

## **FABRICAÇÃO DE ASSENTOS PERSONALIZADOS VIA MODELAGEM EM GESSO, DIGITALIZAÇÃO 3D E USINAGEM CNC**

**Vilson João Batista, vbatista@mecanica.ufrgs.br**<sup>1,2,3</sup>  
**Fábio Pinto da Silva, fabio.silva@ufrgs.br**<sup>1,4,5</sup>  
**Wilson Kindlein Junior, kindlein@portoweb.com.br**<sup>3,4,5,6</sup>  
**Helton Scheer de Moraes, heltonbiker@yahoo.com.br**<sup>3</sup>  
**Rita de Cássia Recziegel Bersch, rita@cedionline.com.br**<sup>3</sup>

<sup>1</sup>DEMEC/UFRGS, rua Sarmiento Leite, 425 - Centro. CEP 90050-170. Porto Alegre - RS - Brasil

<sup>2</sup>PROMECC/UFRGS,

<sup>3</sup>PGDESIGN/UFRGS,

<sup>4</sup>LdSM/UFRGS,

<sup>5</sup>PPGEM/UFRGS,

<sup>6</sup>DEMAT/UFRGS.

**Resumo:** *O uso de assentos personalizados para cadeiras de rodas é recomendado para a prevenção de deformidades posturais, lesões cutâneas e limitação funcional de seus usuários. Esses assentos buscam aumentar a área de contato, diminuindo os picos de pressão sobre a pele e a deformação de tecidos profundos, mas a maneira mais adequada de obter o contorno ideal para cada usuário ainda não está determinada. Este trabalho propõe um método de fabricação que consiste na confecção manual de um molde de gesso do paciente, com digitalização tridimensional a laser da cavidade obtida e posterior usinagem em espuma de poliuretano expandido. Foi utilizada uma digitalizadora/fresadora modelo Digimill 3D, com parâmetros de usinagem determinados experimentalmente. O resultado preliminar obtido foi muito satisfatório, com bom acabamento superficial, baixo tempo total de fabricação, possibilidade de serialização e plena viabilidade econômica.*

**Palavras-chave:** *Assentos personalizados, Tecnologia assistiva, Digitalização 3D, Usinagem CNC de espumas.*

### **1. INTRODUÇÃO**

Indivíduos com incapacidades graves que não podem andar ou até mesmo sentar sozinhos, podem passar a vida deitados ou sendo carregados, por esse motivo os profissionais lançam mão do uso da cadeira de rodas. Estes usuários, segundo Apatsidis (2002), necessitam de assentos personalizados para manter seu conforto e suas funções. Uma cadeira de rodas bem prescrita objetiva aumentar mobilidade, autonomia, conforto e segurança, porém, de acordo com Ratliff (2000), o mau posicionamento na cadeira de rodas pode levar o indivíduo a ter problemas como rigidez, contraturas, deformidades, restrição do movimento, úlceras de pressão além de comprometer o desenvolvimento emocional e intelectual.

As úlceras de pressão, popularmente chamadas de escaras, são lesões que acometem pessoas com doenças que provocam limitação de mobilidade, e que necessitam permanecer durante muito tempo apoiadas sobre superfícies de suporte, como leitos ou assentos. Essas lesões constituem uma grande fonte de morbidade adicional, pois seu tratamento é longo, caro e incapacitante, podendo causar danos permanentes ou mesmo morte. Segundo Apatsidis (2002), estima-se que a Inglaterra gasta anualmente entre 180 e 321 milhões de libras para o tratamento de úlceras de pressão, dos quais de 36 a 50% são resultantes do uso de cadeiras de rodas. Estima-se que de 7 a 23% dos pacientes hospitalizados nos Estados Unidos apresentem úlceras por pressão (Smith, 1995; Whittington, 2000), e de 5 a 10% dos usuários de cadeiras de rodas apresentam um episódio de úlcera por pressão por ano (Ferguson-Pell, 1990). O custo com o tratamento de úlceras de pressão, nos Estados Unidos, chega a 1,2 bilhões de dólares anuais, tornando sua prevenção de considerável importância não apenas social, mas também econômica.

De acordo com Burns (1999), os problemas vão além do plano físico: “uma cadeira de rodas sem adaptações acarreta em danos ao paciente, podendo levar a uma postura inadequada com possíveis contraturas e deformidades; prejudicar funções básicas como respiração, nutrição pela dificuldade de deglutição; alteração no sistema circulatório dificultando o retorno venoso; surgimento de dores e assim refletir diretamente nos aspectos psicossociais alterando a qualidade de vida do paciente”. A liberdade de ir e vir do usuário está diretamente relacionada à melhor qualidade de

vida e maior independência, porém, durante anos a cadeira de rodas foi associada com invalidez e apenas recentemente têm estado disponíveis cadeiras de rodas que proporcionam a máxima função para atender aos vários graus de necessidade do usuário (Kottke, 1994).

Em virtude das necessidades dos usuários de cadeira de rodas surgiu um ramo da ciência voltado para essa problemática, a fim de melhorar a qualidade de vida do portador de incapacidades. Esse campo é chamado de Tecnologia Assistiva (TA) que é definido por Mello (1995) como qualquer item de equipamento como peças ou produtos adquiridos comercialmente e feitos sob medida. O termo “seating” vem sendo empregado significando adequação postural ao usuário de cadeira de rodas, sendo uma área de atuação da Tecnologia Assistiva. O método de adequação postural possui objetivos fundamentais que visam melhor independência e participação social do usuário, sendo eles: conforto, alívio de pressão, aumento da função básica humana, suporte corporal, alterações e reajustes (Mello, 1995).

Diversas formas de solução têm sido propostas, com foco principalmente na modificação das superfícies de suporte, tanto em relação ao formato quanto às características mecânicas da área de contato e às propriedades elásticas dos materiais utilizados (Harrison, 2000 e Apatsidis, 2002). Modificações do formato da superfície de suporte buscam aumentar a área de contato, diminuindo a pressão média sobre o assento, os gradientes de pressão e a deformação dos tecidos de suporte. Modificações das características mecânicas da superfície de suporte melhoram sua resposta mecânica às variações de posição e de aplicação de carga sobre o assento. A utilização de diferentes materiais busca, através das propriedades elásticas dos materiais utilizados, obter determinadas características de distribuição de tensões na superfície de contato com a pele, corrigindo pequenas irregularidades decorrentes de diferenças entre os formatos do corpo e do assento. Materiais comumente utilizados são espumas de polímero expandido (por ex. Poliuretano), gel de silicone ou de PVC, e fluidos (líquidos ou mesmo ar) contidos em uma ou diversas câmaras. Makhsous (2007) sugere que uma possível forma de garantir a mínima deformação tecidual nos tecidos das regiões de apoio seja buscar uma configuração de pressões semelhante à compressão hidrostática. Essa configuração, em que as pressões são uniformes e perpendiculares à superfície em todos os pontos, coopera para diminuir as tensões de Von Mises, a deformação tecidual, os gradientes de pressão e os picos de pressão sobre o assento, sendo compatível com os modelos teóricos da maioria dos métodos preventivos propostos atualmente.

Conforme o exposto, um grande problema a ser resolvido é obter uma superfície de assento com o formato desejado, de forma a fornecer a cada usuário individual as desejadas condições de distribuição de pressão no assento. Deve-se considerar que pessoas saudáveis apresentam grande variabilidade de parâmetros anatômicos, por diferenças de tamanho, tipo físico, massa corporal e idade, e que nos grupos de risco para úlceras de pressão essa variabilidade tende a ser ainda maior. Considerando também que o perfeito ajuste entre a superfície de suporte e a anatomia do usuário é crítico na obtenção das condições desejadas de pressão sobre o assento, é consenso que, ao menos nos pacientes de maior risco, a confecção do assento deva ser personalizada (Lin, 2004; Apatsidis, 2002; Sy, 2000; Rosenthal, 1996; Brienza, 1996).

Poucos trabalhos são encontrados na literatura a respeito de usinagem de espumas. Neth (1989) propunha um sistema semelhante aos de prototipagem rápida atuais, através de corte de placas bidimensionais e posterior montagem e colagem de camadas para formar uma superfície tridimensional. Penkner (1999), apesar de reconhecer em seu método as desvantagens do alto tempo e custo de produção, sugere procedimentos a partir de tomografia computadorizada, reconhecimento de imagem, usinagem de um biomodelo em poliuretano rígido de baixa dureza e posterior moldagem com resinas autopolimerizantes. Brienza (1996) já apresentava como solução o desenvolvimento de um processo para fabricação de espumas personalizadas, porém, questões de custos levaram o autor a propor uma máquina específica de usinagem CNC com construção mais simples. Jouaneh (1997) propõe um sistema flexível e automatizado para corte de espumas através de um braço robótico com 5 eixos utilizando ferramentas específicas baseadas no princípio do fio quente. Este é um método relativamente conhecido de corte, no qual o material sofre fusão localizada com o calor liberado pelo fio, porém, este também requer maquinário especial para tal fim.

O processo de fabricação de um assento personalizado deve ser automatizado, pois é necessário garantir que as almofadas produzidas contornem a superfície anatômica do paciente com contato máximo. Distorções geométricas poderão causar esforços indesejados, acarretar na ineficiência do sistema ou mesmo produzir efeitos contrários aos esperados. Neste sentido, optou-se por usinar diretamente a espuma através de uma fresadora CNC convencional.

Assim, o objetivo deste trabalho é disponibilizar uma alternativa tecnológica e economicamente viável para a fabricação de assentos personalizados através da moldagem manual via gesso, seguida da digitalização tridimensional da cavidade obtida e posterior usinagem CNC em um bloco de espuma de poliuretano flexível. Por fim, a validação da metodologia proposta é realizada através de um estudo de caso.

## 2. MATERIAIS, MÉTODOS E EQUIPAMENTOS

Um dos princípios levados em consideração na proposição da metodologia de fabricação dos assentos personalizados foi a disponibilidade de materiais e equipamentos para tal fim, na busca de viabilizar o atendimento a maiores camadas da população e a demandas reprimidas. Assim, buscou-se evitar a utilização de materiais de alto custo e de processos altamente restritos tecnologicamente e economicamente. Um conceito atual incorporado, visando aumentar a flexibilidade e a agilidade na produção, foi o de personalização em massa. Também chamado de “customização maciça”, segundo Pine (1994), este termo refere-se ao uso de técnicas de produção em massa para atender aos anseios específicos de cada cliente, de modo individual, a custos semelhantes aos dos produtos não

customizados. Esta prática oferece produtos de maior nível de exclusividade a baixos custos e com prazo de entrega relativamente curto. Assim, pode-se desenvolver um sistema no qual o fisioterapeuta forneça um molde de gesso e encomende um assento personalizado em espuma de poliuretano.

## 2.1. Moldagem em Gesso

No que diz respeito à obtenção da forma para geração do assento, métodos de medição direta por contato podem deformar a superfície de contato, devido à maleabilidade da pele. Já a medição indireta da superfície não apoiada, com o uso de scanners tridimensionais a laser, ou de fotografia estereoscópica, além de requererem equipamentos sofisticados, também não asseguram a obtenção do formato correto, uma vez que a superfície não se encontra, durante a medição, na mesma condição de apoio em que se encontrará durante o repouso sobre o assento. Assim, a cópia da superfície de contato com o uso de um molde que se adapte ao contorno do usuário, mantendo posteriormente essa forma, apresenta vantagens, pois se as condições de aplicação da carga sobre o molde durante sua confecção forem semelhantes às condições de apoio desejadas, o formato correto será obtido e este poderá ser fonte para elaboração do assento definitivo.

Para produzir o molde de um paciente, foi utilizada a mesma técnica convencionalmente utilizada na imobilização de membros para tratamento de fraturas. Foram empregados como materiais ligaduras de tecido saturadas com sulfato de cálcio desidratado ( $\text{CaSO}_4$ ) sob a forma de pó branco. Trata-se do Gesso clássico, o qual utiliza um processo amplamente difundido e dominado de hidratação e posterior secagem. Apresenta como vantagem a facilidade de moldagem e o baixíssimo custo. As desvantagens, embora não gerem restrições ao processo, são o fato de que o gesso suja ao ser aplicado (sugere-se a aplicação de filme de PVC para proteção do paciente) e o tempo de secagem. Embora o tempo de secagem total não seja tão crítico, uma vez que o gesso não permanecerá no corpo do paciente, este deve ser observado durante o manuseio do molde obtido para não ocasionar deformações.

A aplicação de gesso pode ser feita em qualquer consultório, clínica ou enfermaria e é uma atividade rotineira para profissionais da saúde. Porém, a moldagem em questão requer a intervenção de um fisioterapeuta que conheça a finalidade do molde a ser obtido para, além de obter a posição adequada, facilitar as próximas etapas do processo. Neste sentido, é importante evitar a geração de superfícies “com sombras”, as quais não poderão ser fresadas apenas com operações de topo, dificultando o processo, bem como evitar paredes muito altas que exigiriam a utilização de ferramentas muito longas.

## 2.2. Digitalização Tridimensional a Laser

A digitalização Tridimensional é utilizada basicamente para captar imagens e dados em 3D e, com auxílio de ferramentas computacionais, permite obter com grande precisão detalhes de superfícies. Atualmente, diversos sistemas de digitalização estão disponíveis, sendo os baseados em contato mais indicados para formas simples, onde apenas poucos pontos são necessários. Segundo Freitas (2006), existem diversos sistemas de digitalização sem contato, dentre os quais podem ser citados: triangulação por Laser, triangulação por cores, fotogrametria por conjuntos de câmeras CCD, fotogrametria por fotografias digitalizadas, radar Laser, tomografia, tunelamento, luz infravermelha com CCD linear e sensor conoscópico a Laser; este último utilizado neste trabalho. Os moldes de gesso foram digitalizados no Scanner 3D marca Tecnodrill, modelo Digimill 3D, instalado nas dependências do Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LdSM) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). A Figura (1) mostra em duas vistas um molde de gesso e o equipamento utilizado.

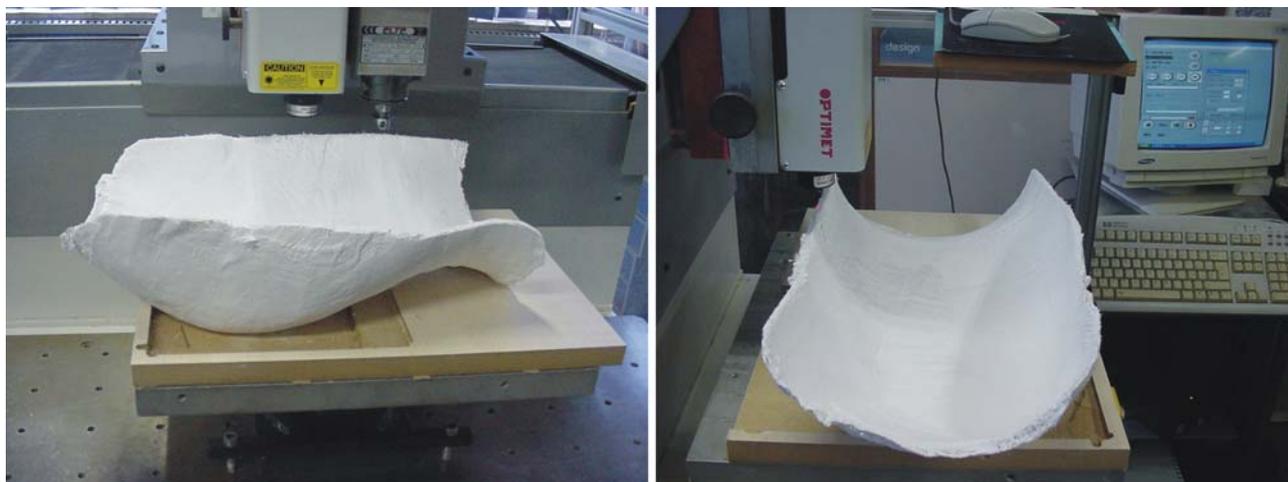
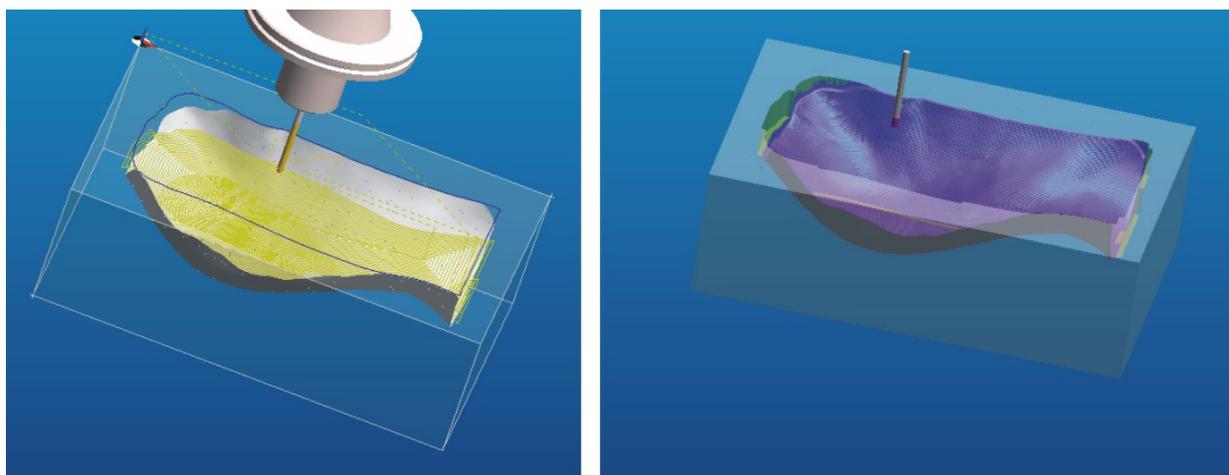


Figura 1. Molde de Gesso (encosto do assento) a ser digitalizado no Scanner Tridimensional a Laser modelo Digimill 3D, em vista lateral (A) e em vista superior (B).

Foi indicado o uso da digitalização tridimensional a Laser, por esta ser mais precisa e rápida do que os sistemas com contato. Embora a técnica dependa de alguns fatores, como opacidade e cor da superfície a ser digitalizada, isso não constitui problemas para aplicação sugerida, uma vez que o gesso é branco opaco e, assim, ideal para esse tipo de digitalização sem nenhum tipo de preparação superficial prévia. A técnica também é considerada adequada para objetos com grande quantidade de detalhes, independentemente de características de dureza, tendo em vista que não há um contato entre o instrumento e peça digitalizada. Segundo Sokovic (2005) a Digitalização Tridimensional a Laser é um método rápido e preciso no eixo Z, sendo também possível digitalizar materiais macios (que se deformem com o contato) ou até mesmo líquidos. Segundo Ferreira (2003), a digitalização e reconstrução de formas complexas de objetos têm evoluído rapidamente nos últimos anos, sendo que o método de escaneamento 3D a Laser traz uma maior automação na aquisição de dados.

A digitalização 3D gera dados de saída que são processados geometricamente como coordenadas da superfície no espaço tridimensional (x,y,z). Uma varredura superficial pode retornar milhares de pontos, de acordo com o tamanho da área analisada e o espaçamento entre pontos utilizado. Este conjunto de milhares de pontos é chamado de “nuvem de pontos” e após manipulação computacional permite gerar curvas, malhas, superfícies e sólidos tridimensionais compatíveis com sistemas CAD/CAE/CAM. A obtenção de modelos virtuais a partir de modelos físicos ocorre em um processo inverso à engenharia convencional (onde a partir do virtual obtém-se o físico) e por isso esta técnica é também conhecida como Engenharia Reversa. Para a digitalização dos assentos, foi utilizada uma resolução de 1mm entre os pontos adquiridos, o que gerou nuvens leves, de aproximadamente 100.000 pontos, posteriormente convertidos em malhas de triângulos e superfícies NURBS (*Non Uniform Rational Basis Spline*).

Assim, o arquivo final serve como fonte de dados para a usinagem da forma correta em um bloco de espuma, conforme ilustra a Fig. (2). Apesar de envolver uma tecnologia mais sofisticada (que já vem se popularizando), esse método apresenta as vantagens de permitir armazenamento digital e envio dos dados da medição sem perda de informação e sem ocupar espaço, permitindo que uma cópia idêntica do assento seja produzida posteriormente, se necessário, o que pode inclusive ser feito em outro local, através de qualquer máquina CNC.



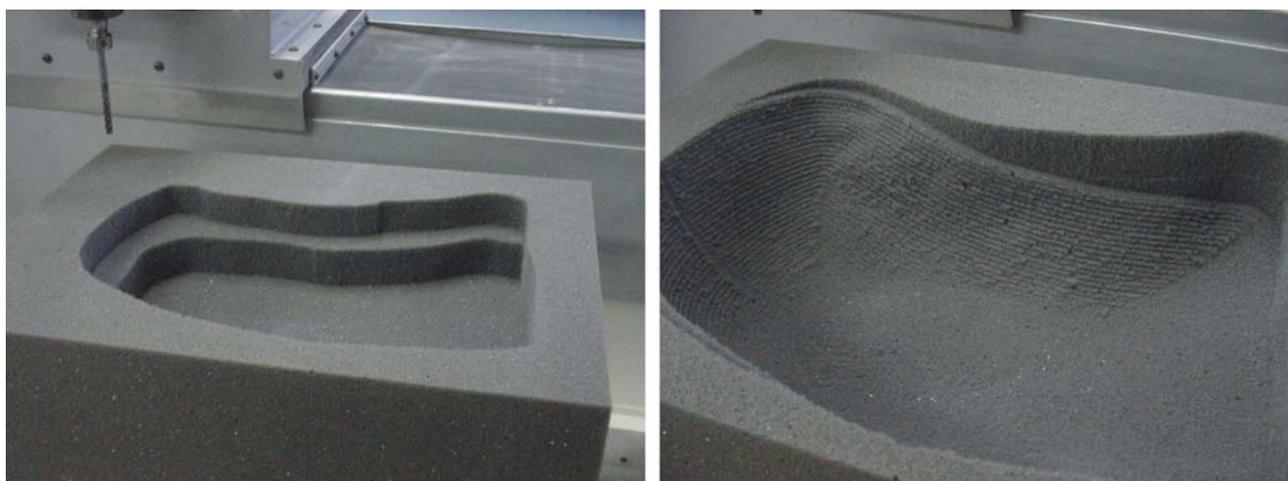
**Figura 2. Molde digitalizado em processamento no software EdgeCAM: geração dos caminhos de ferramenta (A) e simulação de usinagem CNC por fresamento convencional de topo (B).**

### 2.3. Usinagem CNC

Apatsidis (2002) mostra que, quando aplicadas localizadamente, espumas de comportamento viscoelástico são os materiais de melhor aplicação por diminuir significativamente os picos de pressão na interface de assentamento ao mesmo tempo em que distribuem a carga mais uniformemente. A utilização de espumas de Poliuretano (PU) pode ser recomendada para a construção de todo o assento e encosto e, por ser disponível em diferentes densidades, pode oferecer um suporte mais firme de acordo com o peso e a necessidade do paciente. Assim, a espuma utilizada foi à base de PU flexível, com densidades entre 14 e 50 kg/m<sup>3</sup>.

Espumas de PU são largamente utilizadas em assentos de veículos e de mobiliário, porém, devido à alta taxa de produção, a técnica tradicional de fabricação ocorre através de expansão por reação química diretamente em moldes já com os formatos desejados. Devido às características do processo, o custo em termos de confecção de molde acaba sendo alto. Outro fator limitante é que alterações na forma da espuma acarretam na necessidade de um novo molde, tornando o processo não flexível (Jouaneh, 1997). Diante disso, processos de usinagem diretamente da espuma se tornaram os objetos de estudo mais atrativos. Neste sentido, buscou-se trabalhar com usinagem CNC convencional e seus parâmetros, possibilitando a realização desta etapa em qualquer centro de usinagem ou fresadora CNC, equipamentos altamente difundidos mesmo na indústria nacional.

Assim, a partir dos dados gerados pelo scanner tridimensional, foram geradas superfícies para trabalho em CAD/CAM, as quais foram processadas no software Rhinoceros e posteriormente utilizadas para geração dos caminhos de ferramenta no software EdgeCAM, conforme a Fig. (2). As espumas foram usinadas com um cabeçote de fresamento comandado por CNC na mesma máquina que realizou a digitalização (Digimill 3D). As ferramentas utilizadas foram uma fresa de topo reta para desbaste e uma fresa de topo esférica para acabamento, ambas com 6mm de diâmetro. Esse diâmetro foi escolhido em função da maior pinça disponível para fixação das ferramentas no spindle da máquina. Foram utilizados como parâmetros de corte a rotação de 20.000RPM, a taxa de avanço de 1.000mm/min e as profundidades de corte máximas de 30mm para desbaste e 6mm para acabamento. Cabe salientar que as profundidades de corte foram limitadas pelo comprimento cortante das ferramentas, visto que o poliuretano implicou em baixos esforços de corte. O avanço foi aumentado gradativamente e foi limitado a partir do momento que os esforços começaram a gerar deformação perceptível da espuma e a rotação máxima permitiu um melhor corte e acabamento da superfície usinada. A Figura (3) apresenta os processos de desbaste com ferramenta de topo reta.



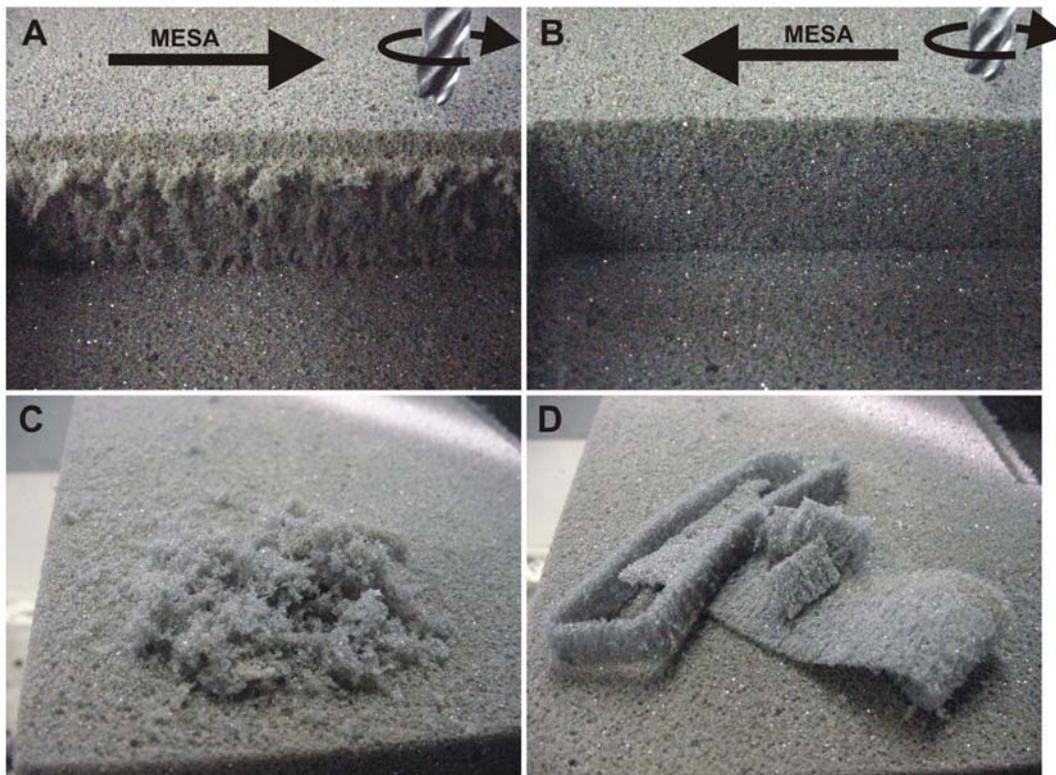
**Figura 3. Usinagem do encosto do assento em espuma de PU: primeiro desbaste para remoção da porção central de material (A) e segundo de desbaste deixando 6mm de sobrematerial para o acabamento (B).**

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através de um estudo de caso a metodologia proposta foi testada e os resultados são aqui apresentados e discutidos. Como esperado, a moldagem em gesso foi um processo relativamente simples e foi realizado pela fisioterapeuta co-autora do presente estudo. Ressalta-se aqui a necessidade da não formação de áreas de sombra e de paredes mais altas, as quais eventualmente necessitaram ser cortadas para simplificar as operações posteriores. Embora a moldagem no paciente tenha sido relativamente rápida, o tempo de secagem, por precaução, ultrapassou as 48h constituindo a etapa mais lenta de toda a rota de fabricação.

Após a liberação por parte da fisioterapeuta, o procedimento de digitalização ocorreu em pouco menos de uma hora (para um único modelo), contando com o tempo de setup de máquina. Esta etapa foi a mais rápida de todas e estima-se que em uma estrutura para digitalização seriada pode-se atingir mais de três modelos por hora. Isso representaria um custo de mercado inferior à R\$50,00 por modelo, indicando a viabilidade de uso da digitalização tridimensional a laser.

Uma vez realizada a geração do arquivo 3D, foi programada a execução da peça através do processo de usinagem CNC. Durante o fresamento, observou-se a grande influência do sentido de corte, concordante (Fig. 4A) ou discordante (Fig. 4B). Para as máquinas atuais, movidas a fusos de esferas, em geral prefere-se o corte concordante (padrão na maioria dos softwares CAM), por facilitar a remoção de cavaco, aumentar a vida da ferramenta e melhorar o acabamento. Embora isso seja particularmente verdade para materiais duros, o comportamento da espuma flexível foi totalmente contrário. O corte concordante acarretou em cavaco “empastando” na ferramenta e às vezes até arrancando porções maiores de material, além de gerar péssimo acabamento (Fig. 4A e 4C). Já o corte discordante, apesar de gerar cavaco em fita, normalmente indesejado, apresentou excelente acabamento, praticamente idêntico ao da superfície original do bloco de espuma (Fig. 4B e 4D). A única ressalva acerca desse tipo de cavaco é que ele pode por vezes enroscar na ferramenta e danificar o acabamento. Embora a espuma seja posteriormente revestida com um tecido de acabamento, pode ser interessante o uso de um sistema de sopro de ar ou mesmo de aspiração do cavaco. Após essa determinação e excetuando-se o tempo de cadastrar as ferramentas no banco de dados do CAM, a programação exigiu cerca de uma hora contando as operações de desbaste e acabamento, enquanto que a usinagem propriamente dita também ocupou o mesmo tempo.



**Figura 4.** Usinagem concordante (A) e discordante (B) da espuma de PU e seus respectivos cacavos (C) e (D).

A peça produzida foi montada para teste em uma cadeira de rodas (Fig. 5) e com a avaliação da fisioterapeuta (Fig. 6) o processo foi considerado adequado e está sendo otimizado. Conforme observa-se na Fig. (5A), na qual observa-se uma linha pontilhada representando a coluna do paciente, a personalização permite um assentamento sob medida e a melhor condição de adequação postural para o usuário, fato que não ocorre com uma espuma padrão (Fig. 5B). As etapas seguintes consistem na aplicação de forração para acabamento e na validação do produto obtido, a qual será realizada a médio e longo prazo com acompanhamento de profissionais da área da saúde para futura documentação de uma nova metodologia para o desenvolvimento de produtos personalizados voltados à Tecnologia Assistiva.



**Figura 5.** Espuma personalizada sem acabamento montada para teste em cadeira de rodas (A) comparada com espuma padrão sem personalização (B).



Figura 6. Espuma personalizada em teste acompanhado por fisioterapeuta.

#### 4. CONCLUSÕES

Através do método proposto, o procedimento total de fabricação de uma peça única de espuma levaria cerca de três dias, considerando um mínimo de 48h para secagem do gesso. A partir da encomenda do fisioterapeuta, com o devido planejamento e estrutura montada, uma peça única poderia ser produzida em cerca de três horas. Em um fluxo contínuo, com mais de um funcionário utilizando uma máquina para digitalizar e outra para usinar, seria possível a produção de mais de uma peça personalizada por hora. Cabe salientar que, mesmo que não exista estrutura local para personalização em massa, a fabricação de uma peça pode ser concluída em um dia de trabalho e uma ou todas as etapas podem ser facilmente terceirizadas.

Acredita-se que a metodologia para produção de produtos (assentos) personalizados seja capaz de garantir adequado ajuste na estrutura anatômica do paciente, permitindo o alívio de pressão para pessoas com deficiência física, bem como possibilita o tratamento de alto nível para pessoas de renda mais baixa. Por fim, espera-se que os assentos personalizados obtidos oportunizem a adequação postural, o aumento do conforto e da qualidade de vida do usuário.

#### 5. REFERÊNCIAS

- Apatsidis, D.P., Solomonidis, S.E., Michael, S.M., 2002, "Pressure distribution at the seating interface of custom-molded wheelchair seats: Effect of various materials", *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, Vol. 83, Issue 8, pp. 1151-1156.
- Burns, Y.R., Macdonald, J., 1999, "Fisioterapia e crescimento na infância", Ed. Santos, São Paulo, Brazil.
- Brienza, D.M. et al., 1996, "Seat Cushion Design for Elderly Wheelchair Users Based on Minimization of Soft Tissue Deformation Using Stiffness and Pressure Measurements", *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, 4(4), 321-27.
- Ferguson-Pell, M.W. et al., 1990, "Remote Monitoring of Wheelchair Seating Behavior", *Pressure Sores: Clinical Practice and Scientific Approach*, London, MacMillan Press, 261-73.
- Ferreira, J., 2003, "Integration of reverse engineering and rapid tooling in foundry technology", *Journal of Materials Processing Technology*.
- Freitas, G., 2006, "Metodologia e aplicabilidade da digitalização 3d a laser no desenvolvimento de moldes para calçados e componentes", Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Harrison, D.D. et al., 2000, "Sitting Biomechanics, Part II: Optimal Car Driver's Seat and Optimal Driver's Spinal Model", *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, Vol. 23, No. 1, pp. 37-47.
- Jouaneh, M., Hammad, A., Datsoris, P., 1997, "A flexible automated foam cutting system", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Volume 37, Issue 4, April 1997, Pages 437-449.
- Kottke, F.J., Lehmann, J.F., 1994, "Tratado de medicina física e reabilitação de Krusen", Ed. Manole, São Paulo, 4.ed.
- Lin, F. et al., 2004, "A Subject-Specific FEM Model for Evaluating Buttock Tissue Response under Sitting Load", *Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS*, September 01-05.
- Makhsous, M. et al., 2007, "Finite Element Analysis for Evaluation of Pressure Ulcer on the Buttock: Development and Validation", *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 15(4), 517-25.
- Mello, M.A.F., 1995, "Seating: adequação postural para o usuário de cadeira de rodas", Ed. SalvaPé, São Paulo.
- Neth, D., McGovern, T., Roger, S., 1989, "Computer aided measurement and fabrication of contoured body supports", *Proceedings of 12th Annual RESNA Conference*, New Orleans, LA, RESNA Press, Washington, DC, p. 234.

- Penkner, K., et. al., 1999, "Fabricating auricular prostheses using three-dimensional soft tissue models", The Journal of Prosthetic Dentistry, Volume 82, Issue 4, October 1999, Pages 482-484.
- Pine II, B.J., 1994, "Personalizando Produtos e Serviços – Customização Maciça", Makron Books, São Paulo.
- Ratliffe, K.T., 2000, "Fisioterapia clínica pediátrica", Ed. Santos, São Paulo, Brazil.
- Rosenthal, M.J. et al., 1996, "A Wheelchair Cushion Designed to Redistribute Sites of Sitting Pressure". Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 77, 278-82.
- Smith, D.M., 1995, "Pressure ulcers in the nursing home (review)", Annals of Internal Medicine, 123(6).
- Sokovic, M., 2005, "RE (reverse engineering) as necessary phase by rapid product development". Journal of Materials Processing Technology.
- Sy, P.L. et al., 2000, "Fabrication of Custom Contour Cushion Using Pressure Mapping Method: A Preliminary Study". Proceedings of the 22nd Annual International Conference of the IEEE EMBS, July 23-28.
- Whittington, K. et al., 2000, "A national study of pressure ulcer prevalence and incidence in acute care hospitals", Journal of Wound, Ostomy and Continence Nurses, 27, 209-15.

## 6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

# CUSTOM-CONTOURED CUSHIONS MANUFACTURING VIA PLASTER MODELING, 3D SCANNING AND CNC MACHINING

Vilson João Batista, [vbatista@mecanica.ufrgs.br](mailto:vbatista@mecanica.ufrgs.br)<sup>1,2,3</sup>  
Fábio Pinto da Silva, [fabio.silva@ufrgs.br](mailto:fabio.silva@ufrgs.br)<sup>1,4,5</sup>  
Wilson Kindlein Junior, [kindlein@portoweb.com.br](mailto:kindlein@portoweb.com.br)<sup>3,4,5,6</sup>  
Helton Scheer de Moraes, [heltonbiker@yahoo.com.br](mailto:heltonbiker@yahoo.com.br)<sup>3</sup>  
Rita de Cássia Recziegel Bersch, [rita@cedionline.com.br](mailto:rita@cedionline.com.br)<sup>3</sup>

<sup>1</sup>DEMEC/UFRGS. 425, Sarmento Leite street. ZIP: 90050-170. Porto Alegre - RS - Brasil.

<sup>2</sup>PROMECC/UFRGS,

<sup>3</sup>PGDESIGN/UFRGS,

<sup>4</sup>LdSM/UFRGS,

<sup>5</sup>PPGEM/UFRGS,

<sup>6</sup>DEMAT/UFRGS.

**Abstract:** *The use of custom contoured cushions on wheelchairs is advised for the prevention of postural deformities, skin ulcers and functional limitations for the user. Those cushions attempt to increase the contact area, lowering the peaks of pressure on the skin and the deep-tissue deformation, but the most suitable way to obtain the best individualized contour is still to be determined. This paper proposes a fabrication method consisting in molding the patient's contour with a plaster of Paris cast, digitizing the cast cavity with a 3D laser scanner, and later machining of expanded polyurethane foam. A Digimill 3D CNC mill had been used, and the cutting parameters experimentally determined. The partial results had been quite satisfactory, with good surface finish, low production time, suitability for serial production, and great economical viability.*

**Keywords:** *Custom-contoured Cushions, Seating, Assistive Technology, 3D Scanning, Foam CNC Machining.*

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.