

produto resultante e demanda do mercado para o material reciclado (JORNAL DE PLÁSTICOS, 2003).

2.7 Polipropileno

O polipropileno é um dos polímeros mais usados e mais versáteis em aplicação na indústria de polímeros. O material foi desenvolvido no início dos anos 1950, usando catalisadores tipo Ziegler e desde então ganhou enorme atenção comparado à outros polímeros, que não abrangem a sua versatilidade nas propriedades físicas, quanto à sua facilidade de fabricação e sua utilização em várias aplicações (MASALOVA, 2006). Desde o desenvolvimento do Polipropileno, e do início de sua comercialização pela empresa Montecatini em 1957, a sua produção e uso tem experimentado espetacular progresso. E uma das razões para a boa aceitação do PP comercial é porque o mercado requer produtos com qualidade de “plástico de engenharia” a preços dos materiais *commodities* (MANRICH, 2005). A Figura 20 apresenta o arranjo estrutural da cadeia do polipropileno.

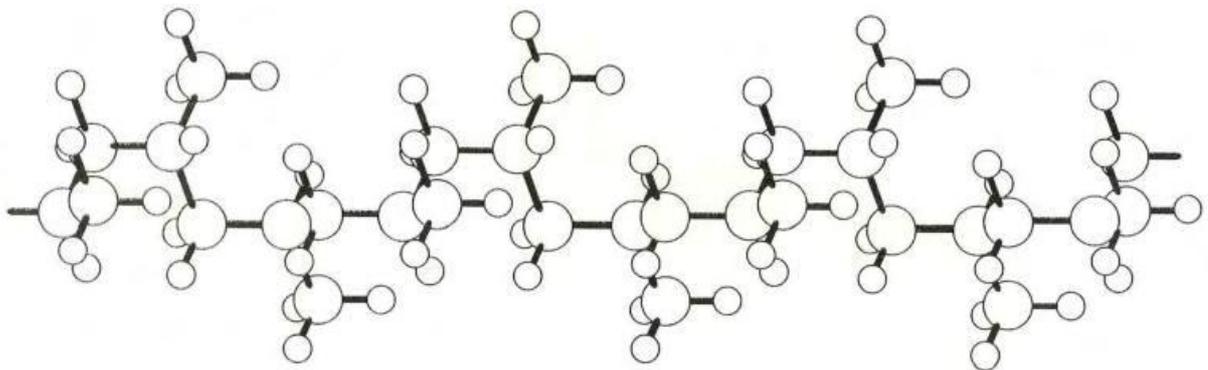


Figura 20 - Representação do arranjo estrutural da cadeia do polipropileno (CAMARGO, 2006)

Em 2002, o PP era produzido em quase 180 fábricas, em cerca de 48 países, incluindo Brasil. Cerca de 40 milhões de toneladas/ano de PP foram produzidas pelo mundo, o equivalente a, aproximadamente, 15% de tudo o que é produzido em polímeros. No Brasil, o PP representa em torno de 23% dos termoplásticos consumidos. E é um dos plásticos *commodities* de maior crescimento (MANRICH, 2005). A Figura 21 apresenta os principais fabricantes mundiais de polipropileno.

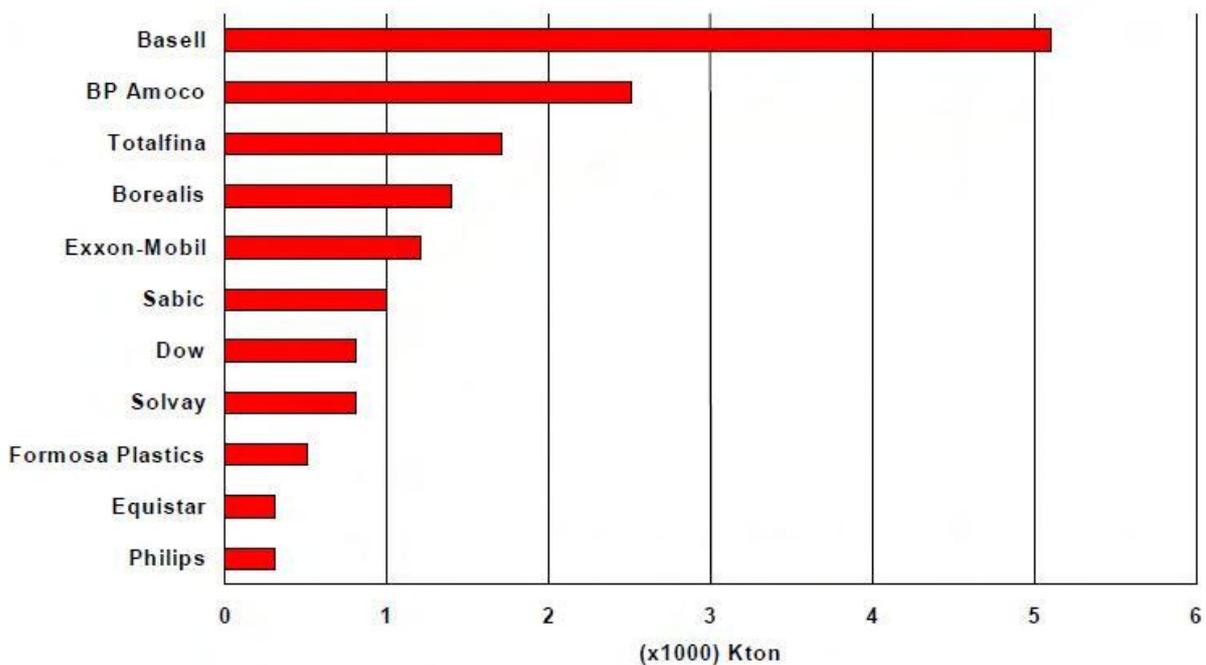


Figura 21 - Principais fabricantes e quantidades de polipropileno produzidos no mundo (CAMARGO, 2006)

O PP compete continuamente com outros polímeros de engenharia. Processos modernos de polimerização garantem o controle da massa molar e de estruturas moleculares (cristalina esferulítica, orientação) durante a transformação. Catalisadores altamente ativos e estéro-seletivos garantem o controle de reatores para a produção de PP granulado, esféricos, polimerização em fase gasosa e de reatores para blendas. Com a adição de cargas, agentes nucleantes, para geração de orientação molecular e introdução de borrachas, é possível garantir características do PP próximas às dos polímeros de engenharia, tal como o balanço entre tenacidade e rigidez. O desempenho do PP em baixas temperaturas é limitado pela sua temperatura de transição vítrea (-20°C), que é muito baixa, e devido a isso, EPR (borracha etileno propileno) é adicionada à matriz de PP semicristalina (MANRICH, 2005). A tecnologia de produção do polipropileno tem evoluído nos últimos 50 anos desde os primeiros catalisadores Ziegler-Natta até os modernos metalocênicos conforme ilustrado na Figura 22 (CAMARGO, 2006).

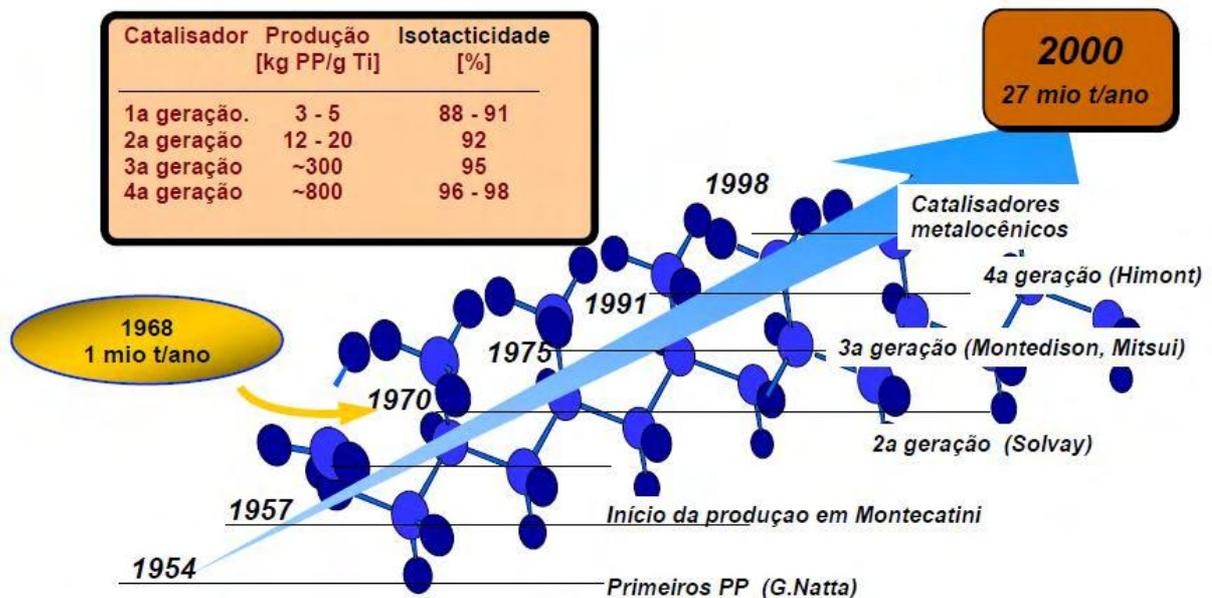


Figura 22 - Evolução da tecnologia do polipropileno (CAMARGO, 2006)

Com o advento de novas tecnologias de polimerização e da ampliação da competitividade para gerar polímeros resistentes a intempéries, surgiram desenvolvimentos de sistemas mais efetivos de estabilização do PP. Muitos produtos novos têm sido introduzidos como alternativa para os tradicionais sistemas binários, resultando em crescimento da produtividade e melhor estabilidade do PP com a manutenção de suas propriedades de aplicação originais. Estes novos produtos possuem sinergismo e, são principalmente misturas de estabilizantes à base de fenólicos e fosfitos. Além da estabilização do PP, que deve ser feita pelo fato deste ser um hidrocarboneto, muitos aditivos são incorporados, e alguns deles, por serem polares, são incompatíveis com a matriz polimérica. Os aditivos mais comumente utilizados são: os pigmentos, negro-de-fumo, retardantes de chama e corantes. Em particular, o negro-de-fumo apresenta dificuldade de dispersão na matriz do PP quando se trabalha em escala industrial, e também altera a estrutura cristalina do PP (MANRICH, 2005).

O polipropileno, como mostrado na Figura 23, pode ser isotático (iPP), sindiotático (sPP), ou atático (aPP) dependendo da configuração do carbono que contém grupo metila. Devido à regularidade no arranjo sequencial o polipropileno isotático possui alto grau de cristalinidade. As proporções de segmentos iPP, sPP e aPP no polímero são determinadas pelo tipo de catalisador utilizado na reação, assim como pelas condições de polimerização. A grande maioria dos polímeros de PP são predominantemente isotáticos com pequenas quantidades de segmentos atáticos (MAIER, 1998).

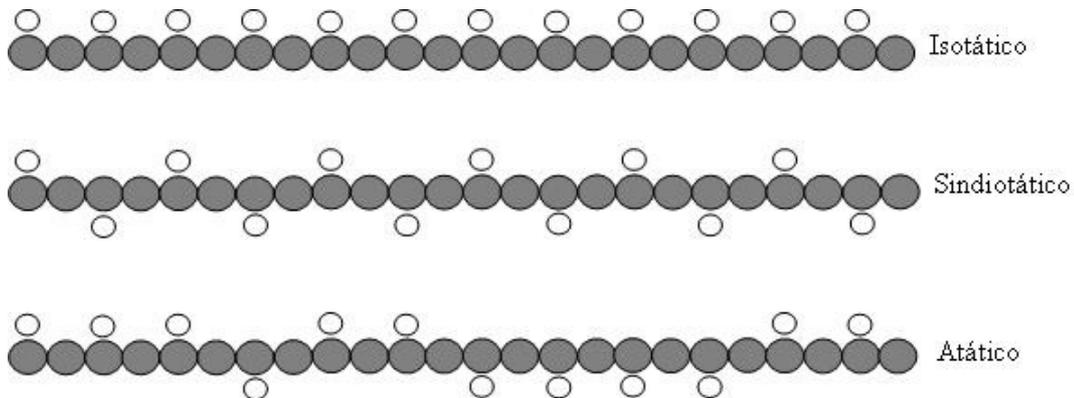


Figura 23 - Representação da configuração estereoespecíficas do PP (MANRICH, 2005)

O polipropileno vem sendo amplamente utilizado na moldagem de peças pelo processo de injeção. Devido às suas excelentes propriedades químicas, mecânicas, ópticas e térmicas, somadas à sua ótima processabilidade, o uso do PP nesse seguimento da indústria consiste numa opção vantajosa em relação aos outros termoplásticos de *commodities* (MANRICH, 2005).

O polipropileno é um polímero sintetizado a partir do gás propeno (seu principal monômero) e pertence à classe das poliolefinas que inclui os polietilenos, a Figura 24 apresenta o monômero e o mero do PP. É um polímero semicristalino (com 50 a 60% de cristalinidade) e de cadeias essencialmente lineares. O polipropileno por suas características oferece um excelente balanço de propriedades, e entre estas destacam-se: elevada relação resistência/peso, ótimo balanço entre rigidez e tenacidade, boa resistência ao fissuramento por tensão sob ação ambiental (*stress cracking*), resistência a altas temperaturas, elevada dureza superficial e brilho. Considerando-se a possibilidade de produtos finais apresentando esse conjunto de propriedades e, ainda, a grande facilidade de injeção (QUATTOR, 2009). A reação de polimerização é um processo de baixa pressão que utiliza catalisadores Ziegler-Natta (compostos organometálicos de alquil alumínio e haletos de titânio). A catálise pode ocorrer em uma mistura de hidrocarbonetos para facilitar a transferência de calor. A reação é realizada em bateladas ou em reatores contínuos operando a temperaturas entre 50 e 80°C e pressão variando entre 5 a 25 atm.

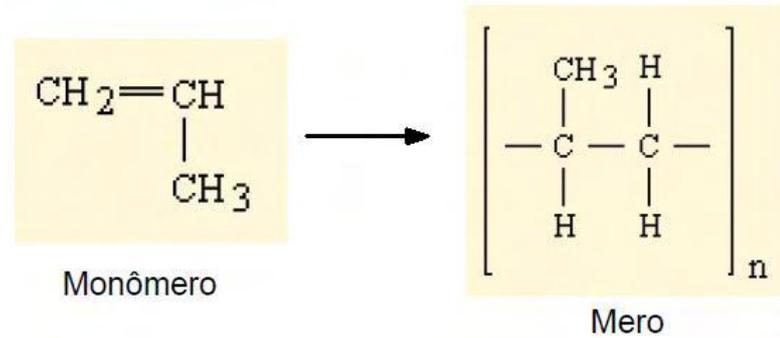


Figura 24 - Monômero e mero do PP (CAMARGO, 2006)

2.7.1 Propriedades do Polipropileno

Densidade: É o polímero de menor densidade ($0,90\text{g/cm}^3$) entre os termoplásticos mais comuns. Portanto, uma peça moldada em polipropileno será mais leve, de forma que um maior número de peças pode ser produzido com uma mesma massa de matéria prima (QUATTOR, 2009).

Resistência Química: É altamente resistente à ação de solventes e de produtos químicos, orgânicos e inorgânicos. Com raras exceções, exposto a 121°C por seis meses, o polipropileno sofre pouquíssimas ou até mesmo nenhuma alteração. O polipropileno é extremamente resistente à umidade e tem permeabilidade muito baixa ao vapor de água. A resistência à permeação de solventes orgânicos, por sua vez, depende da natureza do solvente, já que para cada tipo haverá uma taxa de permeação do polipropileno (QUATTOR, 2009). Os polipropilenos resistem a ataques químicos e não são afetados por soluções aquosas de sais inorgânicos ou ácidos e bases minerais, mesmo em altas temperaturas. Não são atacados pela maioria dos agentes químicos de natureza orgânica. Entretanto, são atacados por compostos halogenados, por ácido nítrico fumegante e por outros agentes oxidantes ativos, além de serem também atacados por hidrocarbonetos aromáticos e cromados, em altas temperaturas (VICK, 2010).

Resistência ao fissuramento por tensão sob ação ambiental (*stress cracking*): Possui excelente resistência ao *stress cracking*. A fragilização observada em outros polímeros na presença de óleos e detergentes, entre outros, não é observada no polipropileno. Somente agentes altamente oxidantes produzem fissuramento no polipropileno (QUATTOR, 2009).

Resistência à temperatura: O polipropileno é aditivado visando sua estabilização, protegendo-o contra a degradação durante o processamento, e à manutenção das propriedades dos produtos finais ao longo de sua vida útil. A temperatura de fusão é relativamente alta (167°C), permite que este seja utilizado continuamente até a temperatura de 104°C. A vida útil de peças fabricadas com PP pode atingir cinco anos a 120°C, dez anos a 110°C e vinte anos a 90°C. Tipos especialmente estabilizados são classificados pela Underwriters Laboratories Inc. (UL) para serviços contínuos a 120°C. Para aumentar a vida útil e a faixa de temperatura de uso, um sistema antioxidante é incorporado, porém quando o uso for em ambiente úmido e em altas temperaturas, pode ocorrer extração de antioxidante, diminuindo a vida útil do polipropileno (QUATTOR, 2009).

Resistência à luz: Muitos polímeros em seu estado natural, não aditivados com estabilizantes à radiação ultravioleta (UV), apresentam, quando expostos à luz solar, rápida e acentuada degradação superficial. Essa degradação leva a uma significativa perda das propriedades mecânicas como resistência à tração, alongamento e resistência ao impacto. A degradação do polímero tem início com a ação energética da radiação UV. Para aumentar a resistência do polipropileno à radiação, podem ser incorporados aditivos estabilizantes ou pigmentos. O aumento da resistência à radiação vai depender da concentração e do tipo de estabilizante utilizado (QUATTOR, 2009).

O polipropileno em volume, está entre as 3 poliolefinas mais consumidas e é o mais importante plástico consumido mundialmente.

O polipropileno também pode ser dividido em homopolímero, copolímero randômico e copolímero heterofásico. Os homopolímeros apresentam boa rigidez, a qual é alterada pela copolimerização, os copolímeros randômicos têm melhor transparência e maior resistência ao impacto. No caso dos copolímeros heterofásicos, a resistência ao impacto é muito melhor mesmo a baixas temperaturas ($T_g = -20^\circ\text{C}$), porém com perda de transparência. Os copolímeros conferem maior flexibilidade às peças injetadas. A Figura 25 apresenta a faixa de propriedades e relação tenacidade versus rigidez para diversas classes de polipropileno.

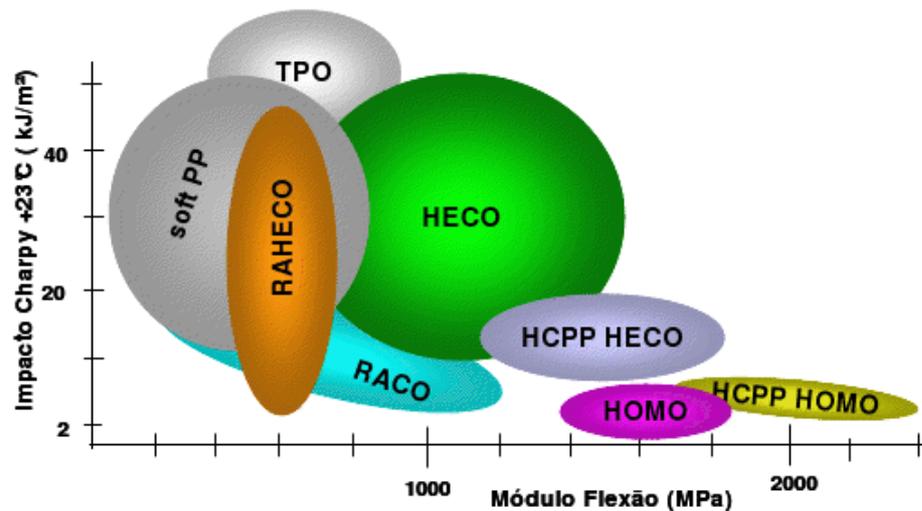


Figura 25 - Faixa de propriedades e relação tenacidade versus rigidez para diversas classes de polipropilenos. Homopolímero (Homo); Copolímero heterofásico (Heco); Copolímero aleatório (Raco); Copolímero randomheterofásico (Raheco); Alta cristalinidade HCPP (homo ou copo); Terpolímero (TPO) (CAMARGO, 2006)

2.8 Os polímeros na indústria automotiva

Há alguns anos, os carros eram planejados para ter a maior resistência possível. Com estruturas pesadas, o consumo de combustível crescia e, além disso, o risco de ferimento aos condutores e passageiros em caso de acidente era ameaçador. As montadoras passaram então a deixar a robustez para o motor e construir carros mais práticos, leves e com alta capacidade de absorção de impactos. Para possibilitar isso foi necessário investir em alta tecnologia para aumentar a presença de componentes produzidos a partir de polímeros nos veículos. Entre os motivos para as empresas aumentarem a presença dos polímeros nos carros podem ser enumerados; a busca constante das montadoras para tornar os veículos mais leves, a possibilidade de atender as novas tendências de *design* com formatos arredondados, que chapas metálicas não conseguem atender. Além disso, o plástico aumenta o tempo de vida útil dos veículos, já que não enferruja e pode ser fabricado na cor desejada, sem necessidade de pintura, e atende a uma preocupação cada vez mais frequente das companhias com o meio-ambiente. Para a Tecnologia Automotiva Catarinense, TAC, o “carro do futuro”, aquele utilizado no dia a dia, será praticamente descartável, com maior massa plástica. Com a intenção de acompanhar esta tendência a empresa já está fabricando veículos com capôs, para-choques e paralamas de plástico e ainda pesquisando a aplicação do material em outras partes do veículo (ABIMEI, 2009).

Os polímeros têm demonstrado um alto índice de confiabilidade e muitas vantagens sobre os materiais tradicionais que vieram a substituir, tais como o aço, o alumínio e o vidro, por exemplo. Além de permitir maior flexibilidade de projeto e economia na produção, sua baixa densidade é essencial para a redução do consumo de combustíveis, uma vez que a substituição de materiais diversos por cerca de 100kg de plástico, em um carro pesando 1 tonelada, trará uma economia de combustível de 7,5%. Aproximadamente, para 100kg de peças plásticas utilizadas em um veículo, 200 a 300kg de outros materiais deixam de ser consumidos, o que se reflete em seu peso final. Assim, um automóvel, com uma vida útil de 150 mil quilômetros, poderá economizar 750 litros de combustível devido à utilização dos plásticos. Dados norte-americanos informam que, como são produzidos naquele país 15 milhões de carros/ano, quase 20 milhões de litros de gasolina são economizados e 4,7 milhões de toneladas de dióxido de carbono deixam de entrar na atmosfera devido ao uso de peças plásticas (HEMAIS, 2003). A Tabela 8 apresenta as principais vantagens e desvantagens do uso de polímeros nos automóveis em substituição a outros materiais.

Tabela 8 - Vantagens e desvantagens do uso de polímeros nos automóveis em substituição a outros materiais (HEMAIS, 2003)

Vantagens	Desvantagens
Redução de peso	Deterioração por ação térmica e ambiental
Redução de emissão de CO ₂	Inflamabilidade
Redução de custos	Baixa resistência ao impacto
Redução do tempo de produção	Deformação permanente elevada
Menores investimentos em manufatura	Dificuldade de adesão de película de tinta
Aumento da resistência à corrosão	Facilidade de manchas permanentes
Possibilidade de designs mais modernos	Baixa estabilidade dimensional
Formatos mais complexos	
Excelente processabilidade	
Veículos mais silenciosos	
Melhor uso de espaço	
Aumento de segurança	

A reciclagem é essencial para a reutilização dos recursos aplicados durante a vida útil de um automóvel e existe um crescente interesse da indústria automotiva nas atividades relacionadas à proteção ambiental.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho experimental consistiu de uma sequência de atividades, que incluiu a seleção e a preparação das matérias-primas, o processo de mistura, injeção e caracterização das amostras.

Foram obtidas peças injetadas de envoltório de rodas com diferentes concentrações de PP virgem e reciclado. Todas as amostras foram submetidas ao mesmo ciclo no processo de injeção. Para facilitar a compreensão do texto é apresentado um fluxograma de execução das etapas realizadas no presente trabalho, esquematizado na Figura 26, que também mostra de forma resumida as caracterizações realizadas em cada etapa, sendo cada uma descrita nos itens a seguir.

As tarefas deste trabalho foram realizadas em indústria de transformação de plásticos, e os ensaios foram realizados no laboratório de controle qualidade da própria empresa.

3.1 Materiais

Os principais materiais utilizados foram polímeros de PP virgens (PPV1 - Braskem e PPV2 – Quattor), polímeros de PP reciclado (PPR1 – Fornecedor de Reciclado 1, PPR2 – Fornecedor de Reciclado 2, PPR3 – Fornecedor de Reciclado 3 e PPR4 – Fornecedor de Reciclado 4), e concentrados de aditivos denominados *Masterbatches* (MB1 – Fornecedor de *Masterbatch* 1 e MB2 – Fornecedor de *Masterbatch* 2).

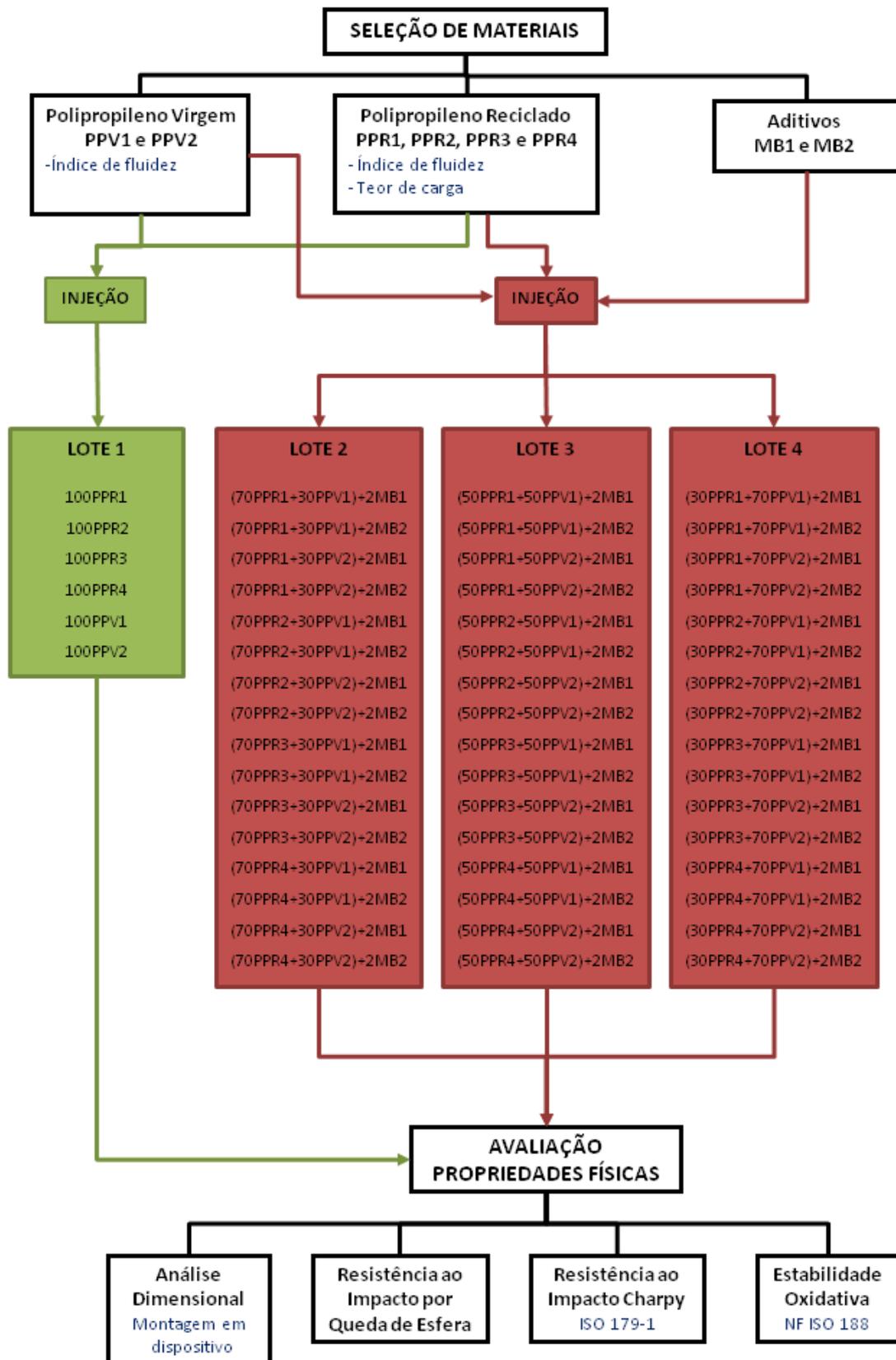


Figura 26 - Fluxograma geral da sequência de etapas realizadas no presente trabalho

3.1.1 Polímero Virgem - Polipropileno

Os polímeros virgens utilizados neste trabalho são PCD0810 (PPR1 – Braskem) e EP440N (PPR2 – Quattor) ambos são copolímeros heterofásicos (polipropileno contendo fase elastomérica de copolímero de eteno-propeno dispersa uniformemente na matriz do homopolímero de PP durante o processo de polimerização), desenvolvidos para processos de moldagem por injeção, possuem alta resistência ao impacto, com índice de fluidez de 12 g/10min. A Figura 27 apresenta os grãos dos PP virgens.



Figura 27 - Grãos de polipropileno virgem

3.1.2 Polímero Reciclado – Polipropileno

Todos os polímeros reciclados/reprocessados presentes neste trabalho foram obtidos por meio da moagem dos materiais de origem, aos quais foram adicionados aditivos para recuperação de parte das propriedades perdidas durante uso/processamento, seguido do processo de extrusão. A Figura 28 apresenta os grãos dos PP reciclados, visualmente todos os quatro tipos de reciclados utilizados são semelhantes.



Figura 28 - Grãos dos polímeros reciclados

3.1.2.1 Reciclado 1 – Fornecedor 1

O polímero reciclado 1 (PPR1 – Fornecedor 1) é um polipropileno reprocessado proveniente de processos não rastreáveis, que possui índice de fluidez de 6 g/10min e teor de carga inferior a 4%.

3.1.2.2 Reciclado 2 – Fornecedor 2

O polímero reciclado 2 (PPR2 – Fornecedor 2) é um polipropileno reprocessado proveniente de processo rastreável, porém tratam-se de materiais de 2º e 3º gerações, que possui índice de fluidez de 10 g/10min e teor de carga inferior a 1%.

3.1.2.3 Reciclado 3 – Fornecedor 3

O polímero reciclado 3 (PPR3 – Fornecedor 3) é um polipropileno reprocessado proveniente de processo rastreável, porém tratam se materiais de 2º e 3º gerações, que possui índice de fluidez de 7,5 g/10min e teor de carga inferior a 3%.

3.1.2.4 Reciclado 4 – Fornecedor 4

O polímero reciclado 4 (PPR4 – Fornecedor 4) é um polipropileno reprocessado com processo rastreável proveniente de materiais de 1º e 2º gerações, possui índice de fluidez de 9 g/10min e teor de carga de 9%.

3.1.3 Aditivos – *Masterbatch*

Os aditivos utilizados possuem como características principais a solidez à luz e elevada dispersão. O polímero utilizado como veículo é um polipropileno de elevado índice de fluidez, que resistem a uma temperatura de processamento de até 300°C, são fornecidos na forma de grânulos.

3.1.3.1 *Masterbatch 1*

O *masterbatch 1* (MB1 – Fornecedor de *masterbatch 1*) possui como características, pigmento tipo negro de fumo, aditivo antioxidante e modificador de impacto. A resina veículo é um polipropileno com índice de fluidez próximo a 30g/10min.

3.1.3.2 *Masterbatch 2*

O *masterbatch 2* (MB2 – Fornecedor de *masterbatch 2*) possui como característica o pigmento tipo negro de fumo. A resina veículo é um polipropileno com índice de fluidez próximo a 35g/10min.

3.1.4 Equipamentos de Processo

3.1.4.1 Dosador

O processo de dosagem é realizado em um dosador volumétrico fornecido pela Plast-Equip, fabricado pela Rax Service, modelo RDV-180/3, com capacidade máxima de 180 kg/h. Pode ser utilizado em processo de injeção, sopro ou extrusão. A Figura 29 apresenta o dosador para mistura e homogeneização dos materiais.



Figura 29 - Dosador para mistura e homogeneização dos materiais

3.1.4.2 Máquina Injetora

O processo de injeção das peças foi realizado em uma injetora ENGEL 2300, modelo ES 16050/2300DUO. Esta injetora possui uma força de fechamento de até 2300 toneladas.

A capacidade do processo de injeção para o envoltório de roda testado foi de 150 kg/h, ou seja, 73 jogos de peças/hora com ciclo de injeção variando de 48 a 50 s. As Figuras 30 (a) e (b) apresentam fotos da máquina injetora.



a) Vista geral da injetora



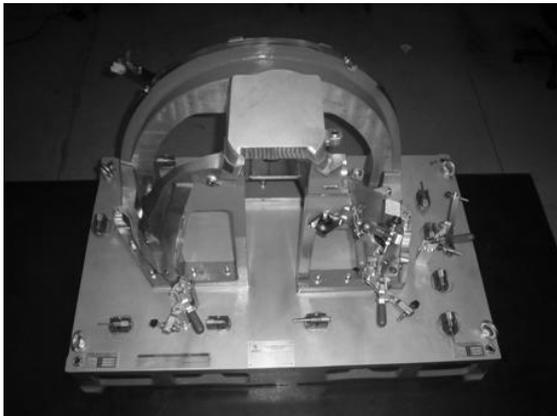
b) Detalhe da unidade de fechamento da injetora

Figura 30. Foto da máquina injetora utilizada para injeção das peças (a) vista geral da máquina injetora e (b) detalhe da unidade de fechamento da máquina injetora

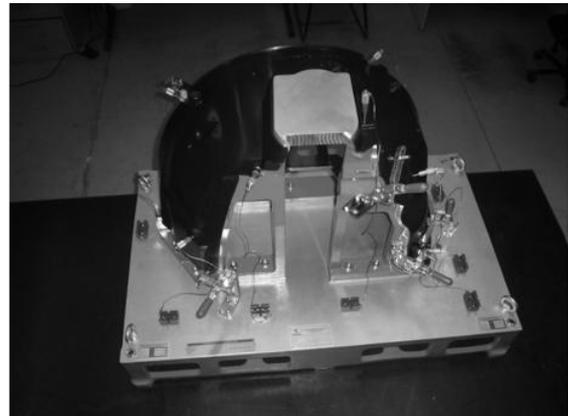
3.1.5 Equipamentos de Ensaio

3.1.5.1 Dispositivo Dimensional

Realizou-se a montagem das peças em dispositivo dimensional, o qual possui as principais fixações da peça. O dispositivo dimensional assemelha-se a um acolhedor, no qual a peça é dimensionada de forma a poder referenciar as dimensões do automóvel. Para este trabalho foi realizada somente o acondicionamento das peças no dispositivo. O principal objetivo foi verificar se os lotes testados apresentavam variação dimensional, quando comparados com as peças produzidas com o polipropileno inicialmente homologado. A Figura 31 apresenta um exemplo de dispositivo dimensional: a) sem a peça e b) com a peça montada.



a) Sem peça



b) Com a peça montada

Figura 31 - Exemplo de dispositivo dimensional

3.1.5.2 Equipamento de Queda de Esfera

Realizou-se o ensaio de queda de esfera em um dispositivo com altura de queda entre de 300mm a 650mm, e esferas com massas entre de 400g a 2000g, ou seja, com uma capacidade de energia de 1,4J à 13J. O equipamento de queda de esfera está representado na Figura 32.



Figura 32 - Equipamento de queda de esfera

3.1.5.3 Câmara Fria

Para o ensaio de resistência ao impacto por queda de esfera é necessário armazenamento dos corpos-de-prova em câmara fria. A câmara fria utilizada é da marca TECFOLD modelo SE4782-SS com capacidade de resfriamento de -5°C à -55°C e resolução de 1°C . A Figura 33 apresenta a imagem da câmara fria.



Figura 33 - Câmara fria

3.1.5.4 Equipamento de Impacto Charpy

Realizou-se a medida de Resistência ao Impacto Charpy a 23°C em corpos de prova retirados dos envoltórios de roda, em aparelho para ensaio de impacto em plásticos modelo AIC analógico da EMIC, com faixa de medição de 0 a 15J com resolução de 0,01J de acordo com a norma DIN EN ISO 179-1 (*Plastics – Determination of Charpy impact properties – Part1: Non-instrumented impact test*). A Figura 34 apresenta o equipamento de ensaio de Impacto Charpy.



Figura 34 - Equipamento de ensaio de Impacto Charpy

3.1.5.5 Entalhadeira

Realizou-se o entalhe nos corpos de prova de Impacto Charpy com uma entalhadeira da EMIC modelo PME/03 com capacidade de 0,02mm a 10mm e resolução de 0,02mm. A Figura 35 apresenta a entalhadeira utilizada para realização dos entalhes nos corpos de prova de Impacto Charpy.

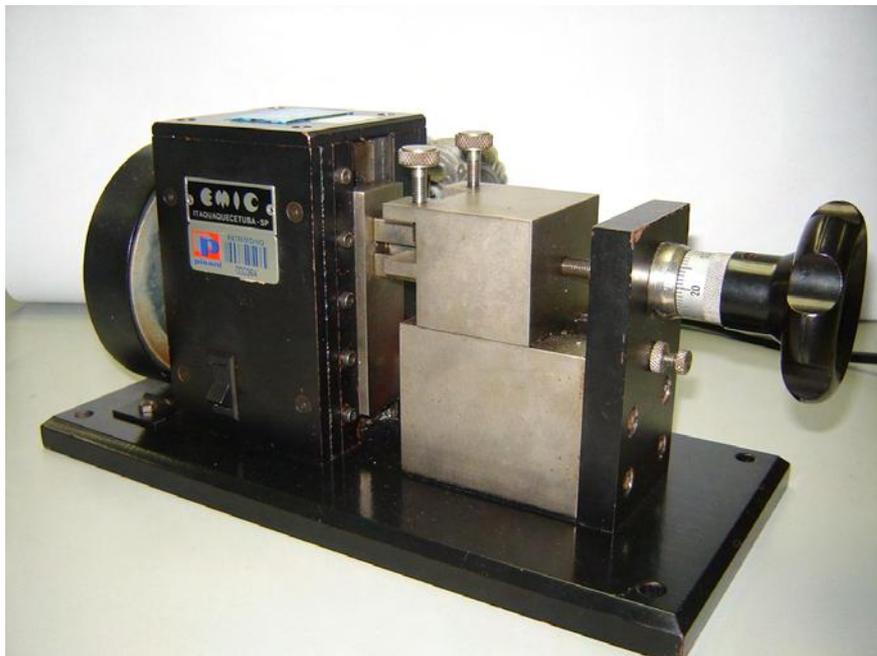


Figura 35 - Entalhadeira utilizada para realização dos entalhes nos corpos-de-prova de Impacto Charpy

3.1.5.6 Estufa Com Ar Circulante

O ensaio de estabilidade oxidativa foi realizado em uma estufa com ar circulante da marca Tecnipar modelo 06 série II com capacidade para operar de 30°C a 180°C e resolução de 1°C. A Figura 36 apresenta a estufa com ar circulante utilizada para os ensaios de estabilidade termooxidativa.



Figura 36 - Estufa com ar circulante

3.1.5.7 Plastômetro

Realizou-se o ensaio de Índice de Fluidez em um plastômetro da marca EMIC modelo IFT 315 conforme norma DIN EN ISO 1133 (*Determination of the melt mass-flow rate (MFR) and the melt volume-flow rate (MVR) of thermoplastics*) com capacidade do cronômetro de até 100s e resolução de 1s e com capacidade de temperatura de 100°C a 300°C resolução de 0,1°C. A Figura 37 apresenta o plastômetro utilizado.



Figura 37 - Plastômetro

3.1.5.8 Mufla

Realizou-se o ensaio de teor de carga em uma mufla da Quimis modelo Q-318M21 com capacidade de operar de 20°C a 1200°C e resolução de 1°C. A Figura 38 apresenta a mufla utilizada para os ensaios de teor de carga (calcinação).



Figura 38 - Mufla

3.2 Metodologia

3.2.1 Ensaio de Recebimento dos Materiais

No ato do recebimento do material os mesmos foram submetidos à testes de recebimento, os quais têm a finalidade de averiguar a qualidade do material. Os testes de recebimento consistem em: Índice de Fluidez e Teor de Carga.

3.2.1.1 Índice de Fluidez

Esta é uma análise indireta, que objetiva dar uma ideia da massa molar média dos polímeros avaliados, quanto maior o índice de fluidez de um polímero menor será sua massa molar. A análise baseia-se na extrusão da amostra através de um orifício de comprimento e diâmetro determinados, sob condições estáveis de temperatura e pressão de extrusão. O resultado depende diretamente da massa de amostra que escoar em um determinado intervalo de tempo.

Para esta análise o equipamento utilizado é um Plastômetro de extrusão da marca CEAST (apresentado no item 3.1.5.7). O ensaio de índice de fluidez foi realizado conforme norma DIN EN ISO 1133 (*Determination of the melt mass-flow rate (MFR) and the melt volume-flow rate (MVR) of thermoplastics*), com temperatura controlada a 230°C e com um peso de 2,16kg. O resultado é expresso em g de polipropileno (PP) que passam pelo orifício do plastômetro durante 10 minutos (g/10min).

3.2.1.2 Teor de Carga

O ensaio de teor de carga ou cinzas foi realizado conforme norma ISO 3451-1 (*Plastics – Determination of ash – Part 1: General methods*). O método utilizado foi o de calcinação direta, o qual consiste na queima do polímero a uma determinada temperatura e

por um intervalo de tempo, restando um resíduo, denominado de carga (aditivos adicionados para melhorar as propriedades do polímero). O ensaio foi realizado utilizando-se uma mufla (apresentada no item 3.1.5.8). Para determinação da carga dos polipropilenos reciclados, pesaram-se as amostras dos polímeros e acondicionando-as em cadinhos de porcelana, as quais foram mantidas em uma temperatura de 600°C por 40min. Após a queima pesou-se o cadinho com o resíduo, efetuou-se o cálculo do teor de carga, dividindo o peso da cinza pelo peso inicial da amostra. O resultado de teor de carga é expresso em % (porcentagem), e não tem caráter qualitativo.

3.2.2 Dosagem

O processo de mistura é automatizado, consiste em um equipamento de dosagem/homogeneização (apresentado no item 3.1.4.1), que por meio de um sistema de sucção puxa os 3 materiais: polipropileno virgem, polipropileno reciclado e *masterbatch*, para dentro do equipamento. Faz-se então a homogeneização dos três materiais. As misturas são realizadas por batelada, porém o equipamento é capaz de trabalhar em processo contínuo com alimentação direta na injetora. Realizou-se uma calibração no equipamento, a qual tem o objetivo de ajustar as porcentagens desejadas de cada material, conforme proporções definidas. Os materiais são então dosados simultaneamente conforme ajustes estabelecidos. O misturador mecânico homogeneiza a mistura. Um sensor de nível verifica se a câmara do misturador está cheia. Se estiver, o dosador aguarda até a redução do nível. Neste caso o misturador atua a intervalos de tempo regulares, prevenindo a separação por decantação ou vibração. Se o nível estiver baixo, novo ciclo de dosagem é executado e assim sucessivamente até que se abasteça completamente a máquina. Para o presente trabalho, cada lote misturado continha 51kg.

3.2.3 Misturas Testadas

Testou-se 54 misturas diferentes, e todas estão apresentadas no fluxograma apresentado na Figura 26, não realizou-se nenhum estudo para determinação das porcentagens

utilizadas. Denominou-se as misturas conforme a porcentagem de cada polímero reciclado, polímero virgem e *masterbatch* contidos em sua composição. Por exemplo, a amostra (70PPR1+30PPV1)+2MB1, constituía-se de 70% de polímero reciclado R1, 30% do polímero virgem V1, e 2% do *masterbatch* MB1. A porcentagem de *masterbatch* é calculada sobre o peso total da mistura de resina virgem e reciclada. A Figura 39 apresenta a aparência final do composto, onde os pontos brancos é o polipropileno virgem e os pontos pretos são representados pelo polipropileno reciclado e *masterbatch*. A Tabelas 9, 10, 11 e 12 apresentam todas as misturas testadas.



Figura 39 - Aparência da mistura final, polipropileno virgem (pontos brancos), polipropileno reciclado (pontos pretos) e *masterbatch* (pontos pretos)

Tabela 9 - Apresentação das Amostras do Lote 1, com 100% de polímero virgem ou 100% de polímero reciclado

Mistura	% de PP Reciclado	% de PP Virgem	% de <i>Masterbatch</i>
100PPR1	100 PPR1	-	0
100PPR2	100 PPR2	-	0
100PPR3	100 PPR3	-	0
100PPR4	100 PPR4	-	0
100PPV1	-	100 PPV1	0
100PPV2	-	100 PPV1	0

Tabela 10 - Apresentação das Amostras do Lote 2

Mistura	% de PP Reciclado	% de PP Virgem	% de <i>Masterbatch</i>
(70PPR1+30PPV1)+2MB1	70 PPR1	30 PPV1	2 MB1
(70PPR1+30PPV1)+2MB2	70 PPR1	30 PPV1	2 MB2
(70PPR1+30PPV2)+2MB1	70 PPR1	30 PPV2	2 MB1
(70PPR1+30PPV2)+2MB2	70 PPR1	30 PPV2	2 MB2
(70PPR2+30PPV1)+2MB1	70 PPR2	30 PPV1	2 MB1
(70PPR2+30PPV1)+2MB2	70 PPR2	30 PPV1	2 MB2
(70PPR2+30PPV2)+2MB1	70 PPR2	30 PPV2	2 MB1
(70PPR2+30PPV2)+2MB2	70 PPR2	30 PPV2	2 MB2
(70PPR3+30PPV1)+2MB1	70 PPR3	30 PPV1	2 MB1
(70PPR3+30PPV1)+2MB2	70 PPR3	30 PPV1	2 MB2
(70PPR3+30PPV2)+2MB1	70 PPR3	30 PPV2	2 MB1
(70PPR3+30PPV2)+2MB2	70 PPR3	30 PPV2	2 MB2
(70PPR4+30PPV1)+2MB1	70 PPR4	30 PPV1	2 MB1
(70PPR4+30PPV1)+2MB2	70 PPR4	30 PPV1	2 MB2
(70PPR4+30PPV2)+2MB1	70 PPR4	30 PPV2	2 MB1
(70PPR4+30PPV2)+2MB2	70 PPR4	30 PPV2	2 MB2

Tabela 11 - Apresentação das Amostras do Lote 3

Mistura	% de PP Reciclado	% de PP Virgem	% de <i>Masterbatch</i>
(50PPR1+50PPV1)+2MB1	50 PPR1	50 PPV1	2 MB1
(50PPR1+50PPV1)+2MB2	50 PPR1	50 PPV1	2 MB2
(50PPR1+50PPV2)+2MB1	50 PPR1	50 PPV2	2 MB1
(50PPR1+50PPV2)+2MB2	50 PPR1	50 PPV2	2 MB2
(50PPR2+50PPV1)+2MB1	50 PPR2	50 PPV1	2 MB1
(50PPR2+50PPV1)+2MB2	50 PPR2	50 PPV1	2 MB2
(50PPR2+50PPV2)+2MB1	50 PPR2	50 PPV2	2 MB1
(50PPR2+50PPV2)+2MB2	50 PPR2	50 PPV2	2 MB2
(50PPR3+50PPV1)+2MB1	50 PPR3	50 PPV1	2 MB1
(50PPR3+50PPV1)+2MB2	50 PPR3	50 PPV1	2 MB2
(50PPR3+50PPV2)+2MB1	50 PPR3	50 PPV2	2 MB1
(50PPR3+50PPV2)+2MB2	50 PPR3	50 PPV2	2 MB2
(50PPR4+50PPV1)+2MB1	50 PPR4	50 PPV1	2 MB1
(50PPR4+50PPV1)+2MB2	50 PPR4	50 PPV1	2 MB2
(50PPR4+50PPV2)+2MB1	50 PPR4	50 PPV2	2 MB1
(50PPR4+50PPV2)+2MB2	50 PPR4	50 PPV2	2 MB2

Tabela 12 - Apresentação das Amostras do Lote 4

Mistura	% de PP Reciclado	% de PP Virgem	% de Masterbatch
(30PPR1+70PPV1)+2MB1	30 PPR1	70 PPV1	2 MB1
(30PPR1+70PPV1)+2MB2	30 PPR1	70 PPV1	2 MB2
(30PPR1+70PPV2)+2MB1	30 PPR1	70 PPV2	2 MB1
(30PPR1+70PPV2)+2MB2	30 PPR1	70 PPV2	2 MB2
(30PPR2+70PPV1)+2MB1	30 PPR2	70 PPV1	2 MB1
(30PPR2+70PPV1)+2MB2	30 PPR2	70 PPV1	2 MB2
(30PPR2+70PPV2)+2MB1	30 PPR2	70 PPV2	2 MB1
(30PPR2+70PPV2)+2MB2	30 PPR2	70 PPV2	2 MB2
(30PPR3+70PPV1)+2MB1	30 PPR3	70 PPV1	2 MB1
(30PPR3+70PPV1)+2MB2	30 PPR3	70 PPV1	2 MB2
(30PPR3+70PPV2)+2MB1	30 PPR3	70 PPV2	2 MB1
(30PPR3+70PPV2)+2MB2	30 PPR3	70 PPV2	2 MB2
(30PPR4+70PPV1)+2MB1	30 PPR4	70 PPV1	2 MB1
(30PPR4+70PPV1)+2MB2	30 PPR4	70 PPV1	2 MB2
(30PPR4+70PPV2)+2MB1	30 PPR4	70 PPV2	2 MB1
(30PPR4+70PPV2)+2MB2	30 PPR4	70 PPV2	2 MB2

3.2.4 Moldagem por Injeção

As peças foram produzidas por meio do processo de moldagem por injeção que consiste essencialmente no amolecimento do material num cilindro aquecido (aproximadamente 210°C), e sua consequente injeção sob alta pressão para o interior de um molde relativamente frio (aproximadamente 60°C), onde endurece e toma a forma final. A

peça moldada é então expelida do molde por meio dos pinos extratores. Um ciclo completo de injeção consiste das operações seguintes:

- 1- Dosagem do material plástico granulado no cilindro de injeção;
- 2- Fusão do material até a consistência de injeção;
- 3- Injeção do material plástico fundido no molde fechado;
- 4- Resfriamento do material plástico até a solidificação;
- 5- Extração do produto com o molde aberto.

Durante o processamento das peças que foram injetadas em diferentes combinações de mistura evitou-se alterações dos parâmetros de máquina com o objetivo de evitar efeitos na qualidade do produto moldado ocasionados pelas condições de processamento. É de conhecimento que as propriedades físicas de peças plásticas moldadas por injeção estão diretamente ligadas ao processamento. A Figura 40 apresenta a esquematicamente uma máquina injetora.

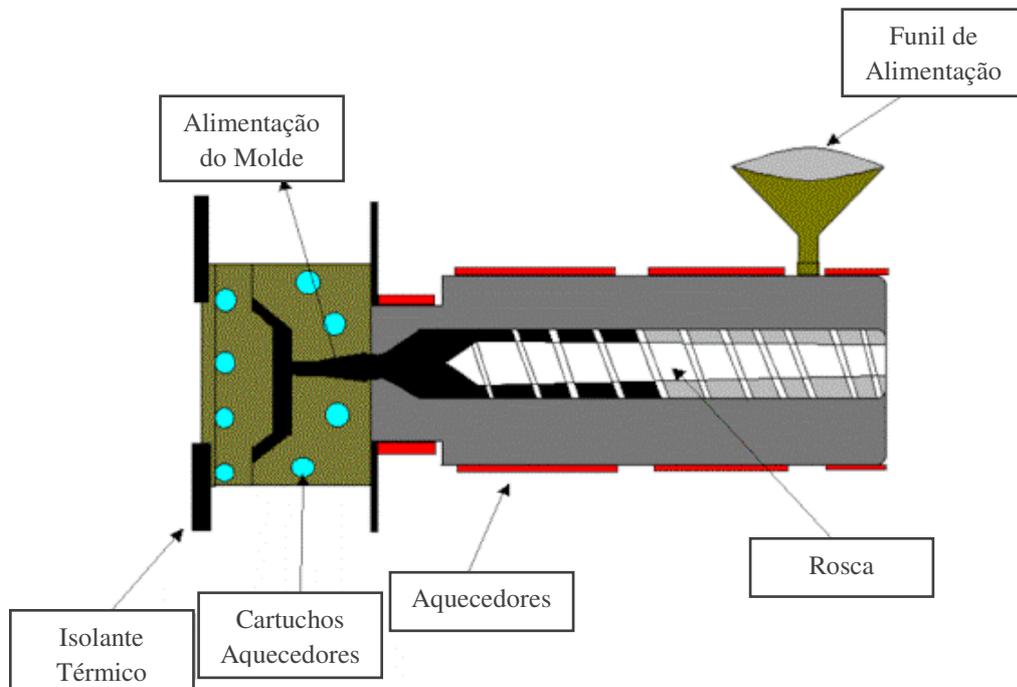


Figura 40 - Esquematização da máquina injetora

3.2.5 Preparação das peças – Envoltórios de Rodas

As peças injetadas estão representadas na Figura 41 (a) e (b), o peso médio de um conjunto de peças está entre 2010g e 2050g. Cada injetada produz duas peças: uma peça do lado esquerdo e uma peça do lado direito. A espessura da peça não é uniforme e pode variar de 1,8mm a 2mm.

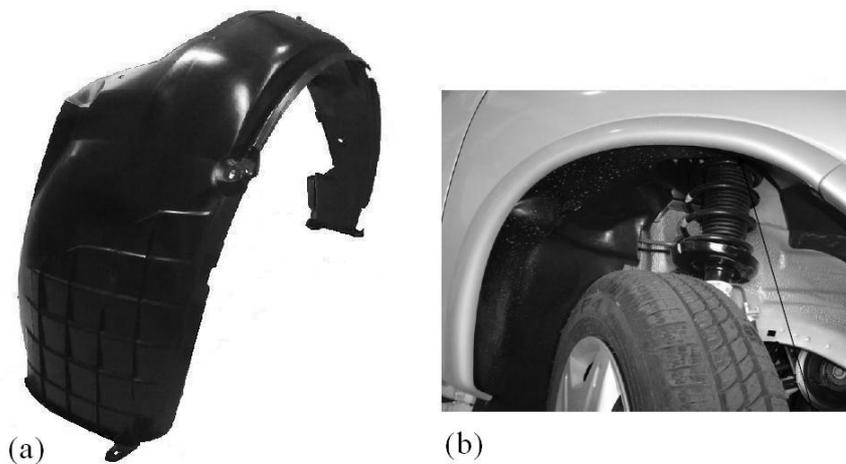


Figura 41 - Envoltório de roda (a), localização da peça no automóvel (b)

3.2.6 Caracterização Física

3.2.6.1 Análise Dimensional

Análise dimensional consiste na avaliação do tamanho da peça, após o resfriamento até temperatura ambiente. O polipropileno apresenta contração após moldagem em torno de 1,0% a 3,0%, porém as condições de temperatura (aquecimento e resfriamento) do processo de injeção interferem na contração. Polímeros reciclados tendem a ter uma contração maior quando comparado ao seu polímero virgem. Montaram-se as peças obtidas em um dispositivo dimensional, semelhante ao mostrado no item 3.1.5.1. Uma montagem deve ocorrer sem restrições, com alinhamento entre os orifícios da peça injetada e o dispositivo (gabarito),

analisado por meio de um pino centralizador (Figura 42). Realizou-se a avaliação da análise dimensional de três peças de cada lote injetado, segundo os seguintes critérios abaixo:

- a) Monta sem restrições: A peça encaixa no dispositivo sem forçar a montagem nos pontos de fixações;
- b) Monta com restrições: A peça encaixa no dispositivo, porém a montagem nos pontos de fixações é forçada;
- c) Não monta: A peça é menor que o dispositivo e não encaixa nas fixações.

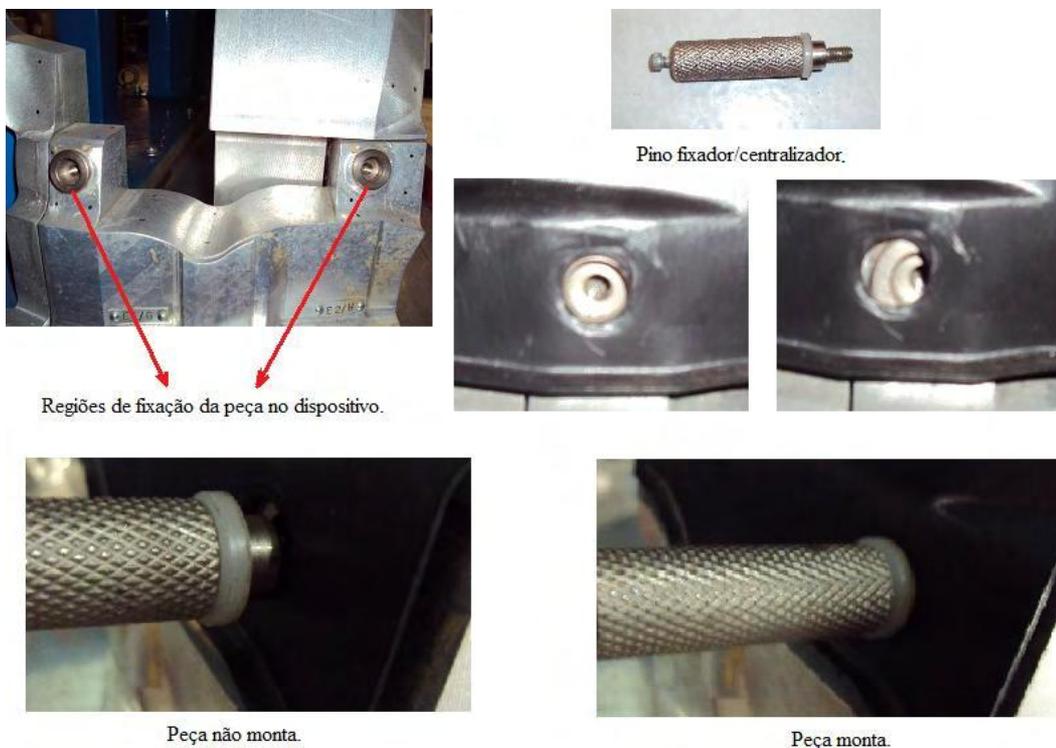


Figura 42 - Detalhamento do ponto de fixação para realização da análise dimensional

3.2.6.2 Resistência ao Impacto por Queda de Esfera

Este método de ensaio tem o objetivo de determinar a resistência ao impacto de peças fabricadas em polímeros em diversas temperaturas e solicitações de energia. O ensaio consiste no impacto de uma esfera, largada de uma determinada altura, sobre a amostra a ser ensaiada.

As peças foram acondicionados na câmara fria (apresentada no item 3.1.5.3), a uma temperatura de -30°C por 4h antes do ensaio. Utilizou-se o equipamento de queda de esfera (apresentado no item 3.1.5.2). A energia de impacto mínima requerida para envoltórios de roda é de 5J, a qual é determinada pela equação [12]:

$$E = m \cdot g \cdot h \quad [12]$$

Onde:

E - energia em J

m – massa da esfera em kg

g – aceleração da gravidade m/s^2 (adota-se 10 m/s^2)

h – altura de queda da esfera.

Utilizou-se uma esfera com massa igual a 1000g e a altura de queda igual a 500mm. Após o acondicionado das peças na câmara fria, retirou-se a peça, e imediatamente foi submetida ao impacto. A peça foi acondicionada na base do equipamento. Com o auxílio de um aparador fixou-se a esfera na altura desejada, quando o aparador foi retirado a esfera movimenta-se em queda livre. Foram analisadas 5 peças de cada lote injetado. A Figura 43 mostra esquematicamente o ensaio de resistência ao impacto por queda de esfera.

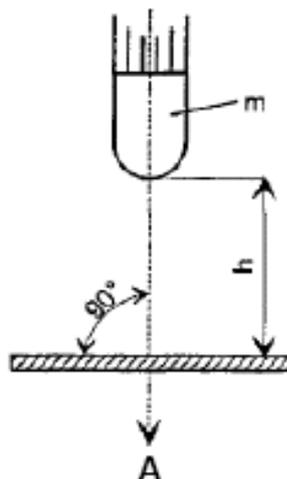


Figura 43 - Ilustração do ensaio de resistência ao impacto por queda de esfera

O resultado do ensaio é classificado em três situações:

- a) Sem quebra: o corpo-de-prova não apresenta quebra após o ensaio;
- b) Com fissuras: o corpo-de-prova apresenta fissuras que são detectadas a olho nu e não há desprendimento de material do corpo-de-prova; e
- c) Com quebra: o corpo-de-prova sofre estilhaçamento.

Figura 44 apresenta ilustrações dos corpos de prova após o ensaio: (a) sem quebra, (b) com fissura e (c) com quebra.

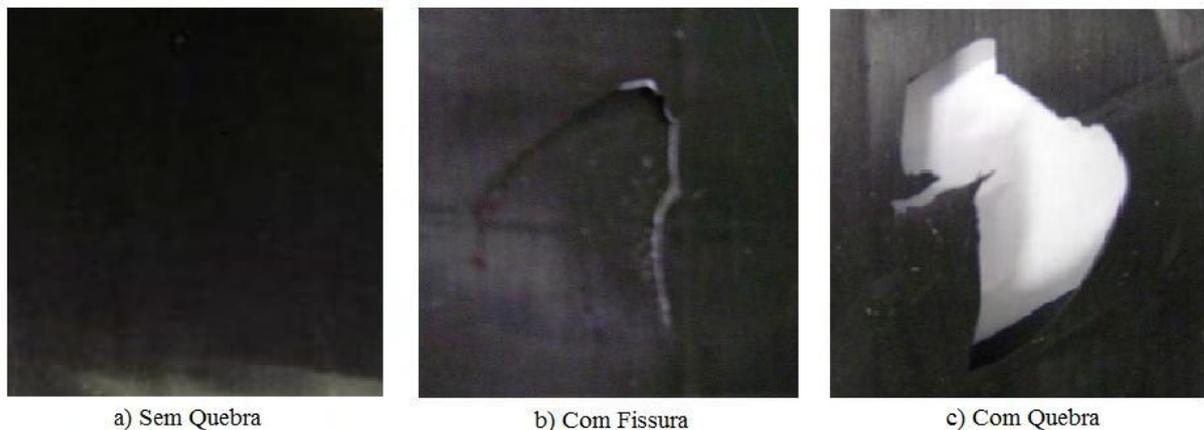


Figura 44 - Teste de resistência ao impacto de esfera: (a) sem quebra, (b) com fissura e (c) com quebra

3.2.6.3 Resistência ao Impacto Charpy

A determinação de resistência ao Impacto Charpy com entalhe foi realizada conforme norma DIN EN ISO 179-1 (*Plastics – Determination of Charpy impact properties – Part1: Non-instrumented impact test*). Contudo as dimensões do corpo-de-prova utilizado não foram as normatizadas. Utilizaram-se corpos-de-prova retirados da peça injetada com comprimento de (50 ± 1) mm, largura de $(6 \pm 0,2)$ mm e espessura correspondente a espessura do produto e não as definidas pela norma. Realizou-se o ensaio com equipamento de ensaio de resistência ao impacto Charpy apresentado no item 3.1.5.4. A distância entre apoios foi de 400mm e o pêndulo utilizado foi de 4J.

Os corpos-de-prova foram preparados com um entalhe em forma de U de 0,8mm de largura no lado largo. A profundidade do entalhe deve ser de 1/3 da espessura do corpo de prova. Realizou-se o entalhe nos corpos-de-prova com o equipamento apresentado no item 3.1.5.5. Realizou-se o ensaio com 5 corpos-de-prova de cada lote injetado. A Figura 45 apresenta esquematicamente o corpo de prova utilizado para o ensaio de resistência ao impacto Charpy.

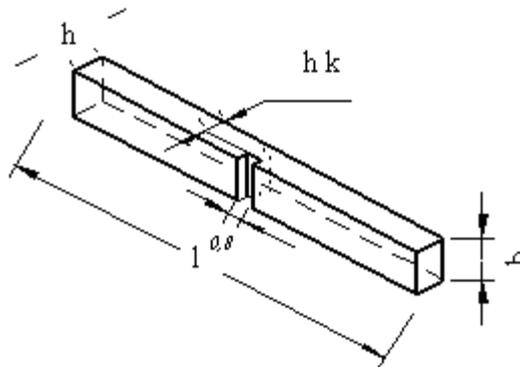


Figura 45 - Ilustração do corpo de prova utilizado para o ensaio de resistência ao impacto Charpy

3.2.6.4 Estabilidade Termooxidativa

Realizou-se o ensaio de estabilidade termooxidativa, conforme ISO 188 (*Rubber, vulcanized or thermoplastic – Accelerated ageing and heat resistance tests*). A peça foi exposta a uma temperatura de 150°C. A temperatura de ensaio foi determinada por procedimentos de ensaio da indústria automotiva, com a finalidade de determinar qual o período de tempo que a peça resistiria até apresentar a degradação típica do PP (trincas, fissuras e escamações da superfície). A falha é determinada por inspeção visual a olho nú. A oxidação do polipropileno geralmente ocorre na superfície. Acondicionaram-se as amostras em estufa com ar circulante (apresentada no item 3.1.5.6) a uma temperatura de 150°C. As amostras foram analisadas diariamente, e quando apresentavam sinais de degradação, o ensaio foi finalizado e registrado o período de residência da estufa. O período mínimo desejável até a degradação das peças de envoltório de rodas é de 200h, conforme determinado em normas de ensaios da indústria automotiva.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados da avaliação das propriedades físicas dos lotes 1 a 4 conforme descritos no fluxograma da Figura 26.

4.1 Peças injetadas

A Figura 46 apresenta uma fotografia de uma peça obtida pelo processo de moldagem por injeção, em três vistas: (a) vista superior, (b) vista frontal e (c) vista lateral. Pode-se observar que a peça obtida não apresenta descontinuidades, linhas de emendas; estas caracterizadas por juntas frias durante o processo de injeção ou falhas que poderiam vir a interferir nos resultados das avaliações das propriedades físicas ou funcionais da peça.

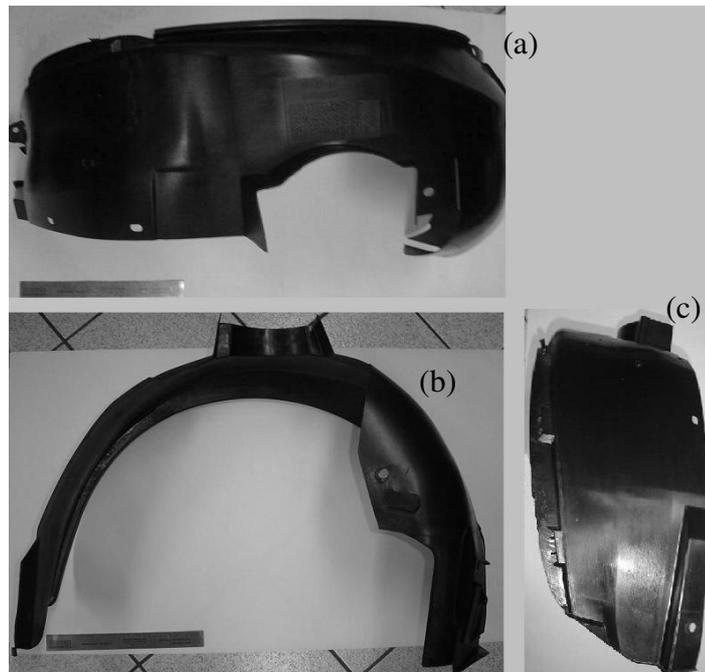


Figura 46 - Fotografia da peça obtida pelo processo de moldagem por injeção. (a) vista superior, (b) vista frontal e (c) vista lateral

4.2 Ensaio de Recebimento dos Materiais

Os ensaios de recebimento de materiais envolvem a determinação do índice de fluidez e do teor de carga, com o objetivo de avaliar a qualidade do material para ser liberado para o processo de produção, e são descritos a seguir.

4.2.1 Índice de Fluidez

O conhecimento do índice de fluidez permite avaliar o grau de homogeneização da mistura durante a fase de injeção, pois quanto mais próximos os valores de índice de fluidez entre os componentes da mistura, maior a facilidade de obter-se um produto homogeneizado, ou seja, menor a possibilidade de formação de regiões na superfície da peça contendo somente polímero reciclado, ou polímero virgem. A Tabela 13 mostra os valores de índice de fluidez, onde é possível observar que os polímeros virgens possuem valores próximos (PPV1 = 12,4g/10min e PPV2 = 12,7g/10min) e os polímeros reciclados possuem valores menores que os apresentados para os polímeros virgens (PPR1 = 5,02g/10min; PPR2 = 4,58g/10min; PPR3 = 5,50g/10min; PPR4 = 8,20g/10min). As diferenças de índice de fluidez apresentadas entre os polímeros virgens e reciclados, que pode chegar até 2,7 vezes para o caso limite (PPV2 e PPR2), interferem na homogeneização da mistura durante o processo de injeção.

Tabela 13 - Resultado dos ensaios de recebimento: Índice de Fluidez (MFI) para os materiais

Matéria Prima	MFI (g/10min) informado pelo fornecedor	MFI (g/10min) encontrado no ensaio de recebimento
PPV1	12,0	12,4
PPV2	12,0	12,7
PPR1	6,00	5,02
PPR2	10,0	4,58
PPR3	7,50	5,50
PPR4	9,00	8,20
MB1	30,0 (veículo)	Não Aplicável
MB2	35,0 (veículo)	Não Aplicável

4.2.2 Teor de Carga

Os materiais utilizados na fabricação de envoltórios de roda, normalmente não utilizam polímeros com carga mineral, pois tratam-se de peças com baixo peso, e em se tratando de peças automotivas, a carga mineral é agregada para redução do custo da matéria-prima. Porém na utilização de um polímero reciclado, há possibilidade de utilização de carga mineral, pois a disponibilidade no mercado de material reciclado contendo carga mineral é superior em relação ao material reciclado sem carga mineral. A adição de carga mineral nos materiais poliméricos tem como principal finalidade diminuir o custo final do polímero, porém pode também auxiliar na estabilidade dimensional do produto final, visto que polímeros que contém carga mineral possuem maior restrição a contração. A Tabela 14 mostra os valores obtidos de teor de carga, onde os polímeros PPR1, PPR2 e PPR3 podem ser classificados como contaminados, pois possuem de 2,00% a 3,57% de resíduos, sendo que resíduo predominante é o negro de fumo (pigmento). O polímero PPR4 foi escolhido neste estudo para avaliar o comportamento da peça injetada utilizando carga mineral (não é costume da indústria automotiva utilizar polímeros aditivados com cargas minerais para fabricação de envoltórios de rodas) em porcentagem elevada em sua composição (>9,00%), visto que há uma maior disponibilidade no mercado de um polímero reciclado com carga mineral, que é o segundo fator mais importante na utilização de reciclados, ficando atrás somente do fator qualidade do reciclado.

Tabela 14 - Resultado dos ensaios de recebimento: Índice de Fluidez e Teor de Carga para os materiais

Matéria Prima	Teor de Carga (%) informado pelo fornecedor	Teor de Carga (%) encontrado no ensaio de recebimento
PPV1	0,00	Não Aplicável
PPV2	0,00	Não Aplicável
PPR1	> 4,00	2,00
PPR2	> 1,00	3,57
PPR3	> 3,00	2,98
PPR4	7,00 a 11,0	9,40
MB1	Não Aplicável	Não Aplicável
MB2	Não Aplicável	Não Aplicável

4.3 Ensaio de Análise Dimensional

O gráfico da Figura 47 apresenta os resultados do ensaio de análise dimensional dos lotes com 100% de polipropileno reciclado (PPR1, PPR2, PPR3 e PPR4) e virgem (PPV1 e PPV2). Pode-se observar que os lotes PPR1, PPR2 e PPR3 não montaram, ou seja, devido a contração da peça após a moldagem por injeção, os furos ficaram deslocados, dificultando o alinhamento. O lote PPR4 apresentou montagem com restrições e os lotes PPV1 e PPV2 montaram sem restrições. Os lotes PPV1 e PPV2 montaram sem restrições, pois para a construção das cavidades do molde a contração dos materiais virgens PPV1 e PPV2 é levada em consideração no projeto dimensional do molde. Dentre os lotes reciclados, somente o lote PPR4 apresentou montagem com restrições, mostrando que a presença de carga mineral auxilia na estabilidade dimensional do polímero, o que não ocorreu com os lotes PPR1, PPR2 e PPR3.

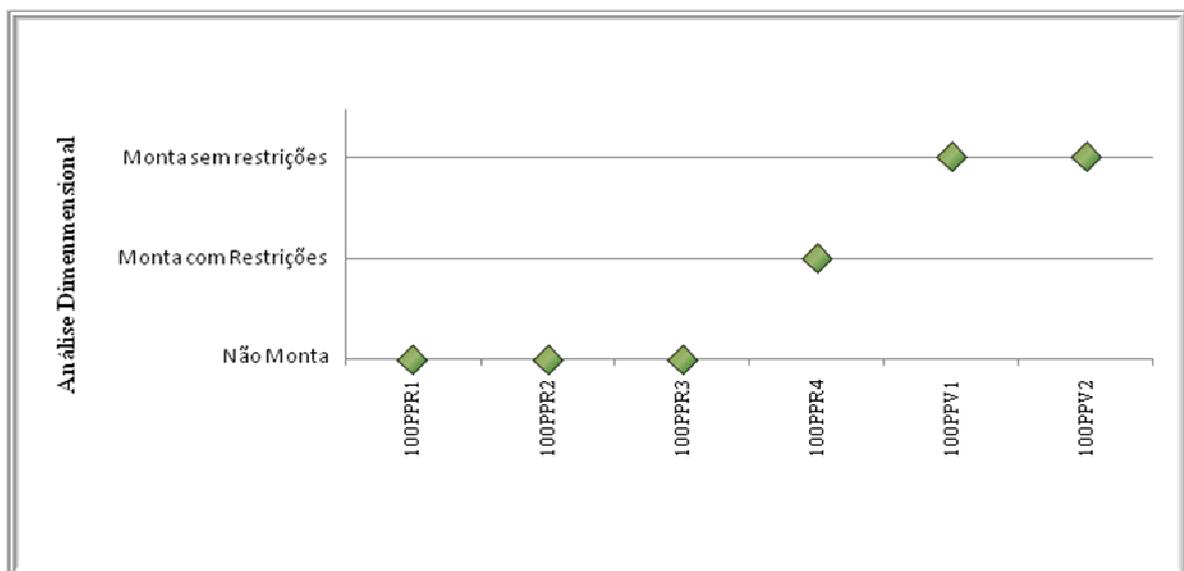


Figura 47 - Resultado do ensaio de análise dimensional dos lotes com 100% de polipropileno reciclado (PPR1, PPR2, PPR3 e PPR4) e virgem (PPV1 e PPV2)

Um polímero reciclado tende a sofrer uma contração maior que um polímero virgem, devido à dificuldade de compactação do material durante o processo de injeção, gerando peças com porosidade. Além disso, com o resfriamento da peça, à temperatura ambiente também ocorre contração. Na maioria das vezes não é possível determinar a contração de

polímeros reciclados, devido à falta de informação das propriedades do polímero virgem que originou o reciclado. Sendo assim, poderão ocorrer maiores variações lote a lote das propriedades do polímero reciclado final. A utilização de carga mineral visando melhorar a estabilidade dimensional é um parâmetro importante para obter peças que montam com e sem restrições.

A Figura 48 apresenta os resultados do ensaio de análise dimensional dos lotes com misturas de 30% de polipropileno reciclado (PPR1, PPR2, PPR3 e PPR4), 70% virgem (PPV1 e PPV2) e 2% de *masterbatch* (MB1 e MB2). Pode-se observar a qualidade inferior do PPR1, no quesito análise dimensional, que mesmo misturado com 70% de polipropileno virgem (primeiros 4 pontos do gráfico) monta com restrições, não atendendo a especificação de montagem no dispositivo dimensional de forma satisfatória.

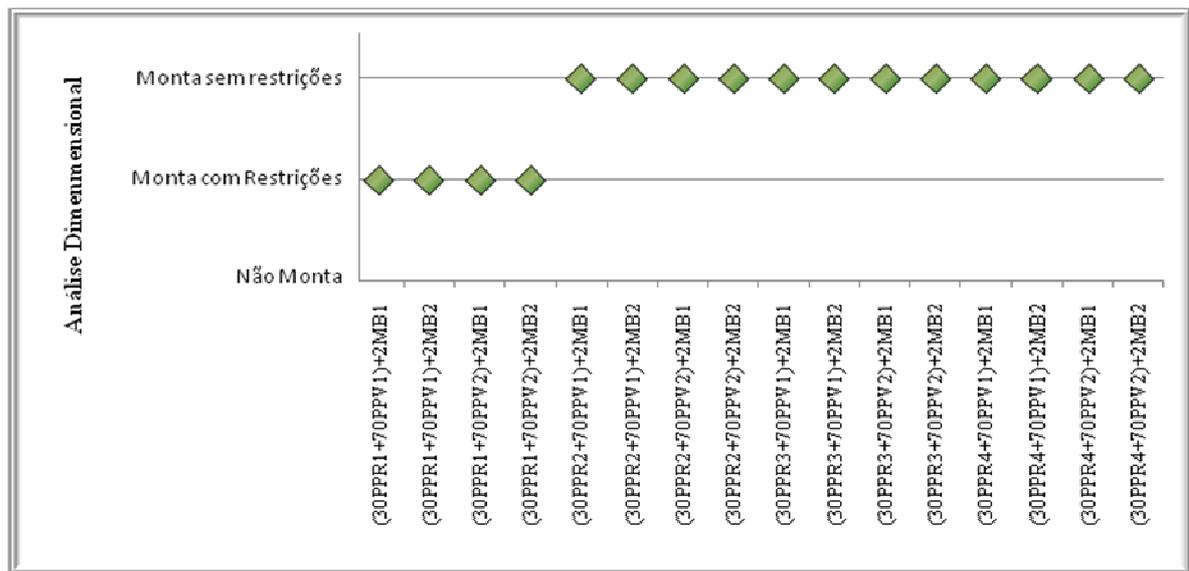


Figura 48 - Resultado do ensaio de análise dimensional dos lotes com misturas de 30% de polipropileno reciclado (PPR1, PPR2, PPR3 e PPR4), 70% virgem (PPV1 e PPV2) e 2 % de *masterbatch* (MB1 e MB2)

A Figura 49 apresenta o resultado do ensaio de análise dimensional dos lotes com misturas de 50% de polipropileno reciclado (PPR1, PPR2, PPR3 e PPR4), 50% virgem (PPV1 e PPV2) e 2 % de *masterbatch* (MB1 e MB2). A Figura 50 apresenta o resultado do ensaio de análise dimensional dos lotes com misturas de 70% de polipropileno reciclado (PPR1, PPR2, PPR3 e PPR4), 30% virgem (PPV1 e PPV2) e 2 % de *masterbatch* (MB1 e MB2). Neste gráfico pode-se observar a superioridade do polipropileno reciclado PPR4 em relação aos

recicladados PPR1, PPR2 e PPR3. Pode-se afirmar que, no caso das amostras com 70% de reciclado para o ensaio de análise dimensional os polímeros podem ser classificadas da seguinte forma: PPR4 é melhor que o PPR3, que por sua vez é igual ao PPR2, os quais são melhores que o PPR1, ou seja: $PPR4 > PPR3 = PPR2 > PPR1$.

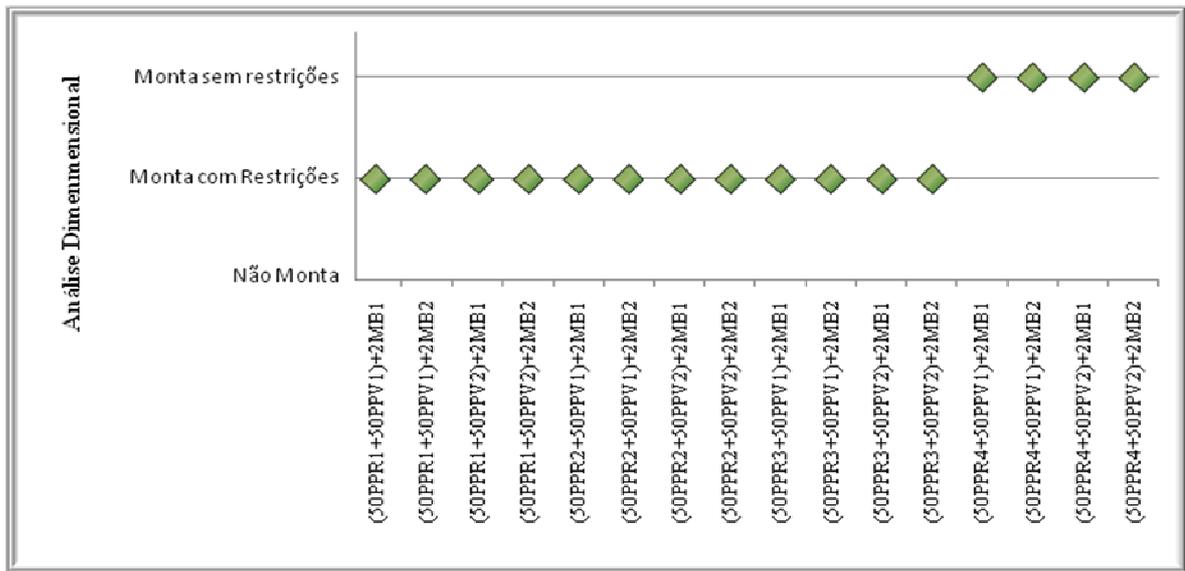


Figura 49 - Resultado do ensaio de análise dimensional dos lotes com misturas de 50% de polipropileno reciclado (PPR1, PPR2, PPR3 e PPR4), 50% virgem (PPV1 e PPV2) e 2 % de *masterbatch* (MB1 e MB2)

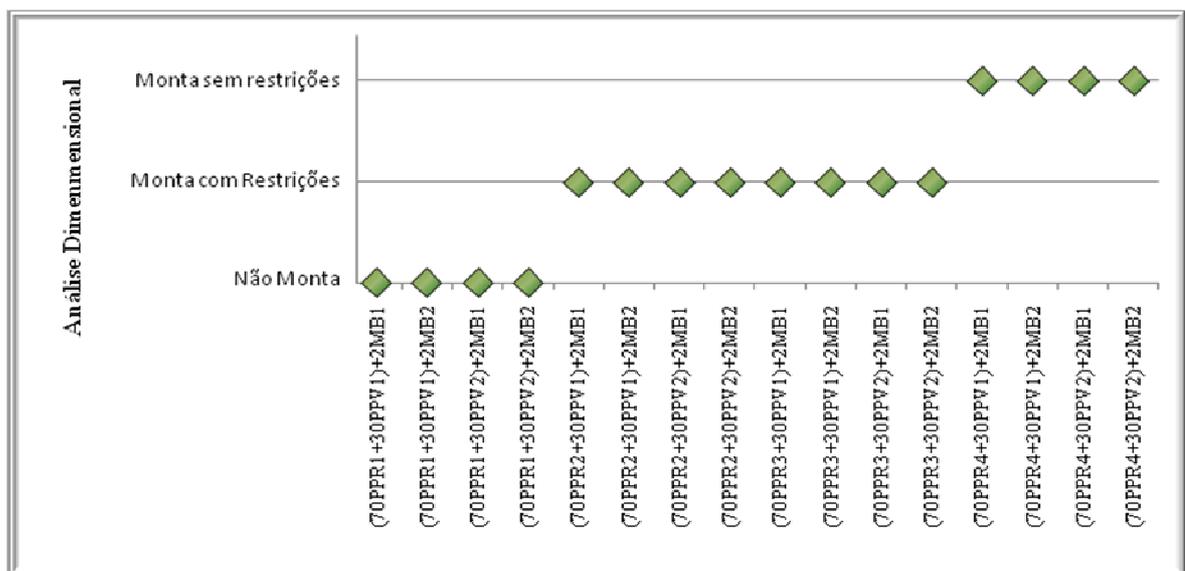


Figura 50 - Resultado do ensaio de análise dimensional dos lotes com misturas de 70% de polipropileno reciclado (PPR1, PPR2, PPR3 e PPR4), 30% virgem (PPV1 e PPV2) e 2 % de *masterbatch* (MB1 e MB2)

4.4 Resistência ao Impacto por Queda de Esfera

O gráfico da Figura 51 mostra o resultado do ensaio de resistência ao impacto por queda de esfera do Lote 1, para as amostras com 100% de polipropileno reciclado (amostras PPR1, PPR2, PPR3 e PPR4) e virgem (amostras PPV1 e PPV2). A partir do gráfico da Figura 52, pode-se observar que os lotes PPR1, PPR2 e PPR3 apresentaram quebra após o ensaio, o lote PPR4 apresentou fissura e os lotes PPV1 e PPV2 não quebraram. Os lotes PPV1 e PPV2 não apresentaram quebra após impacto, pois são constituídos de polímero virgem, com qualidade superior em relação aos lotes reciclados, isto é, o polímero virgem apresenta uma massa molecular mais elevada em relação aos reciclados, o que confere uma maior resistência ao impacto. Dentre os lotes reciclados, somente o lote PPR4 não apresentou quebra após impacto, mostrando que sua qualidade é superior em relação aos lotes PPR1, PPR2 e PPR3 no quesito resistência ao impacto. A superioridade do lote PPR4 deve-se à seleção mais criteriosa do fabricante na coleta do material reciclado com controle de suas propriedades e posterior formulação do composto final.

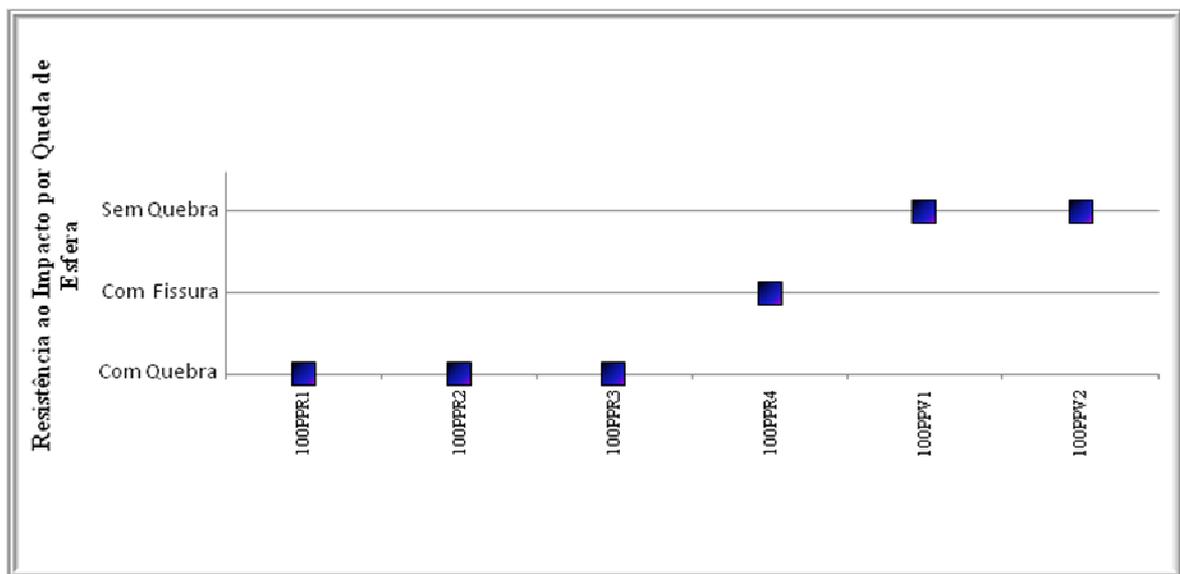


Figura 51 - Resultado do ensaio de resistência ao impacto por queda de esfera dos lotes com 100% de polipropileno reciclado (PPR1, PPR2, PPR3 e PPR4) e virgem (PPV1 e PPV2)

O gráfico da Figura 52 mostra os resultados do ensaio de resistência ao impacto por queda de esfera dos lotes com misturas de 30% de polipropileno reciclado (PPR1, PPR2,

PPR3 e PPR4), 70% virgem (PPV1 e PPV2) e 2 % de *masterbatch* (MB1 e MB2). Os quatro primeiros pontos do gráfico da Figura 52 possuem em comum o polímero reciclado PPR1 (30%), sendo que as formulações contendo o *masterbatch* MB1 (primeiro e terceiro pontos) não apresentaram quebra, enquanto que as formulações contendo o *masterbatch* MB2 (segundo e quarto pontos) apresentam fissura. O comportamento sem quebra das formulações contendo o MB1 deve-se ao fato que esse tipo de *masterbatch* possui um modificador de impacto adicionado à sua formulação, enquanto que o MB2 não possui e associado com o polipropileno reciclado de baixa qualidade, não suportou a energia de impacto. As formulações do quinto ponto até o décimo sexto apresentam um comportamento sem quebra, pois os polímeros reciclados utilizados nessas formulações possuem qualidade superior ao PPR1.

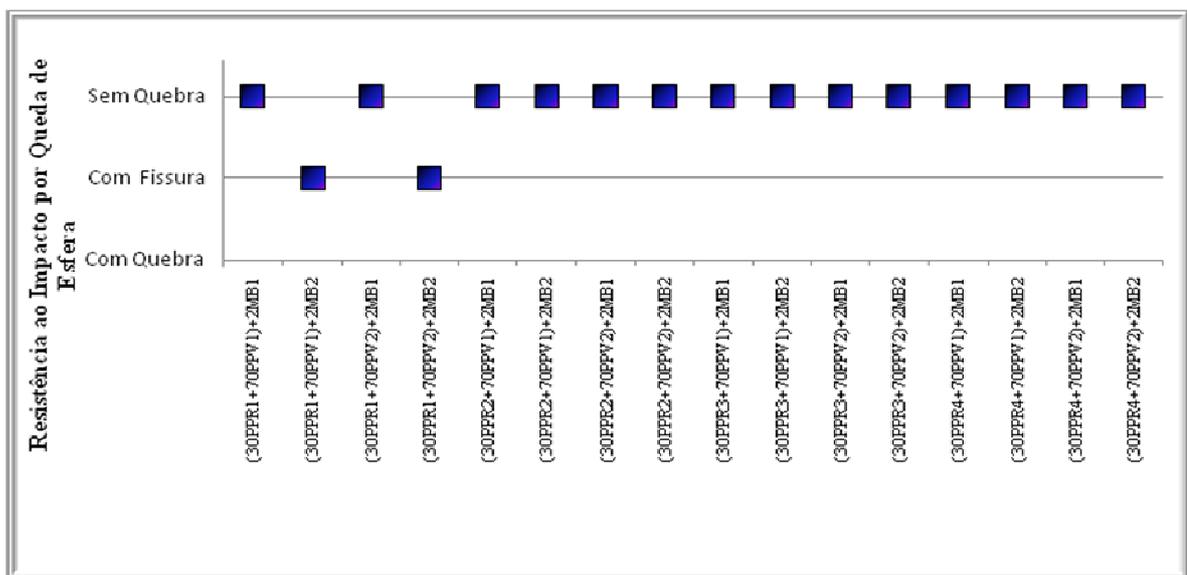


Figura 52 - Resultado do ensaio de resistência ao impacto por queda de esfera dos lotes com misturas de 30% de polipropileno reciclado (PPR1, PPR2, PPR3 e PPR4), 70% virgem (PPV1 e PPV2) e 2% de *masterbatch* (MB1 e MB2)

O gráfico da Figura 53 mostra os resultados do ensaio de resistência ao impacto por queda de esfera dos lotes com misturas de 50% de polipropileno reciclado (PPR1, PPR2, PPR3 e PPR4), 50% virgem (PPV1 e PPV2) e 2 % de *masterbatch* (MB1 e MB2). Os quatro primeiros pontos mostram um comportamento com quebra para os lotes contendo polímero PPR1. Este comportamento é diferente em relação ao observado no gráfico da Figura 52, devido à maior concentração do polímero reciclado. Os lotes dos pontos 5 ao 8 possuem em

comum a formulação PPR2 e os pontos 9 ao 12 a formulação PPR3. Uma comparação dos pontos 5 ao 12 entre os gráficos das Figuras 52 e 53 mostram que todos os lotes com 70% de polímero virgem (Figura 52) apresentam um comportamento sem quebra, enquanto que na Figura 53 todos os lotes apresentaram um comportamento com fissura. Este comportamento deve-se à maior quantidade de polímero reciclado (Figura 53), que fez com que as propriedades mecânicas apresentem uma queda.

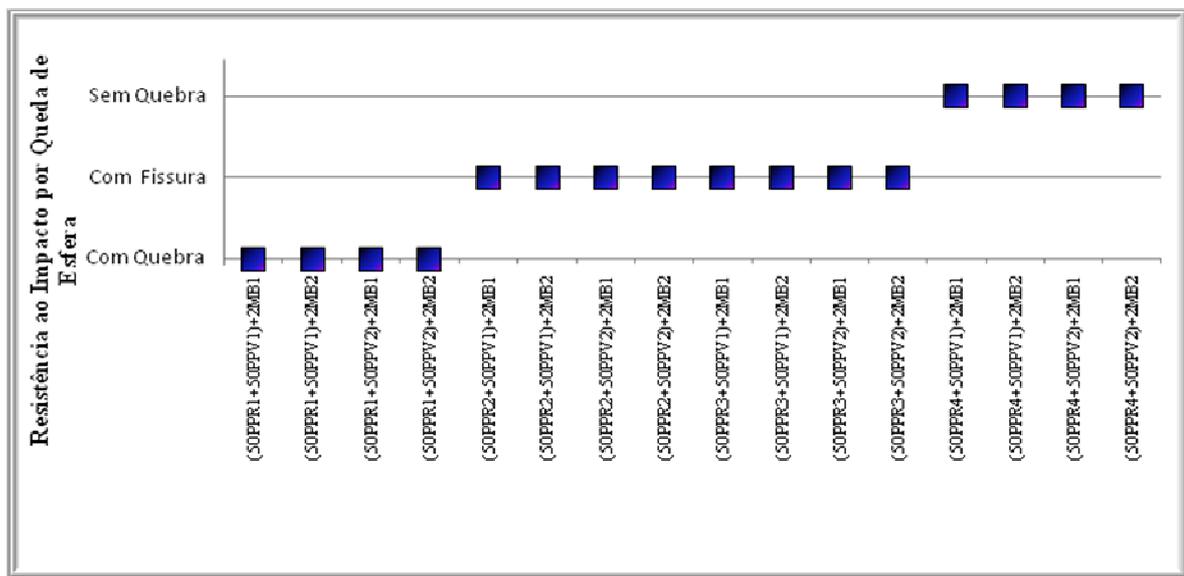


Figura 53 - Resultado do ensaio de resistência ao impacto por queda de esfera dos lotes com misturas de 50% de polipropileno reciclado (PPR1, PPR2, PPR3 e PPR4), 50% virgem (PPV1 e PPV2) e 2% de *masterbatch* (MB1 e MB2)

O gráfico da Figura 54 mostra os resultados do ensaio de resistência ao impacto por queda de esfera dos lotes com misturas de 70% de polipropileno reciclado (PPR1, PPR2, PPR3 e PPR4), 30% virgem (PPV1 e PPV2) e 2% de *masterbatch* (MB1 e MB2). Diferentemente dos gráficos das Figuras 52 e 53, os lotes dos pontos 1-12 apresentam um comportamento com quebra, devido à maior utilização de polímero reciclado. Os lotes dos pontos 13 e 15 apresentam um comportamento sem quebra, devido ao *masterbatch* utilizado (MB1), que possui modificador de impacto na sua formulação. Os lotes dos pontos 14 e 16 apresentam um comportamento com fissura, devido ao *masterbatch* utilizado (MB2), que não possui modificador de impacto.

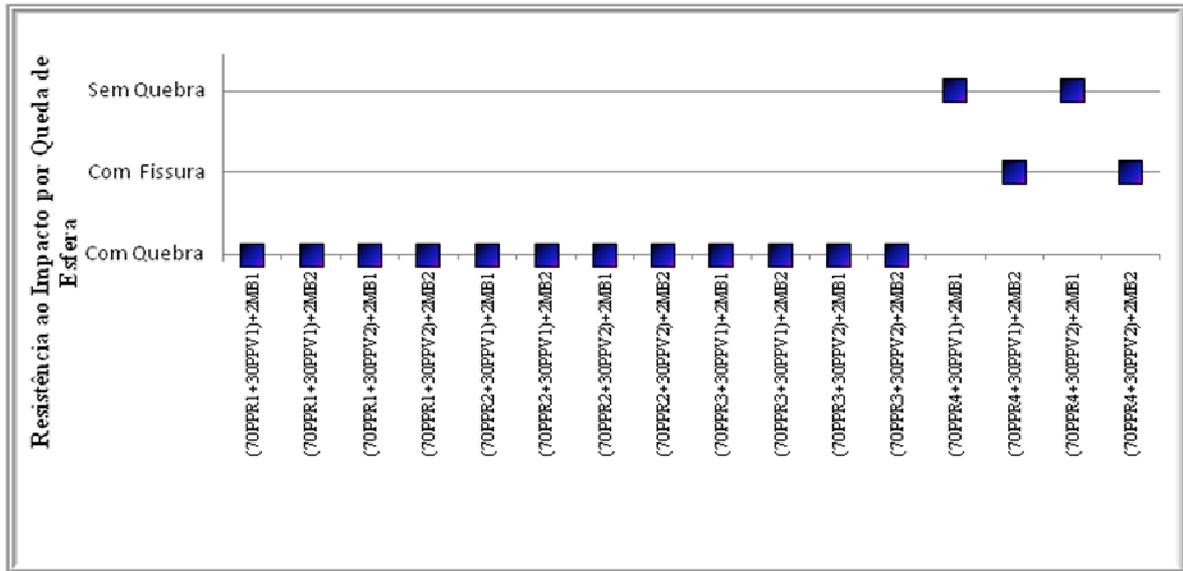


Figura 54 - Resultado do ensaio de resistência ao impacto por queda de esfera dos lotes com misturas de 70% de polipropileno reciclado (PPR1, PPR2, PPR3 e PPR4), 30% virgem (PPV1 e PPV2) e 2% de *masterbatch* (MB1 e MB2)

4.5 Resistência ao Impacto Charpy

O gráfico da Figura 55 mostra o resultado do ensaio de resistência ao impacto Charpy dos lotes com 100% de polipropileno reciclado (PPR1, PPR2, PPR3 e PPR4) e virgem (PPV1 e PPV2). Os quatro lotes de polímero reciclado apresentaram valores médios de resistência ao impacto charpy de 9,49 kJ/m², enquanto que os lotes de polímero virgem apresentam um valor médio de 23,1 kJ/m²; ou seja, o polímero virgem apresenta um valor 2,4 vezes superior em relação ao polímero reciclado, devido à sua melhor qualidade. Há diferenças nos valores de resistência ao impacto entre os lotes de polímero reciclado, sendo que o maior valor é apresentado pelo lote PPR4 (12,4 kJ/m²), seguido pelo lote PPR3 (9,01 kJ/m²), PPR2 (8,63 kJ/m²), e o menor valor para o lote PPR1 (7,87 kJ/m²).

O corpo-de-prova para o ensaio de resistência ao impacto Charpy possui as dimensões mostradas na Figura 45, isto é, 50 mm de comprimento, 6 mm de largura e até 2 mm de espessura, com um entalhe de profundidade de 1/3 do valor da espessura e largura de 0,8 mm. Assim, essa geometria faz com que a seção do material que sofre ruptura seja relativamente pequena. Isto faz com que possíveis heterogeneidades no material tenham influência nos resultados do ensaio, sendo que idealmente o material deva ser o mais homogêneo possível. Nas formulações estudadas no presente trabalho, há uma mistura de polímero virgem,

polímero reciclado e *masterbatch*, sendo que um dos tipos do *masterbatch* possui modificador de impacto (MB1). No estado fundido cada componente possui um índice de fluidez, sendo que quanto maior o índice, menor é a sua viscosidade. A mistura de vários componentes com índices de fluidez diferentes faz com que se torne mais difícil obter uma boa homogeneização entre os componentes da formulação. Sendo assim, existe a possibilidade de ocorrer regiões heterogêneas na peça moldada por injeção, onde exista apenas polímero reciclado e outras contendo virgem.

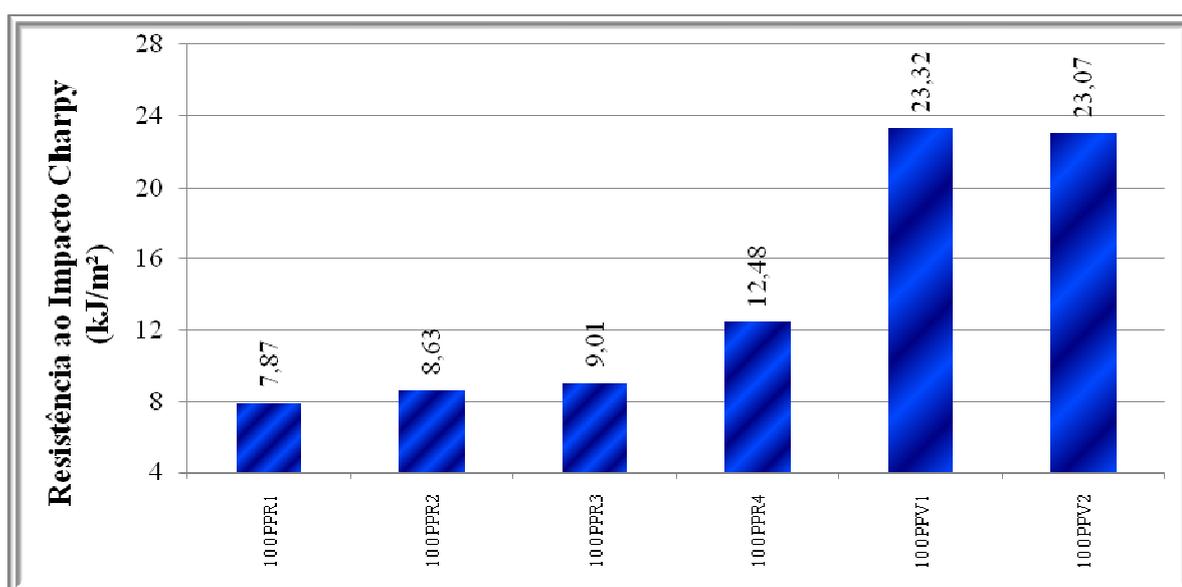


Figura 55 - Resultado do ensaio de resistência ao impacto Charpy dos lotes com 100% de polipropileno reciclado (PPR1, PPR2, PPR3 e PPR4) e virgem (PPV1 e PPV2)

De fato como mostrado na Tabela 13 mostra os valores de índice de fluidez para os polímeros virgem (PPV1 e PPV2) e reciclados (PPR1, PPR2, PPR3 e PPR4). Os polímeros reciclados possuem um índice de fluidez inferior em relação aos polímeros virgens, e diferentes índices de fluidez dos componentes da formulação fazem com que a sua mistura no estado fundido não atinja a condição ideal de homogeneização. O polímero reciclado que possui índice de fluidez mais próximo dos polímeros virgens é o PPR4.

O gráfico da Figura 56 mostra o resultado do ensaio de resistência ao impacto Charpy dos lotes com misturas de 30% de polipropileno reciclado (PPR1, PPR2, PPR3 e PPR4), 70% virgem (PPV1 e PPV2) e 2 % de *masterbatch* (MB1 e MB2). Os pontos 13-16 mostram os valores dos lotes contendo o polímero PPR4, com valor médio de resistência ao impacto charpy $22,99\text{kJ/m}^2$, próximo do valor de resistência ao impacto Charpy dos polímeros virgens, igual a $23,32\text{kJ/m}^2$ e $23,07\text{kJ/m}^2$ para os lotes PPV1 e PPV2, respectivamente (Figura

55). Este valor médio do PPR4 é superior em relação aos lotes dos pontos 1-12, devido ao índice de fluidez do polímero PPR4 ser mais próximo dos polímeros virgens, associado ao fato do polímero PPR4 possuir maior qualidade.

O resultado do ensaio de resistência ao impacto Charpy para cada amostra apresentada nos gráficos é a média de 5 corpos-de-prova, porém para uma maior facilidade de interpretação dos resultados, optou-se em agrupar as amostras, em relação ao polímero reciclado, neste caso quando foi citado valor médio, referiu-se a média das médias.

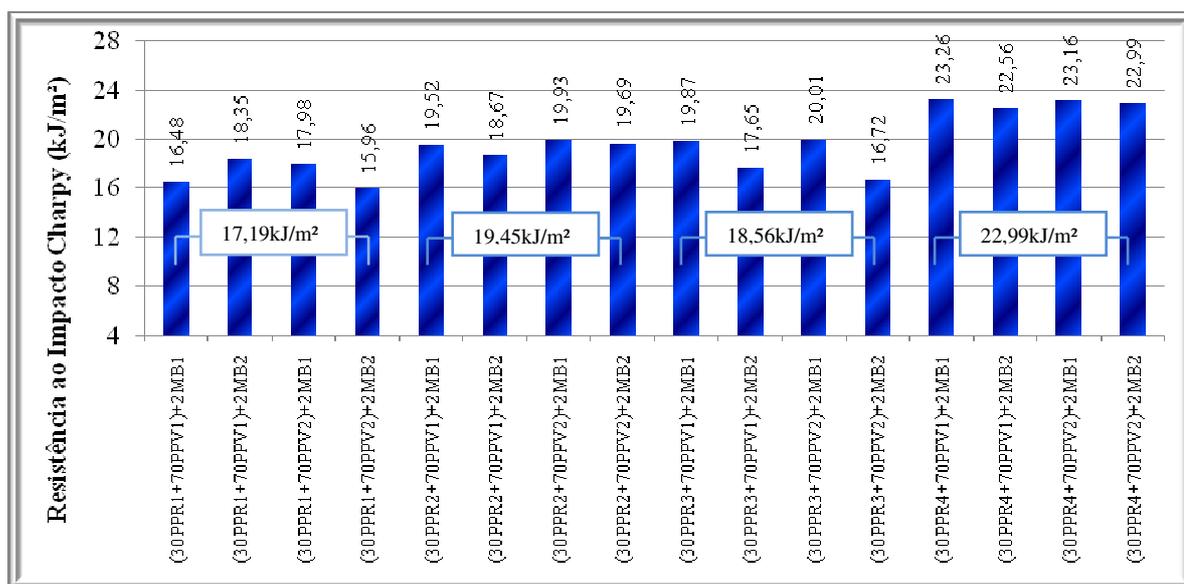


Figura 56 - Resultado do ensaio de resistência ao impacto Charpy dos lotes com misturas de 30% de polipropileno reciclado (PPR1, PPR2, PPR3 e PPR4), 70% virgem (PPV1 e PPV2) e 2% de masterbatch (MB1 e MB2)

Os valores médios encontrados de resistência ao impacto Charpy dos lotes PPR1, PPR2 e PPR3 são $17,19 \text{ kJ/m}^2$, $19,45 \text{ kJ/m}^2$ e $18,56 \text{ kJ/m}^2$, respectivamente (Figura 56). Com desempenho inferior em relação ao lote PPR4 ($22,99 \text{ kJ/m}^2$). Esta tendência também foi observada no gráfico da Figura 47, onde os lotes PPR1, PPR2 e PPR3 na análise dimensional não montaram, e no gráfico da Figura 51 apresentaram quebra no ensaio de resistência ao impacto por queda de esfera e no ensaio de resistência ao impacto Charpy (Figura 55).

O menor valor médio de resistência ao impacto Charpy ocorreu no lote PPR1 ($17,19 \text{ kJ/m}^2$), mostrado na Figura 56 (média dos pontos 1-4). Isto também pode ser observado no gráfico da Figura 55, onde o lote PPR1 puro apresenta o menor valor de resistência ao impacto Charpy ($7,87 \text{ kJ/m}^2$), mostrando que a qualidade desse lote é inferior em relação aos lotes de reciclados estudados. Os lotes PPR2 e PPR3 apresentam valores de resistência ao

impacto Charpy próximos, igual a $19,45\text{kJ/m}^2$ e $18,56\text{kJ/m}^2$, respectivamente. Essa proximidade no comportamento mecânico também foi observada nos gráficos das Figuras 47, 48, 49 e 50, relacionadas com a análise dimensional; nos gráficos das Figuras 51, 52, 53 e 54, relacionadas com o ensaio de queda de esfera e o gráfico da Figura 55, do ensaio de resistência ao impacto Charpy.

Uma análise do gráfico da Figura 57 mostra que os resultados inferiores de resistência ao impacto Charpy estão representados pelos pontos 5-8, referentes às misturas do PPR2. Este comportamento não segue a tendência observada no gráfico da Figura 55, pois as misturas contendo o PPR1 apresentam resultados inferiores quando comparados aos demais PP reciclados, PPR2, PPR3 e PPR4. Este comportamento está ligado à uma homogeneização inadequada da amostra, pois as regiões da peça onde foram retirados os corpos-de-prova apresentavam uma maior concentração de PP reciclado, provavelmente. As misturas contendo PPR1, PPR3 e PPR4 apresentaram um comportamento esperado, onde pela comparação entre os gráficos das Figuras 56 e 57, observa-se que com o aumento da concentração de PP reciclado na mistura de 30% para 50%, provocou a queda na resistência ao impacto charpy: PPR1 - 25%, PPR2 - 43%, PPR3 - 17% e PPR4 - 18%.

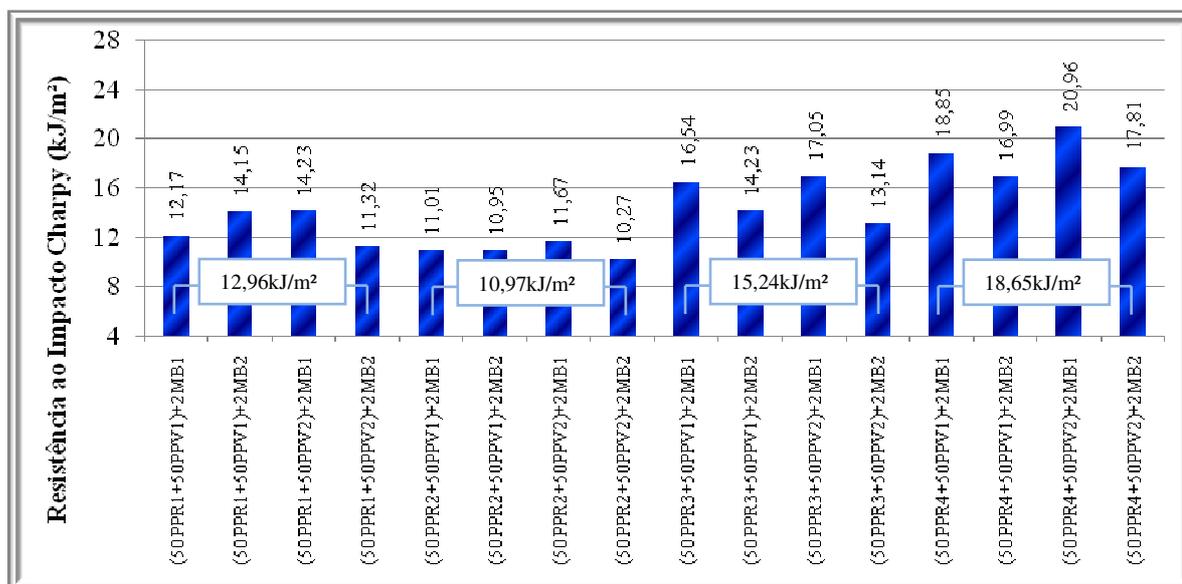


Figura 57 - Resultado do ensaio de resistência ao impacto Charpy dos lotes com misturas de 50% de polipropileno reciclado (PPR1, PPR2, PPR3 e PPR4), 50% virgem (PPV1 e PPV2) e 2% de mastertbatch (MB1 e MB2)

A Figura 58 apresenta o resultado do ensaio de resistência ao impacto Charpy dos lotes com misturas de 70% de polipropileno reciclado (PPR1, PPR2, PPR3 e PPR4), 30% virgem (PPV1 e PPV2) e 2 % de *masterbatch* (MB1 e MB2). Pode-se observar a superioridade do PPR4 em relação aos demais polímeros reciclados, o qual apresenta um valor médio de 16,53kJ/m², para uma mistura com 70% de reciclado. Esta média é superior aos valores médios encontrados para as amostras de PPR1, PPR2 e PPR3 apresentados na Figura 57 (amostras contendo 50% de material reciclado). Porém é menor que o valor encontrado para o PPR4 contendo 50%-18,65kJ/m². Os resultados de resistência ao impacto Charpy (Figura 4.12 e 4.13) das amostras contendo o material PPR2 o classificaram como um material com qualidade inferior ao PPR1, pois os valores médios encontrados para o PPR1 na Figura 57 é 12,96 kJ/m² e para o PPR2 é 10,97.

Na Figura 58 o PPR1 apresenta um valor médio para o ensaio de resistência ao impacto Charpy igual a 10,45kJ/m², enquanto o PPR2 igual a 9,40kJ/km². O desempenho observado para o PPR2 pode ser explicado pela dificuldade de homogeneização, devido ao seu baixo índice de fluidez, igual a 4,58g/10min, (Tabela 13), pois no estado fundido apresenta uma viscosidade maior que os demais componentes da formulação.

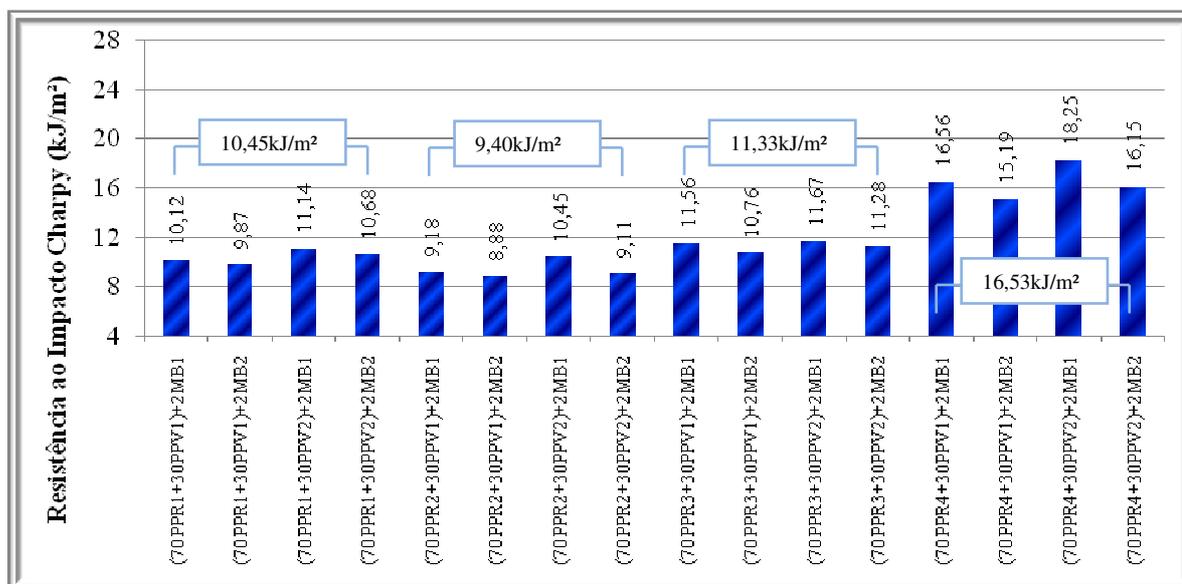


Figura 58 - Resultado do ensaio de resistência ao impacto Charpy dos lotes com misturas de 70% de polipropileno reciclado (PPR1, PPR2, PPR3 e PPR4), 30% virgem (PPV1 e PPV2) e 2 % de *masterbatch* (MB1 e MB2)

4.6 Estabilidade termooxidativa

O gráfico da Figura 59 apresenta o resultado do ensaio de estabilidade termooxidativa dos lotes com 100% de polipropileno reciclado (PPR1, PPR2, PPR3 e PPR4) e virgem (PPV1 e PPV2). A partir dos dados apresentados, pode ser observado que apenas os PP virgens PPV1 e PPV2 atingem a especificação do ensaio, que exige que o tempo para termooxidação seja maior que 200h, suportando 264h e 240, respectivamente, a uma temperatura de 150°C sem apresentar fissuras ou degradação. Os materiais PPR1, PPR2, PPR3 não atendem a especificação do ensaio, pois as amostras contendo estes polímeros suportaram apenas 48h, quando submetidos a uma temperatura de 150°C. O PPR4 suporta 120h a essa temperatura, sem apresentar fissuras ou degradação na superfície, devido à sua qualidade superior quando comparado aos demais polímeros reciclados, mas mesmo assim não é adequado para utilização.

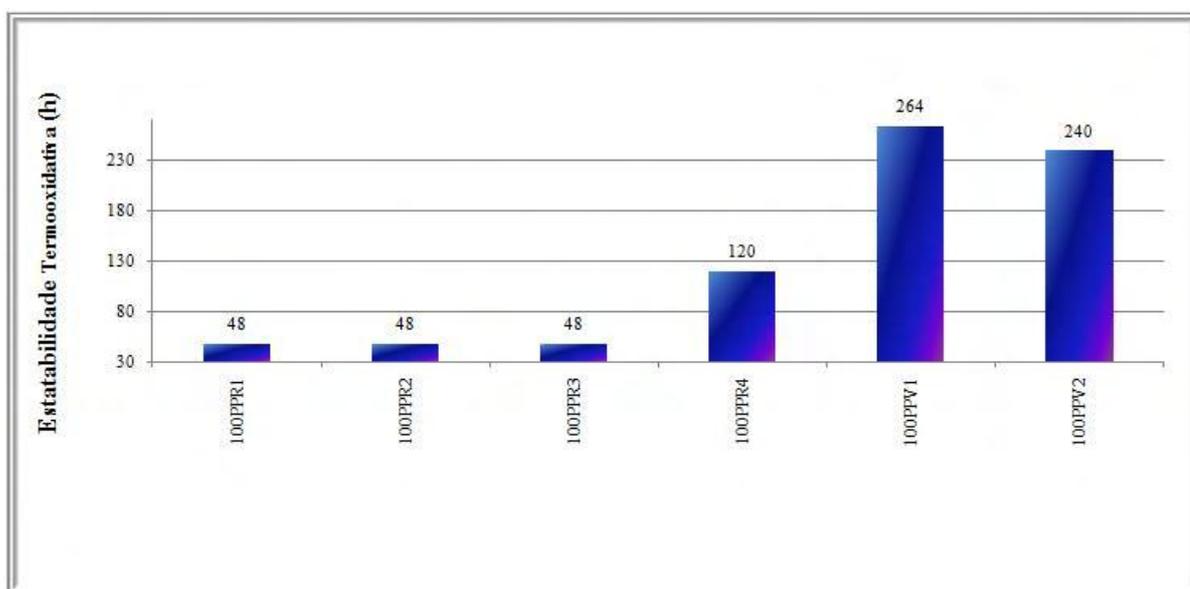


Figura 59 - Resultado do ensaio de estabilidade termooxidativa dos lotes com 100% de polipropileno reciclado (PPR1, PPR2, PPR3 e PPR4) e virgem (PPV1 e PPV2)

O gráfico da Figura 60 mostra o resultado do ensaio de estabilidade termooxidativa dos lotes com misturas de 30% de polipropileno reciclado (PPR1, PPR2, PPR3 e PPR4), 70% virgem (PPV1 e PPV2) e 2 % de *masterbatch* (MB1 e MB2). As amostras contendo PPR1

conseguem suportar em média 193h de ensaio, enquanto as amostras de PPR2 e PPR3 suportam 141h e 147h respectivamente, o que evidencia a falta ou menor quantidade de aditivos termooxidantes nestes materiais. Por se tratarem de materiais reciclados pode-se afirmar que o aditivo para evitar termooxidação foi consumido durante os processos de moldagem e durante a vida útil do produto no qual foram utilizados anteriormente. No estágio de reprocessamento dos polímeros PPR2 e PPR3, não foi adicionado aditivo suficiente para evitar a termooxidação. A formulação contendo o polímero PPR4 para uma concentração de 30% deste material atende o critério de aceitação, mínimo de 200h, com valor médio igual 234h, e nenhuma das misturas utilizando o PPR4 apresentaram valores inferiores a 200h, fato que evidencia uma melhor qualidade do material como também melhor critério na preparação do polímero reciclado.

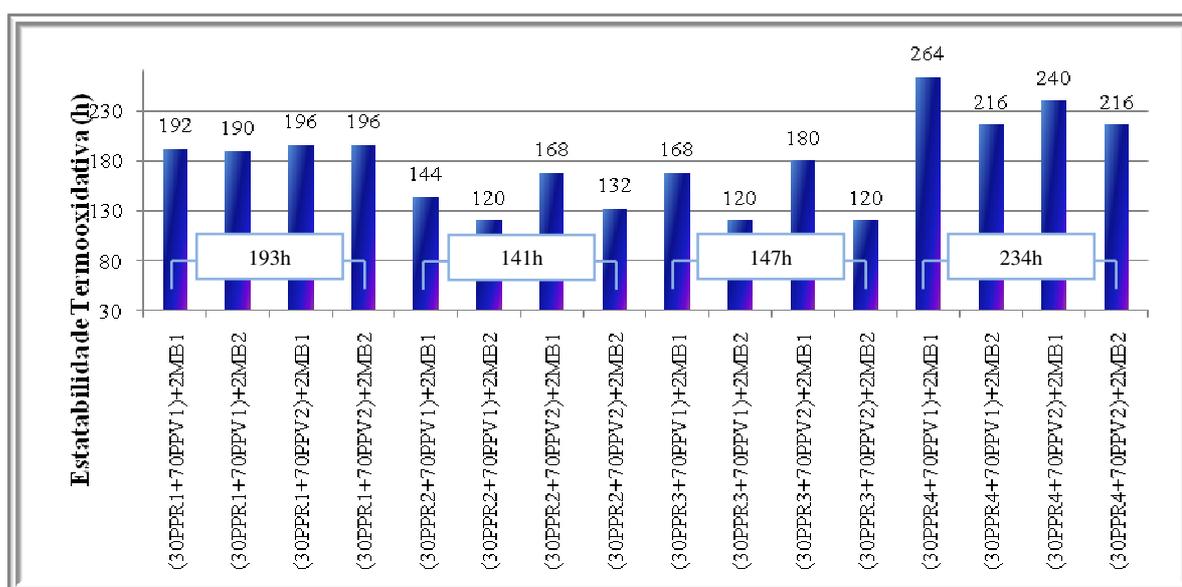


Figura 60 - Resultado do ensaio de estabilidade termooxidativa dos lotes com misturas de 30% de polipropileno reciclado (PPR1, PPR2, PPR3 e PPR4), 70% virgem (PPV1 e PPV2) e 2 % de *masterbatch* (MB1 e MB2)

O gráfico da Figura 61 apresenta o resultado do ensaio de estabilidade termooxidativa dos lotes com misturas de 50% de polipropileno reciclado (PPR1, PPR2, PPR3 e PPR4), 50% virgem (PPV1 e PPV2) e 2 % de *masterbatch* (MB1 e MB2). Pode-se observar que as formulações das misturas contendo PPR1, PPR2 e PPR3 não chegam a suportar temperatura de 150°C por mais de 150h, sendo que os melhores resultados foram obtidos com o PPR1, ou seja, o mesmo comportamento observado no gráfico da Figura 60. As formulações contendo o material PPR4 apresentaram resultados melhores quando comparado com as formulações dos

materiais PPR1, PPR2 e PPR3, porém para as amostras contendo o *masterbatch* MB2, os valores encontrados ficaram abaixo da especificação. Este comportamento está ligado ao fato do *masterbatch* MB1 possuir em sua composição um aditivo antioxidante, o que não ocorreu com o *masterbatch* MB2; esta diferença pode ser observada para os pontos 1-16 da Figura 60; e pontos 1 e 2; 5 e 6; e 9-16 da Figura 61. Nestes pontos pode ser observado que as misturas contendo *masterbatch* MB1 apresentaram tempo maior de estabilidade termooxidativa até a ocorrência da termooxidação quando comparados com as misturas contendo *masterbatch* MB2.

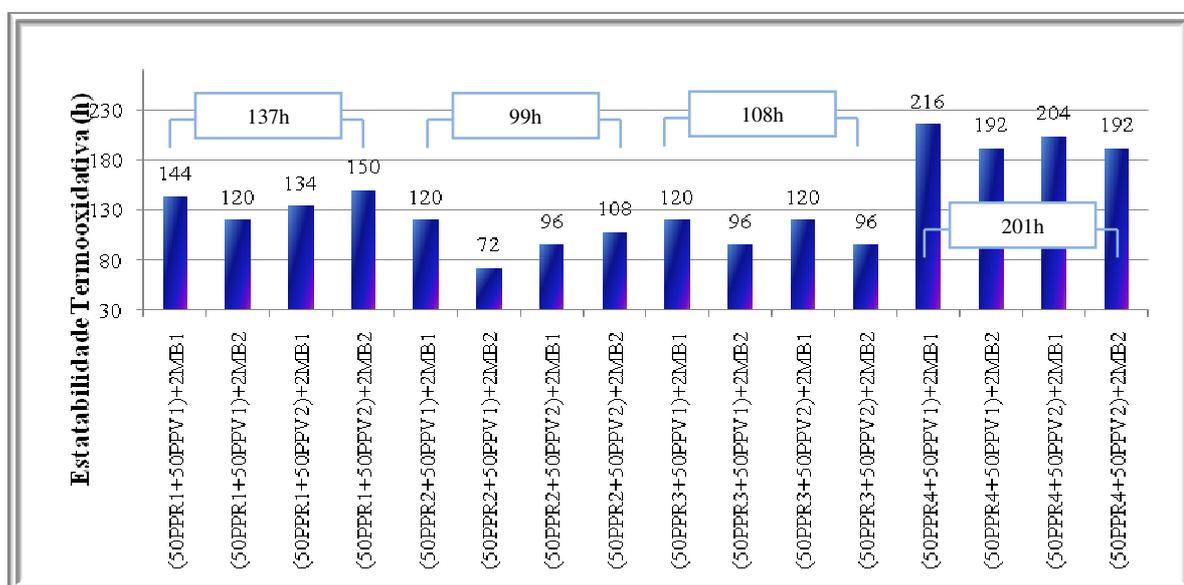


Figura 61 - Resultado do ensaio de estabilidade termooxidativa dos lotes com misturas de 50% de polipropileno reciclado (PPR1, PPR2, PPR3 e PPR4), 50% virgem (PPV1 e PPV2) e 2 % de *masterbatch* (MB1 e MB2)

O gráfico da Figura 62 apresenta o resultado do ensaio de estabilidade termooxidativa dos lotes com misturas de 70% de polipropileno reciclado (PPR1, PPR2, PPR3 e PPR4), 30% virgem (PPV1 e PPV2) e 2 % de *masterbatch* (MB1 e MB2). Pode-se observar que os materiais PPR1, PPR2 e PPR3, apresentaram qualidade inferior quando comparado às misturas contendo o material PPR4; ou seja, o mesmo comportamento observado nos ensaios anteriores com proporções diferentes de polímeros virgens e reciclados. O material PPR4 com uma formulação contendo 70% de PP reciclados apresentou estabilidade termooxidativa superior aos demais, sendo o PPR4 o único a suportar mais de 160h nas misturas com 70% de reciclado. Os demais materiais reciclados apresentaram valores iguais ou inferiores a 100h (pontos 1-12 da Figura 62).

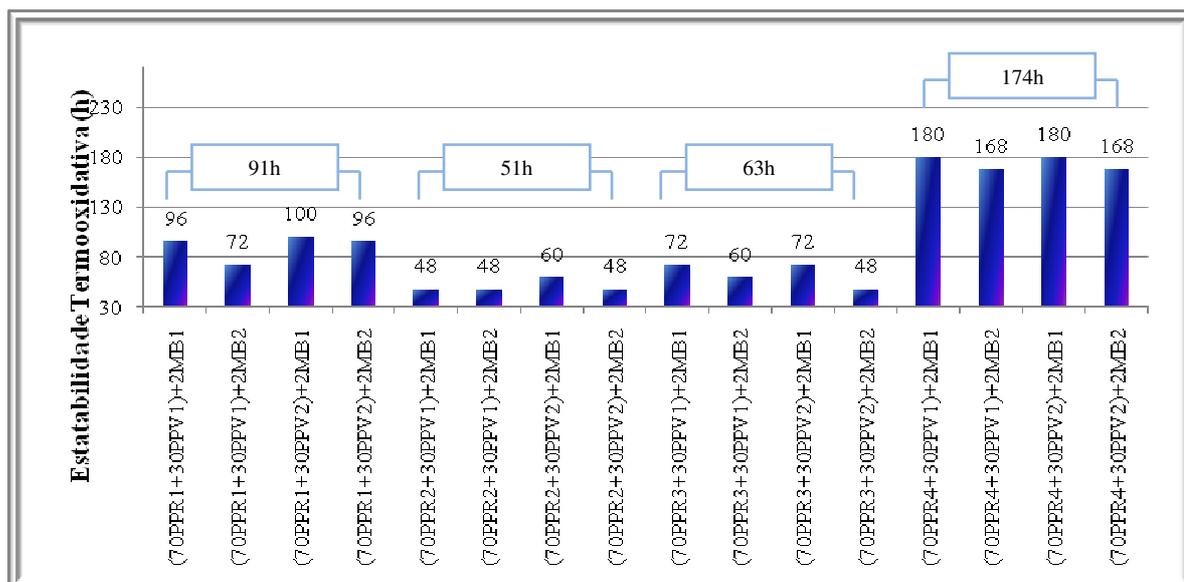


Figura 62 - Resultado do ensaio de estabilidade termooxidativa dos lotes com misturas de 70% de polipropileno reciclado (PPR1, PPR2, PPR3 e PPR4), 30% virgem (PPV1 e PPV2) e 2 % de *masterbatch* (MB1 e MB2)

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

5.1 Análise Dimensional

Na indústria, os resultados obtidos para o PP reciclado PPR1 inviabiliza a sua utilização, pois em nenhuma das formulações utilizadas com 30%, 50%, 70% e 100% contendo o material PPR1 houve montagem sem restrições. E peças quando apresentam dificuldade de montagem são descartadas por ser caracterizada perda de função. As amostras contendo os PP reciclados PPR2 e PPR3 apresentaram comportamento semelhante entre si, porém o uso destes materiais fica restrito a 30% na formulação. Para as amostras utilizando o PP reciclado PPR4 os resultados obtidos foram satisfatórios, onde somente a amostra contendo 100% deste material não atendeu ao ensaio em sua plenitude, ou seja, montagem sem restrições.

5.2 Resistência ao Impacto por Queda de Esfera

As amostras contendo o material PPR1 não atendem à especificação. A utilização deste material é possível quando misturado a um *masterbatch* aditivado com modificador de impacto, e somente em misturas utilizando 30%. As amostras contendo os PP reciclados PPR2 e PPR3 apresentaram comportamento semelhante entre si, porém o uso destes materiais fica restrito a 30% na formulação. Para as amostras utilizando o PP reciclado PPR4 os resultados obtidos foram satisfatórios, pois não apresentaram quebra, onde as amostras contendo 100% e 70% deste material não atenderam ao ensaio em sua plenitude. No entanto, as amostras com 70% de PPR4 em sua formulação utilizando um *masterbach* com modificador de impacto já viabiliza a utilização, pois não apresentaram quebras.

Resistência ao Impacto Charpy

Para o ensaio de resistência ao impacto Charpy somente as formulações contendo até 30% dos materiais PPR1, PPR2 e PPR3, podem ser considerados aceitáveis para serem

utilizadas nos envoltórios de roda. Para as amostras utilizando o PP reciclado PPR4 os resultados obtidos foram satisfatórios, onde somente a amostra contendo 100% deste material não atende aos requisitos do ensaio. Porém os valores obtidos com as amostras de 30%, 50% e 70% são aceitos, os quais apresentaram valores médios iguais a 22,99kJ/m², 18,65kJ/m² e 16,53kJ/m² respectivamente.

Estabilidade Termooxidativa

As formulações contendo os materiais PPR1, PPR2 e PPR3 não atendem ao critério de aceitação deste ensaio. As formulações contendo o material PPR4 podem ser utilizadas na fabricação de envoltórios de rodas com misturas contendo até 50%, porém deve ser adicionado aditivo antioxidante para auxiliar no desempenho do material, visto que as amostras contendo o *masterbatch* MB2, para essa mistura suportaram tempo inferior a 200h de estabilidade termooxidativa.

A utilização de reciclado de PP em envoltórios de roda é viável, contudo o fator mais importante para obter resultados satisfatórios é a escolha correta do fornecedor do polímero reciclado, pois além da capacidade de produzir um material reciclado com qualidade que atenda às especificações técnicas da peça, o fornecedor deve ser capaz de fornecer a quantidade necessária para atender à demanda de consumo mensal. Fica evidente que os resultados obtidos com um polímero virgem não serão reproduzidos com a utilização de polímeros reciclados. Contudo a utilização de um polipropileno reciclado que passa por um processo de formulação elaborado apresenta resultados eficientes quando comparado com os resultados de reciclados sem origem definida. Conclui-se que o uso de polipropileno reciclado para a produção de envoltório de rodas é possível sem prejuízo ao desempenho do produto final. As amostras contendo o material PPR4, com misturas até 50%, apresentaram desempenho funcional que satisfazem às exigências da indústria automotiva.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Utilização de *masterbatches* mais elaborados, contendo aditivos antioxidantes, estabilizantes a UV e modificadores de impacto;
- Testes com amostras entre 50% e 70% de reciclado;
- Busca de resinas recicladas com aditivação de forma a atender as especificações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIMEI (Associação Brasileira dos Importadores de Máquinas e Equipamentos Industriais) (2009) *Os plásticos e a indústria automotiva: Com pesquisas e alta tecnologia, material ganha espaço e traz vantagens em relação aos metais*. Disponível em: www.abimei.org.br/ViewNews.aspx?id=213. Acesso em: 26 ago. 2009.

ABIMEI (Associação Brasileira dos Importadores de Máquinas e Equipamentos Industriais) (2009) *O futuro do plástico na indústria automotiva*. Disponível em: <http://www.cognitivus.com.br/site/2009/08/o-futuro-do-plastico-na-industria-automotiva/>. Acesso em 13/04/2010.

ACHILIAS, D. S. - “*Chemical recycling of poly(methyl methacrylate) by pyrolysis. Potential use of the liquid fraction as a raw material for the reproduction of the polymer*”. *European Polymer Journal*, v. 43, pp. 2564-2575, 2007.

AKCELRUD, L. - *Fundamentos da Ciência dos Polímeros*. Barueri-SP: Editora Manole, 2007.

AL MALAIKA, S. - *Antioxidants and stabilizers. The polymeric materials encyclopedia*. Boca Raton: CRC Press; 1996.

ASM HANDBOOK - *Engineered Materials Handbook Vol. 2: Engineering Plastics*: ASM Publication, 1988.

BLASS, A. - *Processamento de Polímeros*, Universidade Federal de Santa Catarina, editora da UFSC, 2^a edição, Florianópolis,(1988).

BRASKEM – *Folha de Dados Polipropileno PCD 0810*. Disponível em: http://www.braskem.com.br/upload/portal_braskem/pt/produtos_e_servicos/folha_dados/PCD_0810_Rev2.pdf, 2010.

CALLISTER JR., W. D. - *Ciência e engenharia de materiais – Uma introdução*. Rio de Janeiro: Editora LTC, 5 edição, 2002.

CAMARGO, A. S. – “Compósito de polipropileno reforçado com farinha de madeira para aplicações em produtos moldados por injeção”, Dissertação de Mestrado, UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO, Itatiba, Brasil, 2006.

CANEVAROLO, S. V. Jr. – “Ciência dos polímeros”, São Paulo: Editora Artliber, 2002.

CANTO, E. L. - Plástico: Bem supérfluo ou mal necessário?, São Paulo: Editora Moderna, 1997.

DIN 24450: *Machines for the processing of plastics and rubber; definitions. Beuth Verlag GmbH*, fevereiro/1987.

DIN EN ISO 179: *Plastics – Determination of Charpy impact properties – Part1: Non-instrumented impact test*, maio 2006.

DIN EN ISO 1133: *Determination of the melt mass-flow rate (MFR) and the melt volume-flow rate (MVR) of thermoplastics*, setembro/2005.

EBEWELE, R. O. – “*Polymer Science and Technology*”, Benin City, Nigéria: Editora CRC, 1996.

FERNANDES, B.L. - Caracterização mecânica de polipropileno reciclado para a indústria automotiva – Polim. Cien. Tecnol., 17, n. 2, p.85-87, 2007.

GIANELLI, E. C. – Relatórios de Visitas Técnicas (Empresas, Feiras e Seminários), 2009.

GIJSMAN, P., HAMSKOG, M., KLUGEL, M., FORSSTROM, D., TERSELIUS, B. - *The effect of adding virgin material or extra stabilizer on the recyclability of polypropylene as studied by multi-cell imaging chemiluminescence and microcalorimetry*. - Polym. Degrad. Stab., 91, p.429-436, 2006.

GROOVER, M. P. - Fundamentos de Manufatura Moderna: Ed. Prentice-Hall, México, 1997.

HEMAIS, C. A. - Polímeros e a indústria automobilística. Polim. Cien. Tecnol., 13, n. 2, p.107-114, 2003.

ISO 188: *Rubber, vulcanized or thermoplastic – Accelerated ageing and heat resistance tests*, junho/2007.

ISO 3451-1: *Plastics – Determination of ash – Part 1: General methods*, agosto/2008.

JORNAL DE PLÁSTICOS – CD-Rom do Curso Básico Intensivo de Plásticos, 2003.

KARIAN, H. G. - “*Handbook Polypropylene and Polypropylene Composites*”, Marcel Dekker, Inc., New York, 2003.

KELEN, T.; *Polymer Degradation*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1993.

MAIER, C., CALAFUT, T.: *Polypropylene – The Definitive User’s Guide and Databook*; Willian Andrew Publishing/Plastics Design Library, 1998.

MANO, E. B., MENDES, L. C. - Introdução a polímeros. 2ª Ed – São Paulo, Editora Blucher, 1999.

MANRICH, S. – “Processamento de Termoplásticos”, São Paulo: Editora Artliber, 2005.

MARINHO, J. R. D. - “Macromoléculas e Polímeros”, São Paulo: Editora Manole, 2005.

MARTINS, M. H. - “*Formulações de Misturas de Polipropileno Pós-Consumo e Virgem Para Processamento por Injeção*”, Dissertação de Mestrado, Universidade de Campinas, Brasil, 1999.

MASALOVA, I.; RUST, N.; FERG, E. E. - *A degradation study of isotactic virgin and recycled polypropylene used in lead acid battery casings*, Polymer Testing, 25, 2006.

MEDINA, H. V.; GOMES, D. E. B. - A indústria automobilística projetando para a reciclagem. 5º Congresso Nacional de P&D em Desing, realizado na Universidade de Brasília, 2002.

MICHAELI, W., GREIF, H., KAUFMANN, H., VOSSEBURGER, F. - “Tecnologia dos Plásticos”, São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1995.

NASCIMENTO, R. - Brasil Recicla 18% do Plástico que Consome. Terra Notícias, São Paulo. Disponível em: <http://invertia.terra.com.br/carbono/interna/0,OI2900766-EI8943,00-Brasil+recicla+do+plastico+que+consome.html>. Acesso em: 26 ago. 2009.

OLIVEIRA, A. J. D. - “Caracterização Mecânica e Reológica de Polipropileno Reciclado para a Indústria Automotiva”, Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Brasil, 2006.

OTHA, H.; TOHNO, H., URUJI, T. - Use of Recycled Plastic as Truck and Bus, Mitsubishi Motor Technical Review,

PAOLI, M. A. - "Degradação e Estabilização de Polímeros", São Paulo: Editora Artliber, 2009.

QUATTOR – Soluções em Polipropileno. Disponível em: http://www.quattor.com.br/catalogo_pp/i_injeção_1.htm, 13/01/2009.

QUATTOR – Folha de Dados Polipropileno EP 440N. Disponível em: <http://www.quattor.com.br/quattorweb/arquivo/0-A-c23EP440N.pdf>, 2010.

RABELLO, M. – “Aditivação de Polímeros”, São Paulo: Editora Artliber, 2000.

SANT’ANNA, J. A. P. Subsídios para Seleção de Materiais Poliméricos Termoplásticos, Dissertação de Mestrado, USP – 2007.

SILVA, J. N. - O Automóvel e a Nanotecnologia. Autodata, Caxias do Sul, v. 17, n. 240, p.66, ago. 2009. Mensal.

STRONG, B. A. – “*Plastics Materials and Processing*”, 2^a Ed., New Jersey: Editora Prentice Hall, 2000.

TRIPATHI, D. – “*Practical Guide to Polypropylene*”, Rapra Technology Limite, Shawbury, 2002.

VICK – Polipropileno. Disponível em: <http://www.vick.com.br/vick/produtos/polipropileno/polipropileno.htm>, 24/07/2010.

WILKINSON, A., RYAN, A. J.- Polymer Processing and Structure Development, Kluwer Academic Publishers, 1999.