

DESENVOLVIMENTO DE MÁQUINA DE BANCADA PARA PROCESSAMENTO DE TERMOPLÁSTICOS POR ROTOMOLDAGEM

Edson Agostinho Lima da Silva, edson.silva@mackenzie.br¹

Marco Stipkovic Filho, mstip@uol.com.br²

Nilson Casimiro Pereira, nilson.pereira@mackenzie.br³

¹Universidade Presbiteriana Mackenzie, Rua da Consolação, 930 – Consolação – São Paulo/SP,

²Universidade Presbiteriana Mackenzie, Rua da Consolação, 930 – Consolação – São Paulo/SP,

³Universidade Presbiteriana Mackenzie, Rua da Consolação, 930 – Consolação – São Paulo/SP

Resumo: O intuito deste trabalho foi desenvolver uma máquina de rotomoldagem de bancada para uso em laboratório, para ser utilizada em aulas e pesquisas de condições em processamentos, com a finalidade de diminuir a quantidade de material empregado em amostras de peças processadas, com vantagens em relação a outros processamentos de termoplásticos devido suas formas complexas e dimensões na fabricação dos moldes, controle preciso do peso das peças rotomoldadas e baixa perda de material com pouca ou nenhuma geração de rebarbas. No presente momento foi elaborado para a construção da máquina, estudos dos dimensionamentos, seleção dos materiais, desenhos técnicos em software 3D, com licença estudantil da Autodesk em parceria com a Universidade Presbiteriana Mackenzie, através do produto Inventor Professional que foram empregados no desenvolvimento do trabalho para a visualização e simulação da máquina, determinando assim sua concepção preliminar. Outros aspectos de importância na construção final da máquina foram destacados na redução do seu tamanho, melhor aproveitamento do espaço físico para o uso em bancada de laboratório, facilidade no seu manuseio e segurança. Neste trabalho também foram estudadas as propriedades mecânicas do sistema de engrenamento para as relações de rotações do braço mecânico e do platô para obter nos ensaios feitos com o molde bipartido usinado em alumínio com sua forma geométrica esférica, análises da espessura do produto rotomoldado em pó micronizado de polietileno de alta densidade por comparação de vários pontos de medidas utilizando um relógio comparador para medir a uniformidade da massa polimérica depositada. Com os resultados obtidos dos produtos rotomoldados de termoplásticos, a máquina possibilita o desenvolvimento de pesquisas experimentais em novos materiais e conhecimento científico e acadêmico.

Palavras-chave: Rotomoldagem, Processamento, Materiais termoplásticos.

1. INTRODUÇÃO

Os plásticos podem ser facilmente processados com a forma final de utilização. Por isso, embora seja possível adquirir barras, chapas, tarugos ou perfis, para usiná-los ou cortá-los e obter a configuração desejada. A atitude mais comum é conformar diretamente o produto numa só operação sem a necessidade de acabamento final que na maioria das vezes é dispensada. Com novas tecnologias e materiais, o processamento é frequentemente um fator competitivo e decisivo.

Nos dias de hoje com poucas limitações no processamento de materiais termoplásticos e termofixos do que em anos passados, que não eram imagináveis a alguns anos atrás, mas hoje tem se tornado comum (GONDAK; MACHADO 2007).

Os principais processos de transformação de composições moldáveis em artefatos de borracha, plástico e fibras são: Vazamento, Fiação por fusão, Compressão, Injeção, Calandragem, Extrusão, Sopro, Termoformação, Fiação Seca, Fiação Úmida e Imersão. Nos últimos anos a Rotomoldagem tem evoluído e permite a produção de peças mais complexas com baixo custo. Apesar de ser um processo lento, vem apresentando moldagens de peças de grandes dimensões (MANO; MENDES 2001).

Dentro deste contexto, a Rotomoldagem tem-se destacado abordando princípios inovadores com o desenvolvimento de um processo de moldagem que utiliza alta temperatura e baixa pressão para dar forma à peça através de calor e rotação biaxial, para produzir peças ocas (MORITA, 2012).

2. MATERIAIS E METODOS

Com as dimensões pré-definidas para a fase da construção da máquina de rotomoldagem de pequeno porte para uso laboratorial, foram utilizadas máquinas operatrizes como: torno mecânico, fresadora, serra de fita, máquina de solda, dobradeira, furadeira de bancada e outros processos manuais para a confecção das peças usinadas e toda parte de acabamento das matérias-primas utilizadas, que entre elas foram de ligas de metal, materiais cerâmicos, poliméricos e instrumentos de medições que foram acoplados contendo suas especificações e tabelas para selecionar o bom desenvolvimento e funcionamento do projeto que será apresentado.

2.1. MATERIAS

Os materiais foram selecionados de acordo com cada função da máquina, divididos em oito partes importantes do projeto sendo:

2.1.1. Painél de Comandos

Construído em chapa de alumínio com 2 mm de espessura, com secções dobradas em ângulos de 30 e 90 graus e medidas de 108x120x350mm com as laterais fechadas e com um alojamento rebaixado para o botão reset.

2.1.2. Base de Fixação

Feito em alumínio com dimensões de 100x70x150 onde são fixados com parafusos o braço mecânico, motor elétrico, jogo de engrenagens paralelas, Motor elétrico 12 volts 2 Amperes 36watts com 83 RPM, Controle (PWM) Tensão 6 a 15Vcc Corrente Máxima 3Amperes e Fonte de alimentação 127/220volts saída 12Vdc - Potência: 36Watts – Carga máxima: 2000mA.

2.1.3. Braço Mecânico

Tubo mecânico em aço ABNT 1010-1020 com diâmetro de 38x34x330mm onde são acoplados os rolamentos e a caixa de redução com buchas de Teflon e um jogo de engrenagens paralelas e cônicas para dar os movimentos do braço e dos discos de rotação e fixação (Tipo platô).

2.1.4. Carenagem de Proteção

Feito em chapa de alumínio com 2 mm de espessura dobrada a 90 graus com dimensões de 360x360x675mm e uma abertura para a câmara de aquecimento revestida com Lã de rocha, 4 pés emborrachados com regulagem de altura e encaixe da tampa móvel de trabalho em Celeron.

2.1.5. Carro Móvel

Base em alumínio onde serão fixados: 4 mancais de deslizamento, 4 mancais de fixação das 2 barras redondas em alumínio com diâmetro de 12,7x600mm, com puxador e uma abertura no centro da base onde está fixado o exaustor com vazão Min.830 Max. 1040m³/h – Pressão: Min.28 Max. 35 mm CA – Ruído: Min.45 Max. 52 dB(A) – Potência: 45w – Voltagem: 220v – Diâmetro da Tubulação 8”.

2.1.6. Câmara de Aquecimento

Construído com chapas de Aço inox de 0,25mm com dimensões de 270x270x270mm com um furo de encaixe para o termopar, tampa móvel revestida com lã de rocha e buchas de teflon onde serão encaixados dois Sopradores Serigráfico de 1200 Watts-127/220 volts com volume de ar de 350/550 L/min.

2.1.7. Molde Bipartido

Fabricado em alumínio usinado, com dimensão interna de 50 milímetros de diâmetro e com parede de 5mm de espessura.

2.1.8. Bancada ou Mesa de apoio

Baseada a partir da altura média de uma pessoa com 1,70metros, as dimensões serão: 75 a 90 cm de altura por 550 de largura e 80cm de comprimento, construída em tubos de aço e pés reguláveis com tampo em madeira revestida ou mármore.

2.2. METODOS

2.2.1. Painel de Comandos

A mesa de comandos foi fabricada em chapa de alumínio com 2 mm de espessura, com secções dobradas em ângulos de 30 e 90 graus com medidas de 108x120x350mm e laterais fechadas. Conforme a figura 1 da esquerda para a direita, na mesa de comandos foram acoplados: um display LCD, visores em alto relevo de acrílico com luz de LED colorida indicando cada fase de operação, botões de comando para rotação e temperatura, botão manual liga e desliga para os sopradores térmicos e exaustor, botão de parada de emergência e botão RESET.



Figura 1. Painel de comandos (vista frontal e lateral).

2.2.2. Base de Fixação

Fabricada em chapa de alumínio com 3 mm e dimensões de 100x70x150 onde são fixados com parafusos, arruelas e porcas: o braço mecânico, motor elétrico, jogo de engrenagens paralelas, Motor elétrico 12 volts 3 Amperes 36watts com 83 RPM, Controle (PWM) Tensão 6 a 15Vcc Corrente Máxima 3Amperes e Fonte de alimentação 127/220volts saída 12Vdc - Potência: 36Watts – Carga máxima: 2000mA. A base do apoio (Fig.2) será fixada na estrutura metálica por parafusos para facilitar sua montagem e desmontagem, em futuras manutenções preventivas e corretivas.



Figura 2. Base de fixação.

2.2.3. Braço Mecânico

O braço mecânico é um dos mecanismos mais importantes da máquina, pois ele dará o movimento bi rotacional ao molde e receberá muitas tensões térmicas de aquecimento e resfriamento a cada ciclo do processamento termoplástico (Fig.13). Devido às diversas dilatações que ocorrem durante o processamento, os materiais foram selecionados nas seguintes condições:

2.2.4. Haste Tubular = tubo mecânico em Aço ABNT 1010-1020, por apresentar menor deformação de dilatação e maior resistência. Também foram fixadas ao tubo com parafusos, duas buchas de deslizamento em Teflon, 2 engrenagens cônicas com 45 graus em aço ABNT 1010-1020 para a redução de velocidade e duas flanges de aço ABNT 1020 para acoplar os rolamentos e a caixa selada.

2.2.5. Haste de Torção = o material será de barra de aço carbono trefilado ABNT 1020 com diâmetro de 12 mm, onde deslizará entre os rolamentos nas duas extremidades, uma engrenagem cônica de 45 graus e uma engrenagem de dente reto que receberá o movimento de rotação do motor.

2.2.6. Engrenagens Cônicas = as três engrenagens foram usinadas em aço carbono ABNT 1020 que darão o movimento do braço e platô (dispositivo tipo prato para fixação dos moldes) conforme a figura 3 e a figura 4.

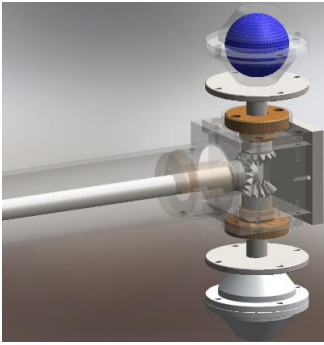


Figura 3. Braço mecânico (3D INVENTOR).

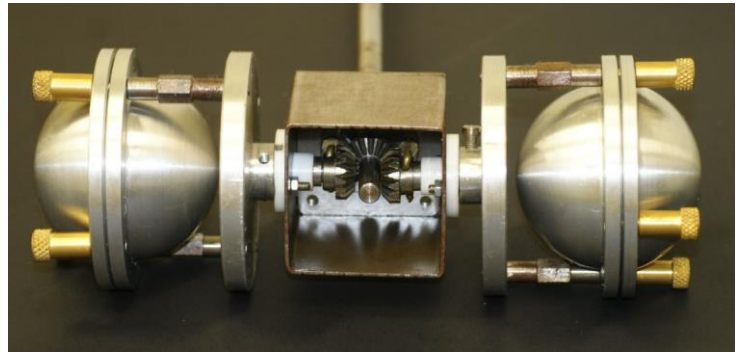


Figura 4. Caixa de engrenagens.

2.2.7. Carenagem e Estrutura Antitérmica

Conforme a representação da figura 5, a carenagem de proteção, foi fabricada de chapa dobrada de alumínio com espessura de 3mm, revestida com lã de rocha com uma abertura sobre o teto enquadra com Celeron, que dará acesso a câmara de aquecimento e um furo no teto para saída de ar quente da câmara do motor.

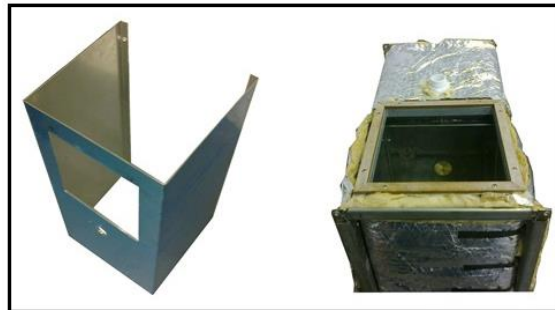


Figura 5. Carenagem e estrutura antitérmica.

2.2.8. Carro Móvel

O carro móvel, conforme representado na figura 6, foi construído em chapa e cantoneiras de alumínio com um furo central onde está fixado o exaustor, preso a dois eixos paralelos que são apoiados por mancais de fixação onde permite que o carro faça o deslocamento para a frente e para trás através de uma alça em alumínio, até a entrada do forno.

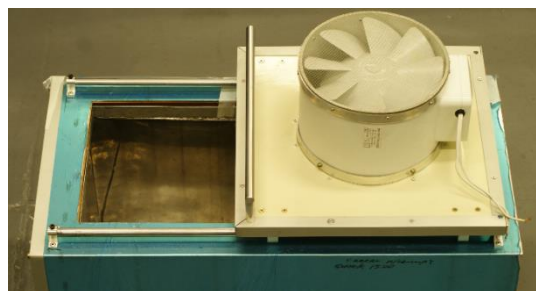


Figura 6. Carro móvel.

2.2.6. Câmara de Aquecimento

Feita em estrutura construída em chapa de aço inoxidável dobrada com espessura de 0,25 mm, formato de caixa quadrada, dimensões de 270x270x270mm com dois furos em uma das laterais da parede para entrada do eixo do braço mecânico (Fig.13) e encaixe do termopar. Para o fechamento da câmara, uma tampa removível em alumínio e aço inoxidável com buchas de teflon onde serão encaixados dois Sopradores Serigráfico de 1200 Watts-127/220 volts com volume de ar de 350/550 L/min, revestida internamente com lã de rocha para garantir o total isolamento térmico conforme ilustrado na figura 7.

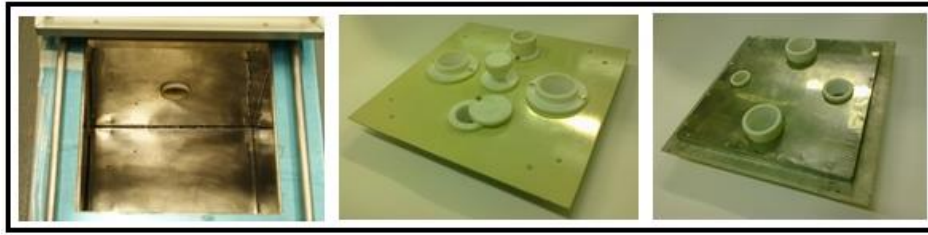


Figura 7. Câmara de aquecimento e Tampa removível.

2.2.7. Molde Bipartido

Conforme a imagem abaixo (Fig.8) temos por dentro do visor, uma peça em alumínio sendo usinada para a fabricação do molde para a máquina de rotomoldagem no Torno CNC (Fig.9), devido a necessidade na precisão dos raios internos e dos encaixes para selar as duas faces por meio de parafusos de fixação para evitar a saída de materiais pelas bordas causando rebarbas na emenda da peça. O molde bipartido (Fig.10), foi projetado para rotomoldar uma esfera de plástico (Bola), para que facilitasse as medidas das espessuras da peça cortada ao meio e para melhor desmolde com auxílio de extratores manuais (Fig.11).



Figura 8. Operação de Usinagem.



Figura 9. Torno CNC (ROMI,2013).



Figura 10. Molde Bipartido em Alumínio.



Figura 11. Extratores Manuais para desmoldar.



Figura 12. Soprador acoplado na tampa.



Figura 13. Câmara de aquecimento aberta.

3. FORMULAS ADOTADAS

Através de fórmulas de forças no engrenamento estabelecemos os cálculos para selecionar a potência dos motores necessários para girar os eixos do conjunto da máquina (STIPKOVIC,2001).

$$P_u = \frac{75 \cdot N}{V_m} (Kp) \quad (1)$$

$$V_m = \frac{d_m \cdot n}{1910} (m/s) \quad (2)$$

$$P_u = \frac{M_d \cdot 2}{d_m} = \frac{71620 \cdot N \cdot 2}{n \cdot d_m} (Kp) \quad (3)$$

Onde:

P_u = Força tangencial em Kp

N = Potencia transferida em CV

V_m = Velocidade tangencial média em m/s

d_m = Diâmetro primitivo médio em cm

n = Rotação em rpm

M_d = Momento torçor em Kp.cm

3.1. Cálculos das engrenagens principais

Reduções normalizadas escolhidas: 4: 1

$$i_1 = \frac{80}{20} = 4 \quad i_2 = \frac{33}{33} = 1 \quad (4)$$

Usando motor

$$M_T = 71620 \cdot \frac{N_m}{n} \cdot \eta_m \quad (5)$$

$$M_T = 71620 \cdot \frac{0,5}{83} \quad M_T = 431,4 \text{ kgf.cm}$$

$$n_1 = n_m \cdot i_1 \quad n_1 = 83 \cdot \frac{20}{80} \quad n_1 = 20,75 \text{ rpm} \quad (6)$$

$$M_{T1} = M_T \cdot i_1 \cdot 0,98 \cdot 0,97 \quad M_{T1} = 431,4 \cdot 4 \cdot 0,98 \cdot 0,97$$

$$M_{T1} = 1640,5 \text{ kgf.cm}$$

$$n_2 = n_1 \cdot i_2 \quad n_2 = 83 \cdot \frac{33}{33} \quad n_2 = 83 \text{ rpm} \quad (7)$$

$$M_{T2} = M_{T1} \cdot i_2 \cdot 0,98 \cdot 0,97 \quad M_{T2} = 431,4 \cdot 1 \cdot 0,98 \cdot 0,97$$

$$M_{T2} = 410,1 \text{ kgf.cm}$$

$$CC = \frac{m * (Z_i + Z_{i+1})}{2} \quad (8)$$

p/ o 1º par

$$CC = \frac{1 * (20 + 80)}{2}$$

$$CC = 50 \text{ mm}$$

p/ o 2º par

$$CC = \frac{1,5 * (33 + 33)}{2}$$

$$CC = 49,5 \text{ mm}$$

Para que as distâncias fiquem iguais foi aplicada a correção positiva no segundo par de engrenagens, pois os eixos das engrenagens são concêntricos.

2º par

$$50 - 49,5 = X * 2 \quad X_1 = 0,250 \quad X_2 = 0,000$$

O segundo par de engrenagens deve ser corrigido positivamente.

3.1.2. Critério de Pressão

$$f = 1512 \text{ (aço/aço)} \quad P_{at} \leq P_{adm} \quad h = 15000 \text{ horas}$$

$$P_{adm} = \sqrt{\frac{2 * f * M_T}{B * D_p^2} * \frac{i \pm 1}{i}} \quad (9)$$

$$P_{adm} = \sqrt{\frac{2 * 1512 * 1640,5}{1 * 2^2} * \frac{4 \pm 1}{4}} = 1245,1$$

$$W = \frac{60 * n * h}{10^6} \quad (10)$$

$$W = \frac{60 * 20 * 15000}{10^6} = 18 \text{ milhões de rev}$$

$$HB = \frac{W^{\frac{1}{6}} * P_{adm}}{48,7} \quad (11)$$

$$HB = \frac{18^{\frac{1}{6}} * 1245,1}{48,7} = 41,39 \text{ kgf/mm}^2$$

Como especificado na literatura, não são necessários os cálculos para todas as engrenagens visto que o pinhão é o mais solicitado, deste modo as outras engrenagens suportarão os limites de durabilidade pré-estabelecidos (STIPKOVIC, 2001).

3.1.3. Dimensões das Engrenagens

Par 1

Pinhão

$$D_p = 1 * 20 = 20 \text{ mm}$$

$$D_g = 1 * (20 + 1) = 21 \text{ mm}$$

$$B = 10 \text{ mm}$$

$$\alpha_0 = 20^\circ$$

Coroa

$$D_p = 1 * 80 = 80 \text{ mm}$$

$$D_g = 1 * (80 + 1) = 81 \text{ mm}$$

$$D_i = 80 - 1,2 * 2 = 177,6 \text{ mm}$$

$$B = 10 \text{ mm}$$

Par 2

Pinhão

$$D_p = 1,5 * 33 = 49,5 \text{ mm}$$

$$D_g = 49,5 * (1,5 + 2) = 53 \text{ mm}$$

$$D_i = 49,5 - 2 * 1,2 * 1,5 = 45,9 \text{ mm}$$

$$B = 10 \text{ mm}$$

$$\alpha_0 = 20^\circ$$

Coroa

$$D_p = 1,5 * 33 = 49,5 \text{ mm}$$

$$D_g = 49,5 * (1,5 + 2) = 53 \text{ mm}$$

$$D_i = 49,5 - 2 * 1,2 * 1,5 = 45,9 \text{ mm}$$

$$B = 10 \text{ mm}$$

$$\alpha_0 = 20^\circ$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tabela 1. Tempo de produção do produto rotomoldado feito no Laboratório de Usinagem da UPM.

Tempo (min)	Temperatura (°C)
0	21
5	133
10	161
15	177
20	185
25	190
30	193



Figura14. Peça rotomoldada em PEAD com relação 1:4.

Os ensaios obtidos do produto rotomoldado em polietileno de alta densidade apresentado na figura 15, feito com a relação de 1:1 entre os eixos apresentou uma deposição de material somente em um dos lados do molde, resultando numa peça rotomoldada com defeito. Com os ajustes de relação de 1:4 entre eixos, o resultado obtido das peças rotomoldadas em PEAD (Fig.14) foi satisfatório com uma variação média de 0.209 milímetros de espessura conforme a tabela 2 e medições com relógio comparador (Fig.17) e novos testes com pellets e polietileno com adição de negro de fumo (Fig.16).



Figura 15. Peça rotomoldada com relação 1:1.



Figura 16. Peça rotomoldada em pellets e polietileno com negro de fumo.



Figura17. Corte da peça e Medição com Relógio comparador digital.

Tabela 2: Comparação de medidas.

Pontos de referencia	Variação das medidas
1	0,835
2	0,794
3	0,768
4	0,664
5	0,873
6	0,738
7	0,697
8	0,852

5. CONCLUSÃO

De acordo com a tabela 1, que representa a média de temperatura alcançada pela máquina em função do tempo, nota-se que a partir de testes empíricos, a temperatura em 15 minutos é de 177°C. Em testes anteriores com a relação entre eixos sendo 1:1, houve maior concentração de material em um dos lados da peça ocasionando uma abertura conforme a figura 15. Stipkovic. 2001 [6] através de cálculos para o mecanismo a variação entre os eixos é de 1:4, sendo que o pinhão é o mais solicitado, deste modo as outras engrenagens suportarão os limites de durabilidade pré-estabelecidos. A utilização de dois Sopradores Térmicos de 1200 watts com vazão de ar de 350 a 550 L/min., com a quantidade de 7 gramas de material micronizado a média de tempo para fusão do PEAD está entre 10 a 15 minutos, sabendo que a temperatura de fusão é de 140 °C, (Fig.12).

6. AGRADESIMENTOS

A Deus, meu braço forte que me levanta e me faz seguir adiante, pois és digno de toda honra!

Este trabalho teve o apoio da Universidade Presbiteriana Mackenzie, com desenvolvimento pelos departamentos de Engenharia Mecânica e Engenharia de Materiais.

7. REFERENCIAS

Galera, V. 2007, “Simulação da etapa de resfriamento da poliamida no processo de rotomoldagem”, Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais), Universidade Estadual de Ponta Grossa, Paraná, Brasil, 119 p.

Gondak, Maurício de Oliveira. Machado, Marlon A. L. S. ”Projeto para o meio ambiente aplicado ao Desenvolvimento de produtos plásticos”. [online]. Disponível em: <<http://www.abcm.org.br/pt/wp-content/anais/cobef/2007/files/151013149.pdf>>. Acesso em 01 Abril 2014

Mano, E. B.; Mendes, C. L. 2001, “Introdução a polímeros” ,Ed. Edgard Blücher, Vol 2. São Paulo, Brasil.

Mano, E. B. 2003, “Polímeros como materiais de engenharia”, Ed. Edgard Blücher, São Paulo, Brasil.

Morita, Natália Miti. 2012, “Histórico e possibilidades do processo de rotomoldagem para transformação de polímeros termoplásticos”, Universidade do Estado de Minas Gerais – Escola de Design Minas Gerais, Minas Gerais, Brasil.

Stipkovic, M. 2001, “Engrenagens”. Printon, São Paulo, Brasil.

8. RESPONSABILIDADE AUTURAL

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste trabalho.

DEVELOPMENT OF BENCH MACHINE FOR THE PROCESSING OF THERMOPLASTICS BY MOLDING ROTATIONAL

Edson Agostinho Lima da Silva, edson.silva@mackenzie.br¹

Marco Stipkovic Filho, mstip@uol.com.br²

Nilson Casimiro Pereira, nilson.pereira@mackenzie.br³

¹University Presbiteriam Mackenzie, 930, Consolação St – Consolação – São Paulo/SP,

² University Presbiteriam Mackenzie, 930, Consolação St – Consolação – São Paulo/SP,

³ University Presbiteriam Mackenzie, 930, Consolação St – Consolação – São Paulo/SP.

Abstract. *The purpose of this work is to develop a rotational molding machine bench for laboratory use classes to be used in research and process conditions, in order to reduce the amount of material used in samples of processed pieces with advantages over other processes Plastic molded more complex shapes and with uniform wall thickness, promoting the development of experimental research new materials and increase scientific knowledge and academic. To date was performed the design of the machine, calculations and dimensioning, selection of materials that will be employed in the manufacture of the machine, technical drawings and simulation of 3D software with educational license of Autodesk in partnership with the Presbyterian University Mackenzie using the product Inventor Professional.*

Keywords: *Molding Rotational. Processing. Thermoplastics Materials.*