



CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

AMBIENTE INTEGRADO DE MANUFATURA PARA A PRODUÇÃO DE PEÇAS PLÁSTICAS TERMOFORMADAS

Bernardo Junqueira Murta, bjmurta@ufmg.br¹
Augusto Moura Martins, augusto.mmartins@yahoo.com.br¹
Diogo Azevedo de Oliveira, diogoazev@yahoo.com.br¹
Wanderson de Oliveira Leite, wanderson.leite@ifmg.edu.br²
Juan Carlos Campos Rúbio, juan@ufmg.br¹

¹Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901,
²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Rua Karen Lessa Rodrigues, 50 - Arquipélago Verde, Betim - MG, 32656-840

Resumo: Com o avanço de novas tecnologias em informação e automação, sistemas integrados de manufatura auxiliam uma corporação na criação de produtos customizados aumentando sua produtividade e qualidade, diminuindo custos e tempo de entrega, o que gera uma melhoria no desempenho operacional da empresa. O presente trabalho consiste na apresentação de uma proposta de ambiente integrado de manufatura aplicado à produção de peças plásticas por meio de termoformagem a vácuo (vacuum forming). O processo de termoformagem vem sendo largamente utilizado na indústria de plásticos por sua boa reprodutibilidade e baixo custo na confecção de moldes, possibilidade de produção de peças de tamanhos e complexidade diversos, com aplicação em diversas áreas desde na confecção de embalagens até na indústria automotiva e taxas de produção elevada. Neste trabalho, foi inicialmente idealizado um modelo de peça baseada em um personagem afamado. Posteriormente, o Ambiente Integrado foi definido, utilizando técnicas de Engenharia Reversa, programas computacionais de edição, desenho e adequação de objetos tridimensionais. Para a produção dos moldes foram gerados programas de trajetórias para centros de usinagem CNC com auxílio de plataformas CAM. Finalmente, o ciclo de produção do produto foi encerrado pela adequação do molde à máquina de termoformagem a vácuo, e a produção de peças em material polimérico. Desta forma, pode-se concluir que o Ambiente Integrado de Manufatura implementado acelerou o processo de produção de uma nova peça, concebida para ser fabricada por meio do processo de termoformagem a vácuo, encurtando o tempo entre a concepção e a colocação no mercado de um novo produto.

Palavras-chave: Sistema Integrado de Manufatura, Engenharia Reversa, Termoformagem, CAM

1. INTRODUÇÃO

Muito se evoluiu ao longo dos últimos anos com respeito à fabricação de produtos de maior qualidade, produtividade e customização para atender às novas exigências de mercado e de seu consumidor. De forma paralela com inovações tecnológicas nas áreas de informática, informação e automação, a evolução do processo produtivo auxilia as corporações com diminuição de custos de fabricação e operação, tempo de entrega e eventuais perdas por produtos mal acabados ou discordantes do padrão definido.

O que se vê hoje com o avanço dessas tecnologias foi o surgimento de técnicas que possibilita as corporações a alcançarem seus objetivos e se destacar na competitividade de mercado. Nesse âmbito, segundo Leite *et al.* (2010), se destacam a engenharia simultânea (current engineering), importante filosofia na criação de novos produtos integrando o processo produtivo e a parte organizacional para seu rápido lançamento no mercado; a manufatura integrada por computador (computer integrated manufacturing), que visa na introdução de elementos e ferramentas computacionais na automação do processo produtivo, também permitindo a integração de todas as atividades de produção de uma empresa (Marri *et al.*, 1998); e a engenharia reversa (reverse engineering) que evoluiu significativamente de processo manual para uma ferramenta que utiliza-se de softwares computacionais complexos e modernos (Raja *et al.*, 2008), auxiliando na diminuição do tempo de produção, desde o projeto até na confecção do produto acabado.

A grande absorção de conhecimento dos alunos de engenharia em uma universidade viabiliza a criação de sistemas integrados de manufatura, intercambiando diferentes técnicas de engenharia para a integração do projeto e as atividades

de manufatura, sem perdas das informações ao longo da cadeia produtiva. Em um laboratório de Usinagem e Automação, a produção científica já é bastante extensa em cada parte do processo, proporcionando a criação de produtos e trabalhos mais complexos com a utilização da engenharia reversa, por meio de softwares de modelagem tridimensional, como CAD e de digitalização.

Para este trabalho, foi proposto um cenário acadêmico de manufatura integrada para a produção de peças termoformadas a vácuo (vacuum forming). Para isso, utilizou-se da engenharia reversa para a criação de uma matriz em madeira, baseada em um personagem bastante conhecido pelo público. Após a edição do desenho e adequação do projeto, foram definidas trajetórias para a fabricação em um centro de usinagem, CNC, com auxílio de uma plataforma CAM. A matriz, após um tratamento específico, será utilizada para transformação no produto final, utilizando o equipamento de termoformagem, fechando o ciclo produtivo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Engenharia Reversa

A produção de um componente, peça, equipamento base, geralmente seguem etapas predefinidas que visam a confecção de um novo produto desde a sua idealização até a sua fabricação. A criação de novos produtos para o mercado envolve uma grande carga de estudo e formulação do projeto a fim de viabilizar sua produção com as perspectivas de mercado. Quando se parte de um produto já existente e, através deste, realizar as operações para sua reprodução, tal procedimento é conhecido como engenharia reversa.

O ponto de partida para esse processo está associado à modelagem a partir do produto real. A obtenção de um modelo CAD (*computer aided design*) tridimensional por meio de processos de digitalização de um modelo físico, por escaneamento de pontos ou nuvem de pontos, também conceituam a engenharia reversa como um meio para obter produtos já existentes (Raja *et al.*, 2008). O modelo obtido pode ser ajustado e modificado conforme a aplicação e necessidade, atendendo a critérios previamente estabelecidos pelo projeto ou por necessidades de mercado.

A prática da engenharia reversa vem sido bastante aplicada em atividades industriais (Leite *et al.*, 2010). O crescente investimento das empresas em equipamentos de CAD/CAM e Prototipagem Rápida vem diminuindo drasticamente o tempo de desenvolvimento e fabricação de seus produtos, tornando-se mais competitivas.

2.2. Digitalização

A digitalização de objetos tem o fim de se capturar dados sobre sua geometria e recriá-la tridimensionalmente, obtendo um modelo digital como cópia fidedigna do modelo físico. Após a extração das informações 3D do objeto, é criado um modelo sólido, o qual pode ser trabalhado por meio de um software CAD ou CAM (Zhang & Yu, 2003).

Segundo Raja *et al.* (2008), a digitalização, como processo de obtenção das coordenadas de um modelo real tridimensional, pode ser realizada por dois diferentes métodos: por contato e sem contato. A digitalização por contato consiste na geração de uma série de pontos a partir do contato de uma sonda (sensor), memorizando as coordenadas cartesianas que compõem a geometria do objeto (Aviz, 2010), podendo ainda ser realizado ponto a ponto ou por varredura. No caso ponto a ponto, a sonda se desloca até entrar em contato com o objeto, e retorna, mudando seu posicionamento para a medição do ponto seguinte. Já a varredura, o deslocamento da sonda contorna o objeto de maneira pré-definida, mantendo-se o contato.

No caso da digitalização sem contato, a aquisição dos pontos é geralmente feito por sistemas óticos ou CCDs (Raja *et al.*, 2008). Apesar de, com essa técnica, a digitalização ocorrer de maneira mais rápida, sua precisão dimensional é bastante reduzida, quando se comparada à digitalização por contato. Assim, a geometria digitalizada possui maiores discrepâncias com o modelo real, sendo necessários equipamentos de maior resolução e, logo, maior valor agregado (Ahrens *et al.*, 2013). Por outro lado, essa técnica, apesar das variações dimensionais e menor precisão, possui um menor custo, alta flexibilidade e portabilidade, podendo extrair informações de objetos de diversos tamanhos (Remondino, 2003).

2.3. Sistemas Integrados de Manufatura

A manufatura integrada por computador (CIM) faz auxílio do computador para a realização de todos os processos envolvidos na produção desde a concepção inicial do produto até a inspeção final, utilizando os equipamentos em um sistema de fluxo contínuo. Equipamentos e softwares que participam na automatização da fabricação incluem, por exemplo, equipamentos de controle numérico computadorizado (CNC), softwares de CAD/CAM (planejamento assistido por computador e manufatura assistida por computador, respectivamente), equipamentos de medição tridimensional, robótica, entre outros (Yoshimura, 2007).

Desta forma, sistemas integrados de manufatura prometem muitos benefícios para uma empresa, incluindo melhor aproveitamento das atividades de uma fábrica, redução de custos de produção, mão de obra e de instalação, redução do maquinário e do espaço físico necessário (Rehg & Kraebber, 2005). A automação da produção fornece um controle sobre os processos de produção (tolerâncias dimensionais, tempo de produção e padronização de produtos) os quais não são possíveis ou extremamente de se obter em processos convencionais e manuais.

A integração de um sistema de manufatura, com isso, torna um processo produtivo, que anteriormente era realizado em múltiplas atividades separadas, em um único sistema.

2.4. Termoformagem

A técnica de termoformagem a vácuo (vacuum forming) vem sendo utilizada desde o século 19, mas não totalmente em ambiente industrial antes do anos 1950 (Love & Valenza, 2011). Neste processo, folhas ou lâminas de material polimérico são aquecidas, por ação de raios infravermelhos, e pressionadas contra um molde, conferindo ao polímero o formato desejado (Melo *et al.*, 2012). O conceito “termoformagem” abrange todos os processos que envolvem calor para moldar polímeros (Formech, 2001). Na termoformagem a vácuo, é utilizada uma pressão negativa, sucção, para modelar a lâmina polimérica em um molde, positivo ou negativo (Throne, 1999). A Figura 1 representa o processo de termoformagem a vácuo e suas etapas.

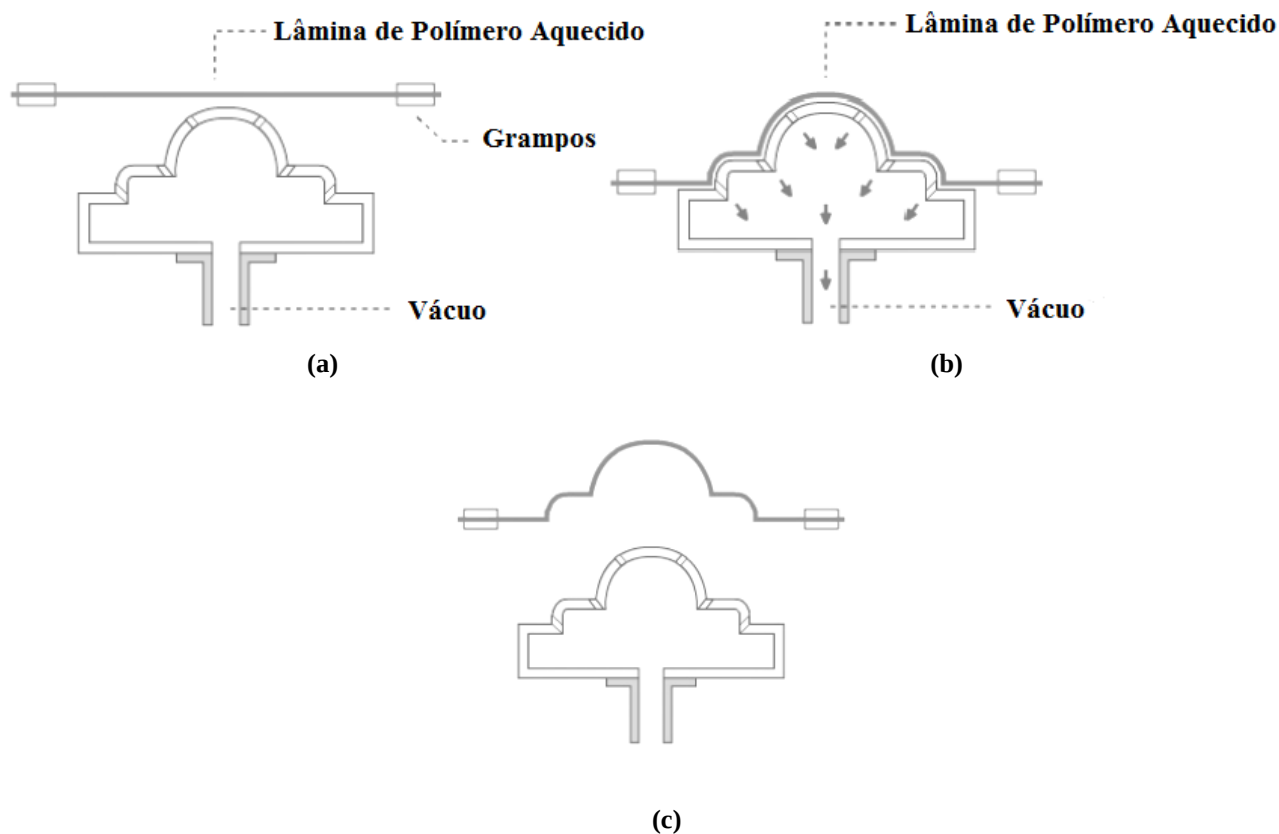


Figura 1: Processo de Termoformagem a vácuo. (a) aumento da temperatura por raios infravermelhos; (b) acionamento do pistão e deslocamento do molde ou do material polimérico; (c) retirada do produto moldado
Fonte: Adaptada de Mayfield Plastics (2016)

A técnica de termoformagem é bastante utilizada em ambiente industrial para produção de peças plásticas em diversos setores, como indústria alimentícia, eletrônica, automotiva, equipamentos médicos, materiais de escritório entre outros. Dentre suas aplicações, destacam-se a produção de embalagens plásticas, brinquedos e para-brisas de aeronaves (Leite *et al.*, 2010).

Além da grande variedade de aplicações, existem diversos materiais poliméricos que podem ser utilizados, dependendo de sua aplicação e necessidade, por necessitar de parâmetros diferentes, como temperatura e vácuo. Destacam-se o acrílico (PMMA), acetato de celulose, polietileno de baixa densidade (LDPE), polietileno de alta densidade (HDPE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), e cloreto de polivinila (PVC) (Sala *et al.*, 2002).

3. METODOLOGIA

Com o objetivo de estabelecer a proposta de ambiente integrado de manufatura em um laboratório acadêmico, este trabalho abordou a produção de peças plásticas com o uso de um equipamento de termoformagem, a partir de técnicas de engenharia reversa e utilização de programas computacionais de desenho e edição. Assim, para a realização da etapa de termoformagem é necessário a fabricação da matriz que será utilizada como molde para o produto final.

Para este fim, foram definidas as etapas do processo produtivo, desde a definição da projeto até à criação do produto final, integrando os equipamentos de manufatura, como um centro de usinagem, e softwares computacionais de CAD e CAM.

Assim, a proposta de ambiente integrado de manufatura em laboratório pode ser visto na Figura 2. Nesta proposta, somente a etapa final de termoformagem ainda não faz uso de um microcomputador, mas que pode ser facilmente implementado uma rotina em plataforma LabView que controle todos os comandos da máquina, e ainda podendo obter outras informações mais detalhadas como temperatura de forno e do material polimérico, de extrema importância no controle do processo.



Figura 2: Proposta de Ambiente Integrado de Manufatura para produção de peças plásticas

Com o ambiente integrado de manufatura implementado, aplicou-se um estudo de caso para a verificação de cada etapa do processo, e avaliar as necessidades de adaptação caso a caso.

3.1. Implementação do Ambiente Integrado

A implementação do ambiente integrado de manufatura, utilizando a engenharia reversa, consistiu na integração dos equipamentos de manufatura, como máquinas-ferramenta e os equipamentos e acessórios auxiliares, softwares computacionais, empregados nas fases de projeto, como CAD e CAM, transmissão de dados e digitalização. Todos esses equipamentos são conectados e controlados por microcomputadores que realizam troca de informações entre os equipamentos componentes do sistema de manufatura.

A etapa chave para a fabricação de um produto é a sua idealização, quando o produto a ser fabricado precisa ser interpretado quanto à sua função e necessidades de mercado. As etapas posteriores definem quais equipamentos e softwares serão necessários para a sua fabricação. O ambiente implementado garante todas as atividades necessárias para a sua produção de maneira integrada, com o uso da engenharia reversa.

3.2. Ferramentas Computacionais Disponíveis

Os softwares escolhidos devem ser compatíveis entre si de forma que as informações de cada etapa não sejam perdidas ao longo do processo. Assim os arquivos gerados por cada ferramenta computacional devem estar em congruência com o tipo de arquivo usual do processo subsequente, integrando uma etapa a outra.

Para a etapa de digitalização de imagens, está disponível no laboratório o software *MAXNC Digitalize*, capaz de controlar o digitalizador tridimensional convertendo as coordenadas do objeto real em linhas 3D ou nuvem de pontos.

Após a digitalização do objeto real este agora fica disponível para edição em softwares de desenho e modelagem CAD. O arquivo gerado pode ser lido facilmente em softwares comerciais bastante utilizados na engenharia e em ambiente acadêmico. Os softwares de modelagem de sólidos, montagem e edição que se adequam neste caso são o *Solidworks*, *SolidEdge* e *Siemens NX*. Este último contém uma plataforma para parametrização e programação das operações de usinagem para a fabricação de uma geometria, qualquer podendo ser levada a um centro de usinagem, integrando as etapas de modelagem e edição à de fabricação.

Para a programação, em linguagem em G, do centro de usinagem foi utilizada uma interface CAD/CAM. Assim, a partir do arquivo criado pelo software CAD, foram gerados os códigos de programação que contém os parâmetros de usinagem ajustados para cada etapa de fabricação.

Tendo gerado o código da programação, a comunicação entre PC e centro de usinagem é feita através de uma interface serial Rs232. A transferência dos dados foi realizada por meio do software Siemens WINPCIN.

3.3. Equipamentos Utilizados

Os equipamentos utilizados estão relacionados ao sistema integrado de manufatura, que inclui o microcomputador, para a utilização dos softwares de CAD, CAM e de transmissão de dados, e o centro de usinagem, para a fabricação do molde.

As características do CNC são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1. Dados do Centro de Usinagem

Nome: ROMI Discovery 560	
Cursos	Avanço Rápido
X=560mm	X=25m/min
Y=406mm	Y=25m/min
Z=508mm	Z=20m/min
Motor Principal: 12,5cv	

4. ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO EM PEÇAS PLÁSTICAS TERMOFORMADAS

O estudo de caso apresentado utiliza da proposta de ambiente integrado de manufatura para a produção de moldes que serão utilizados para fabricação de peças plásticas termoformadas. A produção de máscaras é uma das aplicações mais simples para produtos plásticos termoformados. Com isso, o objeto base para o projeto escolhido baseia-se em um personagem, originalmente de histórias em quadrinhos, bastante conhecido internacionalmente pelo público. A escolha é tida como um desafio uma vez que possui geometria complexa, gerando dificuldades às etapas posteriores. Mesmo assim, a escolha foi feita propositalmente com intuito de fornecer novas possibilidades para este cenário de manufatura, sendo possível aplicar às técnicas para qualquer tipo de geometria, dentro das possibilidades de cada etapa.

Tendo definido o projeto para o produto final, é necessária a criação da geometria em ambiente digital. Apesar de o laboratório possuir um equipamento de digitalização por nuvem de pontos, optou-se por utilizar uma geometria já digitalizada disponível gratuitamente no website GrabCAD e desenvolvida pelo SENAI da cidade Sorocaba, São Paulo, Brasil. O geometria em formato digital, CAD, para o caso é mostrado na Figura 3.

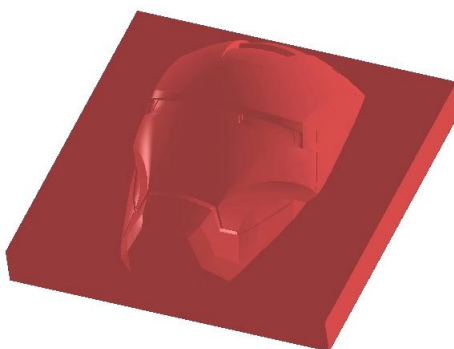


Figura 3: Geometria tridimensional digital visualizada em um software CAD

Visto que as necessidades de mercado buscam cada vez mais por redução de custos e, ainda, como se trata de um protótipo para emprego da metodologia abordada, o material escolhido para a fabricação da matriz foi madeira, por se tratar de um material bastante acessível, barato e fácil de trabalhar. Segundo (Malpaga, 2012), o acabamento superficial pode ser bastante satisfatório, mas pode ser um inconveniente caso forem desejadas tolerâncias mais estreitas. Além disso, as temperaturas de aquecimento do molde no interior da máquina (49°C a 104°C) e do polímero (134°C) (Innova) não são elevadas o suficiente a ponto de danificar a integridade da madeira e alterar significativamente a resistência mecânica da madeira, que degrada mais rapidamente a partir de 140°C (Figuerola & Moraes, 2009). Para auxiliar na proteção do molde, este pode receber um tratamento com resina ou verniz em sua superfície.

Com o objetivo de se criar uma máscara em tamanho real a partir do desenho em CAD, seis placas de compensado de 250x250x18mm foram unidas com o auxílio de um material adesivo de fácil e simples acesso. O bloco resultante foi previamente usinado no centro de usinagem para garantir sua planicidade e melhorar a fixação durante os procedimentos de desbaste e acabamento. A Figura 4 apresenta uma simulação no software de CAD/CAM com os parâmetros utilizados na usinagem, apresentados na Tabela 2. A Figura 5 mostra as etapas de desbaste e acabamento no centro de usinagem e o resultado das operações de usinagem para o molde.

Tabela 2: Parâmetros de Usinagem

Procedimento	Fresa	Velocidade de Corte (m/min)	Avanço por Dente	Profundidade Usinagem (ap) (mm)	Penetração de Trabalho (ae) (mm)
Desbaste	HSS Ø22mm	270	0,2	10,0	7,0
Pré - Acabamento	WC-Co Ø12mm	270	0,1	0,5	0,3
Acabamento	WC-Co Ø4mm	270	0,1	0,5	0,2

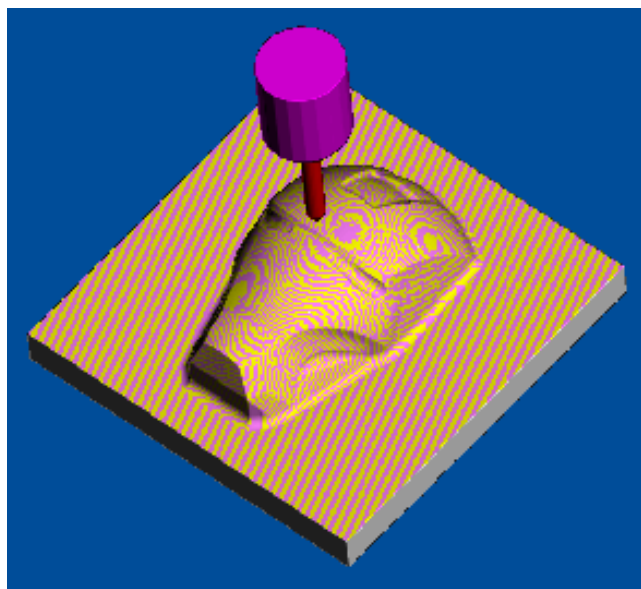


Figura 4: Simulação dos procedimentos de usinagem e trajetórias de ferramenta

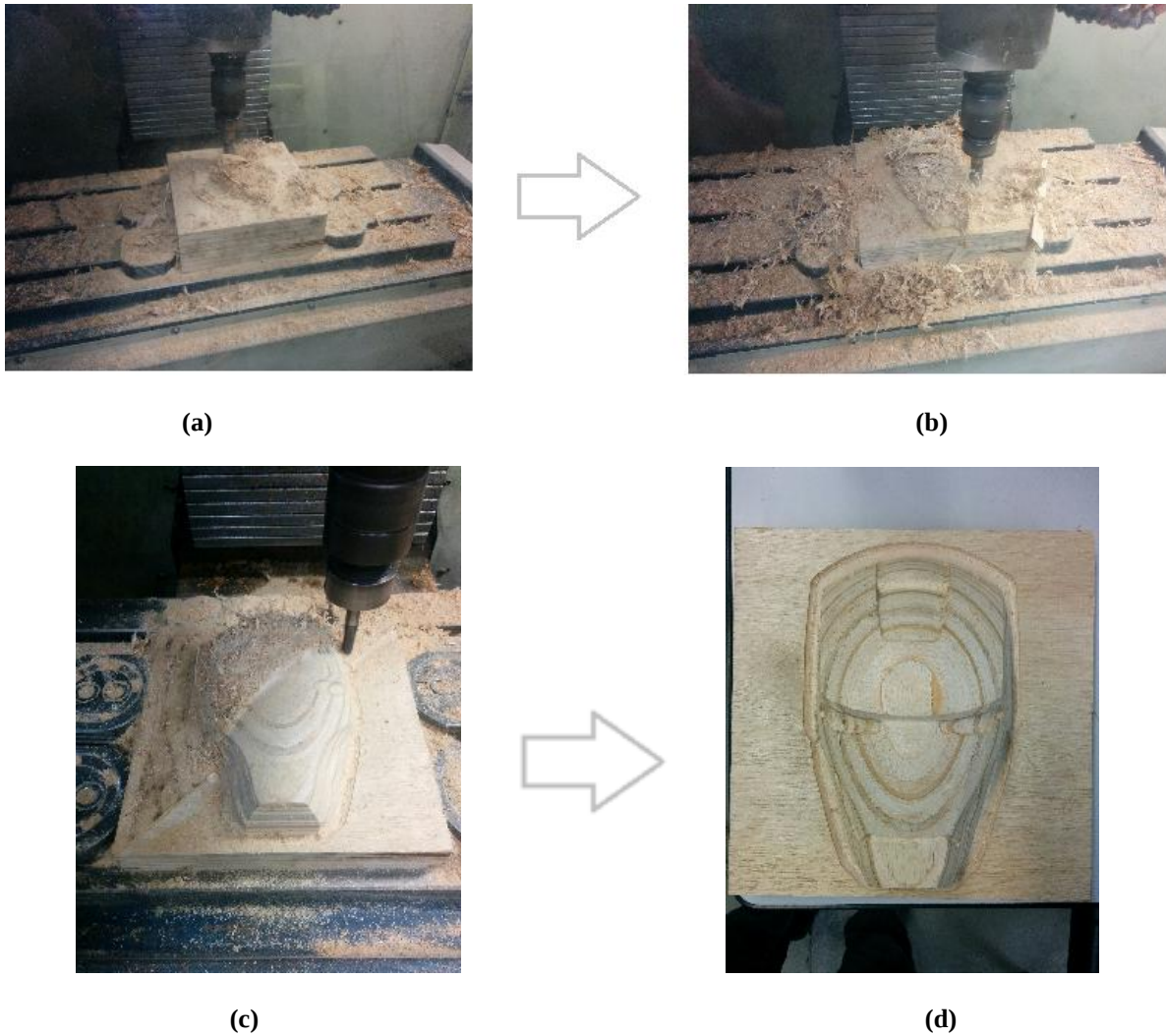


Figura 5: Etapas de (a) e (b) desbaste e (c) acabamento; (d) Molde finalizado

Após a usinagem da superfície do molde de madeira, positivo, que será responsável pela mudança de forma do material polimérico, se fez necessário um outro procedimento de usinagem, negativo, na parte posterior da peça. Como o molde possui geometria complexa e com detalhes significativos, pequenos furos devem ser feitos ao longo da peça para auxiliar a penetração do polímero em cada detalhe. Para este fim, foi necessária a edição do arquivo em CAD com a geometria digitalizada de maneira que se realizasse o processo de usinagem invertido, negativo, no molde. O resultado desse procedimento é apresentado na Figura 6.



Figura 6: Usinagem negativa da parte posterior do molde

O material escolhido, porém, apresentou problemas durante e após a usinagem da parte anterior e posterior. O compensado laminado de madeira constitui-se de camadas de lâminas de madeira prensada, fixadas com um adesivo. Durante o desbaste, observou-se diversas vezes a propagação da trinca no plano das lâminas, indicando que a adesão entre lâminas não era apropriada para os esforços de corte no processo de usinagem. Assim, ocorreram remoções indesejadas de material que, felizmente, não afetaram a geometria final predefinida. Outro problema referente ao material é a não homogeneidade das lâminas, ocasionando pequenos buracos na superfície acabada.

Para melhorar a qualidade do acabamento e contornar os problemas de superfície após as operações de usinagem, se tornou necessário a aplicação de uma camada de massa de madeira (conhecida como F-12) e aplicação de um verniz para que nenhum material seja removido durante a termoformagem e aumentar a resistência à temperatura. Após a aplicação do verniz, foram feitos diversos furos, com 1mm de diâmetro, ao longo da peça, preferencialmente pontos os quais apresentam detalhes importantes para a definição da geometria após a operação de termoformagem. A furação auxilia o processo de aplicação do vácuo sobre o material polimérico na peça, conferindo uma melhor qualidade ao contorno da geometria. A Figura 7 apresenta com detalhe a peça após o preparo da superfície para a produção de máscaras plásticas.

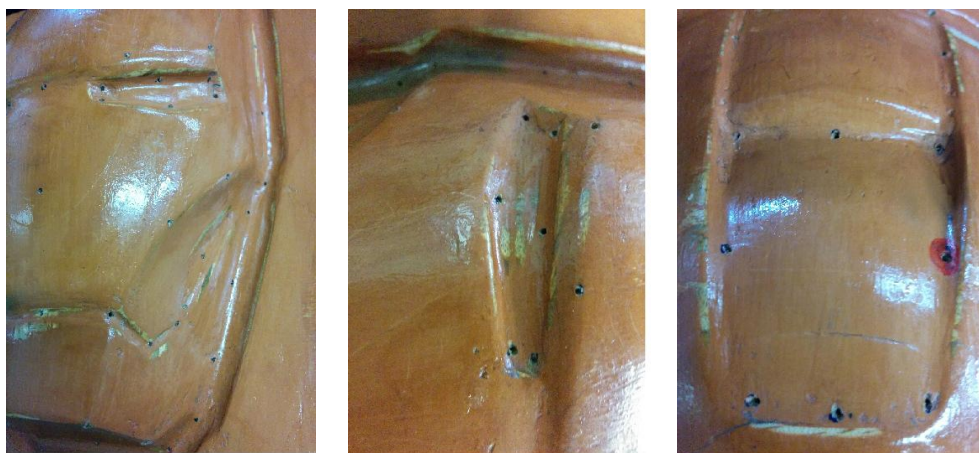


Figura 7: Preparação da superfície com enfoque nos furos de sucção

Com a superfície devidamente preparada e com um furos de sucção, o molde foi então fixado em um suporte preparado especificamente para o equipamento de termoformagem Brawel VFBPD 30x36, ajustando os parâmetros de trabalho como tempo de forno e de vácuo. O material polimérico escolhido para este trabalho foi uma placa de Poliestireno com 2mm de espessura. O tempo de forno utilizado foi de 85 segundos, conferindo à peça uma temperatura entre 150-175°C (Formech, 2001). A Figura 8 apresenta a fixação do molde, já preparado, no equipamento de termoformagem e o resultado obtido pelo processo.

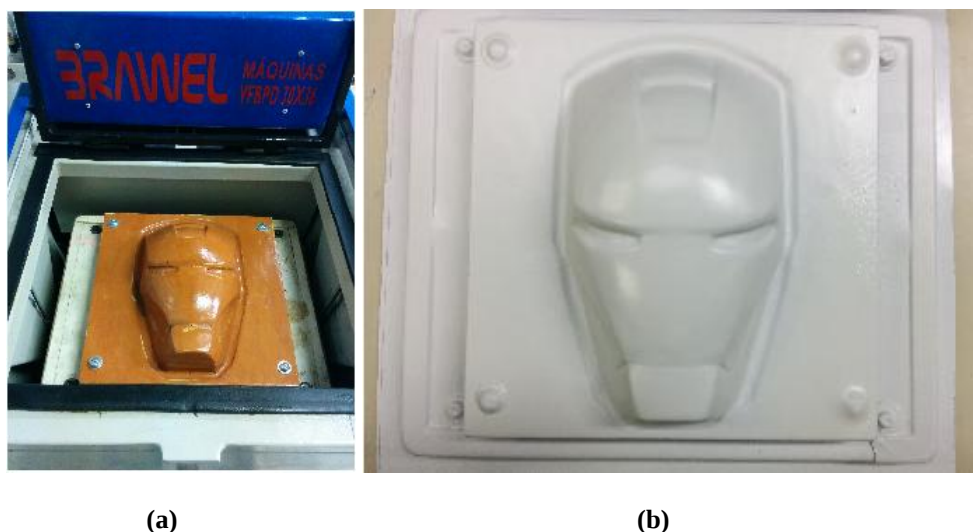


Figura 8: (a) Fixação do molde no equipamento de termoformagem; (b) resultado da operação – produto final

O preparo da superfície, com a aplicação da massa de madeira, juntamente com o verniz, e os furos de sucção, garantiram uma boa qualidade final do produto termoformado, com contornos de geometria bem definidos. Entretanto,

pequenas distorções foram conferidas ao produto devido à pequena diferença de resistência à compressão das lâminas do compensado (podendo conter um maior número de descontinuidades ao longo da lâmina em comparação com outras lâminas adjacentes).

O protótipo fabricado para o molde em um ambiente integrado de manufatura, portanto, se tornou eficaz para a execução satisfatória, em laboratório, de um produto a partir da análise e captura das coordenadas de um produto real. A capacidade de reprodução quase fidedigna, a não ser por problemas que podem ser facilmente solucionados (como a melhor seleção de material para a fabricação do molde), de um produto com geometria de alta complexidade ainda confere alta confiabilidade à técnica de integração de ambientes de manufatura, desde a engenharia reversa (com a digitalização e redesign de uma geometria real) até a fabricação final do novo produto a ser inserido ao mercado.

4. CONCLUSÕES

O ambiente integrado de manufatura implementado em laboratório é capaz de produzir protótipos com alta qualidade e em tempo adequado, fabricando moldes e outras peças por meio de equipamentos de usinagem. Além disso, mostrou que uma peça de alta complexidade fosse facilmente reproduzida posteriormente com o uso da técnica de termoformagem.

A seleção de um melhor material também é importante, pois reduzirá o tempo de preparo da superfície para a termoformagem e diminuirá as perdas por paradas no processo de usinagem. Outros materiais para o molde, diferentes da madeira, podem ser testados para processos que envolvam múltiplas peças já que equipamentos de termoformagem podem ser operados em linha, exigindo uma alta resistência à temperatura para o material do molde.

A integração de cada etapa é de extrema importância para o fluxo da produção, senão ocasionaria uma espécie de gargalo e gerando perdas subsequentes para uma empresa. O equipamento de termoformagem pode facilmente ser integrado ao ambiente, criando variáveis de controle de temperatura e tempo de vácuo, independentemente dos tipos de materiais presentes.

5. REFERÊNCIAS

- Ahrens, C.; Vellwock, A.; Pfeifer, D.; Pistorello, R. “Engenharia reversa por meio de fotogrametria: Estudo Comparativo da técnica de digitalização tridimensional visando aplicação na manufatura aditiva” 2013. 7º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, Penedo, 2013
- Aviz, D. “Estudo da Técnica de Engenharia Reversa para Construção de Geometrias Complexas Focando Erros de Forma e Métodos de Digitalização Geométrica”. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Sociedade Educacional de Santa Catarina, Instituto Superior Tupy, Joinville, 2010
- Melo, W. J. R., Farias, D. F. E., Lima, W. J. F., Vieira, L. A., Cantal, E., 2012, “Laboratório de Automação: Uma Solução Virtual Utilizando o Micrologix 1100”, Instituto de Estudos Superior da Amazônia – IESAM, Revista de Controle e Automação, 2012.
- Figueroa, M. J. M., Moraes, P. D. 2009, “Comportamento da madeira a temperaturas elevadas”, Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 157-174, out./dez. 2009.
- Formech. A vacuum forming guide. 2001:<<http://www.formech.com>>. Acesso em 24/03/2016
- Innova, “Manual de Termoformagem”, <www.innova.ind.br/upload/others/files/Manual_de_Termoformagem.pdf> Acesso em 14/12/2015
- Leite, W.O. ; Romeiro Filho, E. ; Faria, P. E. ; Campos Rubio, J. . 2010, “Cenário de Manufatura Integrada: Engenharia Reversa e Redesign de Produtos”. In: VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2010, Campina Grande. ABCM, 2010. v. 1. p. 101-105.
- Love, T. S., Valenza, F., 2011 “Utilize Vacuum Forming to Make Interdisciplinary Connections”, Technology & Engineering Teacher, International Technology & Engineering Educators Association, November 2011.
- Malpaga, I, 2012, “Estudo de Caso Comparativo de viabilidade Técnica e Econômica Entre Processos de Termoformagem e Injeção Plástica”, Faculdade Politécnica de Jundiaí, Jundiaí 2012.
- Marri, H.B., Gunasekaran, A. and Grieve, R.J., 1998, “An investigation into the implementation of computer integrated manufacturing in small and medium enterprises”, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 14, pp. 935-942.
- Mayfield Plastics, “Introduction to Thermoforming and Vacuum Forming”, <www.mayfieldplastics.com> Acesso em 23/03/2016.
- Raja, I., Vinesh II, F., and Kiran, J., 2008, “Reverse engineering: an industrial perspective”. London: Springer – Verlag. pp. 1-8 (ISBN: 978-1-84628-855-5).
- Rehg, J.A.; Kraebber, H.W. “Computer-integrated manufacturing”. New Jersey-US: Pearson Education, Inc., Pearson Prentice Hall, 3. ed. p. 574, 2005.
- Remondino, F.; “From Point Cloud To Surface: The Modeling And Visualization Problem” 2003. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIV-5/W10. 2003
- Sala, G.; Landro, L.D.; Cassago, D. 2002, “A numerical and experimental approach to optimise sheet stamping technologies: polymers thermoforming”. Journal of Materials and Design, v. 23, pp. 21-39, 2002.
- Throne, J.L. Technology of thermoforming. New York: Hanser Publishers, 2.ed, v. 1, pp. 922, 1999.
- Yoshimura, M., 2007, “System design optimization for product manufacturing”, Concurrent Engineering: Research and

Applications, Vol. 15, No. 4, pp. 329-343.

Zhang, Yu, 2003, "Research into the engineering application of reverse engineering technology", International Journal of Materials Processing Technology, Vol. 139, pp. 472-475.

6. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

INTEGRATED MANUFACTURING ENVIRONMENT FOR THE PRODUCTION OF VACUUM FORMED PLASTIC PRODUCTS

Bernardo Junqueira Murta, bjmurta@ufmg.br¹

Augusto Moura Martins, augusto.mmartins@yahoo.com.br¹

Diogo Azevedo de Oliveira, diogoazev@yahoo.com.br¹

Wanderson de Oliveira Leite, wanderson.leite@ifmg.edu.br²

Juan Carlos Campos Rúbio, juan@ufmg.br¹

¹Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901,

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Rua Karen Lessa Rodrigues, 50 - Arquipélago Verde, Betim - MG, 32656-840

Abstract. *With the advance and development of brand new technologies in the fields of information and automation, manufacturing integrated systems assist corporations in the creation of custom products increasing quality standards and productivity, with lower costs and delivery time, improving the company's operational performance. This work is to present a proposal of an integrated manufacturing environment applied to the production of vacuum formed plastic products. The vacuum forming process is largely being used by plastic industries due to its high quality reproductivity and mold forming low costs, being able to work with compounds of different sizes and complexities, high production rates and variable applications from packaging molding to automobiles parts. In this work, it was designed a mold based on a well-known character. After, it was defined the integrated manufacturing environment by using Reverse Engineering techniques, editing, design and 3D objects adjusting softwares. For the mold manufacture, G-code programs were generated containing the tool paths and parameters for machining using a CNC with the assistance of CAD/CAM platforms. Finally, the production cycle was ended by housing the mold inside the vacuum forming machine, and by producing components of polymeric material. Thus, its concluded that the integrated manufacturing environment proposed and implemented was able to sped up the production of a new product, created to be manufactured by a vacuum forming process, saving time from its conceiving to its placement on the market.*

Keywords: *Integrated Manufacturing Systems, Reverse Engineering, Vacuum Forming, CAM.*