



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
HELTON JÚLIO PERRARO

**ANÁLISE E PROPOSTA DE MELHORIAS NO PROCESSO DE
MOLDAGEM POR INJEÇÃO DE POLIAMIDAS**

Tubarão
Dezembro /2007

HELTON JÚLIO PERRARO

**ANÁLISE E PROPOSTA DE MELHORIAS NO PROCESSO DE
MOLDAGEM POR INJEÇÃO DE POLIAMIDAS**

Relatório apresentado ao curso de graduação
em Engenharia Química como requisito parcial
para aprovação na disciplina Estágio
Supervisionado em Engenharia Química.

Universidade do Sul de Santa Catarina

Supervisor : Professor Dr. Marcos Marcelino Mazzucco

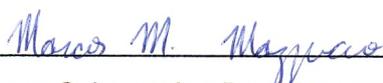
**Tubarão
Dezembro /2007**

HELTON JÚLIO PERRARO

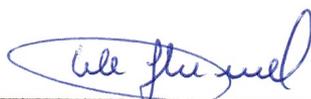
**ANÁLISE E PROPOSTA DE MELHORIAS NO PROCESSO DE
MOLDAGEM POR INJEÇÃO DE POLIAMIDAS**

Este relatório foi avaliado e considerado adequado como requisito parcial na aprovação da disciplina Estágio Supervisionado Curricular em Engenharia Química da Universidade do Sul de Santa Catarina.

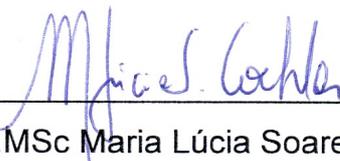
Tubarão, 06 de Dezembro de 2007



Professor e Orientador Dr. Marcos Marcelino Mazzucco
Universidade do Sul de Santa Catarina



Prof. Dr Dile Pontarolo Stremel
Universidade do Sul de Santa Catarina



Prof^a.MSc Maria Lúcia Soares Cochlar
Universidade do Sul de Santa Catarina

Dedico este trabalho à empresa JR - Adamver que me possibilitou a oportunidade de aplicar os conhecimentos adquiridos durante a graduação no curso de Engenharia Química.

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo Dom da Vida;

Aos meus pais que são meus maiores incentivadores;

Ao Professor Dr. Marcos Marcelino Mazzucco pela orientação;

À Universidade do Sul de Santa Catarina e ao Curso de Engenharia Química que oportunizaram a realização deste trabalho;

À Empresa JR - Adamver e seus colaboradores que disponibilizaram-se a me auxiliar no andamento do estágio.

RESUMO

A injeção é um dos principais processos de fabricação de peças de plástico. Caracteriza-se por ser um processo que permite boa qualidade e reprodutibilidade das peças e é adequado para produção em massa. O processo de injeção pode ser resumido pelas etapas de dosagem, plastificação, injeção do material fundido no molde à alta pressão, resfriamento e extração da peça pronta. Pode ser usado para processar uma grande variedade de materiais. As poliamidas são polímeros termoplásticos de engenharia que apresentam excelentes propriedades químicas e físicas destacando-se entre elas a alta resistência mecânica, alta transparência e leveza, características ideais para utilização em armações para óculos. Em geral, essas poliamidas são facilmente injetadas, porém, demandam alguns cuidados especiais como maior controle das temperaturas de plastificação e do molde, além do controle da umidade, já que são materiais higroscópicos. Existem no mercado, atualmente, uma grande variedade de equipamentos que auxiliam no controle dessas variáveis e permitem a manutenção das condições ótimas de trabalho, a fim de promoverem o aumento da produtividade e da qualidade dos produtos injetados. Baseado nestes dois aspectos, aumento da qualidade e da produtividade, o processo de moldagem por injeção de armações de óculos da Empresa JR – Adamver foi analisado, verificando-se os principais problemas nas peças injetadas, as possíveis causas e propondo melhorias para o processo.

Palavras-chave: Moldagem por Injeção, Poliamidas.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Unidade de repetição das Poliamidas..... | 21 |
| Figura 2 – Fórmula química da Laurilactama e da Poliamida 12..... | 22 |
| Figura 3 – Gráfico da transparência das matérias-primas utilizadas em comparação com outros materiais. | 23 |
| Figura 4 – Gráfico da densidade a 20 °C das matérias-primas utilizadas em comparação com outros materiais. | 24 |
| Figura 5 – Gráficos da temperatura do molde, da torre de resfriamento e da temperatura ambiente em relação ao tempo de trabalho. | 34 |
| Figura 6 – Gráficos da temperatura do molde, da torre de resfriamento e da temperatura ambiente em relação ao tempo de trabalho. | 34 |
| Figura 7 – Termoregulador TMR-M-9/380..... | 37 |
| Figura 8 – Foto das lâminas do ensaio de Indicador de Voláteis de Thomasetti com material antes da secagem. | 38 |
| Figura 9 – Foto das lâminas do ensaio de Indicador de Voláteis de Thomasetti com amostra de material seco. | 38 |
| Figura 10 – Desumificador DS 403 da marca Piovan..... | 39 |
| Figura 11 – Fluxograma do processo produtivo. | 45 |

LISTA DE TABELAS E QUADROS

| | |
|---|--|
| Quadro 1 – Propriedades das Matérias-Primas Utilizadas no Processo de Injeção. .25 | |
| Quadro 2 – Dados do Processo Fornecidos para a Empresa Mecalor.....36 | |
| Tabela 1 – Valores de Massa Úmida, Massa Seca e Teor de Umidade da Matéria-Prima EMS Grilamid 2 em 25 Horas de Exposição.....37 | |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GRIL. – Grilamid

PC – Policarbonato

PMMA – Polimetil Metacrilato

PS – Poliestireno

Kg - Kilograma

g – Grama

cm – Centímetro

mm – Milímetro

nm - Nanômetro

h - Hora

U.R. – Umidade Relativa

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| AGRADECIMENTOS | 4 |
| RESUMO | 5 |
| LISTA DE FIGURAS | 6 |
| LISTA DE TABELAS E QUADROS | 7 |
| LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS | 8 |
| 1.0 INTRODUÇÃO | 11 |
| 2.0 DESENVOLVIMENTO | 12 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL..... | 12 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 12 |
| 2.3 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO..... | 13 |
| 2.3.1 Processo de Moldagem por Injeção | 13 |
| <i>2.3.1.1 Máquina Injetora</i> | <i>13</i> |
| <i>2.3.1.2 Molde</i> | <i>14</i> |
| <i>2.3.1.3 Ciclo de Injeção</i> | <i>15</i> |
| <i>2.3.1.4 Variáveis que Influenciam no Processo</i> | <i>16</i> |
| 2.3.1.4.1 Temperatura | 16 |
| 2.3.1.4.2 Pressão | 18 |
| 2.3.1.4.3 Velocidade e Tempo | 19 |
| 2.3.2 Poliamidas ou Náilons | 20 |
| <i>2.3.2.1 EMS – Grilamid</i> | <i>22</i> |
| 2.4 JUSTIFICATIVA: ATIVIDADE DESENVOLVIDA..... | 27 |
| 2.5 METODOLOGIA (MATERIAIS E MÉTODOS) | 30 |
| 2.5.1 Métodos Analíticos | 30 |
| <i>2.5.1.1 Métodos Gravimétricos</i> | <i>30</i> |
| <i>2.5.1.2 Métodos Instrumentais</i> | <i>31</i> |
| 2.5.2 Métodos Experimentais | 32 |

| | |
|---|-----------|
| 2.6 RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 34 |
| 3.0 CONCLUSÃO | 40 |
| REFERÊNCIAS..... | 41 |
| APÊNDICE A - DESCRIÇÃO DO PROCESSO | 42 |
| APÊNDICE B - A EMPRESA | 49 |

1.0 INTRODUÇÃO

O processo de moldagem por injeção trabalha com um grande número de variáveis e que, em geral, apresentam grandes dependências entre si. A correta parametrização destas variáveis pode significar um grande aumento na qualidade e produtividade do processo.

Na injeção de termoplásticos de engenharia como é o caso da poliamida, por exemplo, o controle da temperatura do molde pode trazer grandes benefícios. Uma refrigeração adequada permite obter uma boa estabilidade dimensional, baixo índice de deformação e boa estética da peça injetada. As variações na temperatura do molde podem ocasionar tensões internas nas peças, presença de rechupes, rebarbas e ainda tempo de ciclo acima do necessário.

Outro fator importante no processamento das poliamidas, assim como da maioria dos plásticos de engenharia é a higroscopicidade, ou seja, esses materiais são capazes de absorver a umidade do ambiente. Esta umidade, na presença do calor liberado das resistências elétricas do aquecimento da injetora, provoca a degradação por hidrólise das cadeias poliméricas ocasionando, assim, a perda das propriedades mecânicas e óticas do material.

A Empresa JR - Adamver trabalha com a fabricação de óculos de sol e também com a linha receituário exclusivamente para a marca Mormaii. Para tanto, o fator qualidade deve estar sempre em primeiro plano em todos os setores da fábrica. A qualidade das peças injetadas, principalmente, é determinante para o correto andamento das outras etapas visto que o processo de moldagem por injeção caracteriza-se por ser o primeiro setor do processo produtivo.

Uma análise correta do processo pode possibilitar o encontro de mecanismos para minimizar os problemas atuais visando, dessa forma, o aumento da qualidade e produtividade das armações injetadas.

O presente relatório está dividido em três partes. No desenvolvimento estão apresentados os objetivos, um levantamento bibliográfico relativo aos temas abordados, a justificativa para a atividade desenvolvida, os métodos experimentais e analíticos utilizados e os resultados obtidos durante o período de estágio, assim como a discussão dos mesmos. Na conclusão, serão apresentadas as considerações finais em resposta as idéias e temas propostos na introdução e desenvolvimento do presente relatório.

2.0 DESENVOLVIMENTO

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar as condições de operação do processo de moldagem por injeção das armações utilizadas na fabricação de óculos da empresa JR – Adamver e propor melhorias para o mesmo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Detalhar o processo produtivo da empresa;
- Verificar quais os principais problemas nas peças produzidas pelo processo de moldagem por injeção;
- Avaliar as possíveis causas desses problemas;
- Propor medidas corretivas para melhoria no processo de injeção e minimização de defeitos nas peças.

2.3 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

2.3.1 Processo de Moldagem por Injeção

A moldagem por injeção é um dos principais processos de fabricação de peças de materiais poliméricos. É utilizado principalmente para termoplásticos, porém, os elastômeros e os termofixos também podem ser processados. O processo de injeção é adequado para produção em massa já que a matéria-prima pode, geralmente, ser transformada na peça pronta em apenas uma etapa e, além disso, tem a vantagem de possibilitar um processo totalmente automatizado com elevada qualidade e reprodutividade da peça (MICHAELI et al, 1995).

2.3.1.1 Máquina Injetora

As máquinas injetoras diferem nos aspectos de capacidade e complexidade, porém, segundo Michaeli et al (1995), possuem em geral os componentes descritos abaixo:

- Unidade de Injeção: neste componente o plástico é fundido, homogeneizado, transportado e injetado no molde. Geralmente as unidades de injeção são compostas por uma rosca que também serve como êmbolo de injeção e que gira em um cilindro aquecível ao qual o material é alimentado pela parte superior através de um funil.
- Unidade de Fechamento: é composta por uma placa fixa na parte onde encontram-se o bico de injeção e uma placa móvel na parte do fechamento. Nestas placas são fixados os moldes de injeção. A placa móvel desliza sobre as colunas da máquina atuando de forma semelhante a uma prensa horizontal e possibilitando assim a injeção do plástico dentro do molde perfeitamente fechado.
- Mesa de máquina e Gabinete de Controle: a mesa da máquina tem a função de abrigar as unidades de injeção e de fechamento incluindo todo o mecanismo hidráulico da máquina. O gabinete de controle abriga os componentes elétricos, instrumentos, reguladores, teclado e display por onde

são introduzidos e controlados os parâmetros da máquina. Geralmente, nas máquinas mais modernas, o gabinete de controle já é incorporado à mesa de máquina.

2.3.1.2 Molde

O molde é considerado como uma peça individual não pertencendo, dessa forma, diretamente à máquina injetora. É composto por no mínimo duas partes principais sendo estas fixadas nas placas fixa e móvel da unidade de fechamento. O molde tem a função de receber e distribuir o material fundido, modelar na forma da peça, resfriar a peça injetada e desmoldá-la. De acordo com Michaeli et al (1995), o molde é composto essencialmente pelos seguintes elementos:

- Placas com as cavidades: essas placas possuem as cavidades internas por onde será injetado o material fundido adquirindo o formato desejado. Uma maior rentabilidade do processo pode ser atingida com a construção de um maior número de cavidades nos moldes. Isso permite que o canal que vem da unidade de plastificação seja ramificado em vários outros canais que conduzem o material fundido até as cavidades individuais.
- Sistema de alimentação: o material fundido é pressionado pelo sistema de alimentação durante a fase de injeção e, através do ponto de injeção, é introduzido na cavidade formando a peça. Os sistemas de alimentação são diferenciados para cada molde e material tendo a possibilidade de implantação de câmaras quente que permitem a moldagem da peça sem a presença de canais de injeção trazendo assim, maior economia ao processo.
- Sistema de troca térmica: é um sistema de canais internos por onde passa o fluido de refrigeração (geralmente água) com a finalidade de promover a estabilidade térmica dentro do molde.
- Sistema de extração: é composto por unidade de extração e extratores. Ao término do resfriamento, o molde é aberto pela unidade de fechamento e os pinos de extração são movimentados em direção da peça por um cilindro hidráulico de maneira que a peça seja expulsa para fora do molde. Muitos sistemas também são formados por extratores pneumáticos.

2.3.1.3 Ciclo de Injeção

Os passos do processo de moldagem são coordenados pela ação do comando da máquina e se repetem em cada ciclo. O tempo de ciclo deve ser o menor possível para se atingir alta produção e boa rentabilidade. Segundo Michaeli et al (1995), o ciclo de injeção é formado pelas seguintes etapas:

- Dosagem: o material é transportado do funil em direção a ponta através de uma rosca que gira dentro do cilindro onde o material é compactado e fundido. Enquanto o material é transportado, ele é ao mesmo tempo empurrado de volta pelo material que se acumula no cilindro até chegar a uma posição definida da rosca. Neste ponto, esta já acumulou material suficiente para injetar a peça. O volume acumulado de material em frente da rosca é chamado de volume de dosagem e este parâmetro é ajustado de acordo com cada molde.
- Injeção: a injeção é realizada pelo avanço da rosca empurrando o material fundido dosado anteriormente até o molde sendo que a rosca atua como êmbolo neste caso. A pressão de injeção é uma grandeza fixa, assim como a velocidade de injeção, as quais podem ser parametrizadas na máquina injetora.
- Escoamento no Molde: o processo de escoamento pode ser dividido nas fases de injeção, compressão e recalque. Na fase de injeção o molde é preenchido com o material fundido e, seguidamente, a velocidade de injeção é reduzida. Neste momento inicia-se a etapa de compressão onde cerca de 7% do material é introduzido no molde. Ao atingir o nível de pressão pré-determinado na injetora passa-se para a etapa de recalque. No recalque o material é introduzido para suprir a contração que o material sofre dentro da cavidade.
- Resfriamento: o resfriamento das peças inicia-se com o processo de enchimento e se encerra com a extração. O processo de resfriamento é auxiliado pelo fluido de refrigeração que percorre os canais no interior do molde e permite a manutenção da temperatura do mesmo. O tempo de resfriamento é ajustado para deixar a peça em uma temperatura pré-determinada e geometricamente estável.

2.3.1.4 Variáveis que Influenciam no Processo

A injeção de termoplásticos é um processo que envolve muitas variáveis tais como temperatura, pressão, tempos, velocidades além dos fatores estruturais das peças e do maquinário como o molde, a matéria-prima e a própria máquina injetora. Dentre essas variáveis, a temperatura, a pressão, os tempos e as velocidades podem ser manipuladas e controladas durante o processo de injeção e se configuram como variáveis determinantes no processo (MARAGHI, 1997).

2.3.1.4.1 Temperatura

As temperaturas no processo de injeção devem ser ajustadas para garantir boa qualidade das peças e que estas atendam as especificações. Os fatores que influenciam a temperatura podem ser advindos da estrutura do maquinário ou dos parâmetros inseridos na injetora. Entre os fatores estruturais estão a geometria da rosca e do bico de injeção, os canais de distribuição e pontos de injeção, acabamento superficial e sistema de remoção de ar do molde. Entre os parâmetros estão as temperaturas indicadas para cada zona de aquecimento, a contra-pressão, a rotação da rosca, velocidade de injeção e tempo de residência do material fundido no canhão (MARAGHI, 1997).

A seguir estão alguns efeitos que, de acordo com Maraghi (1997), são causados por altas temperaturas do material fundido e da superfície do molde.

- Degradação térmica: quando submetido à temperaturas excessivas, o polímero pode sofrer queima ou degradação térmica, o que provoca a quebra das cadeias moleculares e afeta suas propriedades óticas e mecânicas.
- Rebarbas: temperaturas excessivas do canhão e do molde causam rebarbas na linha de separação do molde devido à redução drástica da viscosidade do material.
- Compactação excessiva: a redução da viscosidade pode ocasionar a compactação excessiva na peça, aumentando assim o seu peso e suas dimensões.

- Extração deficiente: devido a maior compactação e a possível presença de rebarbas, a peça se prende mais firmemente no molde. Isso dificulta sua extração e pode ocasionar marcas provocadas pelos extratores, empenamento e tenção excessiva nas peças.
- Variação na contração: em caso de utilização de altas temperaturas, fica difícil controlar a taxa de resfriamento da peça, o que pode resultar em uma contração excessiva, e as peças não se conformarão com as dimensões especificadas.
- Ciclos mais longos: quanto maior a temperatura do material e do molde, maior será o tempo requerido para resfriamento da peça.
- Chupagem: as altas temperaturas causam um atraso na solidificação do núcleo de seções grossas. Isso provoca o resfriamento na ausência de pressão de recalque gerando, portanto, marcas de chupagem ou vazios nas peças.
- Retenção de ar: se a viscosidade do material é muito baixa e a velocidade de injeção é muito alta, as aberturas de ar podem ser bloqueadas pelo material, antes que o ar possa escapar do molde, podendo ocasionar assim bolhas nas peças.

Segundo Maraghi (1997), ao passo que altas temperaturas causam grandes quantidades de defeitos nas peças, temperaturas excessivamente baixas do material fundido e do molde, também podem causar grandes transtornos.

- Peças incompletas: podem ser produzidas devido a solidificação prematura do material fundido no molde.
- Linhas de fluxo: geralmente também são produzidas devido ao resfriamento prematuro do material da superfície interna do molde.
- Acabamento superficial pobre: se o conteúdo de calor do material fundido é baixo, a massa do material começa a solidificar-se antes que possa reproduzir o acabamento superficial nas cavidades.
- Linhas de solda fracas: ocorre quando dois ou mais fluxos de material derretido se encontram dentro do molde e não se fundem corretamente devido a baixa temperatura do material ou do molde.
- Cristalinidade incompleta: no caso de polímeros cristalinos, se o material fundido estiver frio demais, acaba não se cristalizando completamente o que

pode causar problemas de contração, pós-contração e empenamento, além de serem prejudicadas várias propriedades físicas e mecânicas.

- Tensões residuais: com as baixas temperaturas do material fundido o resfriamento ocorre muito rapidamente e a peça acaba não passando por uma relaxação das moléculas e, com isso, as tensões devidas a orientação molecular ficam retidas. Além disso, com baixas temperaturas a viscosidade é maior e demanda uma pressão de injeção muito elevada que se traduz em altas tensões residuais.
- Desgaste da injetora e do molde: com a alta viscosidade, os parâmetros de pressão e velocidade são maiores, ocasionando assim um desgaste desnecessário na máquina injetora e no molde de injeção.
- Peças não-compactadas: baixas temperaturas do material reduzem a compactação no molde resultando em instabilidade dimensional e propriedades mecânicas inferiores.

2.3.1.4.2 Pressão

As variáveis de pressão no processo de injeção são determinantes para o bom funcionamento da máquina injetora, além da obtenção de peças com a mínima porcentagem de defeitos. As pressões geralmente têm vínculo direto com os parâmetros determinados para as temperaturas. De acordo com Maraghi (1997), o processo de injeção trabalha com vários tipos de pressão:

- Pressão de injeção: é a força que expelle o material fundido para fora do canhão e o injeta dentro do molde, criando uma pressão nas cavidades logo após serem preenchidas. É também conhecida como pressão de enchimento.
- Pressão de recalque: durante o resfriamento, a pressão de recalque é aplicada até que o ponto de injeção se solidifique evitando que o material retorne para fora da cavidade. Além disso, tem a utilidade de compensar a contração da peça durante o resfriamento com a introdução de uma quantidade extra de material.
- Contra-pressão: é uma pressão exercida durante o retorno da rosca e tem a finalidade de expelir qualquer porção de ar que fique entre os grânulos de

plástico na zona de alimentação e de melhorar a plastificação e homogeneização do material.

- Pressão de fechamento: é a pressão exercida pela placa móvel para manter o molde fechado durante a aplicação da pressão de injeção.
- Pressão de extração: é a pressão exercida sobre os extratores que farão a expulsão da peça resfriada.

Estas pressões podem ser parametrizadas na máquina injetora, porém, sofrem influência de vários fatores como, por exemplo, a configuração da peça, a construção do molde, propriedades reológicas da matéria-prima e desgastes da injetora (MARAGHI, 1997).

Assim como as temperaturas, as pressões também exercem grandes influências sobre as questões de qualidade e produtividade e as principais influências provocadas pelas altas pressões são, em geral, muito semelhantes àquelas provocadas pela temperatura (MARAGHI, 1997).

Os principais efeitos relativos a alta pressão são rebarbas, alto nível de tensão residual, compactação excessiva e dificuldade de extração das peças no caso de pressão de injeção e recalque muito elevados. Com relação aos efeitos provocados pela baixa pressão, pode-se citar as peças incompletas, com acabamento superficial ruim, com linhas de soldas fracas e com perda nas propriedades mecânicas devido a baixa compactação. As baixas pressões de fechamento e de extração podem acarretar em rebarbas e dificuldades na extração da peça, respectivamente (MARAGHI, 1997).

2.3.1.4.3 Velocidade e Tempo

Assim como as outras variáveis do processo, o tempo e a velocidade exercem um importante papel tanto na questão de qualidade quanto na produtividade. Quando se fala em tempo, a velocidade também está incluída já que existe uma proporcionalidade entre as duas (MARAGHI, 1997).

Entre os principais parâmetros a serem ajustados nos aspectos de velocidade e tempo estão a velocidade de injeção, velocidade de rotação da rosca

(RPM), tempo de injeção, tempo de recalque, tempo de resfriamento e tempo de abertura e fechamento do molde. Os ajustes de tempo devem ser feitos a partir dos menores valores possíveis objetivando o aumento da produtividade, porém, deve-se tomar cuidado para não comprometer as características da peça e da máquina injetora (MARAGHI, 1997).

O tempo de injeção deve ser o menor possível para a formação do injetado. O de recalque deve ser o suficiente para manter a peça sobre pressão até a solidificação do ponto de injeção (MARAGHI, 1997).

O tempo de resfriamento depende de vários fatores sendo que, entre eles, destaca-se a espessura da parede e temperatura de extração da peça, temperatura da parede da cavidade no molde e temperatura do material fundido (MARAGHI, 1997).

Deve-se verificar a espessura da parede da peça ainda na fase de projeto e construção do molde evitando a formação de paredes espessas, o que dificultará o resfriamento da peça. As temperaturas do material fundido, do molde e da extração da peça são determinadas pelo fabricante e devem ser cumpridos visto que inúmeros testes foram realizados para obtenção desses valores e estes proporcionam as melhores características do material moldado (CRUZ, 2002).

Na questão de velocidades, deve-se tomar cuidado nos parâmetros de velocidade de abertura e fechamento do molde e extração para não comprometer as características estruturais do molde e na rotação da rosca para não haver cisalhamento excessivo e degradação térmica do material. As velocidades de injeção também devem ser moderadas para não haver degradação térmica, cisalhamento excessivo, desgaste no maquinário e devem ser altas o suficiente para preencher as cavidades do molde antes do material iniciar a solidificação, evitando assim, o aparecimento de marcas de fluxo, linha de solda e acabamento superficial ruim (MARAGHI, 1997).

2.3.2 Poliamidas ou Náilons

A poliamida foi um dos primeiros termoplásticos de engenharia produzidos, e hoje compreendem uma larga variedade, vasto volume de produção e grande número de aplicações. Destacam-se entre os plásticos de engenharia por suas ótimas propriedades tais como alta resistência ao tempo, baixo coeficiente de atrito, alta temperatura de fusão, boa resistência ao impacto e a fadiga. Além disso, possui ainda uma boa resistência química a um grande número de solventes (WIEBECK & HARADA, 2005).

De acordo com Strong (2000), as poliamidas apresentam a unidade de repetição descrita na figura abaixo.

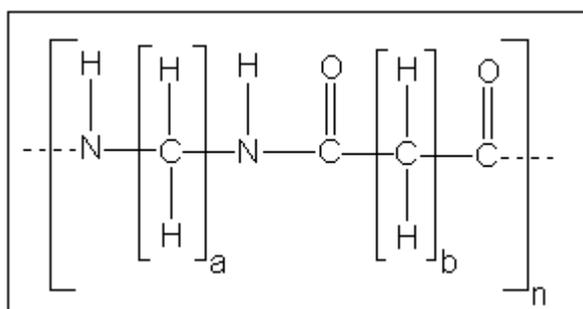


Figura 1 – Unidade de repetição das Poliamidas.

Fonte: Strong (2000)

Na figura, o subscrito **n** representa o número de repetições da cadeia polimérica e os subscrito **a** e **b** indicam o número de CH₂ que variam para cada poliamida. Essa variação do número de CH₂ é a principal responsável pelas variações das propriedades desses materiais. Um bom exemplo disso é a capacidade de absorção de água. Quando o número de CH₂ é menor, o número de grupos amida por unidade de extensão de molécula é maior. Então, a polaridade global do plástico aumenta e, por consequência, a capacidade a absorção de água também (STRONG, 2000).

As resinas de poliamida podem ser divididas em dois grupos distintos de acordo com a matéria-prima que a originou. No primeiro grupo estão as poliamidas polimerizadas a partir de uma diamina e um diácido como é o caso das Poliamidas 6.6, 6.10, 6.12 entre outras. No segundo grupo estão aquelas polimerizadas a partir de um aminoácido como é o caso das Poliamidas 6.11, 12, etc (WIEBECK & HARADA, 2005).

Segundo Wiebeck & Harada (2005), a Poliamida 12 ou Náilon 12, que é o foco deste estudo, é formada pelo monômero Laurilactama. As fórmulas químicas do monômero e do polímero estão apresentadas abaixo:

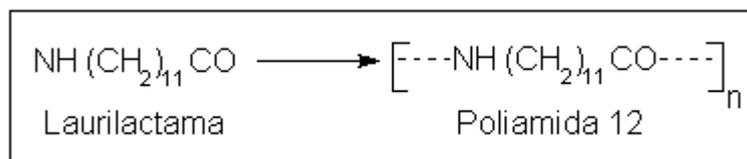


Figura 2 – Fórmula química da Laurilactama e da Poliamida 12.

Fonte: Wiebeck & Harada (2005)

O Náilon 12, assim como as outras poliamidas alifáticas, é um polímero termoplástico. Devido a maior quantidade de CH₂ entre os grupos amida (CONH), a sua unidade de repetição é mais longa o que diminui a atração molecular e a capacidade de cristalização. Assim, o Náilon 12 caracteriza-se em geral por ser um termoplástico com estrutura semi-cristalina (WIEBECK & HARADA, 2005).

2.3.2.1 EMS – Grilamid

A classe Grilamid representa um grupo de produtos que tratam-se de poliamidas transparentes produzidas pela fabricante EMS. Esses materiais termoplásticos unem as características amorfas explicando assim sua alta transparência, com as propriedades semi-cristalinas já que tratam-se de Poliamidas 12 (EMS-GRIVORY, 2007).

A empresa JR - Adamver utiliza, atualmente, duas especificações desta mesma classe de materiais que serão chamadas de **Grilamid 1** e **Grilamid 2**.

Os dois materiais possuem características como boa resistência mecânica e química, estabilidade a luz e ao calor, leveza, facilidade de processamento e alta transparência, além de boa resistência dimensional e alta resistência ao stress-cracking. Devido a essas características, a classe Grilamid apresenta ainda uma série de aplicações além da indústria de armações para óculos. Entre elas destaca-se o segmento automotivo e o industrial na fabricação de fibra ótica, plugs elétricos, filtros, válvulas, perfis, laminados, tubos, entre outros produtos. A vasta aplicação está relacionada também a possibilidade de

processamento através de moldagem por injeção e por extrusão (EMS-GRIVORY, 2007).

Para aplicação na indústria de armações de óculos, algumas características são determinantes. Entre elas estão a resistência mecânica, a alta transparência e a baixa densidade (EMS-GRIVORY, 2007).

Com relação à resistência mecânica, de maneira generalizada, pode-se dizer que o náilon apresenta excelente resistência à fadiga, baixo coeficiente de atrito e boa tenacidade variando de acordo com o grau de cristalização (ALBUQUERQUE, 1990).

A alta transparência das especificações **Grilamid 1** e **Grilamid 2** posicionou esses termoplásticos entre os materiais com melhores propriedades óticas. Podemos visualizar na Figura 3 um comparativo com outros materiais.



Figura 3 – Gráfico da transparência das matérias-primas utilizadas em comparação com outros materiais.

Fonte: Adaptado de EMS-GRIVORY (2007).

Igualmente à transparência, as especificações utilizadas do Grilamid apresentam também baixos valores de densidade quando comparados a outros materiais, como pode-se perceber pela Figura 4.

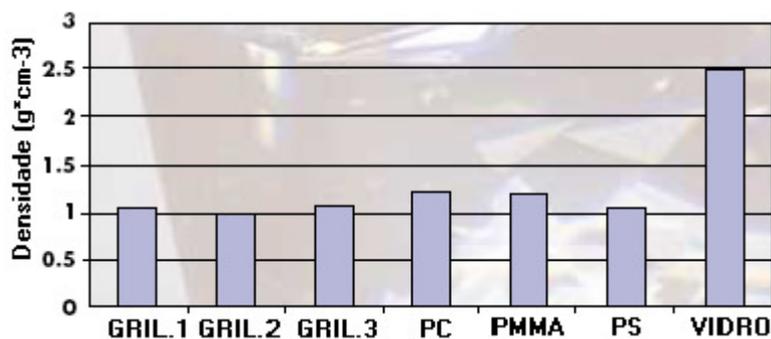


Figura 4 – Gráfico da densidade a 20 °C das matérias-primas utilizadas em comparação com outros materiais.

Fonte: Adaptado de EMS-GRIVORY (2007).

Um aspecto marcante na classe Grilamid é a baixa capacidade de absorção de umidade. Entre as poliamidas, o Náilon 12 é um dos menos sensíveis a umidade devido a maior quantidade de CH₂ entre a molécula, o que diminui a polaridade do material como já foi citado anteriormente (EMS-GRIVORY, 2007).

A absorção de água reduz sua resistência e rigidez, e aumenta o alongamento e a resistência a impactos, porém, o principal problema está no processamento do material. Na temperatura normal de processamento, a umidade provoca a degradação da resina polimérica. Essa degradação nada mais é do que a hidrólise de cadeia polimérica devido a reação química com a molécula da água. A reação é possível graças a energia cedida pelas resistências elétricas da máquina de processamento (STRONG, 2000).

Nas peças injetadas, a umidade causa inúmeros efeitos. Entre eles pode-se citar as bolhas, marcas de fluxo e perda das características mecânicas tornando as peças mais quebradiças. Esses efeitos são comumente fonte de rejeição das peças injetadas refletindo assim em um maior custo de processamento e evidenciando a importância de controle da umidade nos processos de moldagem por injeção (WIEBECK & HARADA, 2005).

Os percentuais de absorção de umidade assim como outras propriedades estão dispostas no Quadro 1.

Quadro 1 – Propriedades das Matérias-Primas Utilizadas no Processo de Injeção.

| Propriedades | Grilamid 1 | Grilamid 2 |
|--|-------------------|-------------------|
| Densidade a 20 °C (g*cm ⁻³) | 1,04 | 1,00 |
| Absorção de Água a 23 °C por imersão (%) | 2,50 | 3,00 |
| Absorção de Umidade a 23 °C e 50% U.R. (%) | 1,00 | 1,50 |
| Temperatura de Transição Vítreia (°C) | 110 | 125 |
| Temperatura de Fusão (°C) | 265 | 265 |

Fonte: EMS-GRIVORY (2007).

Hoje essa matéria-prima é distribuída em sacos de 20Kg fechados a vácuo. De acordo com o fabricante EMS, se o material for adequadamente armazenado em local seco, sem rupturas no saco, e se for utilizado logo depois de aberto, não necessita de secagem antes do processo de injeção. Qualquer dano ocorrido na embalagem do material já demanda a necessidade de secagem.

Para a secagem é recomendada a permanência de quatro a seis horas, a uma temperatura de 80°C em secador ou desumidificador. Não é recomendada a secagem apenas por circulação de ar quente, já que nesse caso a eficiência de secagem dependerá da umidade do ar circulante (EMS-GRIVORY, 2007)

Os materiais da classe Grilamid podem ser processados utilizando equipamentos convencionais de moldagem por injeção. A recomendação é para a utilização de uma rosca de injeção com relação comprimento / diâmetro entre 18:1 e 22:1. Quanto maior esta relação, maior será o tempo de trabalho mecânico que o material irá sofrer, bem como maior será o tempo de residência sob a ação do calor. Também para não haver trabalho mecânico excessivo, recomenda-se o uso de uma taxa de compressão variando entre 2,0:1 e 2,5:1. Para evitar longos tempos de residência, deve-se optar por uma injetora em que se utiliza entre 60% e 80% do volume máximo de alimentação (EMS-GRIVORY, 2007).

Dependendo do modelo de unidade de plastificação utilizada, a temperatura do cilindro deve encontrar-se entre 240°C e 280°C. Uma temperatura excessivamente baixa leva a formação de pressões internas nas peças injetadas, enquanto as temperaturas muito altas, combinadas com longos tempos de

residência, podem levar a degradação térmica do material, provocando mudanças nas propriedades mecânicas e óticas (EMS-GRIVORY, 2007).

As temperaturas do molde devem estar entre 40°C e 120°C variando de acordo com o molde e a peça injetada. O controle de temperatura do molde é extremamente importante, pois dele dependem principalmente os parâmetros de pressão de injeção e tempo de refrigeração. Temperaturas muito baixas do molde necessitam de altíssimas pressões de injeções, enquanto temperaturas muito altas elevam também o tempo de ciclo da injeção (EMS-GRIVORY, 2007).

As peças injetadas com materiais da classe Grilamid podem ser revestidas com pinturas para fins decorativos, ou mesmo para melhorar os aspectos de estabilidade ao tempo (clima) ou a luz. O problema mais comum no revestimento para plásticos é obter-se a aderência adequada. Segundo o fabricante EMS, poliuretanos bicomponentes dão bons resultados na pintura de materiais dessa classe. Além da tinta adequada, pode-se utilizar também um tratamento superficial na peça antes da pintura, para melhorar a aderência. Esses tratamentos podem ser eletroquímicos, como tratamento corona e plasma, tratamentos térmicos como o de chama ou químico através do uso de primers.

Para possibilitar a cura das pinturas ou vernizes, o fabricante recomenda a utilização de temperaturas até 50°C. Temperaturas superiores a essa podem amolecer o material causando sua deformação (EMS-GRIVORY, 2007).

2.4 JUSTIFICATIVA: ATIVIDADE DESENVOLVIDA

No processo de moldagem por injeção, é comum os fabricantes de matéria-prima especificarem as condições de trabalho para que o material apresente suas melhores características. Contudo, geralmente essas especificações não são aplicadas devido a vários fatores como redução do tempo de ciclo, falta de estrutura física e de equipamentos necessários.

No caso da Empresa JR – Adamver, o processo de produção de óculos inicia-se pela etapa de moldagem por injeção e, por ser uma fase inicial, trata-se de uma etapa importantíssima já que dela depende a qualidade das atividades posteriores. A Empresa conta atualmente com quatro máquinas injetoras de pequeno porte e estas são responsáveis por toda a produção de armações que são, geralmente, formadas pelo conjunto haste e lente. Pelas características necessárias a essas armações, utiliza-se como matéria-prima uma Poliamida 12 do fabricante EMS. Esse material confere características como alta resistência química e física, leveza, facilidade de processamento e alta transparência.

A questão da transparência é determinante já que uma grande proporção das peças é pintada com tintas translúcidas ou cristal. Assim, qualquer defeito interno na peça injetada inviabiliza esse tipo de pintura e torna necessária uma pintura escura para promover o recobrimento dessas imperfeições.

Os defeitos e imperfeições externos trazem ainda mais transtornos devido ao fato de a empresa não reutilizar o material já processado, ou seja, uma vez injetadas, as peças são aproveitadas no processo ou descartadas do mesmo, sendo então vendidas para outras empresas. Atualmente não há um processo de moagem e reaproveitamento do material já injetado pelo fato de alterar as características de resistência e transparência da peça.

Entre os principais problemas levantados pela análise do processo de moldagem por injeção estão a presença de marcas de fluxo, bolhas internas e alta variação das condições de injeção de acordo com o clima do dia. Essas variações causam principalmente a presença de rechupe, excesso de rebarbas, peças com marcas de solda, grande contração pós-moldagem entre outros problemas.

Atualmente esses problemas não chegam a inviabilizar o processo de injeção já que o produto produzido possui um alto valor agregado que cobre as perdas do processo. Porém, o fator a se considerar é a produtividade pelo fato de hoje não haver estrutura física a ponto de comportar outra máquina injetora na unidade industrial fazendo-se necessário uma produção maior com as máquinas já existentes para suprir a demanda. Assim, as perdas com processo podem ser diminuídas e, conseqüentemente, a produtividade poderia ser aumentada caso esses problemas fossem minimizados.

Através dos problemas verificados e consultando a literatura existente no assunto, pode-se levantar algumas hipóteses a serem investigadas. Um aspecto importante a ser observado é a variação de temperatura do molde ao longo do tempo de trabalho. Alguns problemas relacionados a essa variação podem ser visíveis como rechupes, marcas de fluxo, rebarbas. Mas, além desses, são comuns aqueles que não são facilmente percebidos, mas que causam influência fundamental na qualidade da peça injetada. Pode-se citar neste caso a contração excessiva pós-moldagem e empenamento da peça, falta de uniformidade da estrutura e perda de resistência mecânica.

Um dos problemas mais observados no processo de fabricação dos óculos da Empresa JR - Adamver é a necessidade de correção no formato de uma grande proporção dos óculos produzidos. Ao sofrerem a contração própria dos polímeros após processamento, as armações acabam se curvando além do normal e então, é realizado um leve aquecimento por uma resistência elétrica e os óculos são dispostos de forma a serem moldados com a curvatura certa.

Caso fossem utilizadas temperaturas mais altas no molde ocorreria, em geral, um pequeno aumento na contração total da peça. Porém, grande parte dessa contração ocorre ainda dentro do molde onde além de estar no formato desejado, a ação do recalque não permite que a peça saia imperfeita. Dessa forma, após a moldagem, a peça sofre contração em proporções muito menores não causando problemas de formato da peça. Com a utilização de temperaturas muito baixas no molde como acontece atualmente, ocorre o inverso da situação anterior. Em geral há uma pequena diminuição da contração total, porém, um grande acréscimo na contração pós-moldagem o que torna o desempenho da peça imprevisível devido a

alteração da forma depois de processada, comprometendo assim a aplicação (EMS–GRIVORY, 2007).

Outro aspecto relevante e causador de alguns dos problemas citados anteriormente, como bolhas e marcas de fluxo é a umidade. Como foi citado no Levantamento Bibliográfico, caso a matéria-prima fosse utilizada logo após a abertura da embalagem não necessitaria do processo de secagem. No entanto, no caso da Empresa, por serem produzidas apenas peças pequenas, o consumo de matéria-prima não chega a 4 Kilogramas por hora de trabalho. Além disso, não há um controle de alimentação de material apenas para o dia de serviço e, por isso, é comum a sobra dos mesmos nos funis de alimentação das injetoras.

Dessa forma, com um maior tempo de exposição ao ambiente, a matéria-prima acaba absorvendo umidade e gerando maior quantidade de defeitos nas peças produzidas no dia seguinte. Esses efeitos são sentidos em maior proporção com a especificação aqui chamada de Grilamid 2 devido ao seu maior potencial de absorção de umidade e, além disso, nos dias de maior umidade relativa do ar como dias chuvosos ou com baixa temperatura.

2.5 METODOLOGIA (MATERIAIS E MÉTODOS)

Os métodos propostos abaixo têm como finalidade comprovar a necessidade de otimização do processo de moldagem por injeção e, além disso, fornecer dados suficientes para possibilitar o desenvolvimento de alternativas para melhoria do processo.

2.5.1 Métodos Analíticos

2.5.1.1 Métodos Gravimétricos

- Determinação do teor de umidade na matéria-prima EMS Grilamid 2.

A determinação do teor de umidade na matéria-prima utilizada no processo de moldagem por injeção tem por objetivo verificar a necessidade a secagem deste material durante o processamento.

Segundo o fabricante, a matéria-prima é embalada seca e é mantida neste estado devido a embalagem a vácuo e impermeável a umidade. Se consumido logo após a abertura da embalagem, o material não necessita passar por secagem, porém, caso demore a ser utilizado, absorve a umidade do ambiente e necessita assim de secagem antes de ser processado.

A amostra da matéria-prima, aqui chamada de Grilamid 2, foi retirada do funil de alimentação da injetora as 12:00 horas, ou seja, no meio do turno de trabalho e a pesagem do mesmo foi feita as 08:00 horas do dia seguinte. Dessa maneira, este material ficou exposto à umidade aproximadamente 25 horas já que, neste caso, a matéria-prima foi retirada da embalagem e posta no funil de alimentação em torno das 07:00 da manhã, horário no qual inicia-se a produção. Assim, será então determinado o teor de umidade absorvida no período de 25 horas assemelhando-se à condição de trabalho quando ocorre a sobra de material no funil de alimentação de um dia para outro.

A amostra inicialmente foi dividida em três partes iguais e dispostas em três placas de Petri, que foram previamente limpas e secas por um período de 30 minutos em um dessecador. O material é então pesado em uma balança analítica

com precisão 0,0001 gramas e as massas da matéria-prima somadas a umidade adquirida pelo período de 25 horas são anotados. As amostras foram inseridas em uma estufa a 80 °C e permaneceram no local durante 5 horas para a secagem, como o indicado pelo fabricante. As amostras foram novamente pesadas e a diferença entre a massa inicial e a massa final representa a umidade do material retirada durante a secagem. Para certificação de que o material está realmente seco e dar assim confiabilidade aos resultados, procede-se o ensaio de Indicador de Voláteis de Thomasetti apresentado na seqüência.

2.5.1.2 Métodos Instrumentais

- Medição das temperaturas do molde, da torre de resfriamento e ambiente em relação ao tempo de trabalho.

A medição das temperaturas do molde, da torre de resfriamento e ambiente em relação ao tempo de trabalho da máquina injetora tem por objetivo verificar qual a temperatura média de estabilização dos moldes e observar o tempo necessário para que esta temperatura seja atingida. Além disso, será possível ter uma noção da relação entre as temperaturas do molde e da água de refrigeração com a temperatura ambiente.

No caso do processo de moldagem por injeção da Empresa JR - Adamver fica inviável o acompanhamento do comportamento térmico de cada molde, visto que a Empresa possui uma grande quantidade de modelos. Como a grande maioria dos moldes são operados com tempos de ciclo aproximados já que as peças apresentam também dimensões semelhantes e utilizam as matérias-primas com propriedades térmicas muito próximas, serão acompanhados quatro moldes, escolhidos aleatoriamente.

Foram utilizados para as medições um termômetro de infravermelho para medição da temperatura da superfície interna do molde e um termômetro convencional de mercúrio para medição da temperatura da água na torre de resfriamento e da temperatura ambiente.

O termômetro de infravermelho tem capacidade de leitura na faixa de -30 à 550 °C e trabalha com uma precisão de 2 °C para mais ou para menos. Tem a

capacidade de fazer a leitura da temperatura através da medida da energia radiante emitida pelo corpo sem ter a necessidade de contato. Essa característica é fundamental para a correta medição da temperatura da superfície interna do molde.

As leituras de temperatura do molde foram realizadas fazendo-se a varredura da superfície das cavidades e adotando-se o maior valor encontrado. As medições foram realizadas entre os ciclos de injeção da máquina.

Logo em seguida, foram realizadas as medições de temperatura ambiente e da torre de resfriamento da água de refrigeração do molde. Essas leituras foram realizadas por um termômetro de mercúrio com faixa de leitura entre -10 e 210 °C. No caso da torre de resfriamento, o termômetro fica mergulhado no reservatório inferior durante cinco minutos aproximadamente para equilibrar a medição do termômetro com a temperatura do fluido. No caso da temperatura ambiente, o termômetro ficava cerca de cinco minutos exposto próximo a torre a fim de medir a temperatura correta do local.

As medições foram realizadas a partir do início da produção as 07:00 horas. A segunda medição foi realizada as 07:15 horas para possibilitar a observação do aumento gradativo da temperatura. As seguintes foram realizadas em intervalos de aproximadamente uma hora até as 17:00 horas. Esses dados foram coletados em quatro dias diferentes.

2.5.2 Métodos Experimentais

- Ensaio I.V.T. – Indicador de Voláteis de Thomasetti

O ensaio de indicação de voláteis de Thomasetti é um procedimento rápido e simples que tem por objetivo a verificação da presença de substâncias voláteis no material analisado. Neste caso, o ensaio foi realizado na matéria-prima aqui chamada de Grilamid 2 e executado antes e logo após a secagem para comprovar a inexistência de água.

Em uma chapa de aquecimento ajustada para a temperatura de fusão da matéria-prima (265 °C) coloca-se duas lâminas de vidro. Sobre uma delas são dispostos três grânulos do material com uma pinça.

A seguir, posiciona-se a segunda lâmina sobre a primeira sendo exercida uma pressão na lâmina superior com o auxílio de uma régua até que os grânulos

amassados fiquem com aproximadamente 12 mm de diâmetro. Chegando nesta medida, as lâminas são então removidas e resfriadas à temperatura ambiente.

A presença de bolhas no material fundido indica que a secagem não foi eficiente e, a ausência destas, indica que não há a presença de voláteis na matéria-prima e a secagem retirou toda a umidade do material (GE PLASTICS, 2007).

2.6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através da medição das temperaturas do molde, da torre de resfriamento e ambiente em relação ao tempo de trabalho, como proposto no item 2.5.1.2, foi possível gerar os gráficos apresentados na figura abaixo:

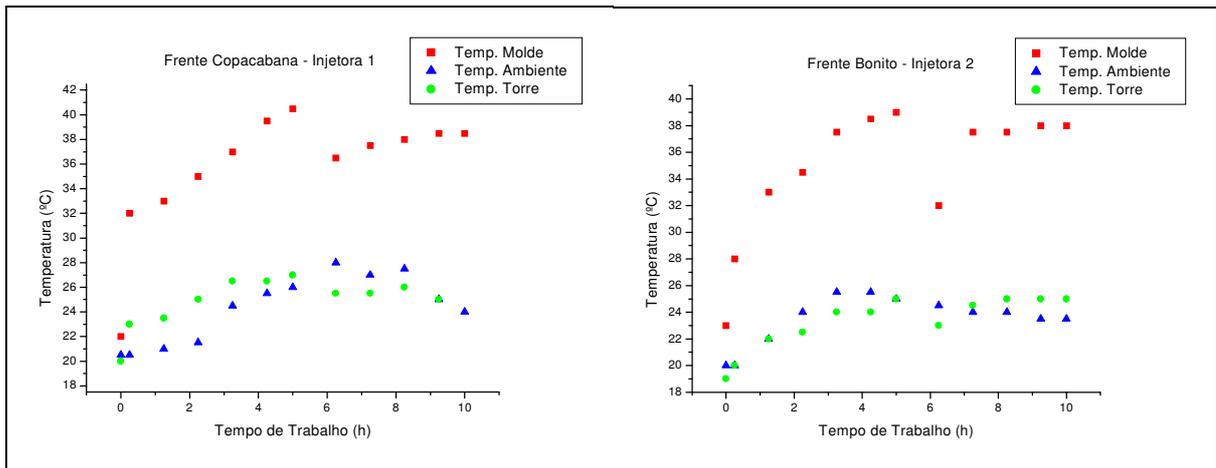


Figura 5 – Gráficos da temperatura do molde, da torre de resfriamento e da temperatura ambiente em relação ao tempo de trabalho.

Fonte: Elaboração do Autor (2007).

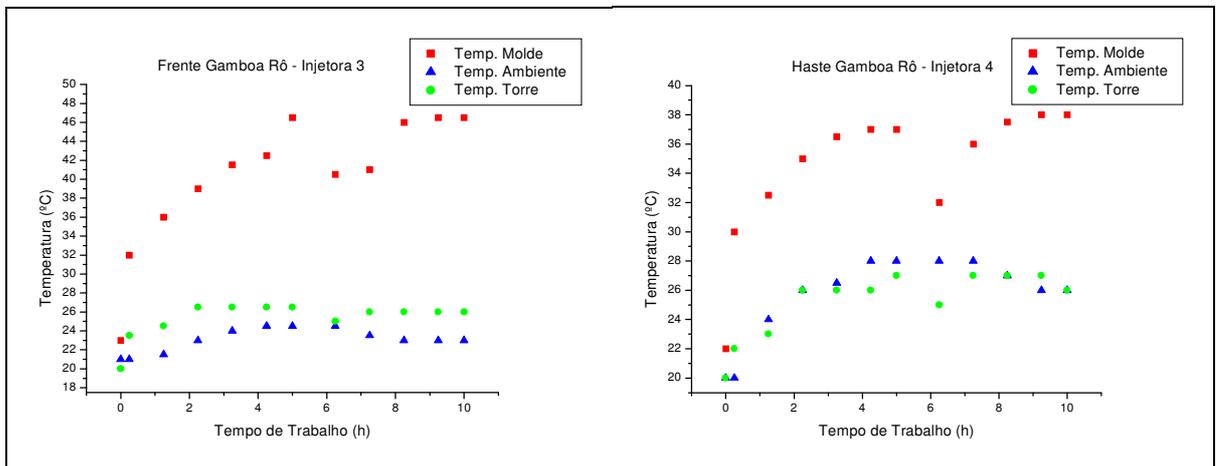


Figura 6 – Gráficos da temperatura do molde, da torre de resfriamento e da temperatura ambiente em relação ao tempo de trabalho.

Fonte: Elaboração do Autor (2007).

Através da análise dos gráficos apresentados nas Figuras 5 e 6, pode-se destacar dois aspectos relevantes sendo eles a temperatura e o tempo de estabilização da mesma no molde.

Pode-se perceber que, em geral, as temperaturas dos moldes estabilizam-se somente após a quarta hora de trabalho. Verifica-se ainda que entre a quinta e sexta hora há um decréscimo na temperatura do molde e este retorna a estabilidade somente próximo da sétima hora. Este decréscimo é devido ao período de uma hora em que as máquinas injetoras ficam desligadas para horário de almoço dos operadores.

Dessa forma, nota-se que, pelas medições realizadas, os moldes ficam cerca de cinco horas em regime transiente de temperatura das nove horas de trabalho efetivo das injetoras. Nos gráficos, são consideradas dez horas de trabalho pois, neste caso, foi incluído o intervalo em que as máquinas estão desligadas justamente para demonstrar a influência deste período no tempo de estabilização da temperatura.

Esta constante variação na temperatura do molde tem reflexos em outras variáveis do processo já que estas são dependentes como citado no Levantamento Bibliográfico. Esta variação causa, por conseqüência, uma diferenciação na reprodutibilidade e qualidade das peças ao longo do período de trabalho, ou seja, as peças injetadas no fim do turno podem apresentar características diferentes daquelas injetadas no início do turno. As diferenças não são somente superficiais, mas principalmente nos índices de contração, resistência mecânica e transparência da peça.

Com relação à temperatura de estabilização do molde, verificou-se que os moldes analisados tiveram as temperaturas estabilizadas entre 38 e 46 °C. Pode ser observado através dos gráficos também que estas medidas foram realizadas em condições amenas de temperatura tanto ambiente quanto da torre de resfriamento. Assim, espera-se que em condições extremas de temperatura como no inverno, por exemplo, as temperaturas do molde sejam reduzidas consideravelmente acompanhando o decréscimo das temperaturas da água da torre de resfriamento e da temperatura ambiente.

Como citado anteriormente no Levantamento Bibliográfico, segundo o fabricante de matéria-prima EMS, as temperaturas do molde devem estar entre 40 e 120 °C e temperaturas menores que essas especificadas causam excesso de contração pós-moldagem devido ao alto nível de tensões internas, além da possibilidade de ocorrer diminuição da resistência mecânica devido à baixa cristalização do material.

A condição ideal de trabalho seria iniciar a produção já com uma temperatura estável do molde acima de 40 °C sendo testado posteriormente a temperatura ideal pela relação da qualidade da peça pelo tempo de ciclo. Portanto, como proposta para minimização da variação e aumento da temperatura do molde conforme especificado pelo fabricante da matéria-prima, está a aquisição de um regulador de temperatura. Foram fornecidos para a Empresa Mecalor que é fabricante deste tipo de equipamento, os dados apresentados no quadro a seguir:

Quadro 2 – Dados do Processo Fornecidos para a Empresa Mecalor.

| | |
|---------------------------------|------------------------------------|
| Produção | 4 Kg*h ⁻¹ x 4 injetoras |
| Matéria-prima | Náilon 12 |
| Peso do molde a ser aquecido | 50 Kg x 4 moldes |
| Material do molde | Aço |
| Tempo desejado para aquecimento | 30 minutos |
| Temperatura desejada | 40 °C |

Fonte: Elaboração do Autor (2007).

Através desses dados, a Empresa Mecalor selecionou um termoregular do Modelo TMR-M-9/380. Este equipamento é projetado para fornecer um fluxo contínuo de água com temperatura controlada entre a temperatura da fonte fria que neste caso é a torre de resfriamento, até a temperatura de 90 °C. Para manter a temperatura estável nessa faixa de trabalho, este equipamento possui uma resistência de imersão, um sistema de resfriamento e um sistema de controle. O resfriamento é composto por uma válvula reguladora de pressão por onde é feita a alimentação de água da torre de resfriamento, uma válvula solenóide e uma válvula globo tipo agulha para ajuste do fluxo de água de resfriamento. Essa válvula deve ser ajustada corretamente de acordo com os diversos fatores como temperatura de trabalho, carga térmica do processo entre outros. O termoregular indicado está representado na Figura 7.



Figura 7 – Termoregulador TMR-M-9/380.
Fonte: MECALOR (2007).

Uma outra alternativa mais simples e barata, e que também pode trazer bons resultados é a instalação em cada injetora de um conjunto de rotômetros para regulação precisa da vazão. Dessa forma, pode-se ajustar para uma vazão baixa no início do processo de maneira que a temperatura do molde se estabilize mais rapidamente e, em seguida, manter uma vazão adequada para a manutenção de temperatura acima de 40 °C conforme recomendado. As vazões ideais devem ser observadas a partir de testes com variação da vazão e posterior medição da temperatura do molde, até a obtenção de um valor de referência para a vazão que garanta a temperatura do molde desejada.

Com relação à determinação do teor de umidade da matéria-prima EMS Grilamid 2 de acordo com o procedimento descrito no item 2.5.1.1, foram obtidos os valores descritos na tabela abaixo:

Tabela 1 – Valores de Massa Úmida, Massa Seca e Teor de Umidade da Matéria-Prima EMS Grilamid 2 em 25 Horas de Exposição.

| Amostra | Massa Úmida (g) | Massa Seca (g) | Umidade (%) |
|----------------|------------------------|-----------------------|--------------------|
| 1 | 45,5410 | 45,4100 | 0,2877 |
| 2 | 45,5320 | 45,4319 | 0,2198 |
| 3 | 45,5230 | 45,4110 | 0,2460 |
| Média | | | 0,2512 |

Fonte: Elaboração do Autor (2007).

Para confirmar a eficiência da secagem e assim dar credibilidade aos valores apresentados na tabela acima, foi realizado o ensaio de Indicador de Voláteis de Thomasetti proposto no item 2.5.2. As figuras dos resultados obtidos estão dispostas a seguir:



Figura 8 – Foto das lâminas do ensaio de Indicador de Voláteis de Thomasetti com material antes da secagem.

Fonte: Elaboração do Autor (2007).



Figura 9 – Foto das lâminas do ensaio de Indicador de Voláteis de Thomasetti com amostra de material seco.

Fonte: Elaboração do Autor (2007).

Verifica-se através dos dados da Tabela 1 que o material adquiriu cerca de 0,25% de umidade com tempo de exposição de 25 horas. Este valor pode ser considerado baixo quando comparado ao valor fornecido pelo fabricante que pode chegar a 1,5% de umidade, conforme os dados apresentados no Quadro 1 anteriormente.

Através do ensaio de Indicador de Voláteis de Thomasetti, foi possível verificar a eficiência na secagem do material já que as placas apresentaram-se

homogêneas, sem a presença de bolhas. Pela Figura 7, que mostra a placa com matéria-prima antes da secagem, pode-se observar claramente as bolhas entre o material fundido, o que indica a presença de umidade.

Como proposta viável para minimização dos efeitos provenientes da umidade, está a elaboração de uma planilha que deve ser entregue aos operadores, com o peso de material necessário para cada hora de trabalho e para cada modelo objetivando a alimentação de matéria-prima suficiente apenas para o dia de trabalho. Ao final do dia, a pequena quantidade de material que poderá sobrar no funil de alimentação deve ser retirada e acondicionada para posteriormente ser seca no desumificador que a Empresa já possui e que está acoplado ao funil de alimentação da injetora 2. Na Figura 10 está apresentado o desumificador da marca Piovan disponível na Empresa:



Figura 10 – Desumificador DS 403 da marca Piovan.
Fonte: PIOVAN (2007).

A situação ideal seria a instalação de um desumificador acoplado em cada funil de alimentação, porém, não é uma alternativa viável a curto prazo visto que trata-se de um equipamento relativamente caro.

3.0 CONCLUSÃO

Através de um detalhamento e análise do processo produtivo da Empresa JR – Adamver, pode-se perceber que a moldagem por injeção é um processo determinante para as outras etapas visto que, por ser a primeira parte do processo produtivo, a qualidade da peça injetada terá influência direta na eficiência das etapas posteriores e também na qualidade do produto final.

Com a análise do processo de injeção foi possível verificar os problemas e a partir deles, levantar as hipóteses que foram confirmadas através dos métodos analíticos e experimentais descritos anteriormente. De acordo com os dados obtidos, foram citados como propostas de melhorias a aquisição de um termoregulador ou então, como alternativa mais barata, a aquisição de rotâmetros para controle da vazão da água de refrigeração dos moldes e possibilitar a manutenção da temperatura desejada.

No caso da umidade, os problemas podem ser minimizados apenas com a utilização dos equipamentos já existentes na Empresa e com um maior controle da alimentação dos funis das injetoras, evitando sobras de matéria-prima para o dia seguinte.

Através da pesquisa bibliográfica realizada, acredita-se que essas alternativas de melhoria citadas trarão grandes benefícios a produtividade e principalmente a qualidade das peças injetadas.

Como sugestão para os próximos estudos no processo de injeção de poliamidas, pode-se buscar alternativas para controle da temperatura e umidade da sala de injeção e possibilidade de projetar-se moldes com câmaras quentes evitando as perdas de matéria-prima com canais de injeção.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, Jorge A. C.. **O plástico na prática**. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 1990. 275 p.
- CRUZ, Sérgio da. **Moldes de injeção: Termoplásticos**. 2.ed Curitiba, PR: Hemus, 2002. 242 p.
- EMS-GRIVORY. Disponível em: <<http://www.emsgrivory.com>>. Acesso em 14 out. 2007.
- GE PLASTICS. Disponível em: <http://www.geplastics.com.br/resinsbr/resins/techsolution/technifacts/preparacao_materias.html#determinacao>. Acesso em: 14 out. 2007.
- MARAGHI, Ron. **Defeitos de Moldagem na Injeção de Plásticos**. Salvador: Plasoft Tecnologia, 1997. 135 p.
- MECALOR. Disponível em: <www.mecalor.com.br>. Acesso em 15 out. 2007.
- MICHAELI, Walter et al. **Tecnologia dos plásticos**. São Paulo: Edgard Blücher, 1995. 205 p.
- PIOVAN: Desumificadores. Disponível em: <<http://www.piovan.com/pagine/app/intro.asp?tipo=4&app=0&lingua=por>>. Acesso em 18 nov. 2007.
- STRONG, A. Brent. **Plastics: Materials and Processing**. 2.ed New Jersey: Prentice Hall, 2000. 811 p.
- WIEBECK, Hélio; HARADA, Júlio. **Plásticos de engenharia: Tecnologia e Aplicações**. São Paulo: Artliber, 2005. 349 p.

APÊNDICE A - DESCRIÇÃO DO PROCESSO

O processo de produção de óculos inicia-se com o recebimento das matérias-primas e insumos e posterior distribuição para os setores da empresa conforme a necessidade.

A fabricação dos óculos inicia-se no processo de moldagem por injeção. A Empresa dispõe atualmente de quatro injetoras de pequeno porte já que tanto as peças injetadas quanto os moldes utilizados são de pequenas dimensões e não demandam elevadas pressões de fechamento e injeção.

As peças são injetadas com Poliamida 12 ou Náilon 12 na forma virgem, ou seja, sem a presença de materiais moídos e reciclados. São injetadas também sem a presença de pigmentos já que as armações passam posteriormente pelo processo de pintura.

A poliamida utilizada é da classe Grilamid da fabricante EMS-Grivory. A Empresa utiliza duas especificações dessa matéria-prima visto que apresentam as propriedades necessárias para a utilização na produção de armações de óculos como resistência mecânica, leveza e alta transparência para possibilitar pinturas translúcidas.

Após injetadas, os canais ou galhos de injeção são retirados com alicate e em seguida as peças passam pela primeira inspeção. Caso apresentem algum defeito externo como rechupe, marcas de fluxo acentuadas ou peça incompleta, as mesmas são retiradas do processo. As peças que apresentarem defeitos internos como pequenas bolhas ou sujeiras são separadas para pintura preta, uma vez que as imperfeições internas serão cobertas.

Se a peça injetada tratar-se de uma haste ou ponteira, segue diretamente para uma caixa com água para resfriamento. Caso tratar-se de uma frente, passa anteriormente por um molde de resina para haver um pré-resfriamento e promover a conformação adequada da peça. Se este procedimento não for realizado, a frente pode sofrer variações no formato devido à alta temperatura de saída do molde. Após resfriadas, as peças são secas à temperatura ambiente e acondicionadas em caixas separadamente de acordo com o modelo e por tipo de pintura (cristal ou preto) seguindo então para o estoque.

De acordo com a necessidade de produção, as peças vão sendo retiradas do estoque para serem beneficiadas no setor de montagem. Neste setor, são

retiradas as rebarbas provenientes da injeção, os pontos de injeção são lixados e as imperfeições são retificadas seguindo então para a etapa de tamboreamento.

O tamboreamento é o processo pelo qual as peças adquirem a abrasão necessária em sua superfície para possibilitar a aderência das tintas. Essa abrasão é proporcionada pelo atrito das armações com pequenas pedras com formato cônico composta basicamente de sílica.

As hastes e ponteiros passam somente pelo tambor rotatório permanecendo até um período de doze horas dependendo do modelo. No caso das frentes, além de passarem entre uma e duas horas no tambor rotatório, passam ainda por um tambor de vibração por aproximadamente 1,5 horas objetivando o melhor acabamento e, em conseqüência, melhor qualidade na pintura.

A seguir, as peças são lavadas utilizando um equipamento de ultra-som e são secas ao ambiente retornando para o setor de montagem para finalização desta etapa. Então, as peças passam pelo corte, embutimento das dobradiças e posterior inspeção. As armações que atendem as especificações são colocadas em caixas e estocadas aguardando o processo de pintura.

De acordo com as necessidades da sala de pintura, as armações são retiradas do estoque e novamente lavadas por ultra-som. Em seguida, são secas e encaminhadas para o interior da sala. Neste local, inicialmente são colocadas proteções nas dobradiças para estas não serem pintadas e são inseridos ganchos em cada armação. Algumas peças, dependendo do modelo, necessitam da aplicação de ploter antes ou durante as camadas de pintura para possibilitar a criação de detalhes ou efeitos.

Após cada aplicação de pintura ou após o término da mesma, as armações são secas à temperatura ambiente. Depois de secas, as peças seguem para a aplicação do verniz. Se o verniz a ser aplicado for fosco, então a aplicação será feita com uma pistola e a retirada das proteções de dobradiças será realizada posteriormente. Caso o verniz a ser aplicado seja com brilho, então as proteções de dobradiças são retiradas e as armações seguem para a aplicação de verniz automatizada (robô).

Em seguida, as peças são dispostas em uma câmara onde permanecem em constante rotação por aproximadamente trinta minutos a fim de homogeneizar a camada de verniz impedindo o acúmulo de material em alguns pontos da peça. As armações ficam então secando a temperatura ambiente dentro da sala de pintura.

Dependendo do modelo, podem passar também pela tampografia após o envernizamento. Antes de saírem da sala de pintura, as peças ficam no torno de 1,5 horas em uma estufa a 50 °C a fim de possibilitar a secagem e a cura ideais para o verniz melhorando assim as propriedades mecânicas do mesmo.

Ao serem removidas da sala de pintura, as peças passam pela tampografia onde são inseridas nas hastes a marca, códigos e nomes dos respectivos modelos. Na seqüência, as peças passam por uma inspeção minuciosa. Os pequenos defeitos na pintura são corrigidos na sala de polimento e as peças com defeitos incorrigíveis são retiradas do processo. As peças que passam pela inspeção seguem para a colocação de adereços ou adornos. Nesta etapa, são colocados adesivos, logomarcas, entre outros detalhes. Em seguida, vão para a etapa de encaixe das lentes.

As lentes, por sua vez, não são injetadas na fábrica. São compradas com as bases ou concavidades adequadas e são cortadas com o formato para cada modelo através de máquinas de corte de precisão. Saindo do corte, as lentes passam pela rebarbagem e posterior gravação da logomarca através de laser. Passam então por uma inspeção visual, e as lentes aprovadas seguem para o encaixe nas armações.

Após o encaixe, é feito um ajuste no formato do óculos quando necessário para ajustar a curvatura da armação através de um leve aquecimento proporcionado por uma resistência elétrica. A seguir, todos os óculos passam pelo teste de centro focal em um aparelho chamado opttester. Um laser incide sobre as lentes e, de acordo com a posição deste após transpassá-la, é aprovada ou não. Caso não seja aprovada, passa ainda pelo opttester computadorizado que dará maior precisão aos resultados. Se ainda assim a lente continuar fora das especificações, a lente com defeito é substituída e procedem-se novamente os testes.

Passadas todas essas etapas, os óculos seguem então para a última inspeção e, em caso de aprovação, são então limpos, embalados e acondicionados em caixas finalizando então o processo produtivo.

Para facilitar a compreensão, está representado na Figura 11 o fluxograma do processo:

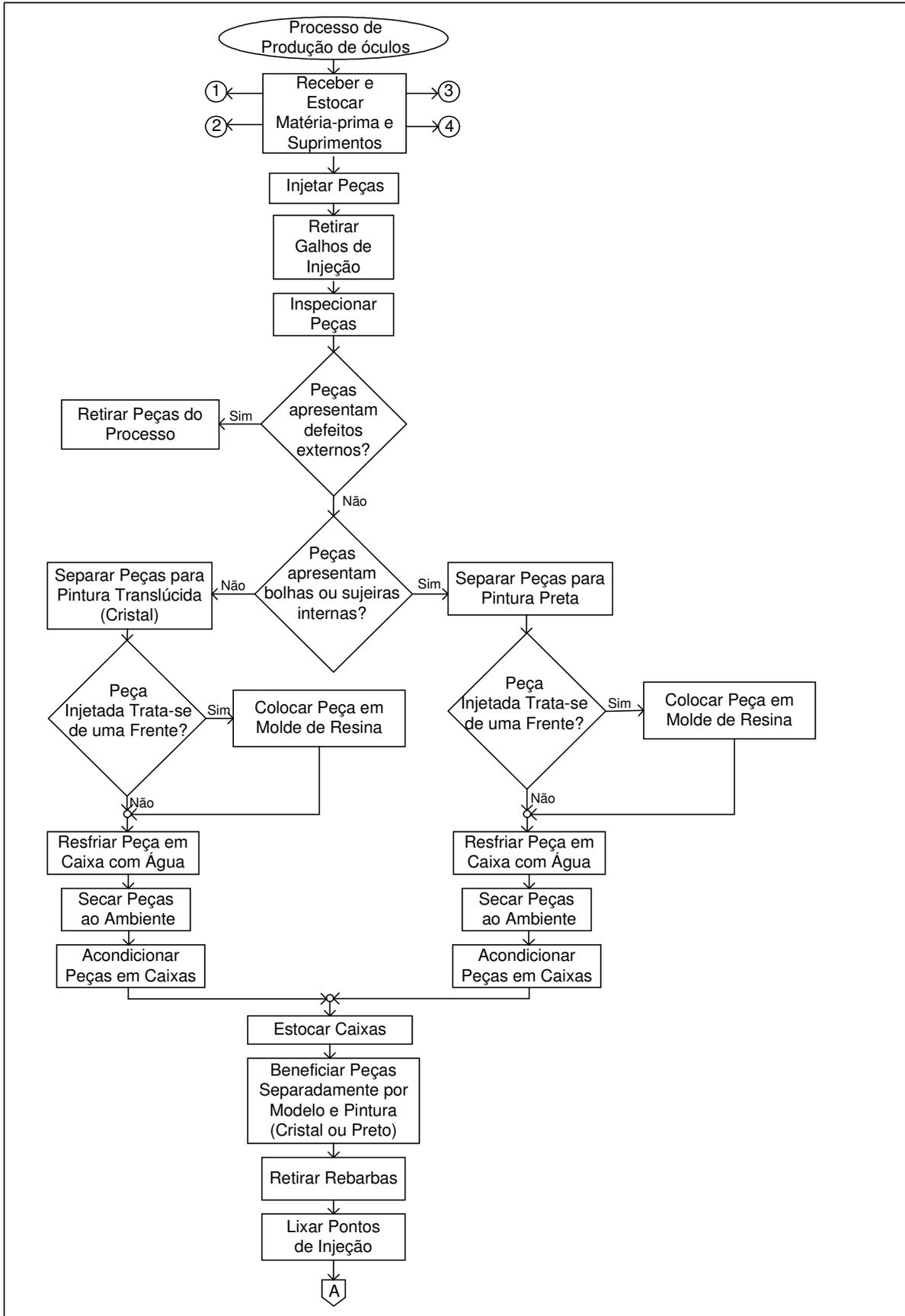


Figura 11 – Fluxograma do processo produtivo.
 Fonte: Elaboração do Autor (2007).

Continua

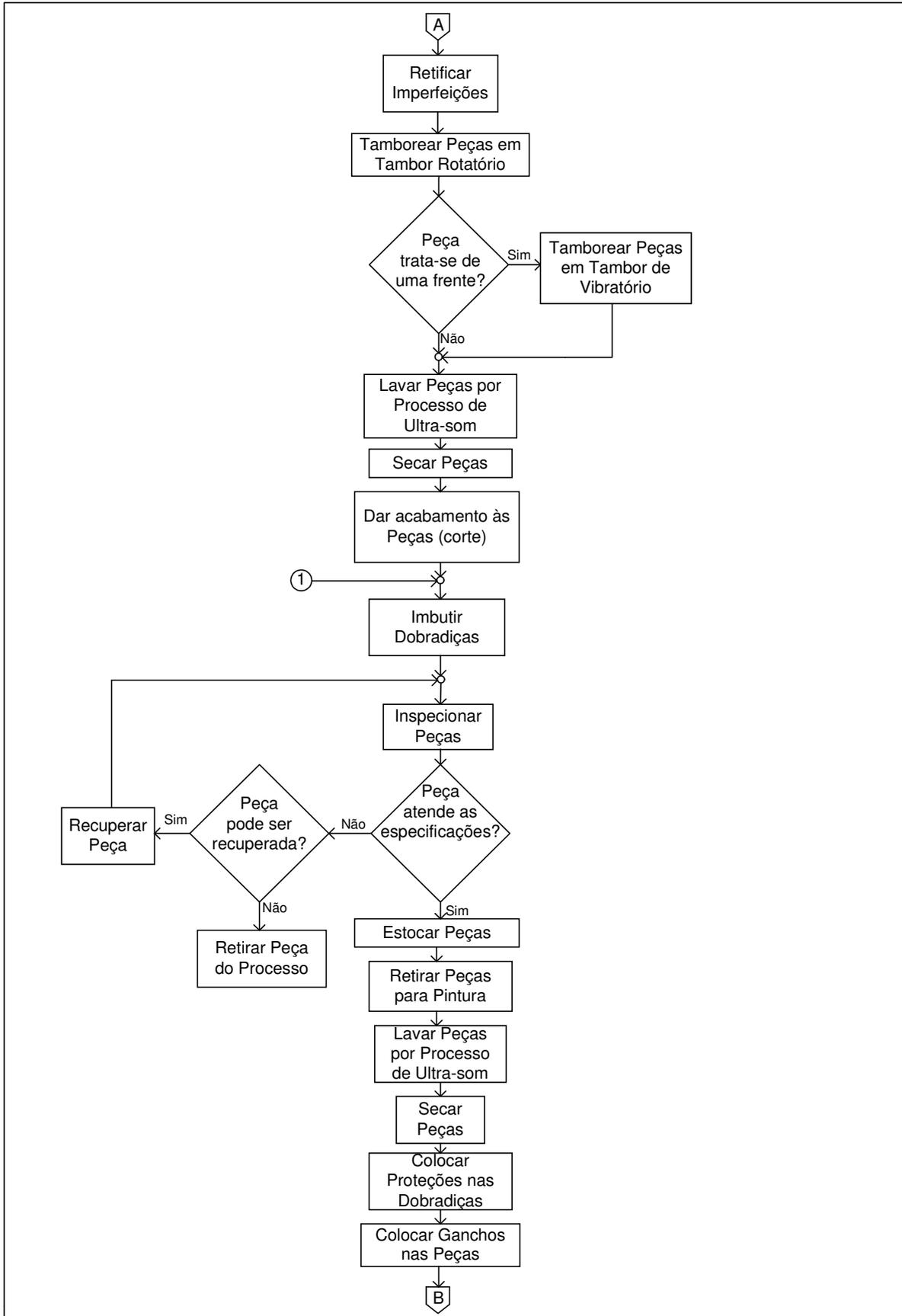


Figura 11 – Fluxograma do processo produtivo.
 Fonte: Elaboração do Autor (2007).

Continua

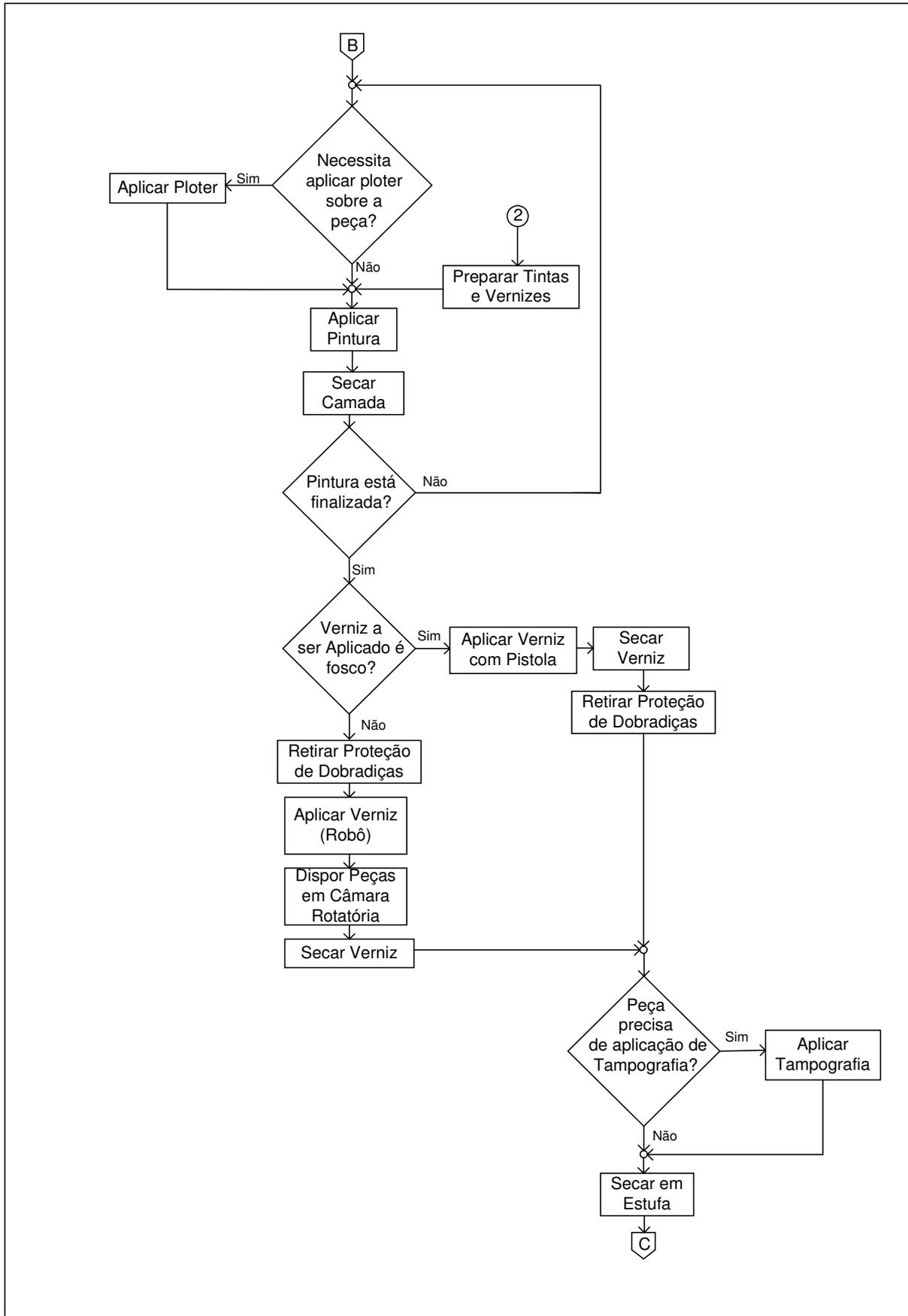


Figura 11 – Fluxograma do processo produtivo.

Fonte: Elaboração do Autor (2007).

Continua

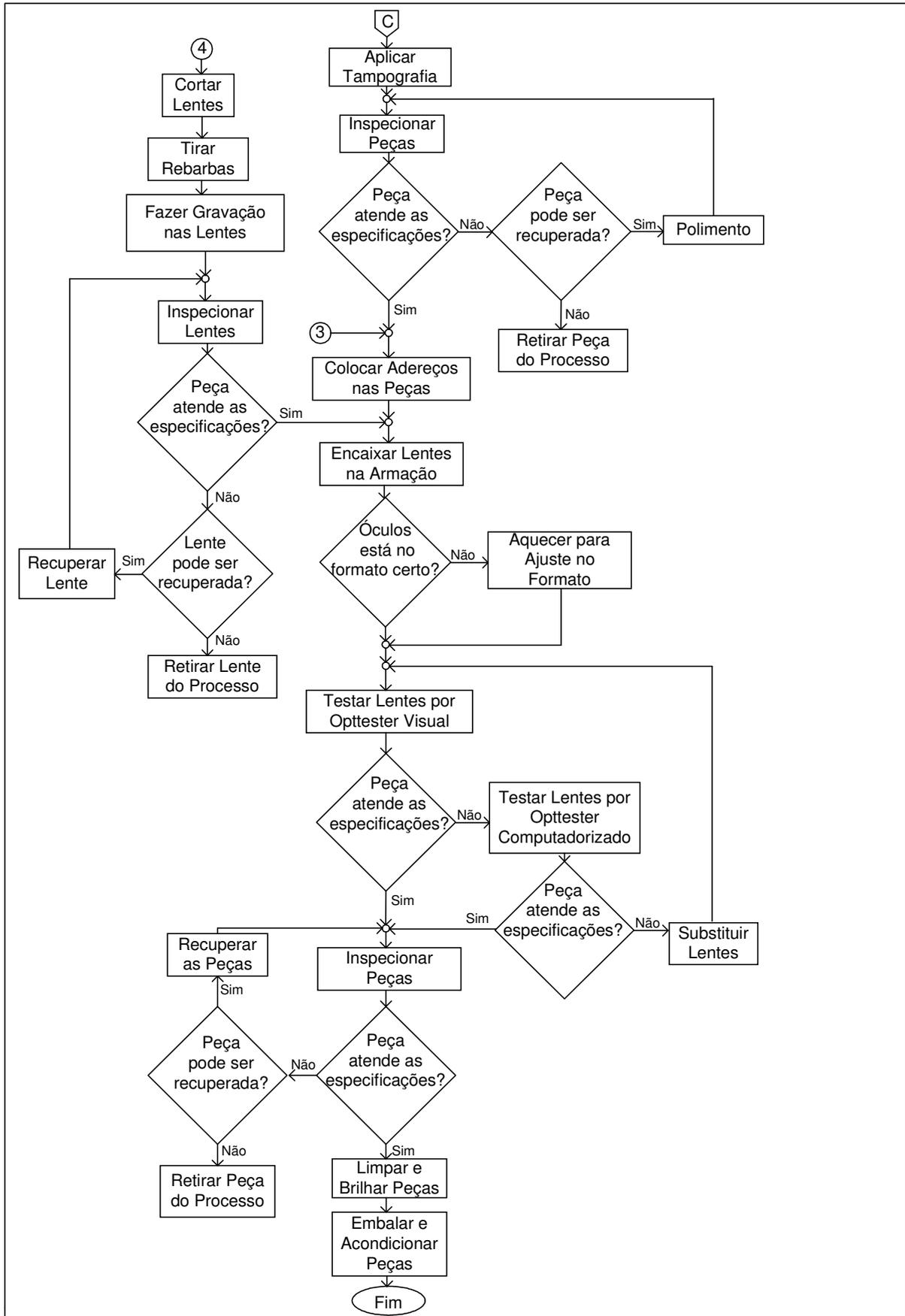


Figura 11 – Fluxograma do processo produtivo.

Fonte: Elaboração do Autor (2007).

APÊNDICE B - A EMPRESA

A Empresa JR – Adamver localiza-se em Garopaba – SC a cerca de 1 Km do centro da cidade. A Empresa atua no segmento ótico principalmente com a linha de óculos de sol, porém, atualmente se volta também para a linha de óculos receituário. Seus produtos são fabricados exclusivamente para a marca Mormaii que, por sua vez, também tem sua Sede na cidade de Garopaba.

Segundo a Empresa, a marca Mormaii é o grande diferencial do seu produto visto que tem grande prestígio no mercado e destaca-se, acima de tudo, por ser sinônimo de qualidade e design inovador.

Nome e Razão Social:

JR – ADAMVER INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE PRODUTOS ÓTICOS LTDA

Cidade-Estado:

Garopaba - SC

Setor do estágio:

Processo de Moldagem por Injeção.

Nome do Supervisor na Empresa:

Eng. Clauber Nuernberg.

Período de estágio:

21 de agosto a 09 de novembro de 2007.