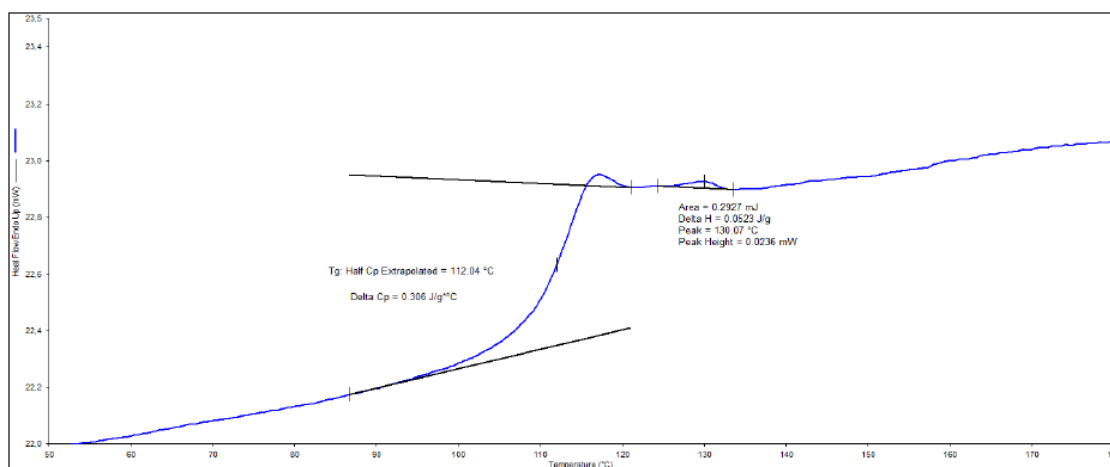


Figura 48 – DSCABS PURO

Fonte: GABRIEL, 2018

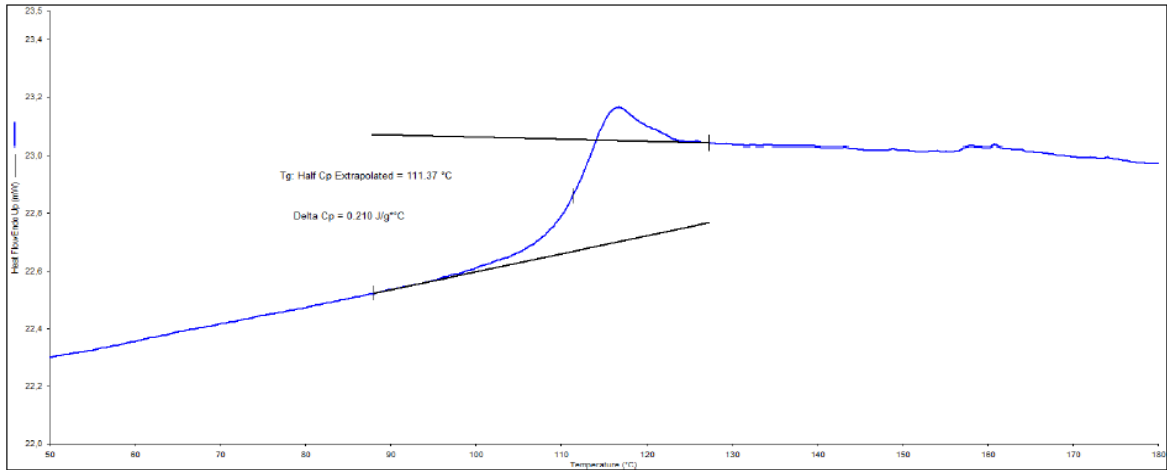


Figura 49 – DSC composto ABS e pó de vidro família 90/10

Fonte: GABRIEL, 2018

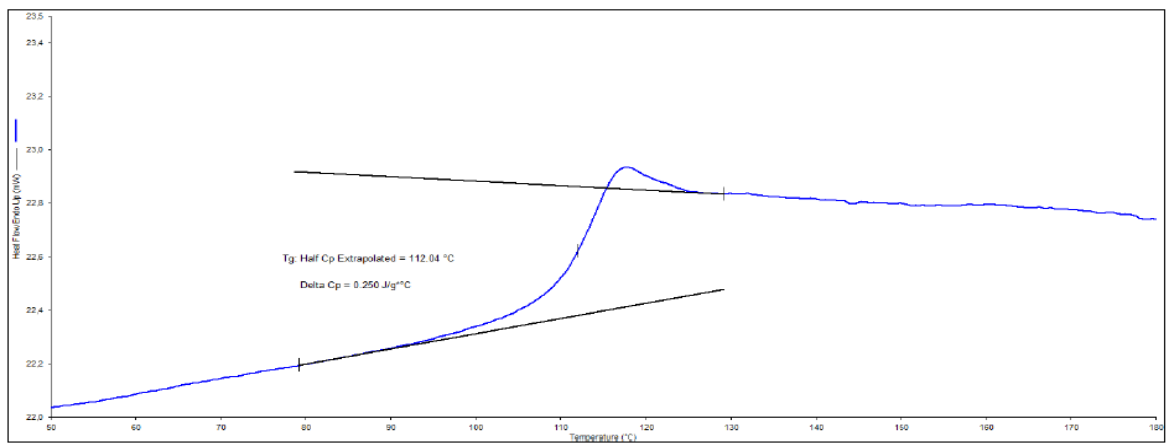


Figura 50 – DSC composto ABS e pó de vidro família 85/15

Fonte: GABRIEL, 2018

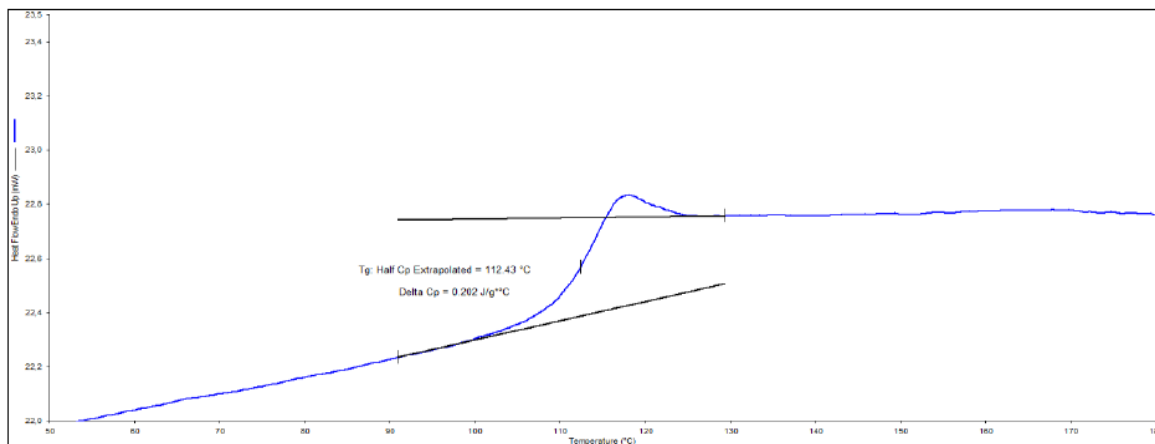


Figura 51 – DSC composto ABS e pó de vidro família 80/20

Fonte: GABRIEL, 2018

4.2 TGA dos compósitos

No ensaio foi constatado que o início da degradação do ABS é na faixa de 350 à 450°C. Com a degradação, houve uma perda de massa que no caso foi apenas do material puro, ou seja, os resíduos foram apenas do pó de vidro que tiveram o valor aproximado ao de 10, 15 e 20% que foram adicionados ao ABS.

O quadro e o gráfico a seguir demonstram os resultados obtidos pelo ensaio de TGA.

Quadro 3 – Resultados do ensaio TGA

Propriedades	ABS9010	ABS8515	ABS8020
Ti (°C)	217,93	216,47	221,53
Onset (°C)	390,42	392,90	388,85
Endset (°C)	464,97	466,53	465,99
Perda de massa entre 30 e 920°C (%)	89,5738	84,6721	81,9137
Resíduo a 900°C (%)	10,5879	15,4591	18,2378
Número de perdas	11	11	11

Fonte: GABRIEL, 2018

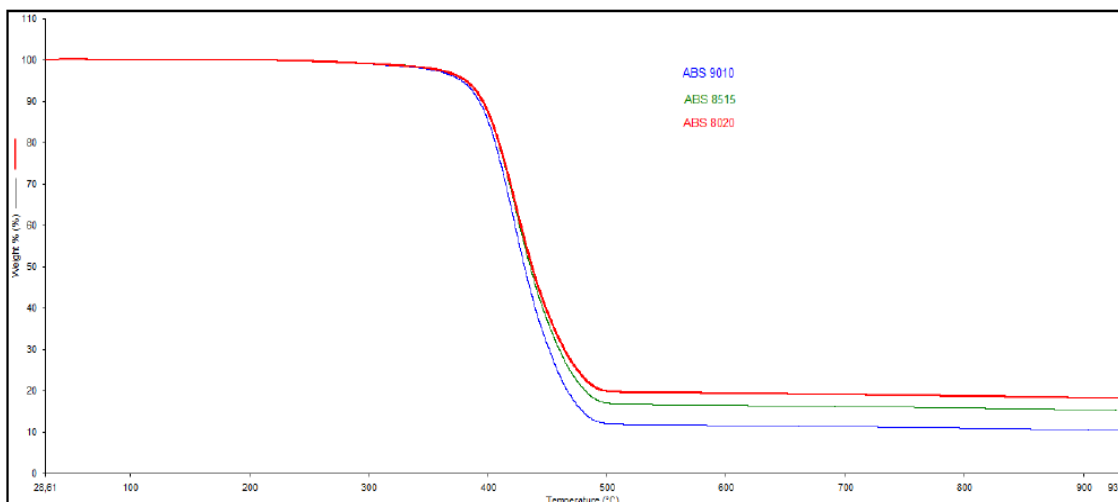


Figura 52 - Análise ABS 9010, 8515 e 8020 via TGA

Fonte: GABRIEL, 2018

4.3 Picnometria de Hélio

A adição do pó de vidro nas proporções 10, 15 e 20%, não teve aumento significativo na massa específica do material de base (ABS). A tabela a seguir demonstra os resultados obtidos no ensaio.

Tabela 5 – Massa específica do compósito

AMOSTRAS	Massa Específica do ABS Puro (g/cm ³)	Massa Específica do Pó de vidro 150 m (g/cm ³)	Massa Específica da Mistura ABS vidro 80-20 (g/cm ³)	Massa Específica da Mistura ABS vidro 85-15 (g/cm ³)	Massa Específica da Mistura ABS vidro 90-10 (g/cm ³)
1°	1,1116	2,6115	1,1793	1,1159	1,0893
2°	1,0636	2,5748	1,1939	1,1419	1,0917
3°	1,0615	2,7399	1,1766	1,1363	1,0924
Média	1,0789	2,6421	1,1833	1,1314	1,0931
Desvio Padrão	0,02834	0,08669	0,00931	0,01368	0,00425
CV%	3	3,3	1	1	0,4

Fonte: GABRIEL, 2018

4.4 MEV – Análise da incorporação do pó de vidro

Foi realizado este ensaio nos compósitos estudados a fim de analisar a caracterização micro estrutural por meio de suas propriedades. As ampliações foram da ordem de 25, 50, 100 e 200 vezes, verificando a heterogeneidade da mistura dos materiais.

Os compósitos não passaram pelo processo de metalização, porém a cristalinidade dos materiais colaborou para uma leitura mais precisa dos feixes de elétrons. As figuras a seguir mostram os resultados obtidos pelo MEV.

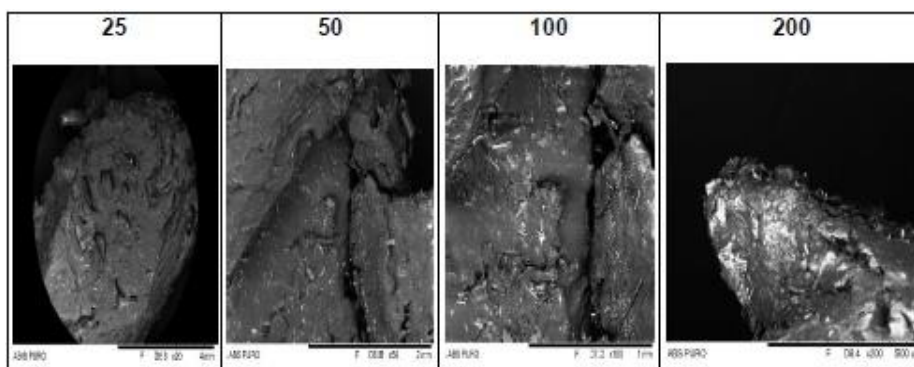


Figura 53 - MEV ABS puro

Fonte: GABRIEL, 2018

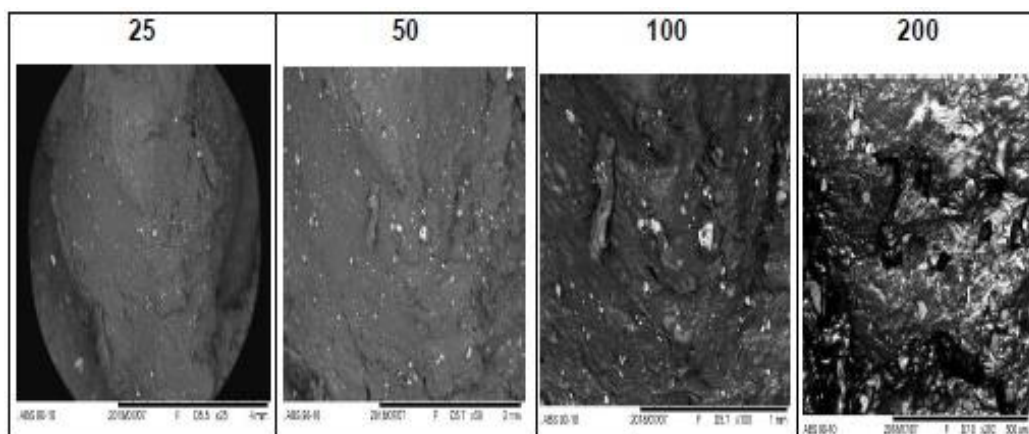


Figura 54 – MEV Compósito família 90/10

Fonte: GABRIEL, 2018

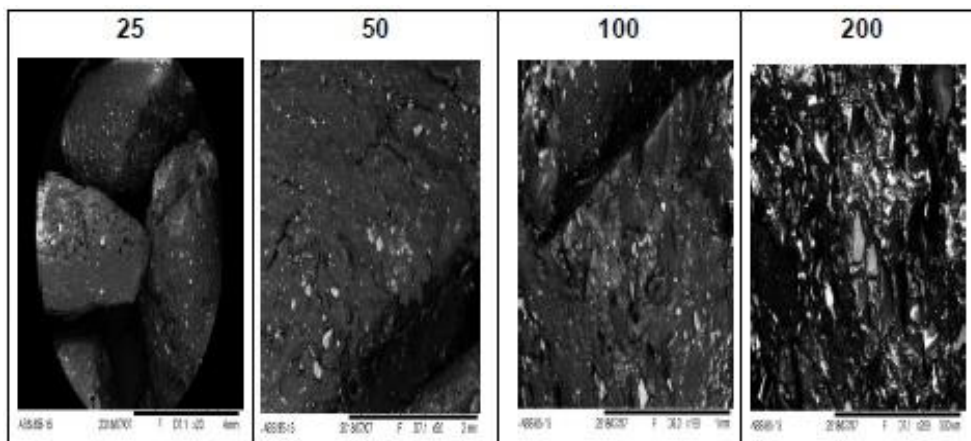


Figura 55 – MEV Compósito família 85/15

Fonte: GABRIEL, 2018

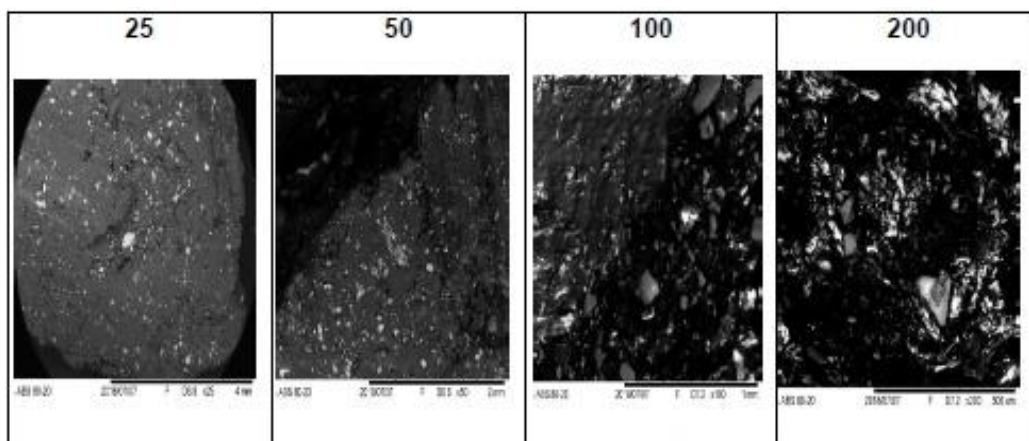


Figura 56 – MEV Compósito família 80/20

Fonte: GABRIEL, 2018

Nas imagens obtidas através do MEV, observa-se que o processo de homogeneização do compósito foi bem feito, pois houve distribuição homogênea do pó de vidro na matriz termoplástica do ABS.

4.5 MO – Análise da distribuição do pó de vidro

O compósito do ABS com o pó de vidro apresenta interação entre os materiais misturados, mesmo tendo mais concentrações em alguns pontos, há uma divisão do material de reforço no ABS. Foram realizadas imagens com

aplicações de 100, 200 e 400. As imagens a seguir demonstram o resultado do ensaio do microscópio óptico.

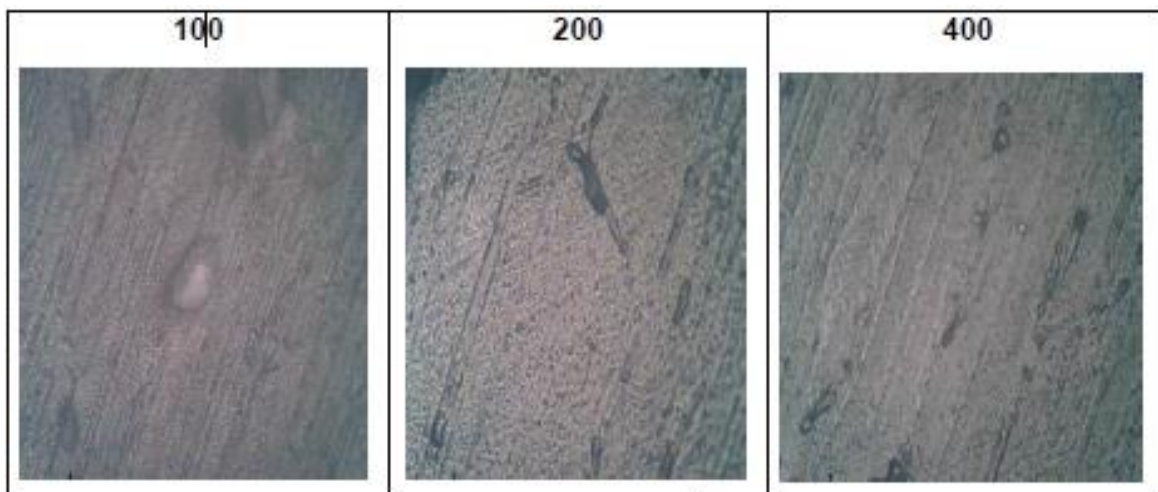


Figura 57 – MO ABS puro

Fonte: GABRIEL, 2018

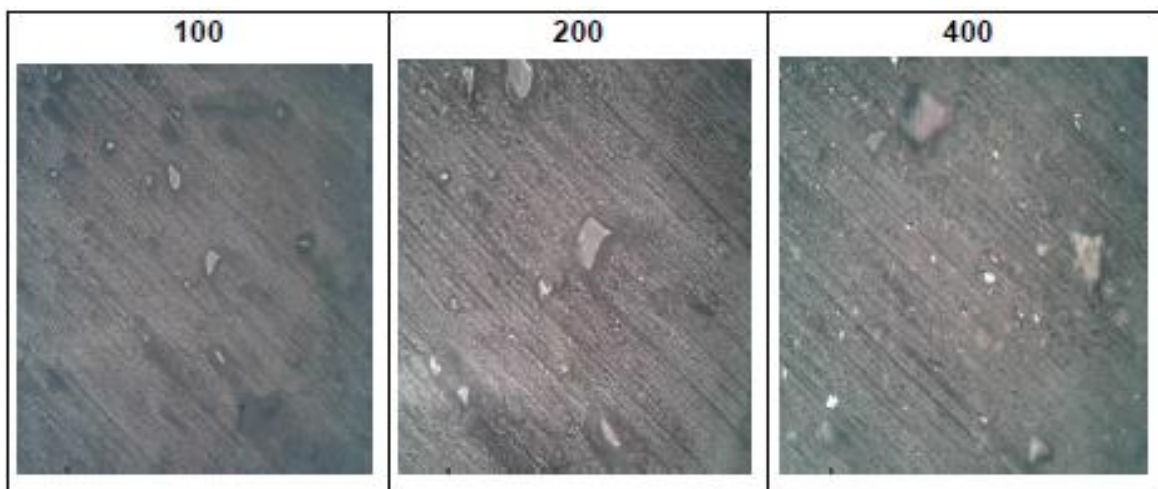


Figura 58 - MO Compósito família 90/10

Fonte: GABRIEL, 2018

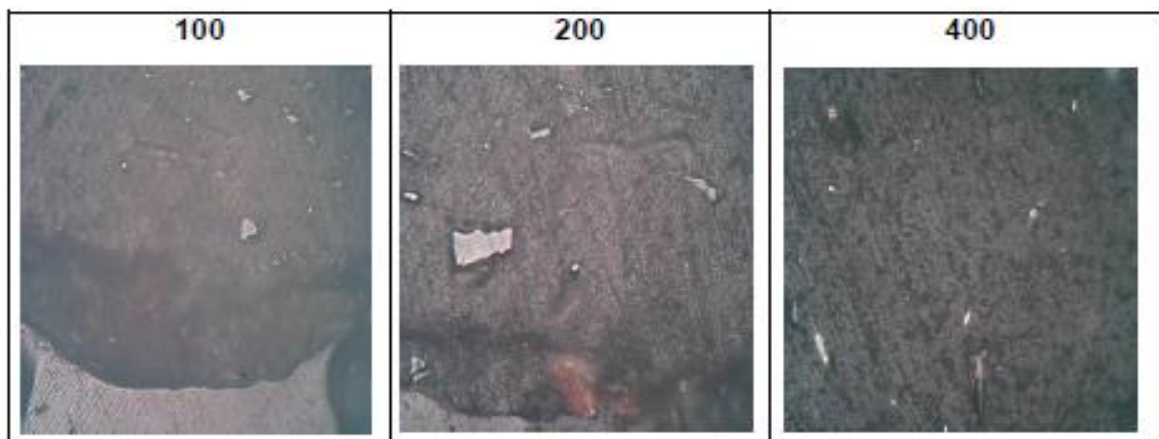


Figura 59 – MO Compósito família 85/15

Fonte: GABRIEL, 2018

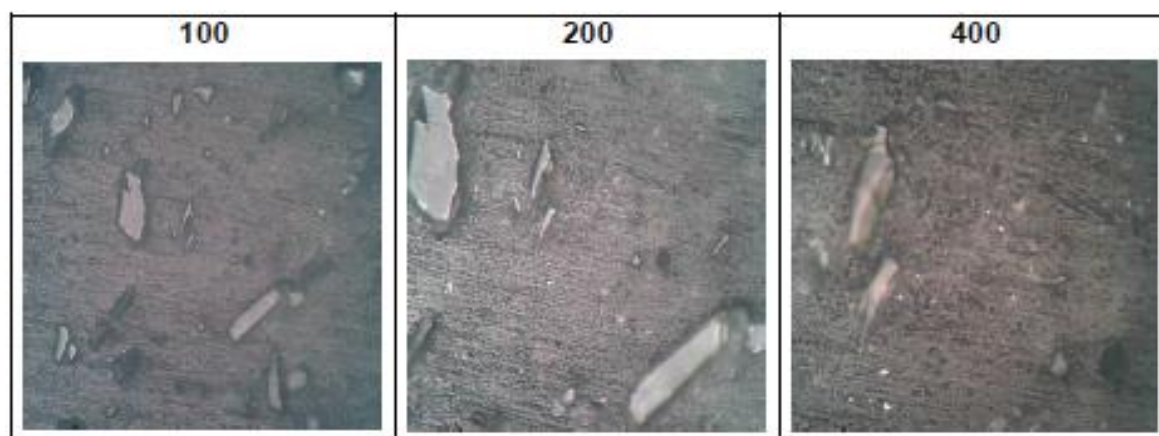


Figura 60 – MO Compósito família 80/20

Fonte: GABRIEL, 2018

4.6 Ensaio de dureza

O ensaio de dureza Shore D foi realizado no Durômetro Portátil Digital Digimess de capacidade de 0 a 100 Shore D, que é apropriado para ensaios de borrachas e plásticos moles, conforme o parâmetro Shore D. O ensaio é feito pela penetração de uma agulha de aço.

A tabela 6 apresenta os resultados dos ensaios de dureza Shore D que foram realizados nos compósitos e também no ABS puro. Como pode ser

verificado, menores adições de pó de vidro provocaram redução nos valores de dureza Shore D, quando comparado ao valor encontrado no ABS puro. O compósito contendo 20% de pó de vidro apresentou valor de dureza Shore D bem próxima do ABS puro.

A dureza Shore avalia a resistência relativa à indentação, a qual varia com o tempo, principalmente porque os materiais usados neste tipo de ensaio têm uma grande resiliência e, portanto, uma grande capacidade para absorver a energia e de se adaptar à deformação. A dureza Shore D é adequada para medir a dureza de materiais sintéticos, plásticos rígidos, resinas sintéticas (termoendurecíveis), entre outros.

A indústria automobilística utiliza a avaliação de dureza Shore D de polímeros para prever comportamento de absorção de choques, resistência ao risco, resistência a solicitações mecânicas de superfície (IPN, 2019).

Nesse sentido, pode-se constatar que as maiores adições de pó de vidro não afetarão a capacidade de absorção de choques e nem causarão prejuízos aos materiais que, por ventura, serão produzidos com o compósito contendo 20% de pó de vidro, quanto às solicitações mecânicas de superfície.

A figura 61 apresenta o gráfico onde fica mais clara a influência das adições de pó de vidro na dureza dos compósitos, quando comparado ao ABS puro.

Tabela 6 - Resultados do ensaio de dureza Shore D

Família	1ª Leitura	2ª Leitura	3ª Leitura	Média	Desvio Padrão
ABS puro	73,8	74,2	74,6	74,2	0,3
ABS 90/10	65,3	65,3	67,0	65,9	0,8
ABS 85/15	67,6	68,2	66,2	67,3	0,8
ABS 80/20	73,6	71,4	71,6	72,2	1,0

Fonte: Próprio

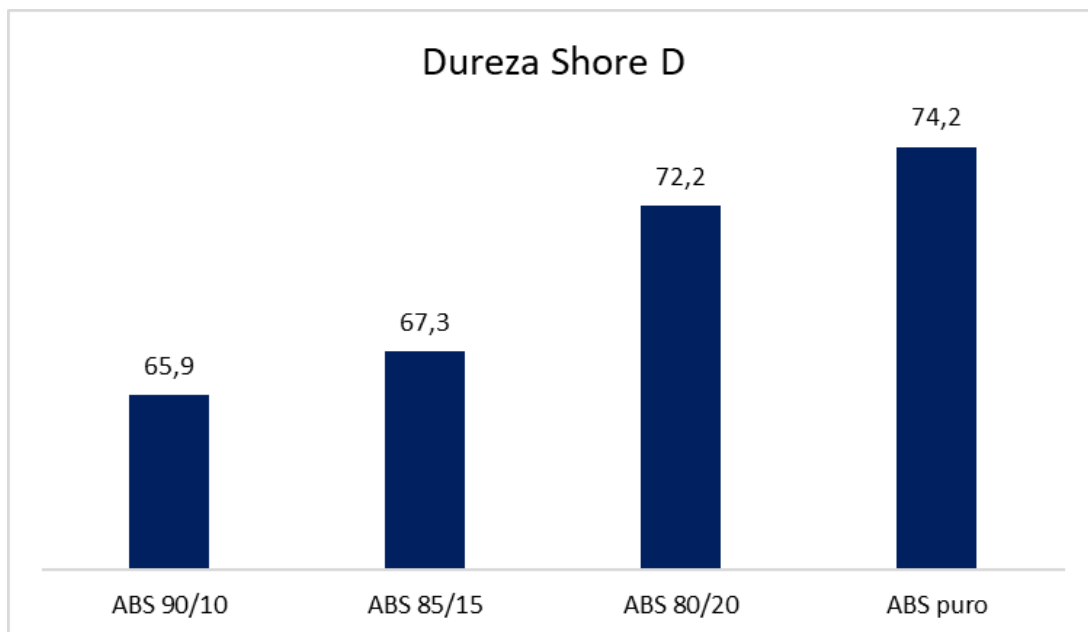


Figura 61 – Gráfico dureza Shore D

Fonte: Próprio

4.7 Ensaio de impacto

A partir das análises de resistência ao impacto, verificou-se que a adição de pó de vidro ao ABS acarretou uma diminuição significativa na resistência ao impacto, quando comparados ao ABS puro. A tabela 7 apresenta os resultados dos ensaios de impacto realizados no ABS puro e nos compósitos.

A diminuição da resistência ao impacto nos compósitos contendo de pó de vidro, quando comparado do ABS puro, pode ter ocorrido devido ao fato de que o reforço promoveu uma redução da tenacidade do ABS. Lembrando que a tenacidade corresponde a capacidade que o material tem de absorver energia antes de romper.

Foi observado um caráter menos frágil dos compósitos conforme o teor de pó de vidro aumentou, ou seja, comparando-se as famílias de compósitos estudados, quanto maior foi o teor de vidro, maior foi a resistência ao impacto.

Pode-se notar também que no ensaio de impacto os compósitos mais duros necessitaram de maior quantidade de energia para se romper e vice-versa.

Tabela 7 – Resultados do ensaio de resistência ao impacto

Amostras	Energia Absorvida (J)	Resistência ao impacto (kJ/m²)
ABS puro	2,2 ± 0,3894	28,33 ± 4,72
ABS 90/10	0,4 ± 0,1780	4,87 ± 2,32
ABS 85/15	0,5 ± 0,2160	6,52 ± 2,68
ABS 80/20	0,6 ± 0,1434	7,91 ± 2,24

Fonte: Próprio

4.8 Ensaio de tração

A partir das análises de resistência a tração, verificou-se que a adição do pó de vidro ao ABS promoveu uma diminuição significativa na resistência mecânica (tensão máxima) e também no módulo de elasticidade, quando comparados ao ABS puro. A tabela 8 apresenta os resultados dos ensaios de tração realizados nos compósitos reforçados com o pó de vidro e também do ABS puro.

De maneira análoga do que ocorreu nos resultados de resistência ao impacto, a diminuição da resistência mecânica em tração nos compósitos contendo de pó de vidro, quando comparado do ABS puro, pode ter ocorrido devido ao fato de que o reforço promoveu uma redução da tenacidade do ABS. Lembrando que a tenacidade corresponde a capacidade que o material tem de absorver energia antes de romper e, por sua vez, pode ser representada pela área abaixo da curva tensão x deformação.

Assim, o caráter mais frágil dos compósitos foi maior de acordo com o aumento da quantidade de pó de vidro.

Já a inserção de pó de vidro não alterou, de maneira significativa, a ductilidade, que corresponde à elongação total material devido à deformação plástica. A figura 62 apresenta as curvas tensão x deformação obtidas nos ensaios de tração.

Tabela 8 - Resultados do ensaio de tração

Compósitos	Tensão de Escoamento (MPa)	Tensão Máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)	Alongamento (%)
ABS - Puro	36,24 ± 0,17	38,26 ± 0,31	496,40 ± 8,35	16,29 ± 2,07
ABS – 10%	30,04 ± 0,22	34,47 ± 1,55	410,70 ± 32,96	20,31 ± 1,74
ABS – 15%	26,38 ± 0,31	29,85 ± 0,49	398,30 ± 8,14	18,54 ± 3,59
ABS – 20%	26,09 ± 0,63	29,96 ± 1,90	387,90 ± 27,04	14,90 ± 1,83

* Valores médios

Fonte: Próprio

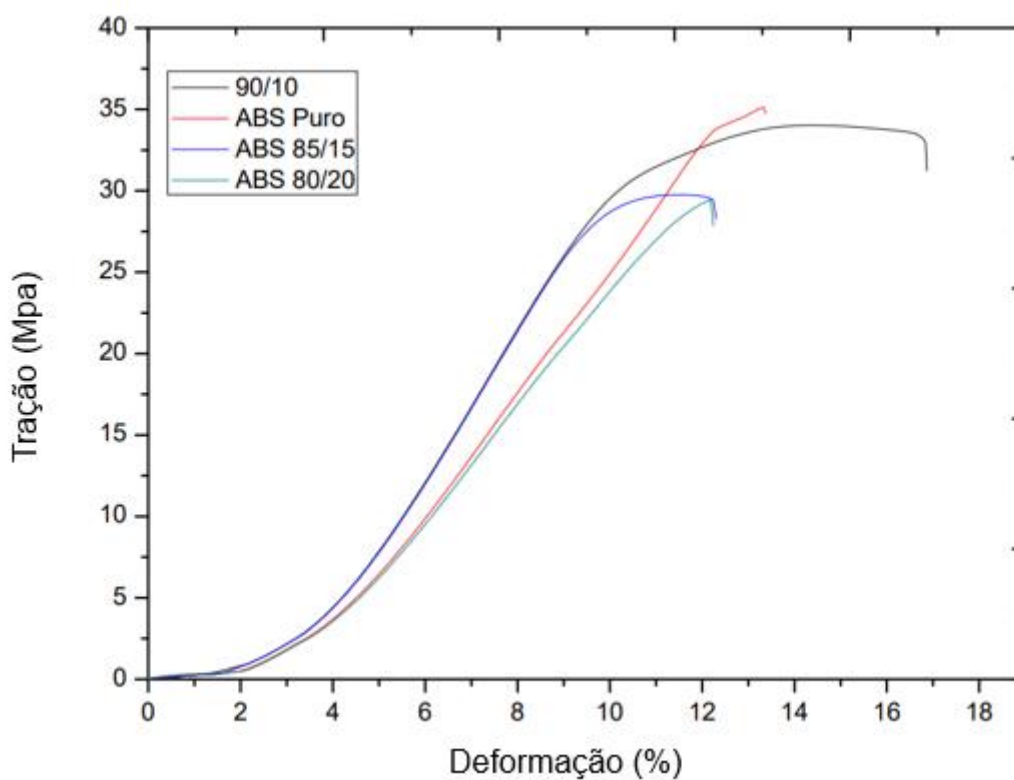


Figura 62 - Gráfico do ensaio de tração

Fonte: Próprio

4.9 Ensaio de flexão

A partir das análises de resistência a flexão, verificou-se que a adição do pó de vidro ao ABS acarretou uma diminuição na resistência mecânica (tensão máxima em flexão), quando comparados ao ABS puro. A tabela 9 apresenta os resultados dos ensaios de flexão realizados nos compósitos reforçados com o pó de vidro e também do ABS puro. Somente o compósito contendo 20% de pó de vidro apresentou valores próximos ao do ABS puro. Para efeito de verificação, o ensaio de flexão para o compósito contendo 20% de pó de vidro será refeito em trabalhos futuros.

De maneira análoga aos resultados encontrados nos ensaios de tração, a diminuição da resistência a flexão pode ter ocorrido devido ao fato de que o reforço de vidro em pó promoveu uma redução da ductilidade dos compósitos. Assim, o caráter mais frágil dos compósitos foi maior de acordo com o aumento da quantidade de vidro que foi adicionada à matriz de ABS.

A figura 63 apresenta as curvas tensão x deformação obtidas nos ensaios de flexão, onde pode-se notar que as adições de pó de vidro não promoveram alterações significativas nos módulos de elasticidade (em modo flexão) dos compósitos, quando comparado ao módulo de elasticidade do ABS puro. Entretanto, como já mencionado anteriormente, pode-se verificar que as adições de vidro provocaram uma redução no alongamento total dos compósitos (ductilidade) em modo de flexão.

De maneira análoga do que ocorreu nos resultados de resistência ao impacto, a diminuição da resistência mecânica em flexão nos compósitos contendo de pó de vidro, quando comparado do ABS puro, pode ter ocorrido devido ao fato de que o reforço promoveu uma redução da tenacidade do ABS. Lembrando que a tenacidade corresponde a capacidade que o material tem de absorver energia antes de romper e, por sua vez, pode ser representada pela área abaixo da curva tensão x deformação.

Tabela 9 - Resultados do ensaio de flexão

Compósitos	Tensão Máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)
ABS - Puro	51,22 ± 17,46	2279 ± 344,80
ABS – 10%	48,40 ± 14,36	2064 ± 120,10
ABS – 15%	45,46 ± 15,73	2218 ± 206,20
ABS – 20%	51,10 ± 7,63	2456 ± 73,98

* Valores médios

Fonte: Próprio

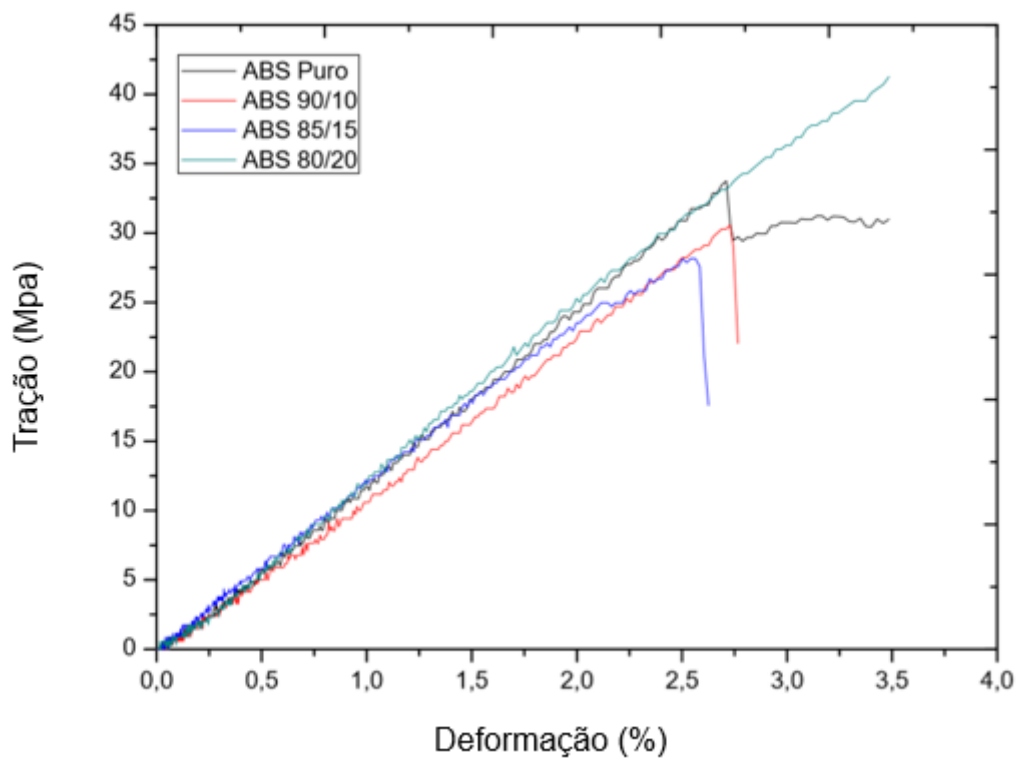


Figura 63 - Gráfico do ensaio de flexão

Fonte: Próprio

4.10 Difração de Raio-X

A partir das análises de difração de raio-X, verificou-se que a adição do pó de vidro ao ABS não promoveu alterações na microestrutura nos compósitos quando comparados ao ABS puro.

Como o vidro apresenta característica amorfa, já era esperado que as adições de pó de vidro nos compósitos não iriam alterar a semi-cristalinidade do ABS. Conforme mostrado na figura 64, o ABS puro apresenta um pico cristalino característico próximo de 2θ igual a 20° . E esse pico ficou evidenciado em todas as famílias de compósitos contendo pó de vidro. A adição de pó de vidro promoveu a diminuição da intensidade do pico cristalino característico próximo de 2θ igual a 20° , além de ocorrer, em todos os compósitos analisados, a ocorrência de um pequeno pico cristalino próximo de 2θ igual a 45° .

A redução gradual da intensidade do pico cristalino do ABS pode ser justificada devido ao aumento gradual do teor de vidro nos compósitos, ou seja, quanto maior a quantidade de pó de vidro, menor foi a quantidade de ABS, justificando dessa forma, a diminuição da intensidade do pico cristalino característico do ABS puro.

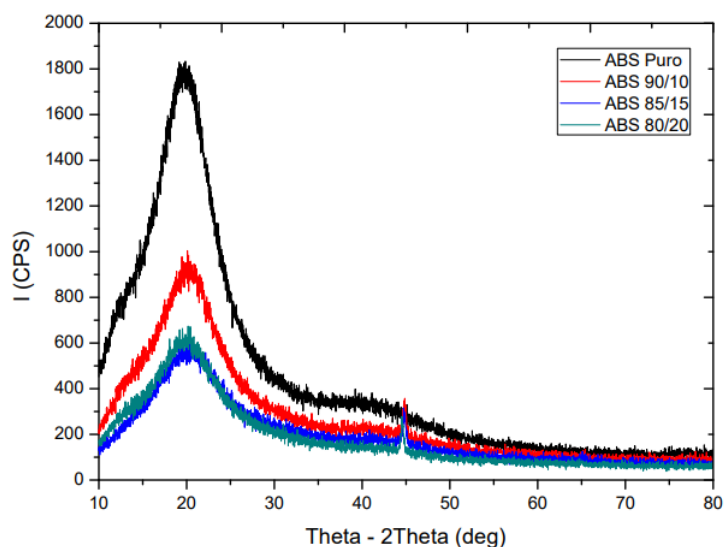


Figura 64 - Gráfico do ensaio de difração de raio x

Fonte: Próprio

5 CONCLUSÕES

Com a análise dos resultados obtidos neste trabalho, foi possível avaliar o efeito da adição de pó de vidro no ABS sobre algumas propriedades dos compósitos e sua possível aplicação em diversas áreas.

Quanto à caracterização dos compósitos as principais conclusões foram:

A partir das análises de picnometria de hélio, verificou-se que a adição do pó de vidro ao ABS não acarretou um aumento na massa específica dos compósitos processados, quando comparado ao ABS puro.

As análises de MEV demonstraram que a adição do pó de vidro ao ABS apresentou uma boa aderência do vidro na matriz termoplástica do ABS. Já através das análises de MO, verificou-se que a adição do pó de vidro apresentou alguns pontos com uma pequena aglomeração de material que entendeu-se ser o vidro, porém, no geral, estes apresentaram uma boa distribuição na matriz do ABS.

As análises de TGA mostraram que os percentuais de resíduo para o ABS (que neste caso é o vidro) ficaram próximos aos especificados de 10, 15 e 20%, bem como a perda de massa.

Em relação ao ensaio de dureza, menores adições de pó de vidro provocaram redução nos valores de dureza Shore D, quando comparado ao valor encontrado no ABS puro. O compósito contendo 20% de pó de vidro apresentou valor de dureza Shore D bem próxima do ABS puro. Nesse sentido, pode-se concluir que as maiores adições de pó de vidro não afetarão a capacidade de absorção de choques e nem causarão prejuízos aos materiais que, por ventura, serão produzidos com o compósito contendo 20% de pó de vidro, quanto às solicitações mecânicas de superfície.

No ensaio de impacto, verificou-se que a adição de pó de vidro ao ABS acarretou uma diminuição significativa na resistência ao impacto, quando comparados ao ABS puro. Foi observado um caráter menos frágil dos compósitos conforme o teor de pó de vidro aumentou, ou seja, comparando-se as famílias de

compósitos estudados, quanto maior foi o teor de vidro, maior foi a resistência ao impacto. Pode-se concluir que no ensaio de impacto os compósitos mais duros necessitaram de maior quantidade de energia para se romper e vice-versa.

A partir das análises de resistência a tração, verificou-se que a adição do pó de vidro ao ABS promoveu uma diminuição significativa na resistência mecânica (tensão máxima) e também no módulo de elasticidade, quando comparados ao ABS puro. Concluiu-se que o caráter mais frágil dos compósitos foi maior de acordo com o aumento da quantidade de pó de vidro.

A partir das análises de resistência a flexão, verificou-se que a adição do pó de vidro ao ABS acarretou uma diminuição na resistência mecânica (tensão máxima em flexão), quando comparados ao ABS puro. De maneira análoga aos resultados encontrados nos ensaios de tração, a diminuição da resistência a flexão pode ter ocorrido devido ao fato de que o reforço de vidro em pó promoveu uma redução da ductilidade dos compósitos. Assim, o caráter mais frágil dos compósitos foi maior de acordo com o aumento da quantidade de vidro que foi adicionada à matriz de ABS.

Por meio das análises de difração de raio-X, verificou-se que a adição do pó de vidro ao ABS não promoveu alterações na microestrutura nos compósitos quando comparados ao ABS puro. Como o vidro apresenta característica amorfa, já era esperado que as adições de pó de vidro nos compósitos não iriam alterar a semi-cristalinidade do ABS. A adição de pó de vidro promoveu a diminuição da intensidade do pico cristalino característico próximo de 2θ igual a 20° , além de ocorrer, em todos os compósitos analisados, a ocorrência de um pequeno pico cristalino próximo de 2θ igual a 45° .

Portanto, com a adição de pó de vidro no ABS obteve-se um material com até 20% menos polímero e com propriedades mecânicas e térmicas viáveis para determinadas aplicações do ABS.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRU, **PLA FILAMENTS FOR 3D PRINTING**. Disponível em: <https://www.agru.at/en/applications/semi-finished/pla-filaments-for-3d-printing/>. Acesso em: 12 jun 2019.

ASKELAND, Donald R; WRIGHT, Wendelein J. **Ciência e Engenharia dos Materiais**. ED. CENGAGE, São Paulo, 4ª edição, 2019.

BACKES, Denise Bakes. **Análise e Perspectivas de Mercado do Butadieno. Departamento de engenharia química**. UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande Do Sul. RS, 2011.

BARROS, Alysso Régis de Freitas. **Compósitos Híbridos: Desenvolvimento de configuração e efeitos de umidificação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2006.

BELINI, Gabriela Bertoni. **Termogravimetria aplicada para caracterização da Biomassa**. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais). Programa de Pós-graduação em Ciência dos Materiais. Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, SP, 2018.

BRONDI, Ariadne Missono. **Determinação de Polimorfos de Fexofenatina pelas Técnicas Raman, NIR E DRX**. Dissertação (Mestrado em Química). Programa de Pós-graduação em Química. Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2012.

CALLISTER, William D; RETHWISCH, David G. **Ciência e Engenharia dos Materiais uma introdução**. ED. LTC, Rio de Janeiro, 9ª edição, 2016.

CASARIL, Alexandre. **Modelagem matemática e avaliação experimental do módulo de elasticidade de materiais compósitos particulados de Matriz Fenólica para uso como material de fricção**. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica

e de Materiais (PPGEM). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

CCDM, **Análise Físicas e Caracterização de Matérias-primas**. Disponível em: <<http://www.ccdm.ufscar.br/ensaios-tecnologicos-em-materiais/ceramicas-ensaio-tecnologico/materia-prima-ceramica/densidade-real-por-picnometria-de-helio/>>

Acesso em: 12 jun 2019.

GABRIEL, Marco Antônio. **Desenvolvimento de compósitos Poliméricos a base de HIPS, ABS e SAN com adição de Pó de Vidro para confecção de PCIs**. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais). UniFOA – Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ, 2018.

GALVÃO, Alvaro César Pontes. **Obtenção e caracterização de um Compósito de Poliuretano de Mamona e Pó de Vidro para aplicações em isolantes térmicos**. Dissertação (Mestrado de Engenharia Mecânica). Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica. UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, RN, 2014.

GARCEZ, Mônica Regina. **Alternativas para melhoria no desempenho de estruturas de Concreto Armado reforçadas pela colagem de Polímeros reforçados com Fibras**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2007.

GOMES, Eduardo Rovaris. **Estudo da Compactação Uniaxial de Pós e sua influência na variação de densidade de Materiais Compósitos Particulados de Matriz Fenólica aplicados como materiais de fricção**. Dissertação (Mestrado de Engenharia). Programa de Pós Graduação de Minas Metalúrgica e de Materiais (PPGEM). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

Instituto Pedro Nunes. <https://www.ipn.pt/laboratorio/LEDMAT/ensaio/58>. Acesso em 28 de outubro de 2019.

JÚNIOR, Edson Almeida. **Utilização de PET pós-consumo como CARGA para Borracha Natural**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais). Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas. UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais, MG, 2012.

LACHNIT, Marco Antônio. **Compósito Termoplástico de PA-6/ABS e PA-6 Copoliéster reforçado com Fibra de Vidro para aplicação em palmilha de montagem para calçado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Programa de Pós Graduação de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGEM). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2018.

LUME, **Repositório Digital**. UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/10593>> Acesso em: 12 jun 2019.

MARTINS, Priscila Alves. **Uso de aditivos não tóxicos como retardantes de chama em ABS**. Dissertação (Mestrado em Ciências). Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2013.

OLIVEIRA, Livia Souza de. **Reaproveitamento de resíduos de Poliestireno Expandido (isopor) em Compósitos Cimentícios**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica (PPMEC). Universidade Federal de São João Del Rei (UFSJ), São João Del Rei, MG, 2013.

OLIVEIRA, Rosane Felice de. **Confecção de discos de desbaste a partir de Al_2O_3 e Pó de Vidro**. Dissertação (Mestrado de Engenharia Mecânica). Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica. UFPA – Universidade Federal do Paraná, PA, 2009.

PAULA, Gomes de Paula. **Formulação e caracterização de Compósitos com Fibras Vegetais e Matriz Termoplástica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais), Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência

dos Materiais, UENF – Universidade Federal do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, 2011.

PITT, Fernando Darci; BOING, Denis; BARROS, António André Chivanga. **Desenvolvimento histórico, científico e tecnológico de polímeros sintéticos e de fontes renováveis.** Revista Unifebe. n.9, p. 1-18, recebido em 17 de maio de 2011 e aceito em 25 de outubro de 2011.

PLASTBRINQ, **Plástico ABS: O que é, tipos e características.** Disponível em: <<https://plastbrinq.com.br/plastico-abs/>> Acesso em: 12 jun 2019.

SILVA, Humberto Sartori Pompeo da. **Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com Fibras de Curauá e Híbridos com Fibras de Vidro.** Dissertação (Mestrado em Engenharia). Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas Metalúrgica e Materiais (PPGEM). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2019.

SILVA, Laio Damasceno, **CATALISADORES DE ÓXIDOS METÁLICOS CONTENDOANTIMÔNIO PARA A PRODUÇÃO DA ACRILONITRILA.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Programa de pós-graduação em engenharia química, Universidade Federal da Bahia, Salvador 2014.

SILVA, Taynara Ferreira. **Nanocompósitos de Borracha Natural e Nanocarbonos.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Química. Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2017.

TECHTUDO, **impressora 3D - principais lançamentos de 2016 e o que esperar para 2017** Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2016/12/impressora-3d-principais-lancamentos-de-2016-e-o-que-esperar-para-2017.html>> Acesso em 12 jun 2019.

THE SOHIO ACRYLONITRILE PROCESS. Washington: American Chemical Society, 1996

WINTER, Daniel. **Resistência, rigidez e durabilidade de Solos Arenosos estabilizados com materiais mais sustentáveis.** Tese (Doutorado em

Engenharia). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2018.

ANEXOS

Propriedades ABS Ae 8000 da INNOVA

FICHA TÉCNICA TECHNICAL DATA		ABS FORNECIDO POR FORMOSA CHEMICALS & FIBRE CORPORATION, TAIWAN SUPPLIED BY FORMOSA CHEMICALS & FIBRE CORPORATION, TAIWAN		AE8000 Rev.: 07 - JAN/2016	
PROPERTY	UNIT	TEST METHOD	TEST CONDITION	AE8000	
Tensile Strength	kg/cm ² (MPa)	ASTM D-638 (ISO 527)	23°C	440 (43)	
Flexural Strength	kg/cm ² (MPa)	ASTM D-790 (ISO 178)	23°C	700 (69)	
Flexural Modulus	kg/cm ² (MPa)	ASTM D-790 (ISO 178)	23°C	23000 (2260)	
Rockwell Hardness	R-Scale	ASTM D-785 (ISO 2039/2)	23°C	R-100	
Izod Impact Strength	kg-cm/cm (J/m)	ASTM D-256 (ISO R180)	23°C 1/4" bev	40 (392)	
Vicat Softening Temperature	°C	ASTM D-1525 (ISO 306)	1 kg load	102	
Heat Deflection Temperature	°C	ASTM D-648 (ISO 75/A)	Unannealed 18.6 kg/cm ² (1/2" bev)	86	
Melt Flow Index	g/10 min	ASTM D-1238 (ISO 1133)	Annealed (80°C x 8h)	96	
			200°C x 5kg (49)	-	
			220°C x 10kg (98N)	5	
Specific Gravity	g/cm ³	ASTM D-792 (ISO 1183)	23°C/23°C	1.04	
Flammability	-	UL-94	FILE NO. E162823	1.5 mm HB All Color	