

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS
ESCOLA DE ENGENHARIA E FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

ELISA MARANGON BERETTA

TECNOLOGIA ASSISTIVA: PERSONALIZAÇÃO EM MASSA
ATRAVÉS DO DESIGN E FABRICAÇÃO DE ASSENTOS CUSTOMIZADOS
PARA CADEIRAS DE RODAS.

Porto Alegre

2011

ELISA MARANGON BERETTA

**TECNOLOGIA ASSISTIVA: PERSONALIZAÇÃO EM MASSA
ATRAVÉS DO DESIGN E FABRICAÇÃO DE ASSENTOS CUSTOMIZADOS
PARA CADEIRAS DE RODAS.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Design como
requisito parcial para obtenção do título de
Mestre em Design, pela Universidade Federal
do Rio Grande do Sul.

Professor Orientador: Wilson Kindlein Júnior

Porto Alegre

2011

Elisa Marangon Beretta

**Tecnologia Assistiva: Personalização em massa através do Design e
Fabricação de assentos customizados para cadeiras de rodas.**

Orientador: Prof. **Wilson Kindlein Júnior**, Dr. Eng.

Departamento de Engenharia de Materiais – DEMAT/UFRGS

Programa de Pós-Graduação em Design – PGDESIGN/ UFRGS

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais – PPGEM/UFRGS

Banca examinadora:

Profa. Dra. **Jacinta Sidegum Renner**

Instituto de Ciências da Saúde – ICS – Universidade Feevale

Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas – ICET – Universidade Feevale

Prof. Dr. **Jorge Roberto Lopes dos Santos**

Instituto Nacional de Tecnologia – INT/MCT

Departamento de Artes e Design – DAD/PUC-RIO

Prof. **Vilson João Batista**, Dr. Eng.

Departamento de Engenharia Mecânica – DEMEC/UFRGS

Programa de Pós-Graduação em Design – PGDESIGN/UFRGS

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - PROMEC

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para este trabalho. Em especial a meus pais, por proverem anos de estudo e experiências que não poderia ter vivido sem a ajuda deles. Agradeço aos meus avós por sempre estarem do meu lado e serem parte importante de minha vida. Também, a outras pessoas que, mesmo não tendo relação consanguínea, fazem parte de minha família.

Um agradecimento ao Laboratório de Design e Seleção de Materiais e sua equipe por prover os meios físicos e materiais para que esta pesquisa fosse executada, assim como a transferência de conhecimento. Aos amigos que lá encontrei que proveram mais que um apoio científico. Aos professores e, em especial, ao Prof. Wilson Kindlein Júnior pelo apoio e confiança em meu trabalho.

Obrigada aqueles amigos que acompanharam a jornada do mestrado desde o início, pelo apoio nos momentos difíceis e pelas risadas nos felizes. Um agradecimento especial as minhas colegas Daniela Szabluk e Andrea Capra por compartilharem as piadas irônicas. Para elas, um agradecimento “com estrelinha”. A todos os citados, obrigado por terem feito parte desta etapa de minha vida.

Intelligence is the ability to adapt to change.

Stephen Hawking

RESUMO

O design de assentos personalizados produzidos em espumas de poliuretano (PU) é uma opção para melhorar o conforto e o posicionamento das pessoas com deficiências que passam horas do dia sentadas na mesma posição. Estas superfícies de suporte aumentam a área de contato entre o assento e o usuário, o que melhora na distribuição do seu peso, diminuindo as pressões localizadas que geram problemas como úlceras de pressão. A grande maioria dos equipamentos destinados à produção destes assentos são dedicados, ou seja, especialmente desenvolvidos para este propósito, assim como suas ferramentas. Estes fatores aumentam o custo do produto final e restringem o número de pessoas que poderiam desfrutar de equipamentos personalizados. Neste sentido, a presente pesquisa objetiva estabelecer rotinas de desenvolvimento e produção de assentos personalizados para usuários de cadeiras de rodas manufaturados através de usinagem CNC convencional com a utilização de espumas de poliuretano. Para isto, foram ensaiados parâmetros (rotação e avanço) de usinagem CNC para cortar as espumas de PU. Os desbastes foram analisados quanto a precisão do corte e rebarbas em sua superfície, e os parâmetros selecionados como adequados para o corte foram então transpostos para ensaios de acabamento. Sendo as espumas de PU materiais flexíveis, a forma gerada foi verificada através da digitalização tridimensional. Para avaliar a deformação em peças maiores, os parâmetros foram testados em assentos e então analisados mais uma vez através da digitalização. Foram testados três combinações de velocidades de avanço, mantendo a rotação a 24.000 RPM por ter se mostrado mais adequada. Para validação da pesquisa, um estudo de caso foi executado com a melhor combinação de velocidade de avanço, verificadas anteriormente. Com esta pesquisa, foi comprovada a viabilidade da produção de assentos personalizados em espumas de PU flexível através da usinagem CNC. Também, com a produção destes é possível levar ao usuário um equipamento que melhora a distribuição das pressões na superfície do assento, fato verificado através de um tapete medidor de pressões.

Palavras-chave: Tecnologia Assistiva, Assentos personalizados, Espumas de Poliuretano, Usinagem CNC.

ABSTRACT

The design of customized seats manufactured in polyurethane foams is and alternative to improve comfort and positioning for people with disabilities, as those people spend hours of the day seated in the same position. These support surfaces increase the contact area between the seat and user. This aspect improves weight distribution reducing localized pressures that can generate scars. The great majority of equipments and tools destined to the manufacture of these seats are dedicated, i.e. specially developed to this purpose. These factors enhance the final product cost and restrict the number of people who could enjoy customizes equipments. In this sense, the present research aims at establishing development and production routines of customized seats for wheelchair users manufactured through conventional CNC machining of polyurethane foams. It was tested parameters (spindle and feed rates) of CNC machining to cut polyurethane foams. The selected parameters were then transposed to finishing tests. As polyurethane foams are flexible materials that tend to deform, the distortions on the generated geometry were analyzed through tridimensional scanning. The parameters were then tested and the distortion was analyzes in bigger pieces. It was tested three combinations of feeds, keeping the spindle at 24.000 RPM (more adequate according t previous tests). A case study was also executed to validate the research. This study proves the viability of customized seat manufacture in polyurethane foams through CNC machining. It also provides the user an equipment that can improve the pressure distribution in seats surfaces, verified through a mat measurer system.

Keywords: Assistive Technology, Customized seat, Polyurethane Foams, CNC machining.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Cadeira de rodas e suas peças intercambiáveis	26
Figura 02: Resultados obtidos quanto a distribuição de pressão em assentos de diferentes materiais	29
Figura 03: Diferentes tipos de assentos estáticos	30
Figura 04: Assento dinâmico e suas células para alternar o peso do usuário.	31
Figura 05: Esquema da distribuição de peso para o assento. Pressão distribuída igualmente em todas as áreas da superfície	37
Figura 06: Áreas vulneráveis a danos causados pela pressão quando sentado	38
Figura 07: Fluxograma das fases de projeto para a obtenção de roupas personalizadas	51
Figura 08: Desenvolvimento de prótese personalizada	53
Figura 09: Eixos indicados na fresa Digimil 3D da marca Tecnodrill localizada nas dependências do LdSM	56
Figura 10: Exemplo de corte de um material flexível. Devido a fricção o material é empurrado ao invés de ser cortado	61
Figura 11: Fotografia mostrando o nível de indentação da lamina no ponto de corte no substrato	62
Figura 12: Diferentes estágios do processo de indentação durante o corte ...	62
Figura 13: As cinco formas esquemáticas que foram utilizadas como modelo para as geometrias de corte para desenvolvimento das ferramentas	64
Figura 14: Duas ferramentas de fio quente criadas especialmente para cortar as formas identificadas	64
Figura 15: Ilustração da plataforma onde a espuma é presa por vácuo, uma moldura e restrições de espetos afiados de madeira	67
Figura 16: Resultados de testes preliminares de usinagem em elastômeros que falharam e deixaram um corte grosseiro na peça de trabalho presa com cabo de aço reforçado (<i>steel cable reinforcement</i>)	70
Figura 17: Tipos de corte testados nos estudos preliminares	71
Figura 18: Rasgos usinados no segundo teste	72

Figura 19: Gráficos em cores exibindo os desvios de forma dos biomodelos fabricados por diferentes processos	74
Figura 20: Espectro gerado pela análise por FT-IR para a espuma D50	78
Figura 21: Gráfico da Força de Indentação para a espuma D50	80
Figura 22: Relação da força de indentação (IFD) com as densidades das espumas	81
Figura 23: Ferramentas utilizadas para os testes de usinagem	81
Figura 24: Usinagem concordante e discordante	83
Figura 25: Ferramenta esférica Dormer C502	85
Figura 26: Combinação do parâmetro velocidade de avanço (em mm/min) nas operações de desbaste e de acabamento	87
Figura 27: Comparação dimensional da semiesfera usinada e digitalizada a laser a uma forma esférica desenhada no software com 6 cm de diâmetro ...	88
Figura 28: (A) Atadura gessadas colocadas na espuma em cima da cadeira de rodas; (B) usuário posicionado em postura adequada na cadeira de rodas; (C) molde de gesso obtido	89
Figura 29: Molde de gesso sendo digitalizado pelo equipamento de digitalização tridimensional a laser Minolta Vivid 9i	90
Figura 30: (A) Modelo tridimensional da espuma para usinagem; (B) Programação da operação de desbaste para usinagem do assento	91
Figura 31: Gesso posicionado na espuma digitalizada para efetuar a comparação das dimensões	92
Figura 32: (A) O usuário sendo posicionado na cadeira de rodas em cima das ataduras gessadas e (B) o molde resultante	94
Figura 33: Adaptações feitas na área de usinagem. (A) Esquadro posicionado com as fitas de contenção. (B) Espuma posicionada e o primeiro quadrante sendo usinado	96
Figura 34: Análise da distribuição de pressão	96
Figura 35: Corte na espuma D26 com rotação de 6.000 RPM e alto avanço (entre 2.400 – 60% até 4.000 – 100%)	99
Figura 36: Corte na espuma D45 com rotação de 18.000 RPM e avanços entre 1.600 e 3.200 mm/min	100
Figura 37: Corte na espuma D45 com rotação de 12.000 RPM e avanço de	

2.800mm/min (70%)	101
Figura 38: Comparação dos cortes na espuma D45 a velocidade de 24.000 rpm e avanços entre 1.600 e 3.200 mm/min	101
Figura 39: Dificuldade de usinagem na espuma D20 a 1.800 RPM e 2.000, 2.400, 2.800, 3.200 e 3.600 mm/min (50% a 90%) com ferramenta com duas lâminas de corte	102
Figura 40: Dano na espuma D26 quando usinada com parâmetros 18.000 rpm e 4.000 mm/min (100%)	102
Figura 41: Espuma D33, com ferramenta com duas lâminas de corte a 12.000 RPM e avanços de 2.000, 2.400, 2.800 e 3.200 (50% a 80%)	103
Figura 42: D45 com ferramenta com quatro lâminas de corte a 24.000 RPM, de 1.200, 1.600, 2.000, 2.400 e 2.800 mm/min (de 30% a 70%)	104
Figura 43: Espuma D50 usinada com a ferramenta A, a 24.000 RPM, de 1.200, 1.600, 2.000, 2.400 e 2.800 mm/min (30% a 70%)	104
Figura 44: Poucos cortes limpos na D60, com ferramenta B, 18.000 RPM, de 1.600, 2.000, 2.400, 2.800 e 3.200 mm/min (40% a 90%)	105
Figura 45: Comparação dimensional das semiesferas usinadas	108
Figura 46: Gráfico da deformação dimensional dos parâmetros de desbaste (D) e acabamento (A) dado pelos ensaios de acabamento	108
Figura 47: (A) Cavaco gerado na operação de desbaste com avanço a 2.400 mm/min e (B) cavaco gerado na mesma operação a 4.000 mm/min	109
Figura 48: Defeitos gerados na espuma 01	110
Figura 49: Comparação dimensional assentos usinados com o modelo tridimensional do molde de gesso	111
Figura 50: Distribuição de pressões	112
Figura 51: Análise termográfica	113
Figura 52: Assento sendo usinado em quatro partes	114
Figura 53: (A) Assento depois da operação de desbaste e (B) assento final .	115
Figura 54: Análise da distribuição de pressão no assento padronizado e no assento personalizado	116
Figura 55: Análise da distribuição de pressão	117

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 01: Classificação dos parâmetros de usinagem para espumas de PU.	106
Tabela 01: Classificação de níveis da PM, segundo Silveira, Borenstein e Fogliatto (2001)	48
Tabela 02: Parâmetros de corte do equipamento de Jouaneh, Hammad e Datseris (1997)	65
Tabela 03: Dados para análise de distorções no corte das espumas de PU.....	69
Tabela 04: Propriedades do gesso	77
Tabela 05: Densidades das espumas em kg/cm ³	79
Tabela 06: Valores dos testes de endentação	80
Tabela 07: Dados técnicos das ferramentas utilizadas para os testes de usinagem	82
Tabela 08: Programa utilizado para testar os parâmetros de corte nas espumas de poliuretano	84
Tabela 09: Avanços utilizados nos ensaios de usinagem	84
Tabela 10: Especificações da ferramenta D, utilizadas nas operações de acabamento	86
Tabela 11: Variação dos parâmetros de avanço para os assentos de PU	91
Tabela 12: Tempos de usinagem dos assentos	111

LISTA DE ABREVIATURAS

3D – Tridimensional.

ADEF – Associação de Deficientes Físicos.

ASTM – *American Society for Testing and Materials*.

CAD – *Computer-Aided Design*.

CAM – *Computer-Aided Manufacturing*.

CAE – *Computer-Aided Engineering*.

CNC – *Computer Numeric Control* ou Controle numérico por computador.

EE – Escola de Engenharia.

FTIR – *Fourier Transform Infrared Spectroscopy*.

IFD – *Indentation Force Deflection*.

LACER – Laboratório de Materiais Cerâmicos

LdSM – Laboratório de Design e Seleção de Materiais.

PM – Personalização em Massa

PU – Poliuretano.

TA – Tecnologia Assistiva.

TC – Tomografia Computadorizada

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

UCS – Universidade de Caxias do Sul.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

AGRADECIMENTOS

RESUMO

ABSTRACT

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 DELIMITAÇÃO	20
1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	21
1.3 ELABORAÇÃO DA HIPÓTESE DE PESQUISA	21
1.4 OBJETIVOS	22
1.4.1 Objetivo geral	22
1.4.2 Objetivos Específicos	22
1.5. JUSTIFICATIVA	23
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
2.1 TECNOLOGIA ASSISTIVA E CADEIRAS DE RODAS	25
2.2 SUPERFÍCIES DE SUPORTE PARA CADEIRA DE RODAS	27
2.3 CONFORTO E DESCONFORTO EM SUPERFÍCIES DE SUPORTE	31
2.4 POSICIONAMENTO E ESTABILIDADE	39
2.5 SUPERFÍCIES DE SUPORTE PERSONALIZADAS	42

2.6 PERSONALIZAÇÃO EM MASSA	45
2.6.1 NÍVEL 8: DESIGN E PERSONALIZAÇÃO PURA	49
2.7 CONTROLE NUMÉRICO COMPUTADORIZADO E USINAGEM	54
2.7.1 USINAGEM DE MATERIAIS FLEXÍVEIS	58
2.7.2 ESTUDOS DE CASO SOBRE CORTES EM MATERIAIS FLEXÍVEIS ...	63
2.8 DIGITALIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL COMO FERRAMENTA PARA AVALIAÇÃO DIMENSIONAL	73
3 MATERIAIS E MÉTODOS	76
3.1 MATERIAIS	76
3.1.1 Propriedades químicas das espumas de PU	78
3.1.2 Propriedades mecânicas das espumas de PU	78
3.2 ENSAIOS DE DESBASTE	81
3.3 ENSAIOS DE ACABAMENTO	85
3.3.1 Análise dimensional	87
3.4 VERIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS DE USINAGEM EM UM ASSENTO	88
3.4.1 Análise da distribuição de pressão	92
3.4.2 Análise da distribuição de temperatura	93
3.5 VALIDAÇÃO	94
3.5.1 Análise da distribuição de pressão	96
3.5.2 Análise da distribuição de temperatura	97
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	98

4.1 ENSAIOS DE DESBASTE	98
4.2 ENSAIOS DE ACABAMENTO	107
4.2.1 Análise dimensional	107
4.3 VERIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS DE USINAGEM PARA UM ASSENTO	109
4.3.1 Análise da distribuição de pressão	112
4.3.2 Análise da distribuição de temperatura	113
4.4 VALIDAÇÃO	114
4.4.1 Análise da distribuição de pressão	116
4.4.2 Análise da distribuição de temperatura	116
5. CONCLUSÕES	118
REFERÊNCIAS	123
APÊNDICE	137

1 INTRODUÇÃO

A Tecnologia Assistiva (TA) foi criada para aumentar a autonomia da pessoa com deficiência, compondo-se de uma ampla gama de recursos, serviços, estratégias e práticas. Os recursos da TA estão classificados de acordo com os objetivos funcionais a que se destinam. Um destes recursos é a adequação postural, que consiste em trazer maior conforto, alívio de pressão, aumento da função básica humana e suporte corporal através de adaptações para cadeira de rodas ou outro sistema de sentar visando o conforto e distribuição adequada da pressão na superfície da pele (almofadas especiais, assentos e encostos anatômicos), bem como posicionadores e contentores que propiciam maior estabilidade e postura adequada do corpo através do suporte e posicionamento de tronco/cabeça/membros.

O mau posicionamento postural na cadeira de rodas pode levar o indivíduo a ter problemas como rigidez, contraturas, deformidades, restrições nos movimentos, úlceras de pressão, além de comprometer o desenvolvimento emocional e intelectual (RATLIFFE, 2000). Um dos problemas mais graves são as úlceras de pressão, popularmente chamadas de escaras, que são lesões que acometem pessoas com doenças que provocam limitação de mobilidade e que necessitam permanecer durante muito tempo apoiadas sobre superfícies de suporte (leitos e/ou assentos). Uma das maiores preocupações dos assentos disponíveis é a prevenção dessas úlceras de pressão, já que estas constituem uma grande fonte de morbidade adicional, pois seu tratamento é longo, caro e incapacitante, podendo causar danos permanentes ou até morte. Para Mooney et al (1971), a maior contribuição do design de almofadas para assentos é equalizar e minimizar a pressão. Outras especificações também são importantes, tais como a troca de calor e umidade, estabilidade do material, densidade da almofada e custo.

Jurgens (1997) apresentou uma revisão da distribuição de pressão em assentos e no contorno dos assentos. Em 1996, Brienza et al. apresentaram sua estrutura de sistema de assento, que possui uma superfície de suporte de elementos verticais, distribuídos modularmente. Esses elementos deformam linearmente pela quantidade de pressão aplicada, assim formando uma distribuição de pressão com

valores medidos. No entanto, segundo Harrison et al (2000), mais deve ser feito do que incorporar espumas mais densas para minimizar as pressões. Para isso, o formato do assento, características do estofamento (contorno, firmeza, etc.) e materiais de cobertura, altura da parte inferior do assento, inclinação do assento, ângulo do encosto, suporte lombar, apoio de cabeça, e apoio de braços devem ser fatores importantes no projeto de design de um assento para cadeira de rodas. Segundo Harrison et al. (2000), estes fatores contribuem para a estabilidade, ou seja, o conforto real e percebido durante movimentos executados .

A estabilidade para o paciente com deficiência na almofada do assento é extremamente importante. Quando aplicada para ser utilizada em cadeiras de rodas, um ponto de reação firme é necessário para pacientes com pouco controle do tronco e que apresentam fraqueza na autopropulsão de suas cadeiras de rodas. Propulsionar a cadeira de rodas enquanto sentado em uma almofada preenchida de fluidos requer mais energia do que quando a força de reação é dissipada pelo rendimento das estruturas de apoio (MOONEY et al, 1971). O efeito que almofadas têm na estabilidade, tanto real quanto percebida, pode ser crítico especialmente para estes usuários com pouco controle no tronco. Pessoas com lesões na espinha dorsal frequentemente tem uma percepção aguda da sua estabilidade do tronco que é muito mais sutil e complexa que sistemas de medições de posicionamento são capazes de detectar. Restrições entre a estabilidade da almofada e distribuição de pressão devem ser feitas e, segundo Aissaoui et al. (2001), isto é usualmente feito na prática por permitir um pequeno aumento de pressão ainda aceitável nas regiões ósseas .

Os pontos de pressão e a estabilidade são fatores das cadeiras de rodas que influenciam na percepção de conforto do usuário. Para Lida (1998), o conforto é "uma qualidade ergonômica do produto". No entanto, segundo Linden (2004), "o conceito de conforto é subjetivo, depende em grande parte da percepção da pessoa que está vivendo a situação, não existindo uma definição universalmente aceita". Para um usuário de cadeiras de rodas, o conforto se torna mais difícil de ser avaliado pois muitas vezes o usuário não tem uma percepção clara da superfície de contato, levando outras pessoas (fisioterapeutas, médicos, familiares) a fazer esta avaliação. Assim, para usuários de cadeiras de rodas, pode-se considerar o conceito

de Branton (1969), que afirma que a avaliação do conforto deveria considerar fatores como o contexto de uso, significando, neste sentido, a quantidade de horas que a pessoa ficará sentada na superfície e o seu grau de mobilidade. Para gerar maior conforto ao usuário, considerando tanto a redução das pressões quanto a maior estabilidade, diversas formas de soluções têm sido estudadas tendo o principal foco na modificação das superfícies de suporte (assentos e encostos), em relação ao formato, às características mecânicas da área de contato e às propriedades elásticas dos materiais utilizados.

Os assentos mais comuns encontrados são os chamados “estáticos”, normalmente feitos em espumas de poliuretano. Este tipo de assento possui uma forma padronizada que não provê alívio das pressões e é mais indicado para pessoas que possuem maior movimentação que não necessitam permanecerem muitas horas sentadas na mesma posição. Os assentos que visam o alívio das pressões são chamados “dinâmicos”. Este tipo de assento é feito normalmente em algum tipo de gel ou ar. Eles possibilitam à pessoa que fica muitas horas na mesma posição alternar os pontos de maior pressão. No entanto, sua superfície provê pouco suporte e estabilidade, o que pode levar as pessoas com estrutura muscular fraca a permanecer em posições prejudiciais a coluna. Ainda existe um terceiro tipo de assento, chamado de híbrido, pois é a combinação do assento de poliuretano na sua estrutura principal e com uma parte em gel, silicone ou ar apenas nas proeminências ósseas, onde os pontos de pressão normalmente se encontram. O problema deste tipo é que, por serem padronizados, podem criar pontos de pressão na parte posterior da perna próximas ao joelho que prejudicam a circulação sanguínea.

Estes assentos disponíveis no mercado não satisfazem todas as necessidades dos usuários de cadeiras de rodas já que quando os assentos aliviam os pontos de pressão, a estabilidade e o bom posicionamento são prejudicados; quando o posicionamento é beneficiado, pontos de pressão são criados. Assim, foi identificada a necessidade de produção de assentos que possam exercer as duas funções (diminuir pontos de pressão e aumentar a estabilidade), aumentando o conforto e a qualidade de vida das pessoas com deficiência.

Notou-se que a modificação do assento e encosto da cadeira de rodas seria a alternativa que mais solucionaria os problemas citados. Para produzir estes

itens, foi desenvolvida uma metodologia para personalização de assentos e encostos, que está sendo desenvolvida no LdSM – Laboratório de Design e Seleção de Materiais¹. Para realização da metodologia desenvolvida, foi feito um estudo de caso verificando todas as etapas necessárias para produção. Para obtenção da forma do usuário foi utilizada a digitalização tridimensional, e para a confecção dos assentos optou-se por utilizar um processo automatizado (usinagem CNC - *Computer Numeric Control*), considerando que este poderia gerar assentos personalizados com a eficiência de uma produção em massa. Esta metodologia está baseada no conceito de personalização em massa (*mass customization*). Este conceito é definido por Pine et al. (1993) como a produção em massa de bens e serviços que atendam aos anseios específicos de cada cliente, individualmente, a custos semelhantes aos dos produtos não personalizados.

De acordo com revisões recentes, ocorreu um aumento de atenção pela personalização de produtos (DA SILVEIRA, BORENSTEIN, & FOGLIATTO, 2001; JIAO, QUINHAI, & TSENG, 2003). Salvador, Forza, and Rungtusanatham (2002) concluíram que mesmo que a personalização não tenha completamente varrido com a produção em massa, há claros sinais que está se tornando cada vez mais uma preocupação generalizada. Feitzinger e Lee (1997) explicam o aumento do interesse na personalização pelo fato que consumidores estão demandando produtos e serviços altamente customizados.

A personalização visa atingir os requerimentos desejados do desempenho do produto ao passo que muda parâmetros de design. Assim, a maior preocupação da personalização é a flexibilidade do projeto para que este possa ser modificado para acomodar variações em requerimentos funcionais (referidos ao desempenho esperado). Em outras palavras, a personalização do design é caracterizada pela facilidade – ou flexibilidade – tanto da mudança do projeto quanto da extensão desta mudança (JIAO & TSENG, 2004).

No entanto, adaptações para satisfazer requerimentos individuais são sempre de alto custo, pois elas tendem a minar o potencial de operações padronizadas, assim, aumentando a complexidade e reduzindo a escala das

¹ Metodologia desenvolvida pelo Professor Fábio Pinto da Silva, do Departamento de Design e Expressão Gráfica da UFRGS.

operações. Estas características fazem a personalização mais desafiante já que compradores tendem a requerer soluções individualizadas ao mesmo tempo em que eles demandam tempos menores de entrega (FEITZINGER & LEE, 1997) além de custos reduzidos (OSWALD & BOULTON, 1995). Fredriksson e Gadde (2005) afirmam que para diminuir o tempo de entrega e o custo final do produto, é necessária a reorganização das estruturas das atividades na produção e distribuição para que aumente a flexibilidade do processo. Processos automatizados, como a usinagem CNC (controle numérico por computador ou *computer numeric control*), podem trazer agilidade em sistemas produtivos personalizados ao passo que é possível programar diferentes produtos para serem manufaturados na mesma máquina, além do estabelecimento de parâmetros como velocidade de rotação e avanço, tipo de ferramenta etc. Com um processo bem estabelecido, é possível levar equipamentos, produtos e serviços personalizados que satisfaçam as necessidades específicas de usuários com tempo de entrega reduzido e para uma parcela maior da população.

1.1 DELIMITAÇÃO

Métodos para a fabricação de assentos personalizados estão sendo extensamente estudados com focos principais na captação das formas do usuário. Outro ponto importante a ser estudado são as formas de obtenção do assento, já que isto pode significar em aumento do tempo de entrega e do custo final do produto. O material que está sendo utilizado para os assentos personalizados é a espuma de poliuretano flexível. A forma comum de obtenção de assentos é através de molde. No entanto, de acordo com Jouaneh, Hammad e Datseris (1997), se não executadas em grande escala a abordagem de molde é de alto custo em termos de preparo e produção deste. Um processo de produção confiável e relativamente de baixo custo se torna essencial para que assentos personalizados sejam disponíveis e a preços competitivos. Por estas razões, Shih, Lewis, Strenkowski (2004) afirmam que a usinagem oferece uma alternativa atraente para manufaturar componentes personalizados feitos nestes materiais, já que não é necessário um equipamento dedicado e especializado. Esta técnica se refere às operações que, ao conferir à

peça a forma, ou as dimensões ou o acabamento, ou ainda uma combinação qualquer destes três itens, produzem cavaco (FERRARESI, 1997), e, segundo Silveira (2001) esta é uma das principais tecnologias avançadas de produção que suportam a produção de produtos personalizados.

No entanto, devido as suas propriedades elásticas, as espumas de poliuretano flexível são de complexa usinagem podendo ocorrer problemas frequentes no acabamento. Além disso, dependendo da massa, da idade e do desenvolvimento físico do usuário a densidade desta espuma pode variar, assim como os parâmetros de usinagem especificados. Esses fatores, como o acabamento da usinagem e a reprodução da forma personalizada, são diretamente refletidos no conforto do usuário. Dependendo do diagnóstico da deficiência do usuário e do seu objetivo de vida, as prioridades do seu assento personalizado podem variar, mesmo assim, o conforto gerado pelo assento deve ser uma constante independente das exigências do usuário.

Assim, esta pesquisa delimita-se ao design de suportes personalizados principalmente no que tange à investigação da usinagem CNC convencional de assentos personalizados para cadeiras de rodas produzidos em espumas de poliuretano para a melhoria do posicionamento e conforto do usuário de cadeiras de rodas.

1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Como é possível desenvolver o design de assentos personalizados produzidos em espumas de poliuretano através de usinagem CNC convencional reduzindo problemas de posicionamento do usuário?

1.3 ELABORAÇÃO DA HIPÓTESE DE PESQUISA

Ao desenvolver e fabricar um assento para cadeira de rodas personalizado, usinado com os parâmetros de corte adequados, em uma espuma de

densidade adequada, é possível gerar uma superfície com maior precisão de contato que permita melhorar o posicionamento e conforto do usuário de cadeira de rodas.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo geral

Através da ótica do Design e da tecnologia, propor rotinas de desenvolvimento e produção de assentos personalizados para usuários de cadeiras de rodas manufaturados através de usinagem CNC convencional com a utilização de espumas de poliuretano, que possam prover maior conforto e estabilidade para o usuário.

1.4.2 Objetivos específicos

Desenvolver o produto “assentos personalizados” para enfatizar a produção de produtos que beneficiem as pessoas com deficiência.

Averiguar como o posicionamento postural pode afetar o conforto de pessoas com deficiência.

Verificar quais as superfícies de suporte que estão disponíveis hoje para pessoas com deficiência.

Identificar as densidades das espumas de PU mais adequadas para superfícies de suporte.

Identificar os parâmetros de usinagem para produção assentos personalizados.

Verificar a precisão dimensional que o corte feito pela usinagem CNC gera nas superfícies.

Avaliar se a superfície do assento personalizado aumenta a área de contato com a interface do usuário.

1.5 JUSTIFICATIVA

Para Long (2010), posturas adotadas enquanto sentado em uma cadeira de rodas afetam o conforto, a função e a condição de saúde, com esforço significativo para assegurar que a postura sentada seja adequada. No entanto, Moraes (2009) afirma que não há evidência científica a respeito da efetividade dos produtos disponíveis no mercado que melhoram o conforto. Já um assento personalizado, se adequado às necessidades específicas deste usuário, pode proporcionar aumento do conforto e maior adequação postural referente ao posicionamento. Estes benefícios são obtidos devido ao fato de que almofadas são fabricadas em um material flexível porém firme e são moldadas exatamente para as necessidades pessoais do usuário. Assim, de acordo com Phillips e Hudsson (2010), elas conseguem prover posicionamento e estabilidade, assim frequentemente em melhores condições para atividades motoras.

Um dos objetivos dos assentos personalizados é aumentar a área de contato entre a superfície do material do assento e o corpo do usuário por ter a exata geometria do usuário, para que assim, seu peso seja distribuído igualmente. Este fato influencia tanto na distribuição de pressões e quanto no posicionamento do usuário conseqüentemente, influenciando no conforto. Porém, devido as espumas de poliuretano flexíveis deformarem ao toque, ao efetuar o corte dessas, podem ocorrer deformações na peça. Se estas deformações forem muito grandes, o assento personalizado pode não atingir seu objetivo. Por este fato, torna-se importante a precisão da obtenção das formas na fabricação de um assento personalizado.

A técnica atual de obtenção de assentos em materiais flexíveis é através de moldes, o que torna o processo com um alto custo. Alguns estudos feitos para obtenção de assentos personalizados projetaram ferramentas e equipamentos dedicados (BRIENZA et al., 1992; JOUANEH, HAMMAD, DATSERIS, 1997;

DHOKIA, 2008), o que também pode influenciar custo final do produto. Por estas razões, faz-se necessário o estudo dos parâmetros de usinagem com equipamentos e ferramentas convencionais para que se obtenham assentos personalizados bem acabados e com precisão geométrica, que contribuem com a adequação postural do usuário e sua qualidade de vida.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 TECNOLOGIA ASSISTIVA E CADEIRA DE RODAS

Segundo Johnston e Bonetti (2004), as deficiências podem ser conceituadas como limitações nas atividades resultando de fatores patológicos e biomecânicos como inflamação nas juntas, lesão no cérebro, idade ou limitações sensoriais; e podem surgir de diversos transtornos, desde teratogenicidade ou como resultado de acidentes ou devido a alguma doença. Para ajudar na seleção de equipamentos adequados, algumas classificações de deficiências são feitas. Estas servem como indicadores para requerimentos de cuidados com a saúde, habilidade de ser independente na comunidade e a natureza e a extensão da participação nesta; isto pode delimitar as necessidades que o equipamento deve sanar. Estas medidas das deficiências são tipicamente baseadas em relatórios feitos pelos próprios usuários ou dados de comportamento de observações, frequentemente no nível do desempenho de atividades básicas e instrumentais da vida diária, como comer, ir ao banheiro, vestir-se, tomar banho, caminhar, executar atividades domésticas e compras (JOHNSTON e BONETTI, 2004).

No entanto, mesmo com a correta identificação do equipamento necessário, existem fatores que impedem as pessoas com deficiência de conseguirem um equipamento adequado como preconceito e poucos recursos financeiros, além de barreiras intrínsecas (diferenças culturais e pouco conhecimento sobre a TA), que, para Hunt et al. (2004), podem ter impactos negativos na habilidade de obter uma tecnologia apropriada. A habilidade das pessoas com deficiência de se reintegrar na sociedade com independência depende muito no acesso de TA apropriada e adequada, tal como cadeiras de rodas. Assim, prover cadeiras de rodas apropriadas com características personalizáveis ao ambiente dos usuários, suas necessidades e preferências é uma parte importante da reabilitação. Nowak (1996) afirma que a combinação de terapias e ergonomia consideravelmente intensifica e acelera este processo de reabilitação. Por exemplo, os exercícios e tratamentos médicos devem ser apoiados por produtos de uso diário

construídos corretamente, ou seja, projetados e manufaturados com base em uma metodologia voltada à TA, que ajudam o processo de recuperação física e mental.

Para a correta prescrição da cadeira de rodas apropriada ao usuário, Kaufman–Scarborough (1999) afirma que se deve ter em mente que muitos tipos de deficiências podem impor requerimentos relacionados à antropometrias específicas, criando combinações únicas de necessidades e soluções para usuários diversos. Com a idéia de suprir estas necessidades foram criados diferentes designs de cadeiras de rodas que se diferem em forma, material, peso, durabilidade e custo (HUNT et al., 2004). Uma das características destes projetos é a facilidade da intercambialidade de peças, como apoio para braço e pés, posicionadores e apoio para pescoço; estes itens estão indicados na figura 01. Um dos itens de grande importância são as superfícies de suporte, no momento que estas, segundo Moraes (2008), podem garantir um cuidado maior com manutenção da integridade tecidual, manejo da função digestiva e respiratória, assim como prevenção de deformidades esqueléticas.

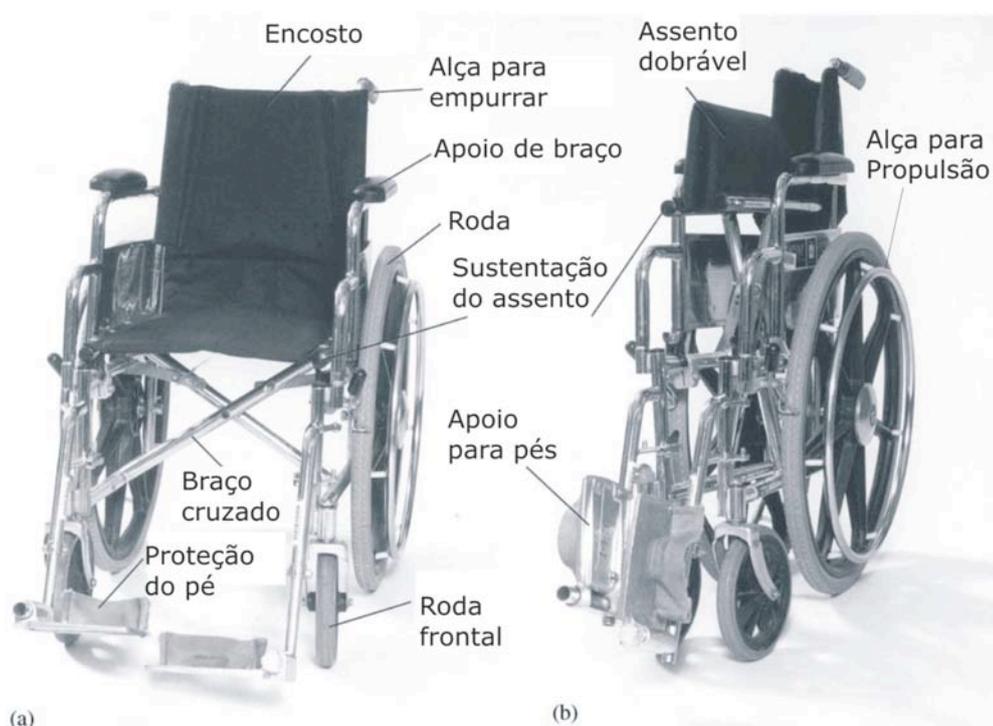


Fig 01: Cadeira de rodas e suas peças intercambiáveis. (a) cadeira aberta pronta para uso, e (b) cadeira dobrada para transporte.

Fonte: Cooper (1998)

Há muitos tipos de assento para escolher, tornando difícil saber qual almofada é a ideal e mais funcional para o usuário. Carcone e Keir (2007) afirmam que devido a esta grande seleção de produtos disponíveis, o design do encosto e assento deve ser estabelecido e a esta seleção de critérios devem ser baseadas nas relações entre conforto, pressão, postura e antropometria. Há muitos problemas que podem ser acarretados de um design que desconsidere estas funções. Ficar tempo prolongado sentado em uma superfície de suporte inadequada aumenta o inchaço nas extremidades inferiores, que podem possivelmente causar desconforto. Um assento mal prescrito comprime as veias da coxa e das regiões do quadril, que causam má circulação nas pernas. Também, a pressão hidrostática se acumula nas veias devido a postura sentada, aumentando o fluxo pelas membranas capilares até o espaço intersticial (CHESTER, RYS, KONZ, 2002).

Para se tornar possível para usuários sentarem por tempos prolongados, assentos especiais estão disponíveis. Estes visam modificações nos tipos de superfície e materiais, como almofadas anatômicas feitas em espuma de poliuretano, espumas com propriedades visco-elásticas, células pressurizadas individuais e inserções de gel e silicone em assentos padronizados. Engström (1993) afirma que o contorno e o material do assento são fatores importantes na prevenção de danos por pressão por tempos prolongados em sentar nas cadeiras de rodas. Alguns destes assentos são especialmente projetados para o alívio da pressão, mas esta não é uma função completa, já que também é necessário dar atenção ao posicionamento do usuário. Segundo Hänel, Dartman, Shishoo (1996), estes dois aspectos, a percepção de firmeza e pressão, devem ser estudados em sistemas de suporte. Por estes fatores serem considerados de suma importância ao projetar um assento, serão explorados a seguir.

2.2 SUPERFÍCIES DE SUPORTE PARA CADEIRAS DE RODAS

Para Zacharkow (1985) uma superfície de suporte deve ser sempre um sistema se sentar compreendendo a cadeira de rodas, o assento e encosto, o indivíduo e a postura. Para usuários de cadeiras de rodas, vários autores sugerem que a escolha do assento seja feita dependente das necessidades específicas do

paciente (GARBER e DYERLY, 1991; ROSENTHAL, 1996; STOCKTON et al., 2009). Como os usuários de cadeiras de rodas apresentam uma antropometria muito variada, além da ampla gama de tipos e graus de deficiência, vários assentos e encostos foram criados para suprir as necessidades fisiológicas de cada indivíduo. Os vários tipos de assentos estáticos incluem aqueles feitos de espuma, gel ou ar; baseados na premissa que a pressão constante na interface usuário/assento será suficientemente pequena para permitir a perfusão tanto nos tecidos profundos quanto nos superficiais, evitando assim o dano destes. Já os assentos dinâmicos possuem células de ar que inflam e desinflam a cada 10 a 12 min, mudando a posição da pressão no tecido sem o movimento do usuário.

Em um estudo, Mooney et al. (1971) compararam diversos tipos de assentos disponíveis na época para definir qual material seria mais eficaz na diminuição dos pontos de pressão. Esta pesquisa consistia em fazer medições dos usuários enquanto sentados nos assentos por determinado período de tempo através de equipamento específico desenvolvido por eles. Como conclusão, afirmam que, daqueles assentos estudados, o que melhor distribuía o peso do usuário diminuindo pressões pontuais era aquele feito de espuma de poliuretano, sem densidade especificada. Na figura 02 é possível visualizar o gráfico com os resultados coletados nesta investigação. No entanto, este estudo apresenta-se desatualizado devido ao atual desenvolvimento das superfícies de suporte.

Em pesquisa mais recente, Stockton et al. (2009) apresentam alguns assentos para cadeiras de rodas identificando suas vantagens e desvantagens.

- Assentos de espuma de poliuretano (PU): Podem variar pela densidade da espuma e voltam a forma originam quando a carga não está sendo aplicada. Suas principais vantagens são o baixo custo, estabilidade, os que possuem formas anatômicas podem se adaptar bem a forma do usuário melhorando seu posicionamento, fácil de utilizar, anti-bactericidas podem ser adicionados à espuma. Dentre as desvantagens pode-se identificar que as espumas de baixa qualidade possuem pouca durabilidade obrigando o usuário a adquirir outra em pouco tempo, este assento não é adequado para pessoas obesas devido à questões de segurança. (Figura 03a).

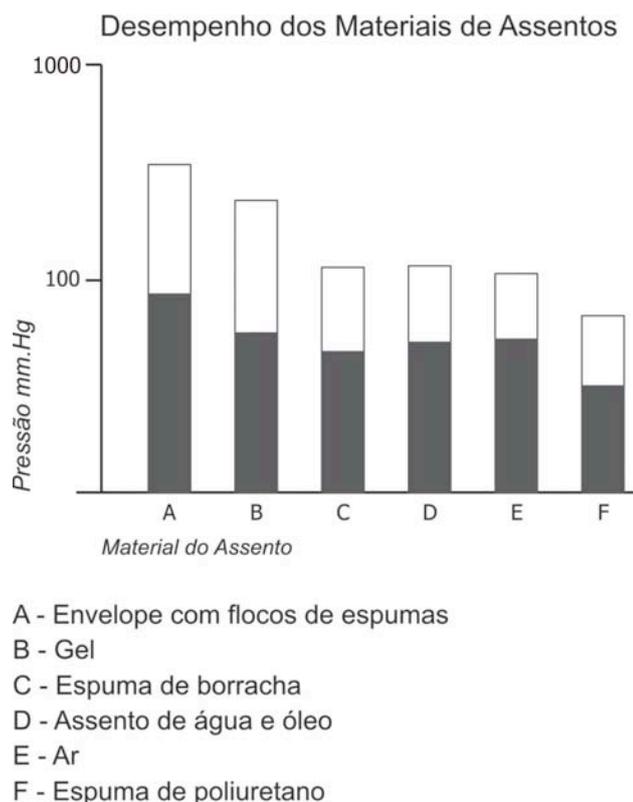


Fig. 02: Resultados obtidos quanto a distribuição de pressão em assentos de diferentes materiais.
 Fonte: Mooney et al. (1971)

- Assentos preenchidos com óleo: estes assentos foram inicialmente projetados para absorção de impactos, conseqüentemente foram considerados úteis no caso de usuários de cadeiras de rodas que experienciam dor. Como vantagem apresenta a propriedade de moldar-se ao corpo aumentando a superfície de contato para diminuir as pressões pontuais. Dentre as desvantagens está o impedimento do usuário transferir-se para os lados devido a densidade do material (Figura 03b).

- Assentos preenchidos com gel: estes assentos podem ter variações devido a viscosidade do gel usado na sua construção. Géis de alta viscosidade são mais sólidos e podem ser usados em folhas como uma camada superficial sobre os assentos de espuma de PU. Possui a mesma vantagem do assento de silicone de aumentar a superfície de contato, no entanto, os assentos com géis de baixa viscosidade podem afetar notavelmente o posicionamento e estabilidade do paciente (Figura 03c).

- Assentos preenchidos com ar: estes assentos dependem da quantidade de ar que circula dentro do assento e da forma das câmaras onde está armazenado. Suas

vantagens são consideradas o baixo peso e, dependendo da localização das câmaras de ar, pode ser ajustado para dar melhor posicionamento. Como desvantagens apresenta a sensação de instabilidade para alguns usuários, é necessária a manutenção regular para manter o correto preenchimento de ar, e também é requerido que alguém seja treinado para executar esta manutenção (Figura 03d).

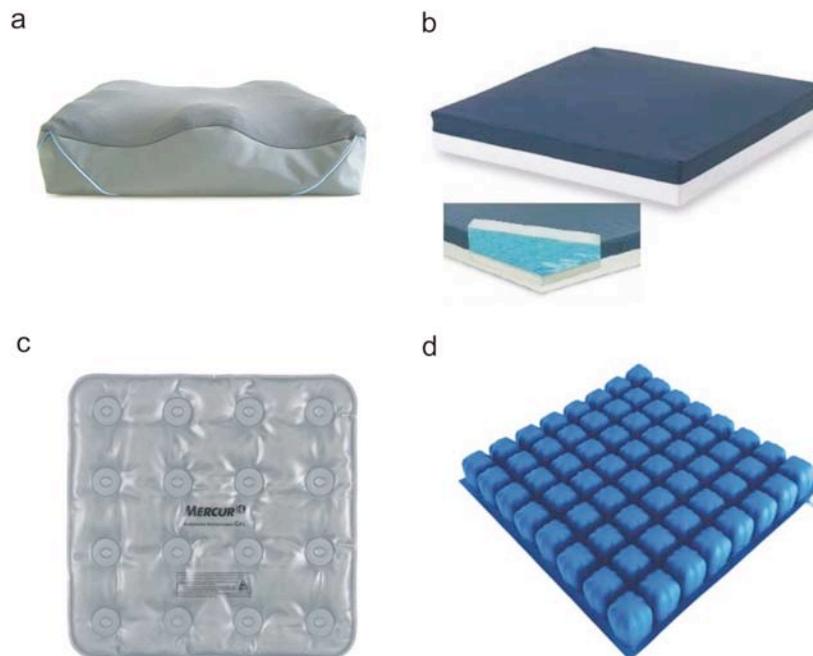


Fig. 03: Diferentes tipos de assentos estáticos. (a) Assento de espuma de PU anatômico; (b) assento com camada superior preenchida com óleo; (c) assento preenchido com gel; (d) assento com câmaras de ar.

- Assentos dinâmicos: são também conhecidos como terapia ativa já que fazem alterações na distribuição de peso do usuário. Como vantagens apresentam a facilitação da reperfusão sanguínea, não são dependentes de intervenções manuais periódicas além de executarem as pequenas mudanças posturais inconscientes que são feitas freqüentemente para aliviar os pontos de pressão. Como desvantagens, podem afetar a percepção de estabilidade para alguns usuários, o uso correto depende de administradores treinados para utilizar o equipamento, o uso de energia elétrica é constante ou a bateria deve manter-se sempre carregada, e os custos de

um equipamento como este são muito mais caros comparados a outros sistemas de assento (figura 04).



Fig. 04: Assento dinâmico e suas células para alternar o peso do usuário.
Fonte: <http://www.bluechipmedical.com/images/imgs/Geri%20Chair%20APP.jpg>

O primeiro ponto a ser definido na escolha de um assento é se este é confortável. No entanto, alguns usuários de cadeiras de rodas não podem se ajustar à posição mais confortável tanto por baixa resposta sensorial como por restrições da deficiência. Assim, o conforto para estes indivíduos torna-se extremamente subjetivo. Mooney et al. (1971) observa que, em muitos casos, o conforto imediato não é a principal função de um assento, mas sim a distribuição da pressão e o posicionamento. Se avaliados, eles trarão conforto em longo prazo para o paciente, evitando enfermidades e dolorosos tratamentos.

2.3 CONFORTO E DESCONFORTO EM SUPERFÍCIES DE SUPORTE

Existem vários desafios na pesquisa sobre conforto em assentos. Primeiramente, não existe nenhum consenso geral no significado de conforto e desconforto. Muitos autores têm sugerido muitos significados. A Classificação Internacional de Funções, Deficiências e Saúde (*International Classification of Functioning, Handicap and Health - ICF*) não dá um significado claro de conforto e desconforto. Esquemáticamente, quanto mais o paciente se torna

dependente, mais importante a avaliação do desconforto é. Assim, a escolha de cadeira de rodas depende nas dificuldades específicas do paciente e também do ambiente em que ele está inserido.

Para Rousseaux e Pérennou (2004) o conforto pode ser considerado como o aspecto material do bem estar e está associado a dois conceitos, tanto do bem estar quanto do ambiente material. A falta de elementos do desconforto, como dor e outras incapacidades que alteram as atividades da vida diária tais como se vestir, ir ao banheiro ou comer, também pode ser considerado. Além disso, também afirmam que o conforto é um elemento importante na qualidade de vida. Zhang, Helander e Drury (1996) afirmam que o conforto é um conceito extremamente complexo que envolve a ausência de desconforto e a presença de uma serie de percepções positivas que vão além assim como incluem a estética.

Como o conforto é uma construção subjetiva sendo difícil de interpretar, medir e especificamente definir devido a sua natureza psico-fisiológica (SMITH, ANDREWS, WAWROW, 2006), o desconforto tem ganhado inúmeras definições. Uma delas é a de Shen e Parsons (1996) que o considera como uma sensação genérica e subjetiva que surge quando a homeostase fisiológica humana, o bem-estar psicológico, ou ambos, são afetados negativamente; e por Smith, Andrews, Wawrow (2006) como a ausência de conforto ou facilidade, dificuldade ou dor leve. Segundo Rousseaux e Pérennou (2004), o desconforto na vida diária é usualmente multifatorial e altamente variável de uma pessoa para outra. Esquemáticamente, este pode ser relacionado, por vezes, a severidade da deficiência de funções neurológicas (deficiências convencionais) e, por outras vezes, a um ambiente inapropriado, que pode ser analisado em paralelo. Além disso, Digiovine et al. (2000) diz que o desconforto na cadeira de rodas pode influenciar a dor, desenvolvimento de deformidades na região pélvica e na coluna até o abandono de tecnologia não adequada.

De acordo com Hobson e Crane (2001), a população mais afetada por questões de desconforto no sentar são aquelas com deficiências primariamente motoras com pouco ou nenhum envolvimento sensorial. Muitos destes usuários passam muitas das horas de seus dias sentados e possuem pouca oportunidade para se mover nos sistemas de sentar. Neste grupo de indivíduos fazem parte indivíduos com esclerose múltipla, indivíduos que tem Poliomielite e Síndrome Pós

Poliomielite, aqueles com lesões na coluna completas ou incompletas, e aqueles em último estágio de Esclerose Lateral Amiotrófica. Isto também pode incluir aqueles com artrite severa e outros problemas osteomusculares que possuem mobilidade limitada. Problemas de conforto podem e levam indivíduos a prenderem-se em camas por muitas horas do dia. Isto leva a funções limitadas, baixa qualidade de vida e problemas médicos como pneumonia, úlceras de pressão induzidas, e exclusão geral das atividades diárias. Além disso, de um ponto de vista social, a falta de conforto pode ter um impacto dramático no desempenho social de indivíduos com deficiências. O desconforto pode ter impactos negativos no desempenho do trabalho e escola (HOBSON, CRANE, 2001).

Em 1995, uma pesquisa nacional sobre necessidades especiais foi conduzida pela RERC (*Rehabilitation Engineering Research Center*) a respeito de Transferência de Tecnologia. Esta objetivou 700 consumidores de Tecnologia Assistiva, muitos dos quais eram usuários de cadeiras de rodas. O conforto foi indicado como uma das principais necessidades não atingidas na área de design de assentos. O conforto em estofamentos é um fenômeno complexo baseado em sentimentos subjetivos e propriedades físicas da interface do assento e do corpo humano. Hänel, Dartman e Shishoo (1997) explicam que devido ao metabolismo humano, aquecimento e umidade, o conforto em uma superfície de suporte depende do balanço entre o influxo e a saída de fluxo do calor além da umidade da interface do corpo humano e da superfície de suporte. Zacharkow (1988) mostrou que a resistência para esta saída de fluxo é fortemente afetado pela magnitude da área de contato e a área de pressão. A pressão é causada pela distribuição do peso do usuário na superfície de suporte. Assim, o sentimento de conforto é relacionado aos parâmetros como a pressão, temperatura e a umidade relativa na interface corpo humano/superfície de suporte. Hänel, Dartman e Shishoo (1997) definem o conforto mecânico como a parte do conforto total que depende da distribuição de pressão de contato sobre partes do corpo humano em contato com o assento ou a cama. O posicionamento, a distribuição de pressão e a carga sobre o tempo são os principais parâmetros que afetam o conforto mecânico.

Mesmo considerando estes aspectos, Rousseaux e Pérennou (2004) consideram que o conforto permanece severamente subestimado nos estudos de deficiências e incapacidades, fazendo com que o atual desafio seja determinar como

as propriedades físicas do assento e as percepções do ocupante contribuem para a construção do desconforto. Muitos destes conceitos foram já explorados em estudos de assentos em geral, seja para veículos ou mobiliário, voltados para pessoas sem limitações de movimentos ou sensações. Possivelmente os avanços mais significativos têm sido na área de fatores humanos no design de cadeiras de escritório. Em uma pesquisa realizada por Helander e Zhang (1997), várias características de assentos foram consideradas de grande importância para melhorarem o conforto geral neste ambiente. Estas incluem a densidade e a textura do material, propriedades de fricção, propriedades dinâmicas tais como assentos com mecanismos para ajustes, e qualidades estéticas. Os fatores de desconforto notados por estes estudos incluem: dores musculares, dores nas pernas, fortes pressões, cansaço, fadiga e dor. As características do conforto identificadas neste mesmo estudo incluem relaxamento, bom espaço na cadeira, gostar da cadeira e de sua estética.

Monette, Weiss-Lambrou e Dansereau (1999) encontraram similaridades entre as características identificadas por estes usuários e indivíduos que utilizam cadeiras de rodas. Foram identificadas características comuns de conforto como sentir-se bem e satisfeito, sentir-se suportado nos lugares certos, sentir pouca sensação de pressão na região dos glúteos, sentir-se estável e muitas outras. Os fatores de desconforto deles incluem coisas como sentir dor, necessidade de mover-se, sensação de instabilidade, cansaço físico, sensação de queimação, sensação de deslizar do assento, sentir partes endurecidas e muitas outras.

Outra área que explora o conforto e desconforto nos assentos é a área automobilística. A maioria dos assentos de carros modernos é projetada para dar um suporte seguro para o motorista e promover conforto por facilitar pequenas mudanças de postura. Ajustes na forma são usados para facilitar a personalização por diferentes motoristas para que tanto usuários pequenos quanto grandes possam controlar confortavelmente o veículo. Assim, uma “ótima” configuração do assento é atingida usando controles manuais ou eletrônicos, é presumido que o motorista irá manter-se assim por períodos prolongados – usando ajustes corporais para executar pequenos ajustes posturais no assento estático para o conforto enquanto dirigindo (HOBSON, CRANE, 2001). Diferentemente da maioria dos assentos de carro, que são projetados para uso de apenas algumas horas contínuas no dia, assentos de

tratores são projetados para usos mais prolongados. Por esta razão, assentos destes veículos são mais ajustáveis que assentos de carro facilitando o reposicionamento postural em mais sentidos. Aquecedores, massageadores e unidades de memória que armazenam as características do usuário são opções disponíveis, porém de alto custo.

Todas estas inovações são baseadas na premissa que o conforto normal sentado não é derivado de uma postura singular e estática, mas requer mudanças na postura durante um período de tempo (chamado por Hobson e Crane, 2001, de “sentar dinâmico”). Para pessoas sem barreiras físicas, o alívio do desconforto durante uma rotina durante o sentar é alcançado por movimentos pequenos e inconscientes ou por ajustes posturais que mantêm o desconforto a níveis toleráveis. Para pessoas em estágios avançados de Esclerose Múltipla, Distrofia muscular, Esclerose Amiotrófica Lateral, além de algumas pessoas com Síndrome Pós Poliomielite, o desconforto e dor durante o sentar diário na cadeira de rodas pode ser um problema crônico. Devido a transtornos neuromusculares, eles são frequentemente incapazes de ajustar a posição do seu corpo para atingir uma distribuição adequada de forças de suporte. Em adição a formações de potenciais úlceras de pressão, muitas pessoas nesta população experienciam períodos intoleráveis de desconforto, que podem levar a participação reduzida em atividades diárias incluindo trabalho, educação e recreação (HOBSON, CRANE, 2001).

Outro problema identificado são as técnicas disponíveis para a avaliação do conforto e do desconforto. Existem muitas escalas para medir o conforto e o desconforto, ou outras intensidades como esforço, carga de trabalho, estresse físico e dor. No entanto, segundo Shen e Parsons (1997), algumas das escalas, enquanto utilizáveis em situações práticas, não são apropriadas para o uso de medir a intensidade da pressão e desconforto. Adotando esta técnica, é assumido que sujeitos são capazes de fazer um julgamento direto das sensações. Esta conceituação, no entanto, exclui as pessoas com demência, pois a verbalização é uma condição necessária para a existência deste fenômeno. A linguagem e as habilidades cognitivas são necessárias para a maioria das ferramentas de avaliações da dor tais como questionários, como afirmam Kovach, Griffie e Muchka (1999).

Pessoas com desordens no tônus possuem múltiplos desafios que podem incluir uma inabilidade de se comunicar verbalmente. Para Treffler e Schmeler (2001), esta deficiência torna muito difícil, se não impossível, para eles advogarem por si mesmos. Parentes, professores e múltiplos profissionais da saúde frequentemente necessitam estar envolvidos no processo de entrega do serviço clínico. Múltiplas necessidades, múltiplos profissionais de saúde, múltiplos ambientes, todos adicionam à complexidade do problema a ser resolvido. Deficiências cognitivas, a inabilidade de se comunicar verbalmente, mudanças de personalidade e/ou anormalidades sensoriais podem adicionar à complexidade do problema para atingir soluções para uma postura funcional. Engström (1993) sugere que, nestas situações, analise-se o usuário através de medidas e observações.

Segundo Vergara e Page (2002), a avaliação subjetiva dos usuários é o único jeito de explorar as preferências destes e detectar as mudanças no conforto e dor. No entanto, estes testes apenas provêm informações qualitativas, o que torna sua aplicação limitada para comparar diferentes modelos de superfícies de suporte (HELANDER e MUKUND, 1991). Vários métodos têm sido propostos para superar esta desvantagem: Drury e Coury (1982) criaram um banco de dados de resultados de várias cadeiras similares para estabelecer níveis admissíveis de desconforto, e alguns tentam estudar a origem da dor para analisar a relação entre dores locais e conforto geral, e para reduzir dores em partes essenciais do corpo (BISHU et al., 1991; TORTOSA et al., 1994). Mesmo com estes esforços direcionados, Hobson e Crane (2001) afirmam que existe pouco sucesso em vincular sentimentos de desconforto com indicadores quantitativos tais como a pressão da interface do assento, eletromiografia indicativa de fadiga muscular ou postura observada.

Uma forma para tentar avaliar o conforto ou desconforto em superfícies de suporte é medindo a pressão, à medida que, segundo Springle et al. (1990), uma distribuição de pressão equilibrada, sem picos de pressão, é comumente sugerido como um critério de conforto e desconforto, sendo essencial para evitar desconforto em áreas específicas, tais como costas e pernas, e também para diminuir a pressão concentrada que pode levar a isquemia dos tecidos. De acordo com Lee, Schneider e Ricci (1990), medição da distribuição de pressão na interface assento-ocupante é uma ferramenta primária para a avaliação do conforto sentado. Como foi discutido, se a pressão em qualquer região da interface é excessiva e em tempos prolongados,

irá induzir desconforto por compressão, como já foi observado por Drummond et al. (1982).

Além disso, esta compressão não equilibrada pode levar a pressões pontuais gerando úlceras ou escaras de pressão. Segundo Stockton, Gebhardt e Clark (2009), estas são geradas pela combinação de muitas horas na mesma posição (freqüentemente incorreta) com altas cargas sobre pequenas áreas do corpo, aumentando a pressão que induz danos nos tecidos moles. Eles também afirmam que os indivíduos mais propensos a desenvolvê-las são aqueles com mobilidade restrita ou deficiência neurológica. A correlação entre estar sentado e a presença de úlceras de pressão tem sido reportada freqüentemente desde que estudos epidemiológicos sobre a ocorrência destas têm sido feitos. Na figura 06 podem-se visualizar os principais locais do corpo humano propensos a desenvolverem pontos de pressão. Rosenthal et al. (1996) afirmam que as úlceras de pressão continuam sendo um dos maiores problemas para usuários de cadeiras de rodas mesmo este sendo um problema que pode gerar altos níveis de desconforto, ao passo que seu tratamento é demorado e pode induzir o paciente a permanecer preso a uma cama até que seu tecido fique novamente saudável. Além disso, a reincidência das úlceras por pressão nestes pacientes também se mostra alta.

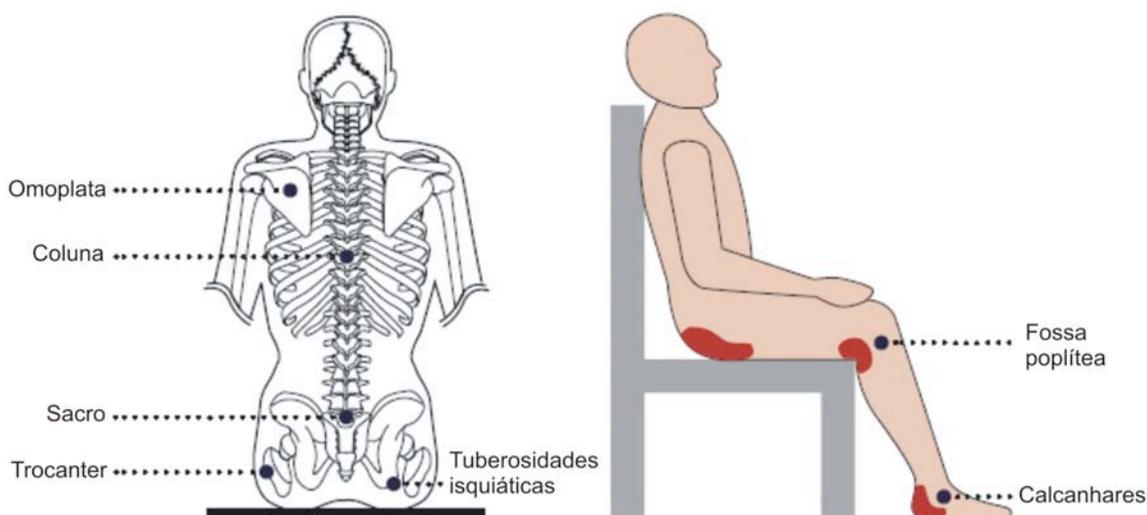


Fig. 05: Áreas vulneráveis a danos causados pela pressão quando sentado.
Fonte: Stockton, Gebhardt e Clark (2009).

De acordo com Matsuoka e Hanai (1988) reduzir a magnitude da pressão e distribuir a pressão têm sido incluídas como principais especificações no design de assentos. No entanto, torna-se difícil estabelecer a relação entre a pressão da superfície e desconforto sentado. A medição da pressão da superfície é um obstáculo óbvio e, como afirmam Shen e Parsons (1997), até poucos anos, nenhum sistema confiável e preciso estava disponível. Hoje, alguns sensores para medir pressão estão disponíveis no mercado. Eles apontam através de um gráfico onde os picos de pressão ocorrem, auxiliando assim o reposicionamento do usuário visando a melhor distribuição do peso. Na figura 05, pode-se visualizar como se dá a distribuição da pressão quando na posição sentada; caso esta distribuição não ocorra de forma uniforme, os pontos de pressão podem ser gerados.

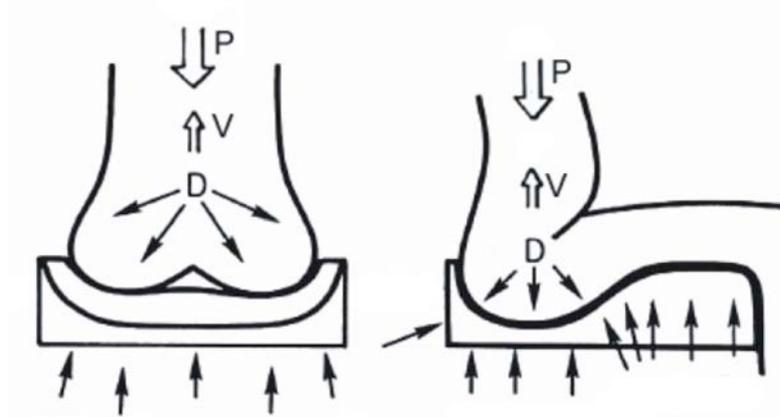


Fig. 06: Esquema da distribuição de peso para o assento. Pressão distribuída igualmente em todas as áreas da superfície.

Fonte: Rosenthal et al. (2003)

Juntamente com a distribuição da pressão, outro fator que influencia no conforto das superfícies de suporte, é o posicionamento – também relacionado com a estabilidade. Park et al. (1995), identifica seis fatores independentes relacionados a percepção do conforto, com três destas sendo claramente relacionadas com a firmeza do assento e a distribuição de pressão (sensação de pressão no quadril, na parte superior das costas e sensação de grande deflexão). O ato de sentar para pessoas com deficiências físicas frequentemente envolve consideração da postura, conforto e administração das pressões, como foi visto por Trefler e Schmeler (2001).

Dependendo do diagnóstico da pessoa e seus objetivos de vida, as prioridades no seu sistema personalizado de sentar irão variar. Para pessoas que possuem problemas musculares e que necessitam de cadeiras de rodas como seu principal meio de mobilidade, o ato de sentar leva a experiências posturais únicas.

2.4 POSICIONAMENTO E ESTABILIDADE

Como um fator que causa desconforto, a pressão é bem compreendida. Outros dois fatores, que são subestimados e causam danos no sentar de acordo com Engström (1993), são a falta de equilíbrio e estabilidade. Enquanto a administração das pressões é feita com inserções de almofadas de géis e silicones nos assentos, o posicionamento normalmente é oferecido por posicionadores que incluem suportes de costas altos, suportes de cabeça e pescoço, e apoios de braço. Todas estas características aumentam o suporte e conforto dos usuários de cadeiras de rodas (HOBSON, CRANE, 2001). No entanto, com o intuito de se administrar as pressões com uma superfície mais maleável e que distribua melhor as pressões, às vezes o posicionamento é prejudicado. Rousseaux e Pérennou (2004) observaram que a participação de distúrbios posturais no desconforto também é importante. O déficit motor é geralmente óbvio em todos os pacientes, mas seu papel no desconforto é difícil de identificar através de questionamentos com os pacientes e profissionais da saúde.

O estado da arte da postura sentada ainda está dentro dos tratamentos clínicos. A maioria das práticas realizadas está na forma de casos de estudo em periódicos, capítulos de livros contendo principalmente práticas clínicas dos autores, e em artigos de conferências que também apresentam estratégias de autores (COOK e HUSSEY, 1995; COOPER, 1997; TAYLOR, 1997; TREFLER e SCHMELER, 2001). Uma definição de “boa” postura e como ela impacta na função é necessária. Para Trefler e Schmeler (2001), ela irá prover ao campo de estudo com um melhor conhecimento dos efeitos da intervenção nas superfícies de suporte e em outras questões como a progressão de deformidade postural, deglutição, respiração, digestão e níveis cardiopulmonares. Engström (1993) sugere alguns fatores que devem ser considerados para uma boa postura sentada:

- Superfícies de suporte estáveis: uma superfície de suporte estável é necessária para ancorar as partes do corpo que estão ativas e / ou em movimento. A estabilidade no sentar é frequentemente interpretada como uma superfície firme, mas esta interpretação é discutível devido a administração da distribuição de pressão.
- Distribuição de pressão: a pressão é o que cria a estabilidade mas é mais eficiente se distribuída por uma superfície maior. Se a pressão for concentrada em uma superfície pequena do corpo ela diminui a estabilidade. O desconforto devido a pressão resulta em fadiga muscular quando o usuário tenta estabilizar a instabilidade do tronco. Uma distribuição de pressão sobre uma área grande e macia dá maior conforto, mas, se a área é muito macia, a estabilidade diminui.
- Habilidade de curvar-se para frente: Deve ser tão fácil recostar-se e relaxar quanto curvar-se para frente. Se há uma tendência forte do tronco de curvar-se para frente durante uma atividade, os músculos se tornam fatigados.
- Variação: quando ambas as possibilidades existem, a posição pode ser mudadas confortavelmente e a dinâmica é melhorada. Uma dinâmica fraca aumenta a porção estática do sentar, que leva a estresse e outros problemas.
- Suporte das costas: a forma que as costas são suportadas dita a estabilidade da parte superior do corpo. As vezes muito suporte, especialmente em locais errados, pode tornar o sentar mais cansativo e com menos suporte.
- Liberdade dos pés: outra coisa que deve se prestar atenção no sentar é necessidade de mover as pernas e pés. Mover estas partes do corpo é uma das maneiras importantes de tornar o sentar dinâmico.
- Segurança: um sentimento de segurança aumenta o conforto e, assim, o tempo que se passa sentado. Isto torna a situação do sentar mais funcional.

No entanto, quando lidando com deficiências mais severas, estes fatores são difíceis de serem atingidos. A presença de patologias anormais requer que a intervenção seja feita mais cuidadosamente; assim, Trefler e Schmeler (2001) sugerem que primeiramente o tônus muscular seja normalizado para que, depois, uma postura funcional possa ser atingida. Um tônus com alta extensão pode levar pessoas a saírem de sua postura sentada normal. Um tônus assimétrico frequentemente resulta em posturas que desviam do centro da coluna. Segundo

Reid (1996), as posturas que são dominadas por um tônus anormal podem afetar as funções das extremidades superiores. O tônus que resulta de uma disfunção do sistema nervoso central afeta o corpo como um todo. Desta maneira, a intervenção deve focar a postura como um todo: membros, coluna, cabeça e sua posição no espaço assim como sua posição relativa entre cada um.

Também é necessário examinar o quão estável um assento é. A razão de a estabilidade ser importante, segundo Engström (1993), é a influência da superfície do assento no tronco do usuário. Se a superfície do assento torna a pélvis insuficiente estável, esta pode perder a posição e criar riscos de desenvolver escoliose. O sentar em uma superfície firme torna mais fácil manter a postura, já que estabiliza a pélvis. Isto funciona muito bem quando o usuário é ativo, se não, limita as funções se sentado por tempos prolongados. Estas unidades tornam mais difícil de manter a coluna ereta. Isso é causado pela maciez que permite a pélvis se mover para frente. Tanto a superfície firme quanto a macia faz o usuário escorregar para frente, colocando-o em uma postura prejudicial.

Se sentado em uma superfície que não provê equilíbrio e oferece uma tendência a cair (em qualquer direção) a estabilidade será atingida mais cedo ou mais tarde por diminuir a sensação de estar caindo através de uma postura inadequada e prejudicial. Normalmente, o usuário escorrega para frente no assento horizontal, a unidade do encosto e apoio de cabeça se torna inadequadas que faz a cabeça do usuário cair para frente e para trás. Muitos usuários que se posicionam assim, e que a cabeça cai para frente e para trás, são idosos ou sofreram danos traumáticos no cérebro. (ENGSTRÖM, 1993)

Em todos os movimentos humanos, o controle da estabilidade é uma questão essencial. Isto sendo um fato, Hof, Gazendam e Sinke (2005) sugerem que duas questões sejam abordadas: quais condições devem existir para que a estabilidade e o quanto de estabilidade é necessária em diferentes situações. A ocorrência da estabilidade ou a falta dela está diretamente associada com o assento e o encosto. As condições da estabilidade se devem da correta prescrição da superfície de suporte e da adequada seleção dos posicionadores, que devem estar suprindo as necessidades específicas do usuário. Esta, como foi abordada anteriormente, é uma tarefa difícil devido à ampla gama de deficiências que podem se apresentar. Os assentos disponíveis possuem diversos materiais e contornos para tentar solucionar este problema. Os contornos podem ser vistos como vários

ângulos que juntos formam a geometria. Um assento é mais funcional e confortável quando sua forma é anatômica. O seu resultado final é importante, pois, segundo Engström (1993), é este que decide a posição das pernas e pélvis. Para manter a estabilidade é necessário que estes membros permaneçam em posição segura prevenindo a coluna dorsal de colapsar. Melhorar o alinhamento natural da espinha permite uma posição mais funcional e balanceada da cabeça. Isto pode ser atingido através de ajustes no assento e no encosto (ENGSTRÖM, 1993).

2.5 SUPERFÍCIES DE SUPORTE PERSONALIZADAS

Uma das opções estudadas para melhorar o posicionamento do usuário e distribuir melhor sua pressão são os assentos personalizados. Historicamente, devido aos altos custos associados com úlceras de pressão, esforços de pesquisa sobre assentos em cadeiras de rodas têm sido focados em tecnologias para o desenvolvimento de superfícies de suporte mais eficientes (COOPER et al., 1998). Brienza et al. (1992) observa que assentos com contorno personalizado e sistemas de suporte do corpo humano são boas alternativas para sistemas de assento padronizados e semi-personalizados usados para alívio de pressão, controle postural e posicionamento. Avaliações clínicas de protótipos de sistemas desenvolvidos na Universidade da Virgínia (EUA), mostraram que, na maioria dos casos, o suporte postural tem sido melhor e as pressões na interface tem sido mais uniformemente distribuídas quando comparados a assentos comercialmente disponíveis. Além disso, foi mostrado que a distorção dos tecidos foi reduzida. Este e outros benefícios das superfícies de suporte dos assentos com contorno personalizado têm sido documentados (CHOW, 1974; SPRIGLE, CHUNG, BRUBAKER, 1990).

Outros estudos, como de Hunt et al. (2004), também encontraram as cadeiras de rodas manuais customizáveis sendo mais duráveis, de custo-justo sobre a vida total da cadeira e confortável para os usuários. Além disso, este estudo também mostrou que defeitos nas cadeiras de rodas podem levar a acidentes. Um design melhorado e personalizado neste produto pode prover medidas preventivas contra condições deteriorantes e de risco enquanto melhoram a função. Usuários de

cadeiras de rodas também possuem risco de terem condições deteriorantes como dores no pescoço e nos membros superiores. Foi descoberto que sujeitos com tetraplegia podem desenvolver rapidamente escoliose e cifose, sendo indispensáveis assentos customizados para este grupo à medida que um assento personalizado, por prover o posicionamento necessário, evita estes riscos.

O que há disponível no mercado são assentos anatômicos. Estes são mais espessos sob as coxas, prevenindo estas de ficarem muito baixas, fazendo com que fique em uma posição horizontal, o que resulta em melhor estabilidade da pélvis. Segundo Engström (1993), este assento provê distribuição de pressão tanto quanto estabilidade. Se for necessário diminuir a pressão, o contorno pode ser modificado, ou o assento ser mais macio, ou ambos. Todavia, May et al. (2004) observou que os ajustes limitados das superfícies de suporte podem não ser suficientes para promover conforto e função adequados a todos os usuários, especialmente àqueles cuja limitação física é maior. Para distribuir a pressão do corpo contra a superfície do assento igualmente, o contato deve ser o mais congruente possível. Para usuários que possuem deficiências com deformidades, uma superfície anatômica pode ser considerada desconfortável quando sentado por tempos prolongados devido a esta não se adaptar ao corpo do indivíduo e, conseqüentemente, a alta pressão local nas proeminências ósseas. Um dos principais objetivos quando adaptando um sistema de sentar para um indivíduo é criar uma situação de sentar que previna o desconforto e a dor.

Já foram feitos alguns estudos para a produção de assentos personalizados. Muitos deles consistem em uma base anatômica com enxertos modulares, que podem ser do mesmo material da base ou de materiais diferentes, mais altos ou mais baixos, dependendo das necessidades antropométricas do usuário (SILVERMAN, 1986; WARREN, 1988; JAY, 1991). Outros estudos mais atuais consistem em obter a forma do corpo do usuário e tentar replicá-la na superfície de suporte escolhida, normalmente uma espuma de poliuretano. Broughton, Dilabio e Cooper (2001), classificaram estes estudos em três categorias:

1. Medição direta dos contornos do corpo para orientar a produção de um assento com espuma cortada e colada.
2. A técnica *Foam in Place*, onde o paciente é o próprio molde e a espuma é polimerizada e curada em contato com o contorno do corpo.

3. A confecção de um molde (real ou virtual) que represente o formato desejado para a pessoa: moldagem por almofada de vácuo, moldagem por gesso, digitalização tridimensional e a maioria dos métodos CAD/CAM.

Um estudo similar está sendo realizado dentro do Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LdSM) localizado da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Este consiste em obter a forma do corpo do usuário através da digitalização tridimensional (3D), tanto através de moldes feitos por profissionais da saúde em gesso ou com colchões de vácuo; tanto pela digitalização direta do usuário através de digitalização 3D. Os dados coletados são transpostos para um programa CAD/CAM e processados para que a forma seja adequada para a usinagem CNC diretamente na espuma. O projeto destes assentos é realizado em uma base multi-níveis, envolvendo diferentes campos de estudos, incluindo disciplinas humanas, médicas e técnicas, já que, segundo Nowak (1996), este tipo de projeto é necessário avaliar corretamente as necessidades do usuário e, também, alguém que saiba a correta posição para se obter o molde. Além disso, é necessário a participação de indivíduos com habilidades projetuais e técnicas para a posterior produção deste assento. No entanto, mesmo com alguns estudos já realizados na produção de assentos para cadeiras de rodas personalizados (CARLSON, PAYETTE e VERVENA, 1995; BRIENZA et al., 1992; CHEN-TSE e KARG, 1999; BROUGHTON, DILABIO e COOPER, 2001), ainda observa-se muitas barreiras para que estes sejam utilizados por quem os necessita.

Existem algumas barreiras socioeconômicas que impedem as pessoas com deficiências de obter cadeiras de rodas mais customizáveis e apropriadas (HUNT et al., 2004). As espumas de PU são amplamente usadas na produção de almofadas para assentos e encostos de cadeiras de rodas. A técnica tradicional de fabricação dessas almofadas é verter os produtos químicos que irão produzir a espuma em um molde que possua a forma desejada. Como os assentos personalizados possuem geometrias complicadas, a fabricação de moldes é de alto custo, ao passo que não são executados em grande escala para compensar o custo de produção do molde. Além disso, alterações no design da almofada personalizada requerem a criação de um novo molde, assim, este processo não é considerado muito flexível (JOUANEH, HAMMAD, DATSERIS, 1997). Devido ao alto custo, consumidores e novos profissionais estão agora questionando por uma

documentação para provar que qualquer intervenção proposta funcionará e que esta será melhor que as outras opções disponíveis, como afirmam Treffler e Schmeler (2001). Em suma, existem poucos dados que justifiquem a tecnologia, o serviço ou o custo de intervenções nos assentos.

Outro problema recorrente que este tipo de projeto enfrenta é a demora na entrega do produto final, um problema que está relacionado com a tecnologia ou a falta dela. Profissionais da saúde usam um método de “tentativa e erro” para encontrar um equipamento apropriado ou modificar um equipamento existente. Para Hobson e Crane (2001), este é um processo de alto custo e não possui estruturas de suporte fortes. Treffler e Schmeler (2001) afirmam que a entrega de um serviço consiste na tecnologia que está disponível e está sendo usada para resolver as necessidades de sentar das pessoas com deficiência, além do sistema de serviço pelo qual a mesma pessoa deve navegar para ser avaliada e ter esta tecnologia disponível.

Para solucionar o problema do custo e entrega de produtos personalizados, foi criada a Personalização em Massa, que, segundo Silveira, Borenstein e Fogliatto (2001), utiliza tecnologia, processos flexíveis e estruturas organizacionais para entregar uma ampla gama de produtos e serviços; estes vão ao encontro das necessidades específicas de consumidores individuais e possuem custos perto dos itens produzidos em massa. Este conceito pode ser uma solução para melhorar a logística da obtenção do assento personalizado para cadeiras de rodas, desde a obtenção do molde do usuário até a entrega final do produto.

2.6 PERSONALIZAÇÃO EM MASSA

O conceito de Personalização em Massa (PM) surgiu pela primeira vez no livro *Future Shock* de Toffler e Toffler (1970), e o termo *Mass Customization* foi utilizado pela primeira vez por Davis (1987) no seu livro *Future Perfect*. Neste livro, Davis define a PM como a habilidade de fornecer produtos projetados individualmente para cada consumidor através de processos de grande agilidade, flexibilidade e integração. Para Silveira, Borenstein e Fogliatto (2001), o conceito pode ser visto como a aplicação natural de processos que se tornaram cada vez

mais flexíveis e otimizados quanto a sua qualidade e custos. Amsterdam (2000) cita que um produto personalizado é criado para ir de encontro com as necessidades individuais de um paciente e deve ser encomendada através de um produtor. Se este produto for encomendado amanhã, o produtor, em muitos casos, deveria levar entre 2 a 4 semanas para projetar a encomenda, fabricar a peça e entregar ao consumidor. Assim, a personalização em massa é relacionada à capacidade de prover produtos ou serviços personalizados através de processos flexíveis em grandes volumes e a custos baixos (SILVEIRA, BORENSTEIN E FOGLIATTO, 2001).

De acordo com Lau (1995), a justificativa básica para o desenvolvimento da PM é a necessidade de trabalhar com uma demanda crescente por produtos inovadores e customizados. A PM procura transformar as incertezas do mercado (incertezas sobre as tendências nas preferências da demanda) em recursos de vantagem competitiva, com a produção de itens significativos para os clientes, com mais valor que os produtos concorrentes viáveis de projetar, manufaturar e distribuir (HART, 1995). Jiao et al. (1998) resume o principal objetivo da PM como fornecer produtos e serviços que melhor sirvam às necessidades dos clientes enquanto mantém-se a eficiência da produção em massa. Para que a PM seja bem sucedida ao ser implementada, existe um consenso na literatura (PINE et alli, 1993; ULRICH e TUNG, 1991) que é necessário o envolvimento dos clientes na especificação do produto. Assim, a pesquisa direta com o usuário desde as primeiras fases de projeto (para a definição de requerimentos) até as últimas (testes de protótipos com o usuário, verificação das listas de necessidade) é de extrema importância para um design bem sucedido. Além disso, a personalização em massa também pode ocorrer em várias fases durante o uso do produto, indo deste uma simples adaptação em produtos prontos executadas pelo próprio usuário, até a total personalização do produto (design, fabricação, montagem e entrega) (SILVEIRA, BORENSTEIN e FOGLIATTO, 2001).

Determinar o nível de individualização caracterizando produtos realmente personalizados em massa parece ser um grande ponto de discórdia no debate sobre a PM. Silveira, Borenstein, Fogliatto (2001) observam que puristas podem atribuir o conceito de PM apenas a produtos que contemplam todos os requerimentos feitos por consumidores individuais. Pragmáticos sugerem que a PM deve ser

simplesmente sobre entregar produtos prontos dando opções modulares ao usuário, independente do número de módulos oferecidos. De acordo com Hart (1995), a solução para esta discórdia está na determinação da gama na qual um produto ou um serviço é significativamente personalizado, e como indivíduos podem fazer opções dentro desta gama. Para Westbrook and Williamson (1993) sistemas de PM bem sucedidos devem poder misturar a verdadeira individualização com uma variedade de partes e processos padronizados.

Alguns autores desenvolveram níveis de PM para indicar se um produto é ou não personalizado. Lampel e Mintzberg (1996) definiram cinco estratégias contínuas (sendo assim, níveis) envolvendo diferentes configurações de processos (de padronizado a personalizado), produtos (de commodities a produtos únicos) e transação (de genérico a personalizado). Pine (1993) também sugere cinco níveis de produção modular: serviços personalizados (produtos padronizados são adaptados por pessoas no marketing e entregues antes que atinjam os consumidores), personalização embutida (produtos padronizados podem ser alterados pelos consumidores durante o uso), personalização no ponto de entrega (personalização adicional pode ser feita no momento da venda), provendo respostas rápidas (curto tempo de entrega de produtos), e produção modular (componentes padronizados podem ser configurados em uma grande variedade de produtos e serviços). Spira (1996) desenvolveu uma classificação similar com quatro tipos de personalização: embalagens personalizadas, serviços personalizados, personalização adicional e montagem modular. Silveira, Borenstein e Fogliatto (2001) fizeram a combinação destas classificações levando a oito níveis genéricos de PM, abrangendo desde a personalização pura (produtos individualmente projetados) até a padronização pura. Esta classificação pode ser vista na tabela 01.

O design é o nível máximo na tabela e se refere ao projeto colaborativo, produzindo e entregando produtos de acordo com as preferências individuais do consumidor. O nível 7 (fabricação) se refere a produção de produtos adaptados pelo consumidor, com designs predefinidos. O nível 6 (montagem) lida com o arranjo de componentes modulares em diferentes configurações de acordo com as necessidades dos consumidores. Nos níveis 5 e 4, a PM é atingida por simplesmente adicionar serviços personalizados a produtos padronizados, geralmente no ponto de entrega. No nível 3, a PM é dada pela distribuição ou

embalar produtos similares em diferentes formas de uso, por exemplo, diferentes tamanhos de caixas de acordo com segmentos específicos de marketing. No nível 2, a PM ocorre apenas depois da entrega, através de produtos que podem ser adaptados para diferentes funções ou situações. Finalmente, o nível 1 se refere a padronização pura.

Tabela 01: Classificação de níveis da PM, segundo Silveira, Borenstein e Fogliatto (2001).

Níveis genéricos da personalização em massa	Abordagens de personalização em massa	Estratégias de personalização em massa	Estágios da personalização em massa	Tipos de personalização
8. Design	Colaborativa, transparente	Personalização pura		
7. Fabricação		Personalização sob medida		
6. Montagem		Personalização padronizada	Produção modular	Componentes padronizados para montagem em configurações únicas
5. Personalização adicional			Personalização no ponto de venda	Provendo personalização adicional
4. Serviços adicionais			Serviços personalizados, provendo respostas rápidas	Provendo serviços adicionais
3. Embalagem e distribuição	Cosmética	Padronização segmentada		Embalagens personalizadas
2. Uso	Adaptativa		Personalização embutida	
1. Padronização		Padronização pura		

Na prática, a PM é frequentemente atingida desenvolvendo plataformas de processos e de produtos. Segundo Jiao e Tseng (2004) uma plataforma de produto provê um produto base onde famílias de produtos podem ser geradas criando designs que satisfaçam requerimentos individuais do consumidor.

Fredriksson e Gadde (2005) afirmam que esta modularidade pode ser referida quanto aos produtos, aos processos e/ou a logística. Quanto aos produtos, implica que um produto é projetado para consistir em módulos independentes que podem ser rapidamente montados em diferentes variedades de produtos; quanto ao processo, implica que os processos de produção são projetados para consistir em atividades independentes que podem ser rearranjadas, e quanto à logística e suprimento, implicam na capacidade de pegar as ordens individuais dos consumidores como ponto inicial para as operações.

Em todos esses casos, para a produção rápida e eficiente de produtos personalizados é necessária a combinação de uma moderna administração e avançada tecnologia de processos de fabricação. Yang e Li (2002) afirmam que a PM é atingida através da recombinação das estruturas de um produto e processos de produção usando uma série de tecnologias da informação e tecnologias de produção avançadas juntamente com os custos e a velocidade da produção em massa. Muitas destas tecnologias que facilitam o design de produtos personalizados consistem em métodos e ferramentas auxiliados por computadores (COLOMBO et al., 2010), tais como tecnologias CAD (Computer-aided Design) e CAM (Computer-aided Manufacturing). Estas já foram utilizadas em vários estudos de produtos totalmente personalizados, como óculos de grau (GILMORE e PINE, 1997), cores de tintas (PAGH e COOPER, 1998) e automóveis (PINE, VICTOR, BOYNTON, 1993). Para oferecer produtos personalizados com custos eficientes, muitas estruturas de cadeias de produção têm sido exploradas, como pode ser visto nos estudos de caso descritos a seguir.

2.6.1 Nível 8: Design e Personalização Pura

Na maioria dos casos onde a personalização pura é aplicada, uma estrutura geral é definida e a escolha de opções específicas permite a geração de novas variações de produtos; ainda, a maioria dos produtos que fazem uso deste conceito consiste em equipamentos que devem fazer interface com o corpo humano. Estes produtos devem ser projetados e personalizados de acordo com a forma anatômica de cada usuário. Para coletar as dimensões do corpo mais rapidamente,

instrumentos avançados, como tecnologias CAD/CAM, são utilizados. Além disso, devido à consistência dos programas de computador, usando as mesmas regras repetidamente, padrões de métodos e processos podem ser gerados. Ainda, os dados podem ser guardados e modificados com facilidade. Combinados, estes processos possuem a flexibilidade necessária para a coleta e o processamento rápido de dados.

Estas tecnologias já foram aplicadas para o desenvolvimento de roupas sob medida. Lu et al. (2010) utilizaram instrumentos avançados para coletar as dimensões do corpo mais rapidamente, aplicando tecnologias CAD/CAM para gerar padrões de roupas e cortar o tecido automaticamente, e desenvolver um sistema integrado para facilitar a produção eficiente. As medidas do corpo do usuário podem ser obtidas através de fotogrametria ou de digitalização tridimensional; estas medidas são colocadas dentro de um programa, onde o modelo e o tecido da roupa são escolhidos. Este mesmo programa gera o caminho de corte do tecido, que é posteriormente costurado e entregue ao consumidor final. Caso o usuário queira outra roupa, este processo oferece a flexibilidade de gerar um tipo diferente de padrão de roupas rapidamente sem ter que tirar novas medidas. As fases de projeto podem ser visualizadas no fluxograma da figura 07.

Outro produto que faz uso da personalização pura são palmilhas feitas sob medida. Estas rotineiramente usadas em tratamentos clínicos para pacientes diabéticos com neuropatias e deformidades nos pés. Em estudo, Bus, Ulbrecht e Cavanagh (2004) desenvolveram um processo para a obtenção de palmilhas personalizadas. Cada uma destas foi especificamente fabricada usando um sistema CAD/CAD no qual os dados da pressão plantar do pé descalço, pegadas e contornos do pé do usuário foram mandados para um ortopedista treinado e avaliados. Eles associaram o sucesso das palmilhas e calçados ao fato do paciente permanecer livre de ulcerações enquanto usando os calçados e as palmilhas.

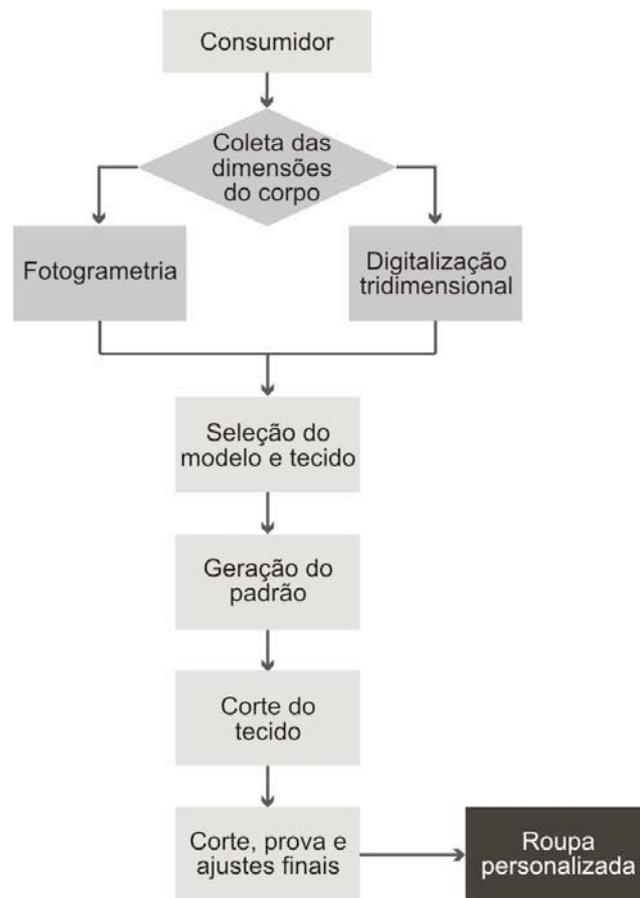


Fig. 07: Fluxograma das fases de projeto para a obtenção de roupas personalizadas.
Fonte: Lu et al. (2010)

Um dos campos em que a personalização pura é mais aplicada é em implantes personalizados. Os ossos de cada pessoa são diferentes de outra em suas dimensões. Design e fabricação de implantes com auxílio de computador a partir da tomografia computadorizada (TC) provêem uma boa solução. Implantes personalizados são designs individualizados adaptados a anatomia do paciente. Usando tecnologias de CAD/CAM, implantes individualizados podem ser projetados e fabricados em um curto período de tempo com maior grau de ajuste e podem ser fixados nos ossos mais próximos. Um exemplo é o uso clínico de hastes femorais personalizadas para o quadril. Götze et al. (2003) observou em sua pesquisa que estas próteses individualizadas possuem um posicionamento preciso no local e restauram a geometria individual do quadril.

Em 1994, Binder e Kaye relataram as primeiras experiências clínicas usando um processo CAD/CAM tridimensional (3D) para implantes customizados na reconstrução de deformidades faciais congênitas e pós-traumáticas. A técnica CAD/CAM 3D gera um modelo anatômico em tamanho real baseado em imagens configuradas de digitalização e dados reformatados da TC. Os pacientes analisados nesta pesquisa experienciaram resultados funcionais e estéticos favoráveis com baixa morbidade, caracterizando os implantes personalizados através de CAD/CAM 3D como um método preciso, simples e com custos justos para restauração do contorno facial. Binder (2008) estendeu esta técnica para aumentar e compensar discrepâncias no esqueleto e de tecidos moles em pacientes que possuíam deficiências complexas e estéticas. Em estudo de Singare (2004), após a análise da TC de um crânio humano, foi feita a modelagem 3D do implante em um software (figura 08 a e b). Este implante, então, foi fabricado usando LPS 600 (Laser Prototyping System), um tipo de sistema de estereolitografia. A estereolitografia usa um método de fabricação de forma livre sólida para construir um modelo físico através da construção de camada por camada. Para revestimento, o modelo foi coberto com um fosfato com resistência a altas temperaturas.

Neste sentido, foi realizada uma pesquisa no LdSM, que posteriormente gerou uma dissertação de mestrado de Liciane Sabadin Bertol², onde implantes customizados foram produzidos. Para obtenção da forma foi utilizada a tomografia computadorizada, com a geração do crânio 3D e a modelagem do implante. Para gerar uma forma harmônica, foi feito o espelhamento da geometria do crânio e as modificações necessárias para melhor encaixe executadas (figura 08). Várias formas de produção do produto final foram estudadas, tais como o processo de sinterização a laser e a usinagem CNC. Para verificação do encaixe, o crânio também foi produzido e um protótipo do implante foi testado neste. Após esta verificação, o produto final foi produzido e então recoberto com material biocompatível. Sua aplicação médica foi realizada com êxito, mostrando melhor adequação do implante com a estrutura facial do usuário, além de resultados estéticos superiores aos padronizados.

² BERTOL, Liciane Sabadin. Contribuição ao estudo da prototipagem rápida, digitalização tridimensional e seleção de materiais no design de implantes personalizados. *Dissertação de mestrado*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGEM. Porto Alegre, 2008.

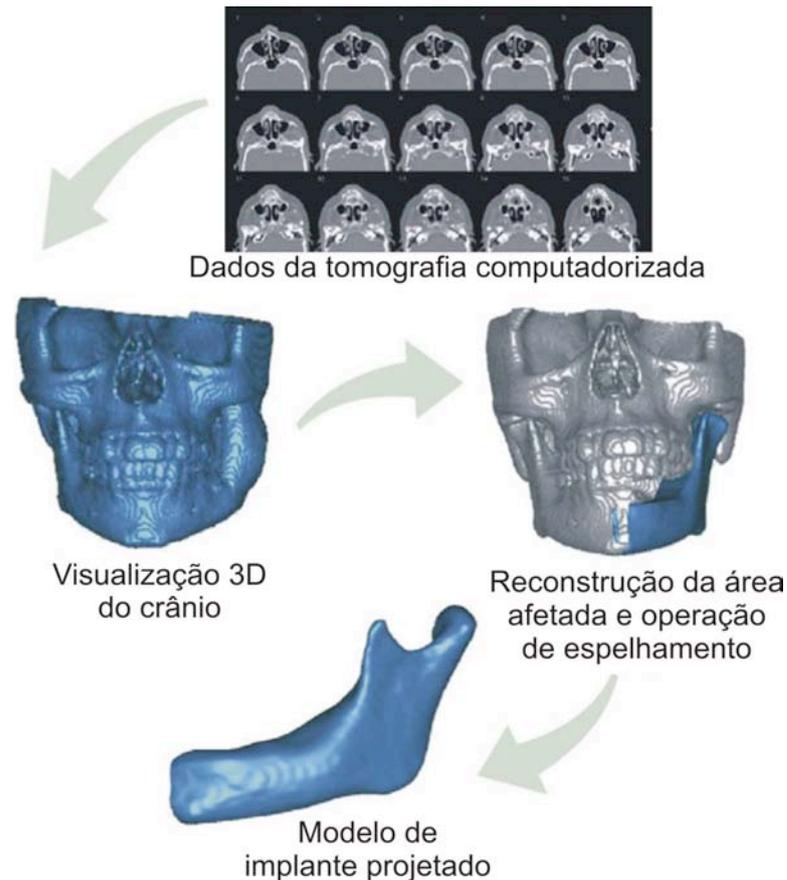


Fig. 08: Desenvolvimento de prótese personalizada. Os dados são extraídos da tomografia computadorizada para execução do modelo 3D do crânio e a modelagem do implante é feita através do espelhamento da estrutura óssea do crânio do usuário.

Fonte: Bertol et al. (2010).

É normal que no primeiro estágio, depois do diagnóstico usando uma tomografia computadorizada (TC), que esta imagem medica seja processada (com alta resolução e precisão nos contornos reconstruídos) e colocada dentro de um sistema CAD. No segundo estágio, depois da criação de um modelo tridimensional da junta, uma endoprótese é projetada. No terceiro estágio, a construção é submetida a análise mecânica para desempenho ótimo, dando cargas que a junta irá agüentar e verificando SOS materiais usados. O quarto estágio envolve a verificação da construção endoprótese através de consulta entre o designer e o cirurgião ortopedista, levando em conta as preferências do cirurgião (o grau que a cavidade do osso será preenchida com o método de implantação, diâmetro da peça, recobrimento da endoprótese, etc.). O quinto e final estágio na produção da endoprótese em uma máquina CNC (*Computer Numeric Control*), de acordo com o programa que foi elaborado. O estágio final da metodologia pesquisada está

conectado a fabricação da endoprotese customizada, fazendo uso de ferramentas de máquinas CNCs que se torna um elemento indispensável nesta metodologia (WERNER et al., 2000).

O design assistido pelo computador de endopróteses (como substituição da junta do quadril) é uma das inúmeras aplicações de sistemas CAD/CAM. Sistemas CAD/CAM oferecem geometrias paramétricas, então se tornou natural fazer um esforço de aplicar esta diversidade com projetos parametricamente orientados baseados em estudos antropométricos. Segundo Werner et al. (2000) a abordagem associativa usada em muitos sistemas assegura uma transição efetiva entre o estágio de projeto e o processo de produção. Em suma, as principais tecnologias avançadas de produção que suportam a personalização em massa são o controle numérico computadorizado (CNC), sistemas de manufatura flexível (*Flexible Manufacturing Systems – FMS*) e tecnologias de comunicação e rede como design assistido por computador (CAD), manufatura assistida por computador (CAM), manufatura integrada por computador (*Computer Integrated Manufacturing - CIM*) e intercâmbio eletrônico de dados (*Electronic Data Interchange - EDI*). Muitos pesquisadores como Pine (1993a) e Khota (1995) consideram tais tecnologias fundamentais para a implementação da personalização em massa.

2.7 CONTROLE NUMÉRICO COMPUTADORIZADO E USINAGEM

Como foi abordado, há um crescimento na demanda de consumidores para comprar produtos customizados e preços menores com mais rapidez na entrega (LU et al., 2010). Mourtzis et al. (2008) afirmam que para se adaptar a demanda de produtos altamente personalizados, os processos de produção devem exibir um alto nível de flexibilidade; o que vai ao encontro com as observações de Fredriksson & Gadde (2005), que dizem que para diminuir o tempo de entrega e o custo final do produto, é necessário aumentar a flexibilidade do processo reorganizando as estruturas das atividades na produção e na distribuição. Processos automatizados, como a usinagem CNC, podem trazer agilidade em sistemas produtivos personalizados ao passo que é possível programar diferentes produtos

para serem manufaturados na mesma máquina, além do estabelecimento de parâmetros como velocidade de rotação e avanço, tipo de ferramenta, etc.

Um sistema de Controle Numérico Computadorizado (CNC) comanda as ações de uma ou mais máquinas por interpretação automática de instruções expressas em números por meio digital. A palavra "interpretação" refere-se à conversão de alguns ou todos os dados numéricos, como distancias, ângulos, velocidades, etc. O surgimento dessa tecnologia só foi possível após a criação das máquinas ferramenta, da automação e da informática. Embora a maior parcela das máquinas CNC seja de máquinas ferramenta (ou de usinagem), a cada dia surgem novas operações de manufatura que são alimentadas com informações CNC. Alguns exemplos são prensas, máquinas de rebiteagem, máquinas de corte a laser ou a maçarico, dobradeiras de tubos, máquinas de teste de circuitos, máquinas de inspeções, máquinas de montagens eletrônicas, máquinas de traçagem, máquinas de tecelagem, etc. (FALLER, SILVA, KINDLEIN JR, 1996).

A questão do conceito e funcionamento dos eixos em uma máquina CNC geralmente é motivo de muitas dúvidas. Segundo Faller, Silva e Kindlein Jr (2006) "um modo simples de conceituar a palavra eixo é referenciar cada eixo como sendo o movimento realizado na direção de um dos eixos do sistema cartesiano de modo consecutivo". Assim, se a máquina pode se movimentar na direção X Y e Z ao mesmo tempo, esta máquina é uma máquina de três eixos, porém se esta máquina movimenta-se em dois eixos consecutivamente e o terceiro quando os outros dois estiverem parados, esta máquina possui dois eixos e meio. O movimento denominado como "meio" é conhecido por movimento indexado, ou seja, não contínuo, pois só atua quando os outros eixos estão parados. Além dos eixos lineares primários X, Y e Z, existem outros eixos complementares. Estes se movimentam de maneira rotativa ou angular em torno de um dos três eixos primários. Se o movimento ocorrer com relação a X receberá o nome de eixo A, a Y se chamará B e em torno de Z se chamará C. Na figura 09 pode-se visualizar onde estão localizados os eixos em um equipamento de usinagem CNC.

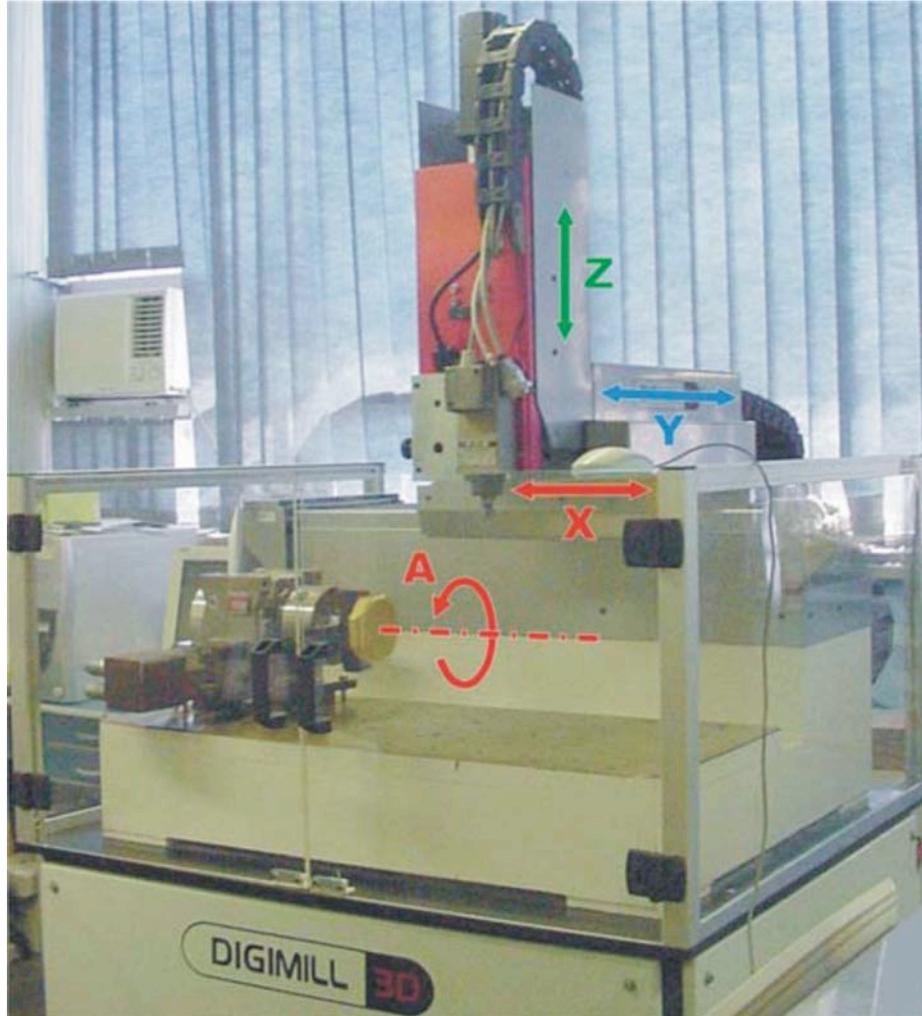


Fig. 09: Eixos indicados na fresa Digimil 3D da marca Tecnodrill localizada nas dependências do LdSM (Laboratório de Design e Seleção de Materiais).
Fonte: Faller, Silva e Kindlein Jr (2006)

Os sistemas *Computer-Aided Design* (CAD), *Computer-Aided Engineering* (CAE) e *Computer-Aided Manufacturing* (CAM), são as principais tecnologias auxiliares que tem evoluído junto com as máquinas CN/CNC. O primeiro permite integrar as tarefas de projeto, o segundo simular/otimizar o produto e o último efetuar sua prototipagem/fabricação. Segundo Preston (1984), com estes sistemas é possível realizar tarefas altamente técnicas mais rapidamente, com maior facilidade, maior precisão e com gastos econômicos menores do que os métodos mais antigos e tradicionais. Brienza et al. (1992) também afirmam que as tecnologias CAD/CAM têm se tornado mais acessíveis e com custos mais baixos devido a recentes desenvolvimentos em computadores pessoais (hardware, software e periféricos). Os avanços mais notáveis na tecnologia que tem contribuído para a redução de custos

nos sistemas CAD/CAM foram a introdução dos computadores pessoais, avanços na aquisição de hardware especializado, e a introdução de processamento digital de baixo custo com circuitos integrados usados para controle e filtragem de controles.

Um dos processos de produção que hoje se encontra atrelado a tecnologia CNC é a usinagem que, segundo Ferraresi (1977), são aquelas operações nas quais ao conferir à peça a forma, ou as dimensões ou o acabamento, ou ainda uma combinação qualquer destes três itens, produzem cavaco. O cavaco é definido como a porção de material da peça, retirada pela ferramenta, caracterizando-se por apresentar forma geométrica irregular. Os processos de usinagem podem ser classificados em diversos grupos, tais como fresamento, torneamento, aplainamento, furação, serramento, roscamento, retificação, polimento, etc. O fresamento é definido por Ferraresi (1977), como o processo mecânico de usinagem destinado à obtenção de superfícies quaisquer com o auxílio de ferramentas geralmente multicortantes. Para tanto, a ferramenta gira e a peça ou a ferramenta se deslocam segundo uma trajetória qualquer.

Shih, Lewis e Strenkowski (2004) afirmam que a usinagem oferece uma alternativa atraente para manufaturar componentes personalizados, já que não é necessário um equipamento dedicado e especializado. No entanto, para que este processo se torne viável, é necessário planejar as etapas das operações de usinagem. Planejamento de processo é o ato de preparar instruções de operações detalhadas para transformar um projeto em um produto (VIDAL et al. 2005). Mesmo que a fabricação de produtos personalizados inerentemente envolva ineficiência, Hwang et al. (2005) afirma que o nível desta depende muito dos métodos de fabricação.

Os primeiros fatores a serem considerados no planejamento de um processo são os fatores técnicos. Os fatores técnicos consistem em diferentes restrições de tecnologia, da forma, do material utilizado, do equipamento, da ferramenta e do usuário. Todos provem uma série de limites para os parâmetros de corte; estes fatores são necessários para aperfeiçoar o custo do processo. Os outros fatores são aqueles derivados da relação existente entre a rugosidade da superfície requerida nas especificações da forma e os parâmetros de corte a serem feitos para esta produção. Além disso, existem muitos outros dados de produção envolvidos no planejamento de processo, tal como a identificação dos equipamentos, ferramentas,

seleção de parâmetros para operações de usinagem, operações etc. Todos esses dados têm de ser avaliados a fim de selecionar a seqüência de operações que compõem o que é conhecido como rota. A seqüência é geralmente obtida para ficar em conformidade com os objetivos particulares, como, por exemplo, diminuir tempo de produção e/ou minimizar custos. Uma das partes mais complexas na rota, de acordo com Vidal et al. (2005), corresponde a otimização de parâmetros tais como velocidade de corte, profundidade do corte, a direção, nome e tipo de execuções a serem utilizadas.

Vidal et al. (2010) afirma que a programação do uso de máquinas é um problema difícil em ambientes tais como indústrias de produtos personalizados. Este problema pode ser definido como encontrar uma seqüência ótima de operações para uma série de recursos e restrições. Assim, é natural procurar olhar a programação de uso como um problema de otimização com multi-objetivos que cria a questão sobre como diferentes objetivos que devem ser combinados para chegar a uma solução final. Infelizmente, as horas de processo que constituem a essência do processo de programação são difíceis de serem obtidas em produções personalizadas. A computação dessas horas depende em diversos fatores tais como máquinas, materiais e características da peça. Outra dificuldade não problema da programação deve lidar com as horas estimadas de processo, que é uma peça crítica em todas as etapas de fabricação. A estimativa das horas de processo é uma das tarefas mais importantes no ciclo de projeto de produto (VIDAL et al., 2010). Conclui-se que para a obtenção de um design personalizado com bom desempenho, este considerando o produto final, seus custos e tempo de entrega são necessários planejar seu processo de produção e conhecer o material que está sendo manufaturado.

2.7.1 Usinagem de materiais flexíveis

Produtos esculpidos são normalmente produzidos utilizando técnicas de moldagem por injeção com moldes complexos (DHOKIA et al., 2008). No processo de moldagem, materiais poliméricos são misturados com outros aditivos e então aquecidos, derretidos e pressionados dentro de um molde, onde o material

polimérico é submetido a um ciclo controlado de pressão, temperatura e tempo. Para produzir peças com formas complicadas, como pneus e solas de sapatos, muitos moldes têm que ser feitos. Produzir estes moldes é de alto custo e consome muito tempo. Por estas razões, Shih, Lewis e Strenkowski (2004) afirmam que a usinagem CNC oferece uma alternativa atraente para manufaturar componentes personalizados. De acordo com Dhokia et al. (2008), muitos produtos que possuem um aspecto escultural são tipicamente gerados usando tecnologia de usinagem por ferramenta de topo esférica. A usinagem de superfícies esculpidas usa tipicamente ferramentas de topo esféricas para produzir uma superfície precisa que produz superfícies com formas livres para uma grande variedade de produtos personalizados.

Os assentos de cadeiras de rodas que utilizam espumas de poliuretano (PU) são tradicionalmente feitos através da técnica de moldagem. Este material é usado em vários tipos de assentos e outras superfícies de contato, também através de molde para obtenção da forma desejada. Já que almofadas para assentos, principalmente de automóveis, possuem geometrias complicadas, se não executadas em grande escala, a abordagem de molde é de alto custo em termos de preparo deste molde. Combinado com o fato que alterações no design requerem a criação de um novo molde, Jouaneh, Hammad e Datseris (1997) estimam que o processo por molde também não pode ser considerado flexível.

Segundo Dhokia et al. (2008), a habilidade de usinar materiais flexíveis tal como poliuretano oferece vantagens distintas para produzir produtos personalizados de materiais flexíveis tal como solas de sapatos ortopédicos, usando estratégias de usinagem direta sem a necessidade da tecnologia de molde que é de alto custo. No entanto, o maior problema com a usinagem de polímeros é que há muito pouco conhecimento em termos de parâmetros de usinagem. Estes parâmetros formam a base fundamental para qualquer operação de usinagem CNC. Dhokia et al. (2008) observa que existem pesquisas substanciais sobre a usinagem de metais enquanto o conhecimento sobre usinagem de polímeros flexíveis ainda é limitado.

Um dos primeiros materiais que citam brevemente a usinagem de poliuretanos é de Wright e Cumming (1969). Eles alegam que na maioria dos casos de operação de usinagem é mais vantajoso utilizar altas velocidades e pequenos avanços para evitar que forme calor; e que o melhor acabamento em espumas de

baixa densidade é obtido por esmerilhamento. Os avanços devem ser baixos já que avanços maiores irão resultar em derretimento da superfície do poliuretano e conseqüentemente o empastamento de material na ferramenta. No entanto, estes autores também observam que existem vários pontos importantes a serem observados ao usinar poliuretanos, mas devido a diversidade dos materiais disponíveis, esses só podem ser tratados como generalizações.

Além de tudo, não importando a densidade do poliuretano que está sendo usinado, deve sempre ser lembrado que este se trata de um material flexível e assim, tenderá a se mover para longe da ferramenta de corte. Por esta razão, Wright e Cumming (1969) ressaltam que a ferramenta deve se manter o mais afiada possível para minimizar este movimento. O quão afiado um instrumento de corte é, se torna um parâmetro fundamentalmente importante em aplicações de corte. Segundo McCarthy, Hussey e Gilchrist (2007) este fator influencia fortemente as forças geradas e a energia requerida durante o processo de corte, a vida da lâmina de corte e o acabamento e a qualidade da superfície cortada.

Quando tiras são cortadas de materiais flexíveis, Atkins e Xianzhong (2005) encontraram que as partes retiradas não são deformadas permanentemente. Ainda, como esses materiais possuem capacidade de flexão, eles armazenam energia elástica quando defletidos por lâminas afiadas. A fricção se opõe ao movimento do material sobre a lâmina e, quando não há distorção permanente das rebarbas, a direção da força de fricção é oposta ao movimento da peça de trabalho. No caso de materiais flexíveis é possível que o material seja empurrado ao invés de ser cortado (ATKINS, 2006), como pode ser visualizado na figura 10.

Este tipo de fenômeno é atribuído às propriedades mecânicas do material e é estudado através de pesquisas sobre a indentação do material, onde um indentor é colocado em contato físico controlado com um corpo de teste (ASTM D 3574 – 08, B1). Um volume significativo de literatura existe sobre como testar e modelar a indentação e processos de corte (NGUYEN, VU-KHANH, LARA, 2004; ELLEUCH et al., 2007; MCCARTHY, ANNAIDH, GILCHRIST, 2010). A maioria dos testes de indentação se preocupa na resposta do material antes que o corte se inicie e os testes de corte (DURAN e NALBANT, 2005), geralmente examinam a resposta do processo de corte a longo prazo, onde a separação do material e o corte atingem um estado estático.

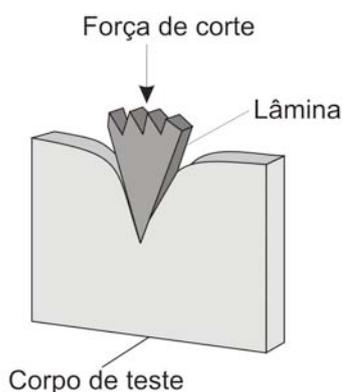


Fig. 10: Exemplo de corte de um material flexível. Devido a fricção o material é empurrado ao invés de ser cortado.

Fonte: Mccarthy, Annaidh, Gilchrist (2010).

Mccarthy, Annaidh, Gilchrist (2010) executaram uma pesquisa sobre as forças de indentação. Para estes estudos, os pesquisadores usaram métodos experimentais e numéricos, tais como análise de elementos finitos para prever a resposta do indentador e substrato. Os substratos examinados variaram de materiais muito duros, como cerâmicas e aços, até materiais muito flexíveis, como elastômeros e pele humana. Uma das preocupações deste estudo foi com a análise do tipo de indentação de corte de uma lâmina com borda afiada. Esta ação de corte é comum a muitos processos como corte por entalhamento ou guilhotina. O material é inicialmente indentado e deforma certa quantidade. A certa espessura é iniciada a penetração e a introdução do corte. Dependendo do material, e iniciação inicial pode consistir em componentes tanto plásticos como elásticos. Sobre mais carga, o corte falha ao iniciar; o substrato abre e a lamina se move para dentro de um novo volume criado. Este processo continua com o aumento da força até que um ponto de equilíbrio de corte seja estabelecido.

Em outro estudo focando apenas em materiais flexíveis, Mccarthy, Hussey, Gilchrist (2007), obtiveram o mesmo resultado. Nesta pesquisa eles utilizaram como material de corte uma folha de poliuretano de espessura 2,25 mm com densidade 40 Shore A. Foi identificado que a lâmina de corte entra no plano em uma forma tipo enrugamento, fazendo com que o material flexione ao invés de ser cortado (figura 11 e 12). Este fenômeno já tinha sido observado por Lake e Yeoh (1978) quando cortando folhas de borracha com facas sem fio.

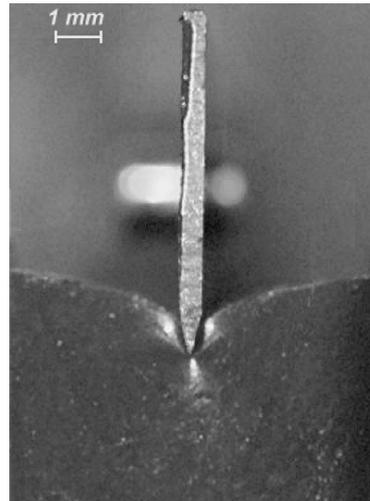


Fig. 11: Fotografia mostrando o nível de indentação da lamina no ponto de corte no substrato.
Fonte: Mccarthy, Hussey, Gilchrist (2007).

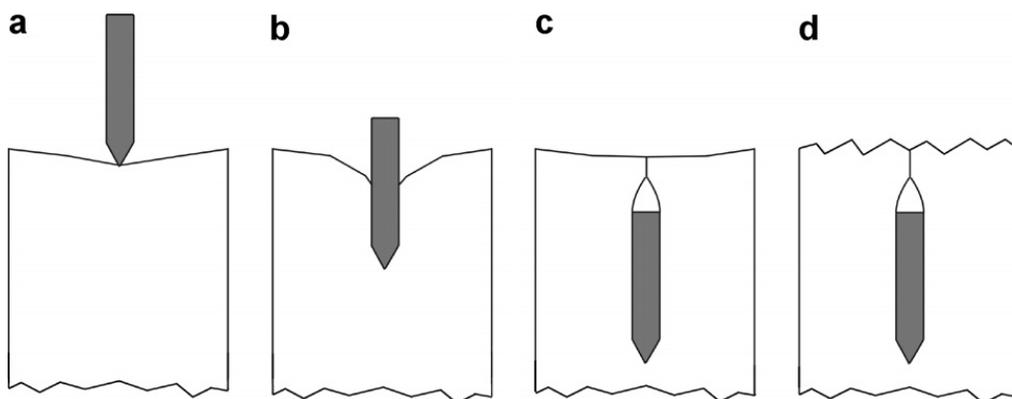


Fig. 12: Diferentes estágios do processo de indentação durante o corte. (a) Indentação inicial no ponto de formação do corte, (b) corte intermediário onde o material de corte se abre para a lâmina entrar, (c) início do estágio estacionário do corte em que o substrato se fecha, e (d) Estágio estacionário do corte.

Fonte: Mccarthy, Hussey, Gilchrist (2007).

Este fenômeno torna o corte de materiais flexíveis mais complicado ao passo que, ao invés de cortar o material, este estará se deformando. A determinação dos parâmetros de corte pode evitar estas falhas no corte, com a identificação do tipo de ferramenta, profundidade e velocidade de avanço, velocidade de rotação da ferramenta e tipo de lâmina de corte mais adequados para materiais flexíveis. No entanto, como já foi visto, existe uma ampla gama deste tipo de material, assim, estudos de caso específicos devem ser realizados.

Em outros casos, além da indentação, o material pode ser arrancado do substrato ao invés de cortado, levando a um corte desigual. Uma maneira de

determinar se o corte está adequado é dada pelos cavacos gerados no corte. O cavaco é definido como a porção de material da peça, retirada pela ferramenta, caracterizando-se por apresentar forma geométrica irregular (FERRARESI, 1977). No caso de materiais flexíveis, Atkins (2006) afirma que os componentes principais de energia que causam o cavaco são o trabalho de separação e o trabalho de fricção. Segundo Alauddin et al. (1995), no caso de poliuretanos flexíveis, é sempre desejável obter uma rebarba constante para evitar a geração de calor e deformação do material de trabalho durante seu corte. Para fazer isso é necessário cortar com ferramentas que tenham um ângulo de inclinação crítico ou um maior ângulo de inclinação, o que produz lascas contínuas e mínima deformação. A seleção das condições e parâmetros de corte também é importante, especialmente a espessura do corte de dente como determinado pela taxa de avanço.

2.7.2 Estudos de caso sobre cortes em materiais flexíveis

Alguns estudos têm sido reportados na literatura sobre o corte de materiais flexíveis, entre eles espumas e elastômeros. Muitos dos que focam em espumas de PU visam a produção de assentos com formas complicadas, como no estudo de Jouaneh, Hammad e Datseris (1997) sobre a produção de assentos para automóveis. Devido as suas geometrias complicadas, o processo de moldagem torna-se de alto custo o que faz com que mudanças no design não sejam executadas com freqüência. Os autores encontraram que o processo de corte direto na espuma de PU apresenta uma solução boa que provê flexibilidade e reduz os tipos de ferramentas para diferentes partes do assento. Isto se aplica especialmente para produtos com produção inferior a 20.000 - 30.000 partes/ano. A automatização flexível tem sido usada com sucesso em varias aplicações incluindo processamento de material e montagem de partes.

Para cortar as espumas de PU foi desenvolvido um sistema de corte com fio quente automatizado e programável em base CAM. Tipos diferentes de ferramentas de corte foram criados para obtenção de diferentes formas. Para o desenvolvimento das ferramentas, foram estudadas as principais geometrias apresentadas por assentos de automóveis. Uma estratégia para modelar a

geometria de corte baseada na representação das formas tridimensionais foi feita através da combinação de formas básicas em blocos. Estes blocos podem ser visualizados na figura 13. Com estas formas foram criadas cinco ferramentas de fio quente, uma para cada geometria com a justificativa que, conseguindo cortar estas formas, será possível produzir vários assentos com diferentes geometrias. Duas das ferramentas criadas são apresentadas na figura 14. Assim, neste sistema, cortar diferentes partes requer a mudança das ferramentas e a programação do caminho de corte, mas quaisquer mudanças de *hardware* são desnecessárias.

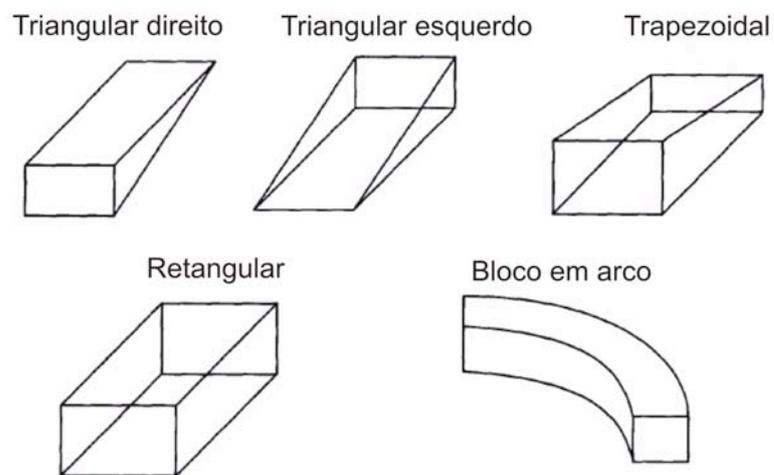


Fig. 13: As cinco formas esquemáticas que foram utilizadas como modelo para as geometrias de corte para desenvolvimento das ferramentas.
 Fonte: Jouaneh, Hammad e Datseris (1997)

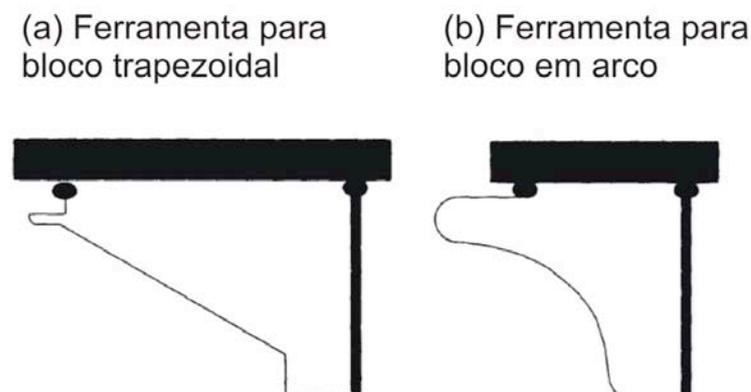


Fig. 14: Duas ferramentas de fio quente criadas especialmente para cortar as formas identificadas.
 Fonte: Jouaneh, Hammad e Datseris (1997)

Um método para gerar os caminhos de corte da geometria modelada também foi mostrado. As ferramentas são presas em uma máquina CNC. Alguns dos parâmetros de corte utilizados para produção de um protótipo de assento de automóvel são mostrados na tabela 2. Os resultados mostram que o sistema automatizado reduziu significativamente o tempo de corte e produziu cortes que aumentaram a qualidade do produto. Deve ser mencionado que no atual sistema, o operador do equipamento tem que especificar a ordem de execução dos blocos que representam a geometria de corte desejada. Modificações no programa para automaticamente planejar e aperfeiçoar os caminhos de corte deve aliviar o operador desta tarefa.

Tabela 2: Parâmetros de corte do equipamento de Jouaneh, Hammad e Datseris (1997)

Tamanho do bloco de trabalho (largura x comprimento x altura em cm)	24x24x8
Número de pontos de coordenadas necessários para modelar a geometria	60
Número de blocos necessários para modelar a geometria final do assento	18
Número de ferramentas em uso, selecionadas pelo programa	3
Tempo estimado de corte (min:s)	2:28
Localização do sistema de coordenadas da peça de trabalho em respeito à estação de trabalho	X= 1.125 Y=14.372 Z=7.9375

O principal problema deste trabalho são as ferramentas especializadas não disponíveis comercialmente, assim, não é possível replicar em ambiente não adaptado. Além disso, o designer fica restrito às formas dos blocos estudados. Caso necessite uma geometria diferente, é necessária a criação de uma ferramenta para isso. A troca constante de ferramentas pode aumentar o tempo total do processo, e a montagem final dos blocos usinados pode causar instabilidade e imprecisão na forma final do assento. O custo final também é afetado pelas ferramentas dedicadas, já que estas não são produzidas em larga escala, assim é despendido maior tempo

e investimento financeiro para desenvolvê-las e aplica-las. Ferramentas comerciais são amplamente difundidas e já possuem encaixes padronizados nos equipamentos que as utilizam, acrescentando menores custos no produto final.

Para assentos de carros, é possível citar duas patentes nos Estados Unidos que exploram o corte de blocos de espumas de PU. Trybus (2003) desenvolveu um sistema em que a espuma é usinada de ambos os lados para facilitar o encaixe do assento final na moldura do carro. Ele desenvolveu um equipamento especializado composto por uma fresa CNC com uma plataforma onde a espuma é colocada. Uma das estruturas do equipamento, a plataforma, se move no eixo y e a ferramenta se move nos eixos x e z. Após a parte da frente ser usinada, a cavidade resultante é preenchida com material granular e o bloco é virado e usinado do outro lado. Mais uma vez, a desvantagem reside no fato de ser um equipamento especializado, o que faz o custo final do produto se elevar. Também, para assentos de cadeiras de rodas, não é necessário o corte de ambos os lados da espuma.

A outra patente analisada foi a de Olari e Allen (2004), em que, para executar o corte e evitar a deformação do material durante o corte, a espuma flexível é temporariamente transformada em rígida. Para isso, a espuma é molhada com água e depois resfriada. Outro método utilizado para enrijecer a espuma foi um gás liquefeito, tal como nitrogênio líquido ou dióxido de carbono. A espuma é usinada logo após ser enrijecida. Depois de o assento estar pronto, retorna ao seu estado original (temperatura ambiente). A desvantagem está no tempo para enrijecer a espuma e que, enrijecida com água, o tempo de usinagem torna-se extremamente limitado. No caso dos gases liquefeitos, embora sejam substâncias conhecidas e dominadas, eles apresentam alto custo e necessitam de locais especiais para armazenamento, o que dificulta a popularização do processo.

Quanto à produção de assentos para cadeiras de rodas, Brienza et al. (1992) discute o desenvolvimento de um sistema para fabricação de almofadas de assentos com contorno personalizado. O sistema é baseado no uso de uma máquina de fresamento de três eixos especializada. Esta máquina se torna especializada ao passo que a espuma é fixada em um equipamento CNC a uma plataforma rotatória que foi projetada especialmente para prender este tipo de material, além da sua liberdade de movimento. Os outros movimentos são

executados pela ferramenta de corte que é transladada verticalmente pelo eixo z e horizontalmente pelo raio da mesa rotatória. Esta ferramenta também é personalizada, com duas faces de corte (*double-edged blade*), sendo presa ao final do eixo vertical a aproximadamente 7.000 rpm por um motor síncrono AC. O resultado é um comando com velocidade análoga. Um mínimo de três graus de liberdade é necessário para cortar o contorno, que foi satisfeito pela plataforma rotatória, e os dois graus de translação de liberdade da ferramenta de corte. Enquanto a espuma é cortada, esta é presa a mesa por uma sucção criada por um vácuo conectado por um buraco na porção central da maquina. Ainda é possível adicionar mais restrições com uso de cavilhas de madeira (figura 15).

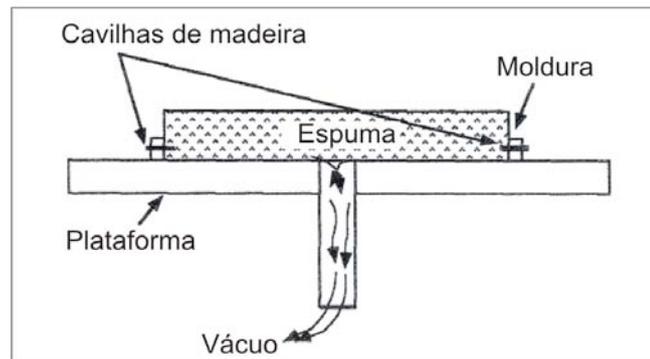


Fig. 15: Ilustração da plataforma onde a espuma é presa por vácuo, uma moldura e restrições de cavilhas de madeira.

Fonte: Brienza et al. (1992)

O tempo requerido para cortar a almofada depende dos gradientes do contorno e dos parâmetros do caminho de corte selecionados pelo programador. Os parâmetros dos caminhos de corte afetam a velocidade de corte, a resolução e a confiança. Foi identificado durante o estudo que tentativas para fazer a maquina ir mais rápido a maior resolução podem resultar em uma grande probabilidade produzir erros durante o processo. O erro mais comum é o deslocamento da espuma da mesa rotatória, fazendo com que a espuma se prenda na ferramenta de corte e seja destruída. O operador do equipamento deve ser treinado para reconhecer quando um contorno contém porções profundas ou paredes muito finas. É durante essas condições que a espuma está mais propensa a ser levantada pela ferramenta de corte. Quando esta condição é reconhecida previamente, o operador deve manter

esforços extras para assegurar que a espuma fique fixa na mesa. Isto pode ser feito adicionando mais cavilhas de madeira. As cavilhas de madeira podem ser inseridas sem dificuldades na espuma e facilmente quebradas pela ferramenta de corte caso necessário sem interromper o processo ou danificar a ferramenta.

Para checar se a forma usinada se manteve fiel a forma elaborada no *software* CAD, um contorno foi usinado na espuma e sua medida foi checada sobre os dados dos quais o caminho da ferramenta foi calculado. O contorno apresentou pouca distorção (tabela 3), esta variação é dada pela indentação do material, que se afasta quando é cortado para depois retornar a forma original.

Algumas vantagens deste processo foram identificadas como a capacidade de acomodar uma grande variedade de tamanhos e espessuras de almofadas já que os blocos de espuma são posicionados na mesa rotatória com uma moldura ajustável. Além disso, caminhos de ferramenta circulares ou espirais e retangulares são igualmente apropriados. Como desvantagem foi identificada que, mesmo com a ferramenta de fim semicircular, a espuma resiliente tende a se afastar ao invés de ser separada do bloco de espuma quando cortada. O resultado disto é uma camada de espuma restante depois que a ferramenta passou pelo caminho. Mesmo não fazendo estudos com usuários, Brienza et al. (1992) concluíram que seja provável que este erro gere efeitos negativos na eficácia do contorno final da espuma do assento. A tarefa de cortar espumas de assentos para sistemas de suporte de cadeiras de rodas requer uma resolução inferior 2 mm.

Malak e Anderson (2005) executaram um estudo sobre o corte de espumas de poliuretano rígidas de diferentes densidades. Eles focam nos efeitos que o tamanho de célula, o ângulo da lâmina da ferramenta e a profundidade de corte afetam o produto final. Os experimentos de corte ortogonal foram feitos em uma máquina CNC usando uma ferramenta de corte de 10 x 10 x 80 mm, com sua porção final com ângulos de 23° e 45°. A ferramenta foi guiada e segura por uma pinça especialmente projetada. A pesquisa demonstrou que a energia de corte é dependente do ângulo da lâmina da ferramenta e a espessura do corte.

Tabela 3: Dados para análise de distorções no corte das espumas de PU.
 Fonte: Brienza et al. (1992)

Local #	Profundidade requerida (mm)	Profundidade atingida (mm) *	Erro absoluto (mm)
1	16	15,8	0,2
2	49	47,6	1,4
3	44	42,9	1,1
4	16	14,6	1,4
5	44	41,3	2,7
6	43	40,8	2,2
7	15	13,8	1,2
8	48	46,6	1,4
9	44	45,6	-1,6

*+/- 0.5 mm

Com os testes, foi identificado que o acabamento da superfície pode ser melhorado quando um ângulo maior da lâmina de corte e uma profundidade de corte entre uma ou duas vezes o tamanho do diâmetro da célula, o que produz um cavaco contínuo. A remoção rápida de material pode ser atingida pelo aumento da profundidade de corte, o que resulta da formação de um cavaco descontínuo, que também diminui a energia de corte. No entanto, já que o aumento na profundidade de corte também significa um aumento no dano da superfície, o corte deve ser controlado. Os melhores resultados foram obtidos a um ângulo de 60°.

Também foi encontrado um estudo sobre a usinagem de elastômeros, de Shih, Lewis e Strenkowski (2004). Este tipo de material apresenta dificuldades similares às espumas de PU, como o afastamento do material quando a ferramenta de corte entra em contato com a superfície. Assim como para as espumas, existe pouca informação disponível na literatura quanto a adequada seleção de ferramentas de usinagem para elastômeros, assim, os autores selecionaram inicialmente 13 ferramentas para teste. Estas ferramentas representam uma ampla gama de tamanhos (~3.18, 6.35, e 12.7mm de diâmetro), de materiais de

ferramenta (carbonetos e aço rápido), de direções de corte (concordante e discordante), de número de lâminas de corte (um e dois), e de geometria de corte da lâmina.

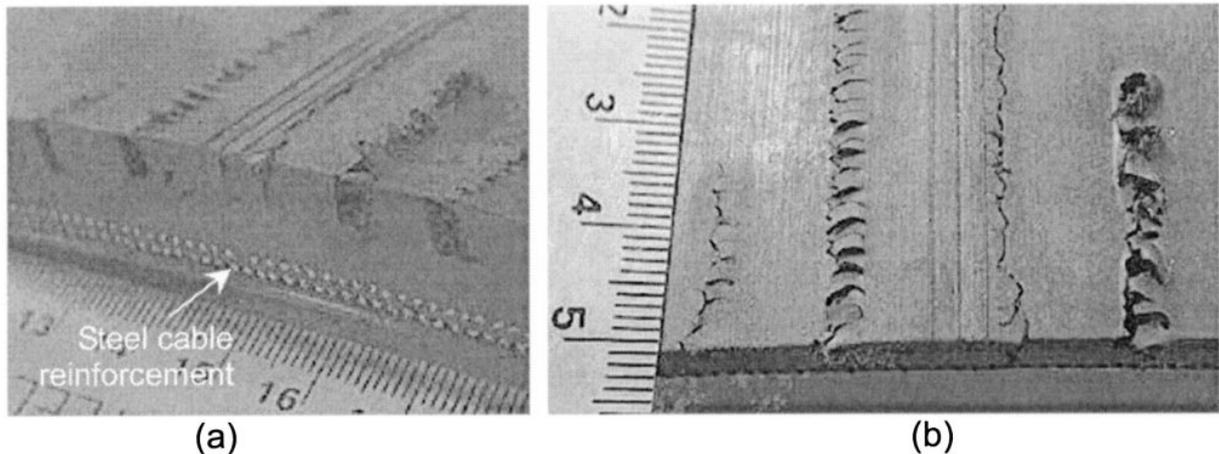


Fig. 16: Resultados de testes preliminares de usinagem em elastômeros que falharam e deixaram um corte grosseiro na peça de trabalho presa com cabo de aço reforçado (*steel cable reinforcement*). (a) Vista lateral e (b) vista frontal.

Fonte: Shih, Lewis e Strenkowski (2004).

Foram executados alguns estudos, onde uma ferramenta de 4,76 mm de diâmetro de aço rápido com duas lâminas de corte de topo reto foi utilizada para cortar uma rasgo em um segmento de elastômero. Os parâmetros utilizados foi velocidade de rotação de 3 600 rpm, velocidade de corte periferal de 53,8 m/min, velocidade de avanço de 0,42 mm/s e profundidade de corte de 6,35 mm. A figura 16 mostra a peça elastomérica com vários rasgos usinados. Como pode-se visualizar nesta figura, a superfície de usinagem resultante é grosseira e com rebarbas deixadas no corte. Este tipo de configuração de parâmetro de corte é muito utilizado na usinagem de metais (figura 17). Quando utilizado em um elastômero, a peça se afastou da ferramenta e a usinagem resultou em um corte desigual.

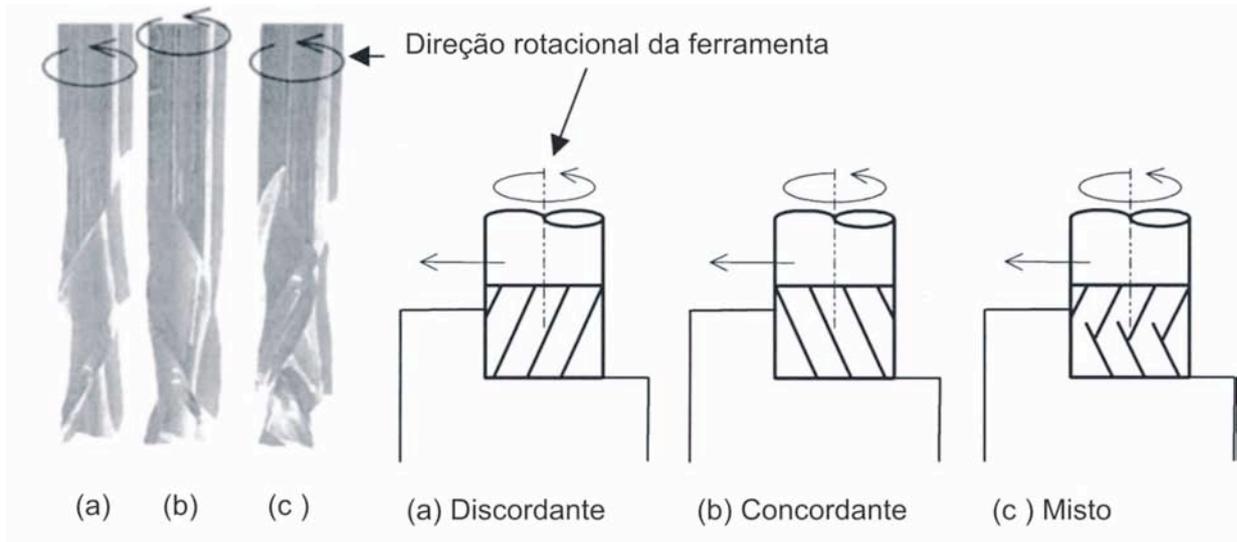


Fig. 17: Tipos de corte testados nos estudos preliminares. (a) corte discordante, (b) corte concordante e (c) corte misto.

Fonte: Shih, Lewis e Strenkowski (2004).

Baseados em superfícies usinadas no primeiro experimento para esta ferramenta, doze testes adicionais foram conduzidos com três velocidades adicionais (2 900, 4 200, e 5 500 rpm) e quatro velocidades de avanço (2,12; 6,35; 10,6 e 14,8 mm/s). Os melhores resultados quanto à definição de corte foram das ferramentas 6, 12 e 13, como indicado na figura 18. A capacidade de uma ferramenta de usinagem para eficientemente remover material e gerar um corte limpo e sem rebarbas é um indicador importante de desempenho para a seleção da ferramenta.

Com estes estudos, Shih, Lewis e Strenkowski (2004) provaram que a dureza da peça elastomérica influencia o desempenho da usinagem. Além disso, concluíram que a lâmina afiada, a configuração discordante de corte e a dureza do elastômero são as três variáveis mais importantes para remover material e gerar um corte limpo. Com a seleção correta da forma da ferramenta, parâmetros de processo e dureza do material, corte limpos podem ser usinados em materiais elastoméricos.

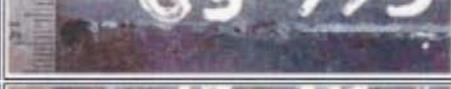
Rasgo obtido	Ferramenta/sentido de corte
	Carboneto, 2 lâminas, ângulo de 30° Corte discordante
	HSS, 1 lâmina, ângulo de 21° Corte discordante
	HSS, 2 lâminas, ângulo de 21° Corte discordante
	HSS, 1 lâmina, ângulo de 25° Corte discordante
	Carboneto, 1 lâmina, ângulo de 30° Corte discordante
	Carboneto, 2 lâminas, ângulo de 21° Corte discordante
	HSS, 2 lâminas, ângulo de 25° Corte discordante
	Carboneto, 2 lâminas, ângulo de 30° Corte concordante
	HSS, 1 lâmina, ângulo de 25° Corte concordante
	Carboneto, 2 lâminas, ângulo de 21° Corte concordante
	HSS, 2 lâminas, ângulo de 25° Corte concordante
	HSS, 1 lâmina, ângulo de 20° Corte concordante
	HSS, 2 lâminas, ângulo de 32° Corte concordante

Fig. 18: Rasgos usinados no segundo teste.
Fonte: Shih, Lewis e Strenkowski (2004)

Um dos fatores importantes na avaliação dos parâmetros de usinagem é a deformação que a ferramenta gera no material durante o corte, dado pela indentação do material, como explicado anteriormente. A deformação da forma gerada pela usinagem é uma fator a ser considerado no caso dos assentos personalizados, já

que a superfície obtida através da remoção de material deve manter a forma do usuário para gerar uma maior área de contato e distribuir melhor as pressões. Para a verificação da geometria usinada várias técnicas podem ser usadas. Uma das tecnologias disponíveis mais precisas para avaliação dimensional é a digitalização tridimensional.

2.8 DIGITALIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL A LASER COMO FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DIMENSIONAL

A digitalização e a reconstrução de formas complexas de objetos têm evoluído rapidamente nos últimos anos, sendo que o método de digitalização tridimensional a laser pode trazer maior automação na aquisição de dados (FERREIRA, 2003). Segundo Silva (2006), a digitalização tridimensional é utilizada basicamente para captar imagens e dados em 3D e, com auxílio de ferramentas computacionais, permite obter objetos inteiros como também detalhes de superfícies, texturas com grande precisão. Um grande número de diferentes sistemas de digitalização 3D têm sido desenvolvidos. Dentre eles estão sistemas medidores de coordenadas (*coordinate measuring systems* – CMM), scanners tridimensionais, pantógrafos, tomografia computadorizada, entre outros (BUDAK; HODOLIC; SOKOVIC, 2005).

Hoje, a digitalização 3D a laser está sendo usada para coletar com precisão partes humanas. Para Li et al. (2008) as medidas antropométricas coletadas pela digitalização 3D proveem dados mais detalhados do usuário para o design de produtos customizados. Para Silva (2006), a digitalização tridimensional a Laser é mais precisa e rápida do que outros sistemas, porém depende de alguns fatores, como opacidade e cor da superfície a ser digitalizada (escaneada). É 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.

A digitalização tridimensional também pode ser utilizada para a verificação dimensional de objetos já que a medição de mudanças dimensionais requer um equipamento preciso. De acordo com Shah et al, 2004, a digitalização

tridimensional a laser pode delinear as coordenadas x, y e z de uma espécime sem ter contato direto com a superfície. Já existem trabalhos neste âmbito, como o de Bertol et al. (2009), onde a digitalização tridimensional foi utilizada para avaliar as mudanças em protótipos de biomodelos de crânios fabricados por usinagem CNC e prototipagem rápida. Para realizar a avaliação, quatro dos principais processos de prototipagem rápida, com seus respectivos materiais típicos, foram selecionados. Cada um foi digitalizado tridimensionalmente e cada modelo digitalizado foi comparado geometricamente com o modelo CAD. Assim, foi possível avaliar qual processo de fabricação de protótipos de biomodelos reproduzia a peça com maior precisão dimensional.

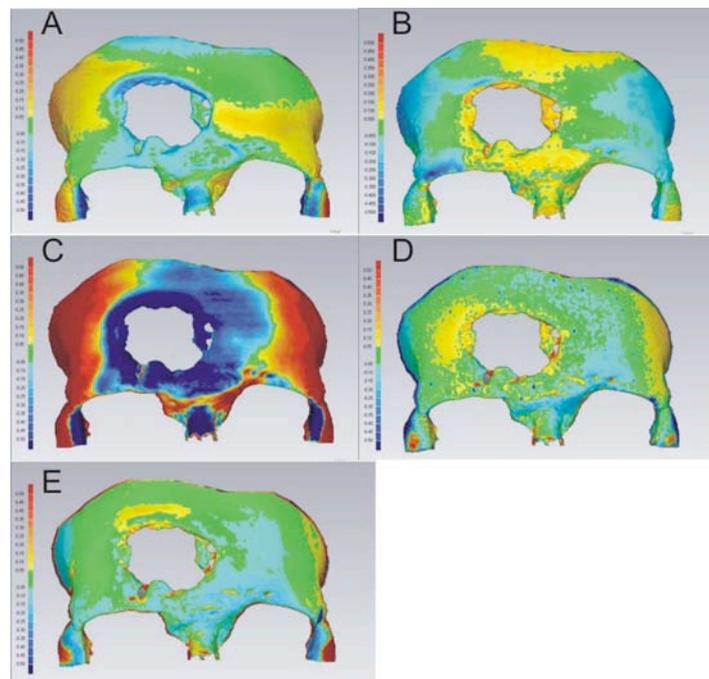


Fig. 19: Gráficos em cores exibindo os desvios de forma dos biomodelos fabricados por diferentes processos a) Sinterização Seletiva a Laser, b) Modelagem por Fusão e Deposição, c) Impressão tridimensional, d) usinagem de PU, e) usinagem de MDF.

Fonte: BERTOL et al. (2009).

Os equipamentos de digitalização 3D modernos baseados em sistemas a laser geram um grande número de pontos, que de um lado pode agilizar o processo de processamento dos dados gerando modelos com alta precisão, mas, por outro lado (BUDAK; HODOLIC; SOKOVIC, 2005), muitos números de pontos pode gerar nuvens difíceis de processar devido ao tamanho do arquivo gerado, necessitando de

computadores e processadores com melhor configuração. O processamento de dados é descrito como pré-processamento. As atividades mais comuns dentro deste processo estão a redução de ruído, suavização da malha e diminuição de pontos da nuvem.

O processo de digitalização a laser consiste na varredura de uma superfície por um feixe de laser capaz de determinar a distância entre ele e o ponto sobre o qual incide. Assim, obtém-se a coordenada z, a qual possui precisão dependente da lente empregada (BERTOL, 2009). De acordo com Freitas (2006), os dados fornecidos pela digitalização 3D são sempre um conjunto de coordenadas de pontos. A organização dos pontos, a incerteza das coordenadas e a velocidade de leitura dependem da tecnologia empregada no digitalizador.

Em termos simplificados, após a varredura da superfície e a obtenção da malha de pontos, os dados são processados 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. Além disso, dependendo do tipo do sistema de digitalização, a fase de processamento dos dados coletados pode significar em diferentes processos como reconstrução de superfície, filtros de ruído, suavização da malha, redução de dados, etc. (BUDAK; HODOLIC; SOKOVIC, 2005).

A partir da nuvem de pontos já filtrada, é possível unir os pontos três a três formando inúmeros triângulos, criando-se assim uma malha tridimensional da superfície da peça. Com a malha criada, é possível se fazer uma série de alterações, como suavizar a superfície, criar furos, alterar cantos vivos, entre outras possibilidades. Segundo Silva (2009), a utilização de malhas é de fundamental importância, por exemplo, para análises da peça através do método de elementos finitos. Para manipulação para outros processos, as superfícies normalmente são salvas em formatos neutros (independentes de um aplicativo específico), como o IGES (*Initial Graphics Exchange Specification*), os quais facilitam a troca de dados.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta é uma pesquisa de caráter teórico-prático e semi-experimental. Apresenta uma parte de coleta de dados e informações de livros que discutem produtos de TA focando em conforto e posicionamento gerados pelas superfícies de suporte com vistas a adequação postural para usuários de cadeiras de rodas. Também são investigadas técnicas de obtenção de assentos personalizados, focando no corte de espumas de PU. Outros estudos sobre usinagem e corte de materiais flexíveis são coletados para dar suporte aos testes realizados.

A pesquisa também possui um caráter específico no que tange o estudo da viabilidade da produção de assentos personalizados para cadeirantes através da usinagem CNC, utilizando equipamentos e ferramentas comerciais ao invés de dedicados, visando a diminuição do custo do produto final. O campo de estudo da pesquisa foram as dependências do Laboratório de Design e Seleção de Materiais da UFRGS, com estudos no Laboratório de Ergonomia da Faculdade de Design da UCS – Universidade de Caxias do Sul, e ainda, estudo de caso feito com usuários com colaboração da ADEF – Associação de Deficientes Físicos de Bento Gonçalves.

Assim, o método utilizado se divide em quatro etapas: (i) ensaios de desgaste, (ii) ensaios de acabamento; (iii) verificação dos parâmetros de usinagem na produção de 1 assento personalizado e (iv) validação. Antes dos ensaios, os materiais de usinagem utilizados, as espumas de poliuretano, foram caracterizados química e mecanicamente.

3.1 MATERIAIS

Os testes de usinagem foram realizados em um equipamento CNC modelo Digimill 3D, de marca Tecnodrill instalada nas dependências do LdSM. Para o presente estudo foram utilizadas, como material para usinagem, espumas de poliuretano de densidades nominais 20, 26, 33, 45, 50 e 60 kg/cm³ e dimensões de

380 x 380 x 100 mm. Estas foram presas em uma plataforma fixa através de fitas dupla face de alto desempenho, 3M VHB.

Antes da realização destes testes, as espumas foram caracterizadas quimicamente através de FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy* ou Espectroscopia de Infravermelho por Transformado de Fourier) da marca Perkin-Elmer modelo Spectrum One, também instalado no LdSM. Foram também caracterizadas mecanicamente em uma máquina universal Shimadzu, instalada nas dependências do LACER (Laboratório de Cerâmicos), através de ensaios de densidade e indentação de acordo com a norma ASTM D3574-08 "*Standard Test Methods for Flexible Cellular Materials - Slab, Bonded, and Molded Urethane Foams*". Neste sentido, foram utilizados corpos de prova no tamanho 380 x 380 x 100 mm. Cabe salientar que a força de indentação (suporte de carga), a qual deve estar vinculada ao valor da densidade, avalia o peso que a espuma suporta sobre si, por metro quadrado. Esta força é o principal indicador da qualidade da espuma produzida, pois o material deve ser macio no início da deflexão (ato de sentar) e logo após resistir.

O material utilizado para os moldes foi gesso comum (CaSO_4), por ser um material de baixo custo, prático de ser utilizado e encontrado, e por prover uma superfície com grande precisão da antropometria do usuário. Além disso, o gesso possui um coeficiente de contração muito pequeno o que faz com que ele praticamente não se deforme a após secagem (KUSNER, MICHMAN, 1967). Na tabela 4, algumas propriedades do gesso podem ser visualizadas.

Tabela 04: Propriedades do gesso.

Composição química	CaSO_4
Cor	Branca
Mistura gesso para água	100/65
Tempo de secagem	17-39 min
Expansão linear	0,19
Dureza Brinell MPa	24
Dureza Shore D	50
Tamanho de grão	+200 microns

3.1.1 Propriedades químicas das espumas de PU

Os resultados da Espectroscopia de Infravermelho confirmaram a composição da espuma de poliuretano e mostraram que, independente da densidade da espuma, a composição do material se mantém a mesma (figura 20).

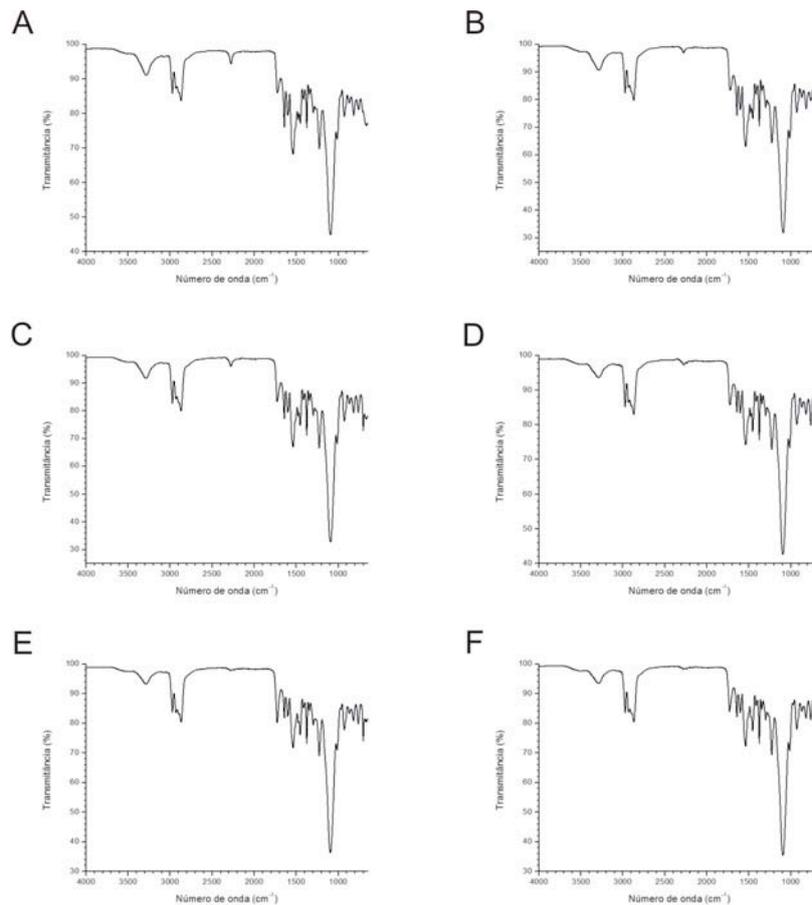


Fig. 20: Espectro gerado pela análise por FT-IR para as espumas (A) D20, (B) D26, (C) D33, (D) D45, (E) D50 e (F) D60.

3.1.2 Propriedades mecânicas das espumas de PU

A densidade da espuma foi obtida de acordo com a norma de acordo com a norma ASTM D3574-08 (A). Foram utilizadas 4 amostras com dimensões 380 x 380 x 100 mm, as quais foram pesadas em uma balança marca Alfa Instrumentos, modelo BI 3025-12, com precisão de 0,001g. Cada amostra foi pesada até 3 vezes,

e os resultados estão registrados em cada ensaio e a respectiva média ponderada simples. Estes valores foram confrontados com o catálogo do fabricante para confirmação das densidades nominais, como mostrado na tabela 05. As espumas de menor densidade (20, 26, 33, 45) atendiam os valores nominais. A espuma D50 ficou ligeiramente abaixo do valor mínimo esperado e a D60 ficou consideravelmente defasada do seu valor nominal.

Tabela 05: Densidades das espumas em kg/cm³.

Nominal	Espuma 1	Espuma 2	Espuma 3	Espuma 4	Média	Catálogo comercial
D20	19,114	19,529	19,252	19,321	19,304	17 - 21
D26	25,554	25,900	25,693	25,623	25,693	24 - 28
D33	33,102	33,795	33,587	33,103	33,397	30.5 – 35
D45	41,483	42,936	43,352	43,006	42,694	39.5 – 47.5
D50	45,914	45,499	45,499	45,776	45,678	46 - 54
D60	50,277	51,731	49,792	50,000	50,450	54 - 62

O ensaio de indentação foi realizado em 1 amostra com as dimensões de 380 x 380 x 100 mm, e consistiu em medir a força necessária para produzir deflexões de 25 e 65% nas espumas, de acordo com a norma ASTM D3574-08 (B1). A espuma foi pré-flexionada a partir de uma espessura inicial com pré-carregamento de 4,5N a uma deflexão total de 75 a 80% da sua espessura. Depois esta foi deixada descansar por 6 minutos. A espuma foi então pressionada novamente a 4,5N a 25% da sua espessura, e sua força em Newtons foi observada depois de 1 minuto. Sem remover a amostra, a deflexão foi aumentada a 65% da sua espessura, permitindo a força acumular e, mais uma vez, a força necessária para esta deflexão foi observada. Os resultados são chamados valores de IFD (*Indentation Force Deflection*) e podem ser visualizados na tabela 06. Também, para a visualização do deslocamento que resulta da deformação pela carga aplicada, tem-se a figura 21. Esta ilustra um gráfico plotado a partir do ensaio da espuma D50.

Tabela 06: Valores dos testes de indentação.

	Esp. 4,5N	IFD 25%	IFD 65%
D20	99.752mm	92.1N	170.15N
D26	99.780mm	126.6N	238.15N
D33	99.665mm	182N	355.5N
D45	99.625mm	271.45N	560.75N
D50	99.854mm	275.3N	586.5N
D60	99.776mm	237.75N	499.25N

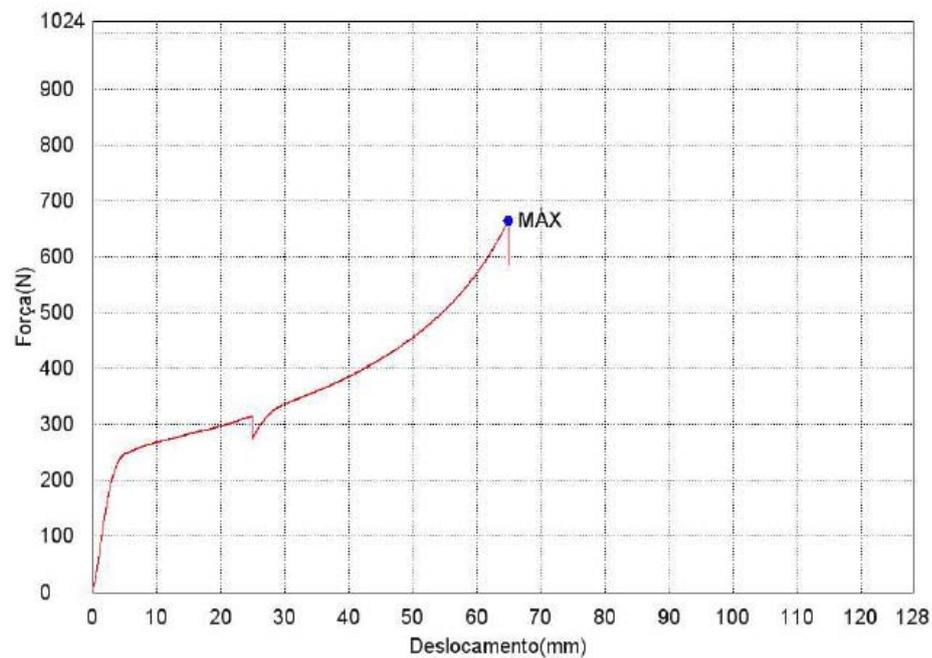


Fig 21: Gráfico da Força de Indentação para a espuma D50.

Assim como o ocorrido nos ensaios de densidade, as espumas 20, 26, 33 e 45 apresentaram um comportamento linear. A espuma D50 ficou ligeiramente abaixo do valor mínimo esperado e a D60 ficou consideravelmente defasada do comportamento das demais, conforme a figura 22.

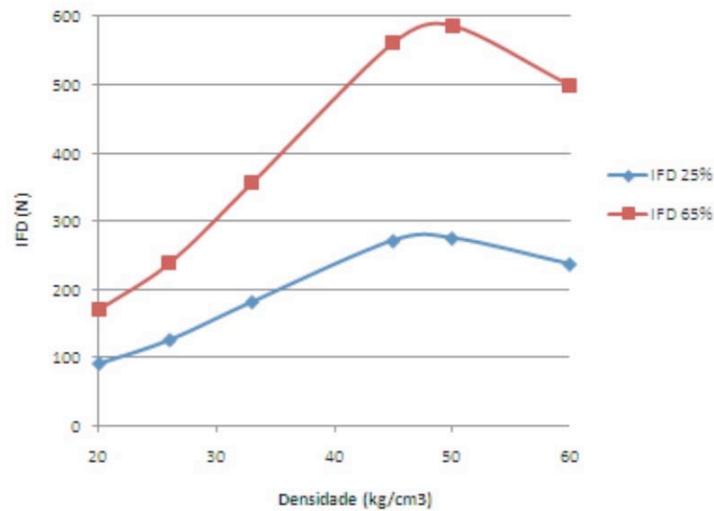


Fig. 22: Relação da força de indentação (IFD) com as densidades das espumas.

3.2 ENSAIOS DE DESBASTE

Para os ensaios de desbaste, foram empregadas três fresas convencionais de topo reto de 6mm de diâmetro. Uma das ferramentas foi a OSG 801/2, tipo EDL base D844; a outra uma Alltech Tools fresa inteiriça de metal duro topo reto sem cobertura CMSA 0602; e a terceira foi uma Alltech Tools Fresa De Metal Duro Topo Reto Haste Longa CLS-0604. As ferramentas podem ser observadas na figura 23 e suas especificações na tabela 07.

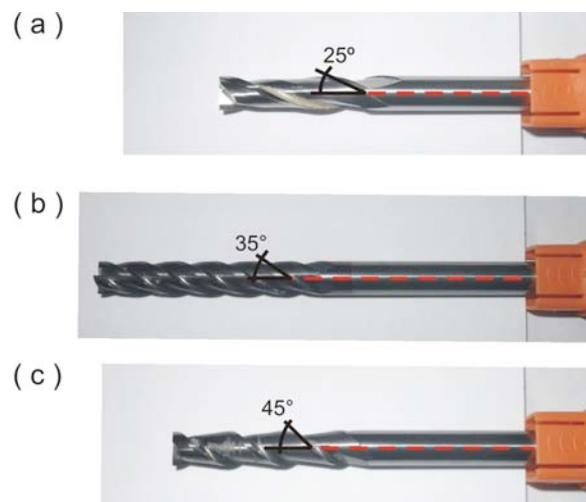


Fig. 23: Ferramentas utilizadas para os testes de usinagem. (a) OSG 801/2, tipo EDL base D844; (b) Alltech Tools LETA 0602 CMSA 0602, (c) Alltech Tools ALETA 0604 CLS-0504.

Tabela 07: Dados técnicos das ferramentas utilizadas para os testes de usinagem.

Ferramenta	Fabricante	Referência	Material	Diâmetro (mm)	Nº de arestas	Ângulo da lâmina
a	OSG	801/2, tipo EDL base	Aço rápido	6	2	25°
b	Alltech Tools	LETA 0604	Metal Duro (Revestimento AlTiN)	6	4	35°
c	Alltech Tools	ALETA 0602	Metal Duro	6	2	45°

De acordo com estudos preliminares, a usinagem CNC de espumas de PU sofre grande influência do sentido de corte – concordante (figura 24A) ou discordante (figura 24B). O comportamento da espuma flexível no corte concordante acarretou em cavaco “empastando” na ferramenta e às vezes até arrancando porções maiores de material, além de gerar um acabamento indesejável (figura 24A e 24C). 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 (figura 24B e 24D). A única ressalva acerca desse tipo de cavaco é que ele pode por vezes enroscar na ferramenta e danificar o acabamento (BATISTA et al., 2009). Assim, o sentido do corte utilizado para os estudos de usinabilidade foi o discordante, tanto no desbaste quanto no acabamento.

Nos ensaios de desbaste, todas as densidades foram testadas com as três ferramentas mencionadas anteriormente. Estes ensaios foram baseados nos estudos de Shih, Lewis e Strenkowski (2004) sobre o corte em elastômeros, onde foram efetuados rasgos nestes materiais e posteriormente analisado qual tipo de ferramenta se mostrou mais apropriada para realização destes. Além do tipo de ferramenta, no presente trabalho também foram selecionados os melhores parâmetros de velocidade de rotação e de avanço.

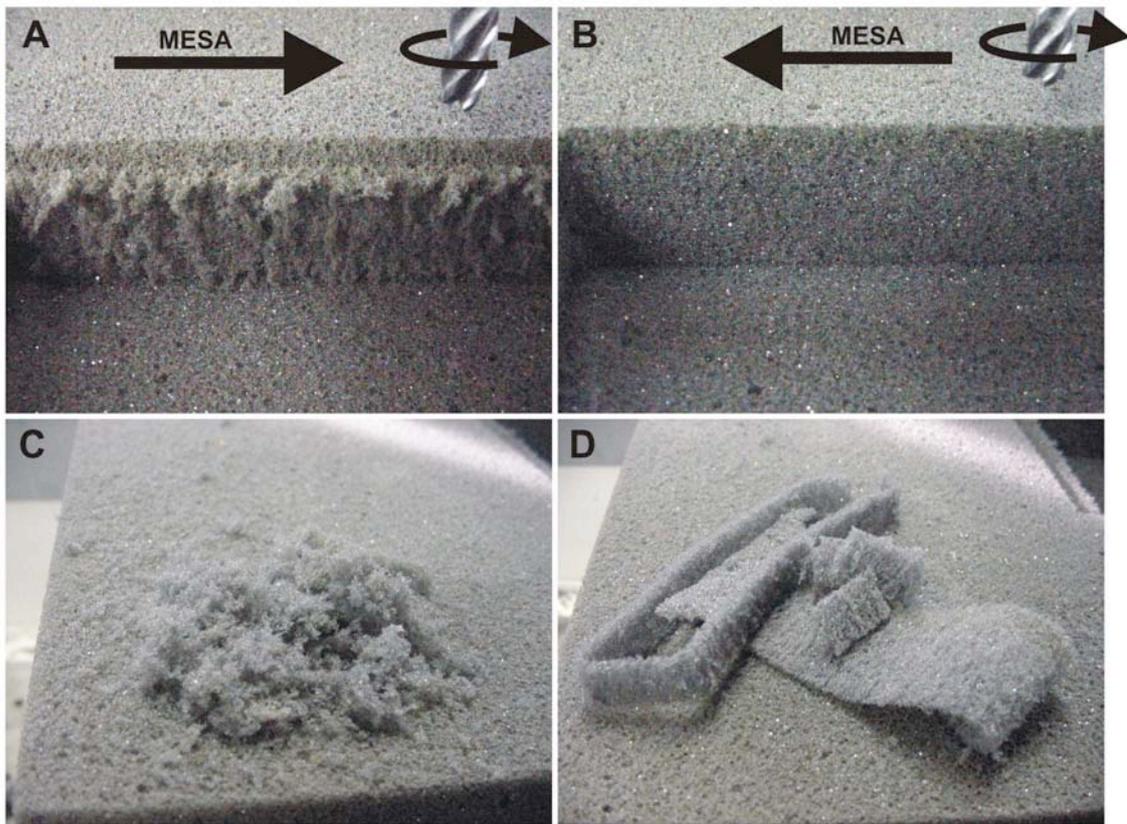


Fig. 24: Usinagem concordante (A e C) e discordante (B e D) da espuma D50 e seus respectivos cavacos.

Fonte: Batista et al., 2009.

Os parâmetros de corte de desbaste foram avaliados de forma qualitativa para cada uma das densidades ensaiadas. Assim, a avaliação dos cortes gerados pela operação de desbaste foi feita através de análise visual, por se tratar de muitas amostras e muitos parâmetros testados. Os fatores analisados foram a “limpeza” do corte, tipo de cavaco e deformação do corte. Os cortes considerados adequados para operações de usinagem em espumas de PU foram àqueles que não possuíam rebarbas, geraram um cavaco contínuo em forma de fita e não sofreram nenhum tipo de deformação visível. Outras pesquisas que relatam tipos de ferramenta e geometrias de cavacos que resultam em cortes mais “limpos”² em materiais flexíveis também foram considerados (Wright e Cumming, 1969; Brienza et al., 1992; Malak e Anderson, 2005; Mccarthy, Hussey e Gilchrist, 2007; Dhokia et al., 2008).

² Considera-se um corte limpo aquele que apresenta uma geometria precisa, livre de rebarbas e que não sofreram nenhum tipo de deformação visível.

A programação dos caminhos da ferramenta foi realizada manualmente em editor de texto (tabela 08). Foi programado que a ferramenta recuasse 10 mm da espuma entrando lateralmente nesta já na rotação especificada. A ferramenta deveria cortar uma profundidade de 5 mm em uma extensão de 100 mm. Ao chegar ao final, ela avança 1 mm para o lado, e retorna os mesmos 100 mm para visualização do corte apenas no sentido discordante.

Os parâmetros testados foram a velocidade de rotação e de avanço. Foram testadas quatro velocidades de rotação: 6.000, 12.000, 18.000 e 24.000 RPM. Os avanços usados para cada uma das velocidades foram 400 a 4.000 mm/min, variando de 10 em 10%, conforme apresentado na tabela 09.

Tabela 08: Programa utilizado para testar os parâmetros de corte nas espumas de poliuretano.

N10	; (cabeçalho do programa)
N20	G0Z10.0
N30	X-10.0Y0.0
N40	G1Z-5.0F4000.0 ; (ajustar %)
N50	X100.0
N60	Y-1.0
N70	X0.0
N80	G0Z10.0
N90	; (finalização do programa)

Tabela 09: Avanços utilizados nos ensaios de usinagem.

Avanço (%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Avanço (mm/min)	400	800	1.200	1.600	2.000	2.400	2.800	3.200	3.600	4.000

Estes resultados foram então compilados em uma tabela simbólica, baseada naquela desenvolvida em dissertação de mestrado por Stürmer³, representativa da qualidade de corte nas espumas. Os cortes foram classificados em Nível A, B, C e D, de acordo com o acabamento gerado. Tomou-se como base de

³ STÜRMER, Patrícia Gabert dos Santos. Materiais naturais : design e tecnologia no desenvolvimento de joias inspiradas na cultura gaúcha. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Design. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 2010.

análise a classificação dos cortes gerados em elastômeros, dos estudos de Shi, Lewis e Strenkowski (2004). Baseado nesta pesquisa, o nível A é aplicado a cortes considerados excelentes, sem rebarbas e com cavacos contínuos em forma de fita; o nível B para cortes satisfatórios com algumas pequenas rebarbas na superfície; o nível C caracteriza-se por corte insatisfatórios, com muitas rebarbas ou deformações na entrada da ferramenta; e o nível D são os cortes inaceitáveis, que danificaram a integridade da espuma, e não são recomendáveis para uso.

3.3 ENSAIOS DE ACABAMENTO

Para os ensaios de acabamento, foi utilizada uma fresa esférica Dormer C502 de Aço Rápido ao Cobalto com 6 mm de diâmetro e duas lâminas de corte a 30° . Esta ferramenta pode ser observada na figura 25 e suas especificações podem ser encontradas na tabela 10. Para este ensaio, foi necessário realizar previamente a retirada do material com uma operação de desbaste. Estas operações foram realizadas com a ferramenta Alltech Tools LETA 0602, com ângulo da lâmina a 35° , devido ao fato que as ferramentas com duas lâminas de corte apresentaram cortes mais limpos nos testes de desbaste. Neste estudo de parâmetros, os ensaios de acabamento foram focados para a produção de assentos personalizados, nas espumas de densidades entre 45 e 50 kg/cm^3 , pois mostraram-se mais adequadas para uso no assento devido às suas propriedades mecânicas. Assim, os testes de acabamento foram restringidos apenas à espuma de densidade 50, já que conforme a nota técnica 060/2001 e de acordo com os ensaios realizados, esta é a mais indicada para assentos.

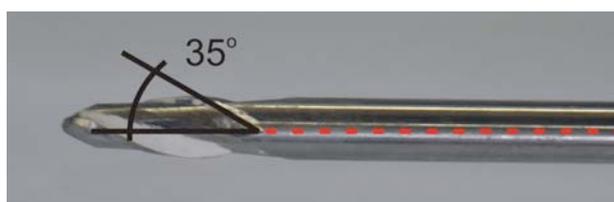


Fig. 25: Ferramenta esférica Dormer C502.

Tabela 10: Especificações da ferramenta D, utilizadas nas operações de acabamento.

Ferramenta	Fabricante	Referência	Material	Diâmetro (mm)	Nº de arestas	Ângulo da lâmina
d - Acabamento	Dormer	C502	Aço rápido ao Cobalto	6	2	30°

Para estes ensaios, foram realizadas combinações dos melhores parâmetros de desbaste testados anteriormente com objetivo de verificar a melhor superfície gerada. Por melhor superfície entende-se um plano liso, com ausência de rebarbas e imperfeições tais como buracos. Assim, formas esféricas de 6 cm de diâmetro foram usinadas nas espumas de PU. Esta geometria foi escolhida por possuir diferentes ângulos para examinar a retirada do material, assim como a qualidade da superfície. Nove semiesferas foram usinadas com combinações de velocidades de avanço, já que o avanço mostrou-se decisivo para a geração de um bom corte no ensaio anterior. Leva-se em consideração que os melhores parâmetros para a operação de desbaste seriam análogos aos da operação de acabamento.

As velocidades de avanço escolhidas foram 800, 2.400 e 4.000 mm/min, para assim explorar desde o avanço mais lento até o mais rápido executado pelo equipamento. Primeiramente, foi feito a operação desbaste com estas três velocidades, três esferas cada, e depois estas foram combinadas com as operações de acabamento, também com as mesmas velocidades de avanço. As combinações executadas podem ser visualizadas em esquema da figura 26. A rotação foi fixada a 24.000 RPM, por se mostrar uma das mais adequadas para a espuma D50 nos testes de desbaste.

O programa de usinagem foi feito no software EdgeCAM. Para a operação de desbaste, a ferramenta deveria entrar na porção central de cada esfera, removendo material a 40% do diâmetro da ferramenta. Para o acabamento, foi utilizado como passo lateral 10% do diâmetro da ferramenta esférica.

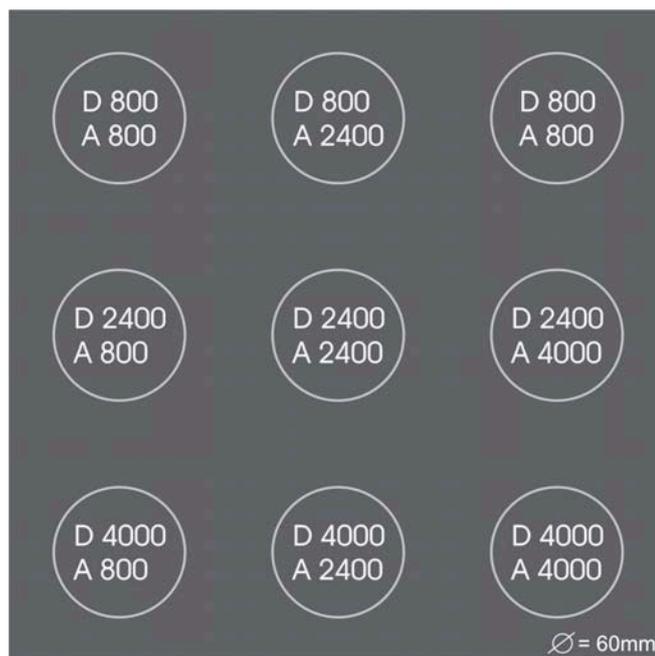


Fig. 26: Combinação do parâmetro velocidade de avanço (em mm/min) nas operações de desbaste (D) e de acabamento (A).

3.3.1 Análise dimensional

Para avaliar as melhores combinações de acabamento apenas a análise visual se tornou inviável, pois as diferenças foram imperceptíveis a olho nu. Tornou-se necessária a avaliação da precisão da geometria usinada, já que as espumas de PU tendem a se afastar da ferramenta ao serem cortadas, podendo gerar distorções na forma, devido aos baixos valores de indentação destes materiais. Se esta forma estiver alterada, o aumento da área de contato com a interface do corpo do usuário será diminuído, deixando de prover o que é requerido de um assento personalizado (melhor posicionamento, distribuição igual das pressões e conforto).

A técnica utilizada para a verificação dimensional foi a digitalização tridimensional a laser por captar com grande precisão a forma dos objetos. A máquina utilizada para os testes de análise dimensional foi a mesma utilizada para usinagem CNC, porém nesta foi acoplado um cabeçote de digitalização a laser conoscópico. Este consiste na emissão, através de um diodo, de um feixe de Laser, o qual é refletido por um divisor de feixe e incide pontualmente sobre a peça a ser medida. A luz dispersada retorna da peça, passa através do divisor de feixe e é detectada pelo sensor Dispositivo de Carga Acoplado - CCD (SILVA, 2006).

Os dados coletados foram então transferidos para o software Raindrop Geomagic, onde uma malha de pontos foi gerada. Para executar a análise, esferas foram inseridas dentro da malha das semiesferas digitalizadas, e assim as geometrias comparadas, como pode ser visualizado na figura 27.

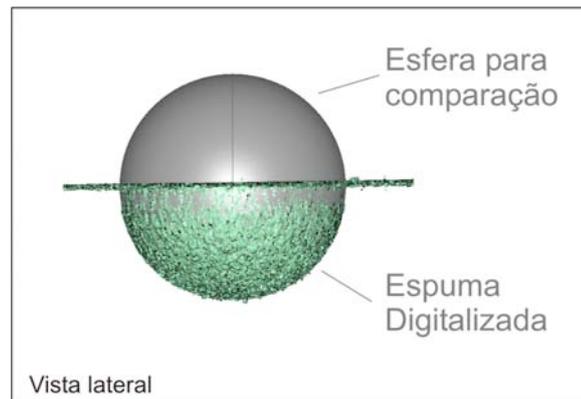


Fig. 27: Comparação dimensional da semiesfera usinada e digitalizada a laser a uma forma esférica desenhada no software com 6 cm de diâmetro.

Os resultados destas comparações geraram dados de quais as combinações de parâmetros de usinagem causaram menores deformações na forma e assim, quais destas se mostraram promissoras para a execução de uma peça maior, neste caso, um assento.

3.4 VERIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS DE USINAGEM EM UM ASSENTO

Mesmo com estes ensaios, mostrou-se necessária a usinagem de peças maiores para a verificação de fatores como o acabamento gerado, o tempo de usinagem de uma peça inteira e a deformação gerada. A peça usinada foi um assento personalizado, porém de um usuário sem restrições físicas já que este teste buscou verificar os fatores citados, relacionados à usinagem e não à distribuição de pressão, conforto ou posicionamento do usuário. Foram usinadas 03 (três) amostras de densidade 50 kg/cm^3 , com os melhores parâmetros de usinagem de acordo com os estudos de corte realizados previamente. A metodologia de obtenção do assento

foi a mesma já realizada para assentos personalizados, conforme metodologia em desenvolvimento na pesquisa de doutorado de Fábio Pinto da Silva⁴.

Os dados antropométricos dos quadris e coxas do usuário para o assento personalizado foram obtidos através de ataduras gessadas. Um molde de gesso do usuário é feito com a supervisão de profissionais da saúde tais como terapeutas ocupacionais e fisioterapeutas. Há outros métodos de efetuar moldes, como almofadas a vácuo, no entanto, este método (gesso) coleta a geometria de forma precisa, é de baixo custo e pode ser feito em qualquer lugar que possua um profissional capacitado para tanto. O molde em questão foi feito nas dependências do LdSM por um fisioterapeuta treinado⁵. O usuário foi colocado em cima de uma espuma de densidade 26, em uma cadeira de rodas dobrável com apoio para pés. As ataduras gessadas foram hidratadas com água e colocadas em cima da espuma. O fisioterapeuta então posicionou o usuário em postura adequada até que o gesso secasse o suficiente para não sofrer deformações. Este processo pode ser visto na figura 28.

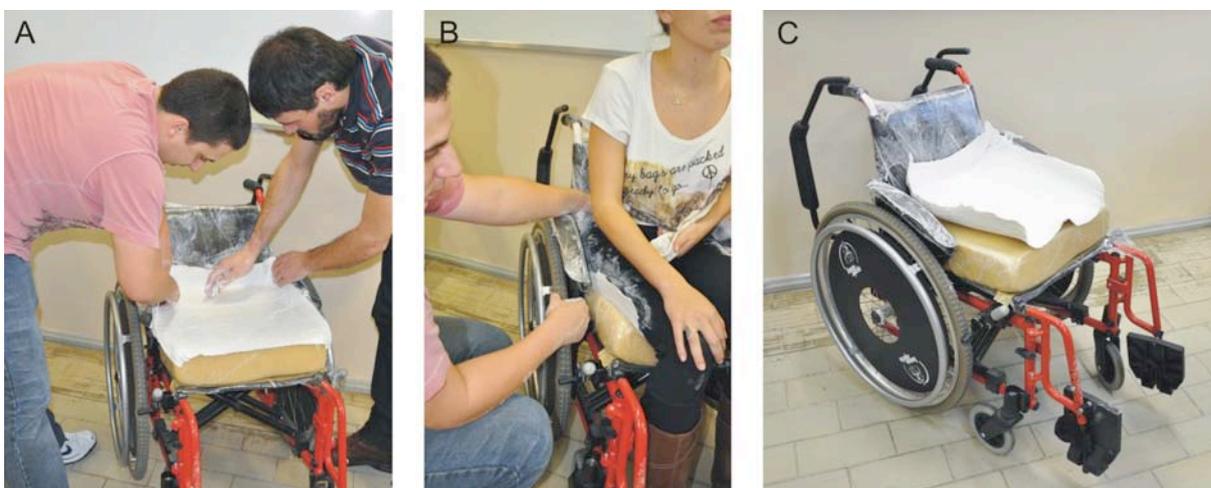


Fig. 28: (A) Atadura gessadas colocadas na espuma em cima da cadeira de rodas; (B) usuário posicionado em postura adequada na cadeira de rodas; (C) molde de gesso obtido.

O molde foi então digitalizado tridimensionalmente a laser. No entanto, o equipamento agora utilizado foi o scanner móvel Minolta Vivid 9i; este possui um

⁴ Doutorado em andamento: “Estudo de Espumas de Poliuretano, Digitalização Tridimensional e Usinagem CNC para fabricação de assentos personalizados”.

⁵ Rafael Cavalli Prestes, Mestre em Design pelo PgDesign – UFRGS.

princípio de funcionamento diferente do scanner de mesa, utilizando o princípio de medição por triangulação. Ou seja, um feixe pontual de laser é emitido e, ao atravessar uma lente cilíndrica, torna-se uma linha horizontal (eixo X) de laser que incidirá sobre o objeto a ser digitalizado. A luz refletida pelo objeto passa através de uma lente focalizadora até incidir em um sensor para captação de imagens CCD (*charge coupled device*) e então, através do triângulo formado, convertida na medida de distância (eixo Z) (SILVA et al., 2010). Este equipamento capta muitos pontos ao mesmo tempo (640 x 480 pontos), podendo captar um objeto inteiro em menos de um minuto. A desvantagem é que não capta pequenos detalhes da superfície como algumas micro texturas. Como, neste caso, o objetivo era captar a geometria e não detalhes da superfície, este se mostrou mais adequado por prover maior rapidez ao processo. Na figura 29, pode-se observar o equipamento enquanto digitaliza o molde de gesso. Como o molde de gesso foi digitalizado logo após sua execução e antes da secagem total, sua contração não foi um fator a ser considerado (mesmo este tendo uma contração mínima).



Fig. 29: Molde de gesso sendo digitalizado pelo equipamento de digitalização tridimensional a laser Minolta Vivid 9i.

Os dados gerados desta digitalização foram tratados no software Raindrop Geomagic, gerando uma nuvem de pontos 3D. Esta nuvem é salva em formato IGES (*Initial Graphics Exchange Specification*), compatível com vários programas de computador, e são passados para o software Rhinoceros para ser colocado em um bloco análogo à espuma a ser usinada (Figura 30A). Este bloco representativo do assento foi então importado para o software EdgeCAM onde os caminhos de usinagem foram calculados (Figura 30B). Primeiramente, é executada a operação de desbaste e em seguida o acabamento. Foram usinados três assentos com as melhores combinações de avanço selecionadas pelo ensaio de acabamento (tabela 11). Com a programação gerada, a geometria do usuário, obtida através da digitalização, pode ser usinada nas espumas de poliuretano flexível.

Tabela 11: Variação dos parâmetros de avanço para os assentos de PU.

Amostra	Desbaste (mm/min)	Acabamento (mm/min)
1	2.400	4.000
2	4.000	2.400
3	4.000	4.000

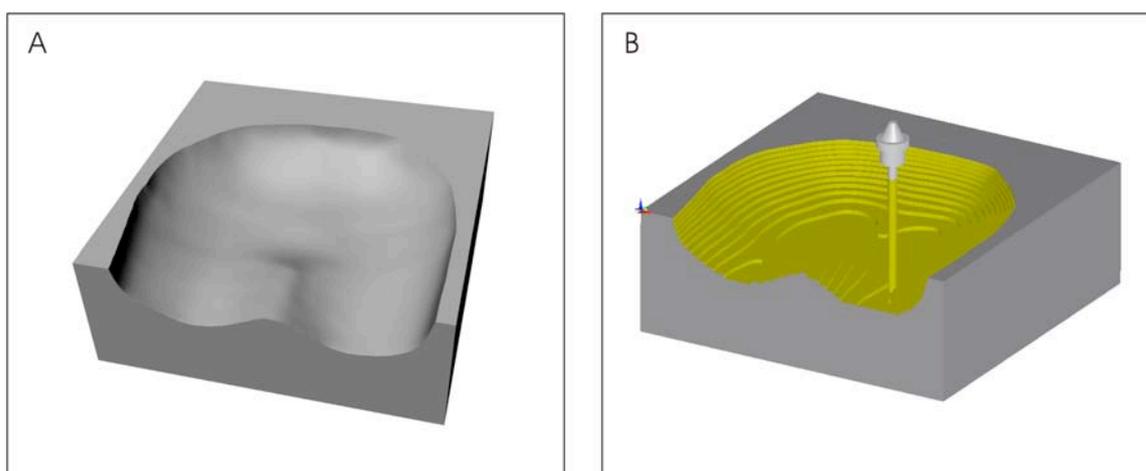


Fig. 30: (A) Modelo tridimensional da espuma para usinagem; (B) Programação da operação de desbaste para usinagem do assento.

Para a análise dimensional, os assentos usinados foram digitalizados tridimensionalmente a laser com o mesmo scanner utilizado para captar os dados do

molde de gesso (Minolta Vivid 9i). Estes foram mais uma vez tratados no Software Raindrop Geomagic gerando uma malha tridimensional que foi transferida para o software Geomagic Qualify para comparação dimensional. A comparação foi realizada entre a malha 3D do molde de gesso e com as malhas 3D dos assentos usinados (figura 31). Com esses dados pode-se chegar a uma conclusão de quais parâmetros mostram-se mais adequados para gerar um assento preciso de forma mais rápida, com equipamento e ferramenta convencional. Para o acabamento, a superfície gerada foi analisada visualmente, tendo como fatores em consideração rebarbas, imperfeições e superfície uniforme.

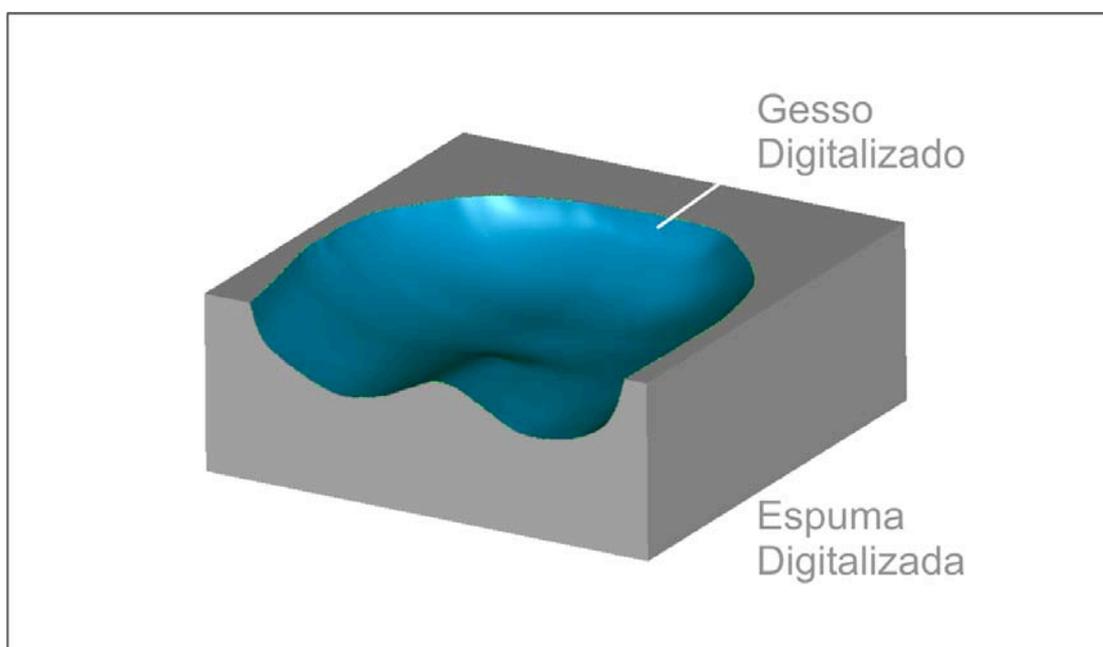


Fig. 31: Gesso posicionado na espuma digitalizada para efetuar a comparação das dimensões.

3.4.1 Análise da distribuição de pressão.

A análise de distribuição de pressão foi executada para obter dados que possam avaliar se o assento personalizado executado está distribuindo o peso do usuário de forma igual pela superfície. Assim, pode-se avaliar se as mudanças dimensionais causadas durante a usinagem irão afetar significativamente a distribuição de pressão. Para isto, foi utilizado o equipamento medidor de pressões FSA4 Pressure Mapping, da marca Vista Medical, localizado nas dependências do

Laboratório de Elétrica da Universidade de Caxias do Sul (UCS), campus CARVI, em Bento Gonçalves.

O equipamento consiste em um tapete com vários sensores que medem a pressão e transferem estes dados para um computador. Um *software* dedicado, o FSA Clinical Wizard, gera um gráfico que indica onde as maiores pressões estão concentradas. Assim, este tapete foi colocado entre o assento personalizado e o usuário, que foi posicionado em postura adequada pelo fisioterapeuta. Os dados são obtidos neste mesmo instante e transpostos para o *software* para a geração do gráfico e posterior análise dos resultados fornecidos.

3.4.2 Análise da distribuição de temperatura.

Outro fator que considera-se influenciar no conforto do usuário é a temperatura. Além do mais, um assento que eleve a temperatura corporal em certas áreas pode causar problemas como umidade e fungos. Assim, uma análise termográfica dos assentos personalizados foi executada com o intuito de verificar se estes também auxiliavam a igualar a temperatura sobre a superfície de contato. O equipamento utilizado foi um termógrafo marca SAT, modelo HY6800, pertencente ao LACER (Laboratório de Materiais Cerâmicos). Este equipamento mede as alterações na quantidade de energia infravermelha (calor) emitida, podendo ser visualizadas com estas câmeras. Este teste também foi realizado no Laboratório de Ergonomia da UCS no mesmo dia da análise da distribuição de pressão. Antes de ser colocado no assento personalizado, o usuário ficou 15 minutos em repouso sentado em uma cadeira. Logo após foi posicionado em postura adequada pelo fisioterapeuta no assento personalizado e ficou neste por 20 minutos. Logo após, as superfícies foram termografadas. Este método para medição de temperaturas foi utilizado por Prestes (2011), aplicado em dissertação de mestrado⁶.

⁶ PRESTES, Rafael Cavalli. "Tecnologia Assistiva: Atributos de Design de Produto para Adequação Postural Personalizada na Posição Sentada. Dissertação de mestrado. Pós-graduação em Design, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 2011.

3.5 VALIDAÇÃO

Após as rotas de obtenção do assento terem sido verificadas com o usuário sem restrições, um estudo de caso para validação dos ensaios anteriores foi realizado com um usuário adulto com deficiência física, com a cooperação da Associação de Deficientes Físicos (ADEF) de Bento Gonçalves. O usuário é do sexo masculino e não possui uma deficiência congênita, mas sofreu uma lesão na coluna vertebral decorrente a um acidente, perdendo assim os movimentos dos membros inferiores. O usuário, 41 anos, possui poucos movimentos nos membros superiores e também está com a motricidade fina afetada. No entanto, possui tônus muscular nos membros superiores. Sendo assim, pela análise do fisioterapeuta que o acompanha na recuperação, a necessidade foi voltada para um assento personalizado que melhorasse a distribuição de peso e, conseqüentemente, distribuição de pressão. É importante ressaltar que o usuário, utilizando o assento anatômico convencional, desenvolveu escaras de pressão e está em tratamento.

Com esta avaliação, foi executado um assento personalizado. O método de obtenção dos dados antropométricos foi o mesmo já utilizado no estudo anterior executado com o usuário sem restrições físicas. Um molde de gesso foi feito em cima da cadeira de rodas do usuário acompanhado por seu fisioterapeuta. Este foi colocado em cima das ataduras gessadas hidratadas e posicionado em postura que beneficiaria a distribuição de pressão (figura 32). Os moldes foram executados nas dependências da ADEF em Bento Gonçalves.



Fig. 32: (A) O usuário sendo posicionado na cadeira de rodas em cima das ataduras gessadas e (B) o molde resultante.

Logo após, os moldes de gesso foram digitalizados no mesmo local, com o scanner a laser móvel Minolta Vivid 9i. Os dados foram passados para um computador para serem processados. A nuvem pontos tridimensional gerada pela digitalização também passou pelas mesmas etapas executadas no estudo anterior para ficarem aptas para programação de usinagem: no *software* Raindrop Geomagic, foi criada uma malha que depois foi transferida para o *software* Rhinoceros, onde o assento tridimensional foi colocado em um bloco análogo a espuma.

Para a programação de usinagem CNC, mais uma vez fez-se uso do *software* EdgeCAM. Desta vez, com os parâmetros para as operações de desbaste e de acabamento selecionados através das análises anteriores, foi executado apenas um assento para o usuário. Primeiramente foi executada a operação de desbaste com a ferramenta Alltech Tools LETA 0602, com rotação de 24.000 RPM e velocidade de avanço a 4.000 mm/min. Para a operação de acabamento, a ferramenta foi a Dormer C502; a rotação permaneceu a mesma e o avanço de 2.400 mm/min.

O assento foi usinado no mesmo equipamento do assento de teste, mas por ser maior que a área de corte da máquina, foi necessária uma adaptação para prender a espuma para que esta fosse trocada de lugar, executando a usinagem em quatro fases, sem perder as referências. A adaptação consistiu em um esquadro alinhado com os eixos x e y. A espuma foi presa com elásticos comuns e, no canto do esquadro, com um apoio para não ocorrer deslocamentos verticais durante a usinagem. Na fig. 33, é possível observar estas adaptações. Para usinar o próximo quadrante, a espuma é girada em sentido horário e presa novamente. A programação também foi feita com a espuma dividida em quatro partes. Em cada uma das partes o ponto inicial da ferramenta (zero) foi posicionado no canto frontal esquerdo do bloco, junto ao canto do esquadro. Assim mesmo com o girar da peça o zero da peça foi sempre o mesmo, o que diminui erros dimensionais causados pelo desencontro dos quadrantes.



Fig. 33: Adaptações feitas na área de usinagem. (A) Esquadro posicionado com as fitas de contenção. (B) Apoio para evitar deslocamentos verticais.

3.5.1 Análise da distribuição de pressão.

Para a validação do estudo, o mesmo teste realizado anteriormente de distribuição de pressão foi executado com o usuário com deficiência. Este teste se mostrou importante já que o usuário apresentava úlceras de pressão causadas pela desigual distribuição do peso. O equipamento foi o mesmo do estudo anterior, pertencente à UCS e os testes foram realizados no mesmo local. Para tanto, o usuário foi posicionado primeiramente em seu assento padronizado, com o tapete medidor de pressões em cima deste, e as pressões geradas foram transpostas ao *software* FSA Clinical Wizard. Após, o usuário foi posicionado no assento personalizado usinado e as pressões medidas novamente. Esta análise com o usuário pode ser visualizada na figura 34.



Fig. 34: Análise da distribuição de pressão. (A) Usuário posicionado na cadeira e medição feita através de *software* dedicado. (B) Detalhe do posicionamento do tapete medidor de pressões.

3.5.2 Análise da distribuição de temperatura.

A temperatura também foi medida no assento convencional e no assento personalizado. Os métodos foram os mesmos, onde o usuário permanece no assento a ser medido por 20 minutos e logo após a superfície do assento é termografada. O equipamento utilizado também segue o mesmo do estudo de teste, pertencente ao LACER.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados coletados através da metodologia proposta foram analisados e compilados neste capítulo. Estes foram divididos da mesma forma, entre ensaios de desbaste, ensaios de acabamento, verificação dos parâmetros de usinagem em um assento e validação.

4.1 ENSAIOS DE DESBASTE

As espumas com baixo IFD são mais facilmente deformáveis e de mais difícil corte, sendo assim mais sensíveis aos parâmetros de usinagem. Neste sentido, tais espumas não podem ser cortadas satisfatoriamente com avanços altos, pois há uma excessiva deformação e quando o corte é realizado acaba por destruir a superfície da espuma. Assim, para estas, o avanço foi predominante em relação à rotação. Os resultados dos testes de usinagem também confirmam a tendência de utilizar altas rotações e pequenos avanços, vindo ao encontro de Wright e Cumming (1969). Porém, não foi detectada geração de calor expressiva, fato que deve ser melhor investigado em usinagens mais longas.

Em geral, as usinagens feitas com rotação de 6.000 RPM apresentaram o pior acabamento, inclusive destruindo a integridade das espumas, especialmente as de baixa densidade, como a D20, D26 e D33. As espumas com mais alto IFD, permitiram maiores velocidades, com rotações de 18.000 a 24.000 RPM e avanços de 2.000 a 2.800 mm/min.

As espumas de baixa densidade, por terem baixo IFD, são mais facilmente deformáveis e de mais difícil corte, sendo assim mais sensíveis aos parâmetros de usinagem. Neste sentido, tais espumas não podem ser cortadas satisfatoriamente com avanços altos, pois há uma excessiva deformação ao contato da ferramenta e quando o corte é realizado acaba por danificar a superfície da espuma. Assim, para estas o avanço foi o parâmetro predominante em relação à rotação. A espuma D20 apresentou bastante dificuldade de ser cortada com bom acabamento, sendo os melhores resultados obtidos com avanços de 2.000mm/min e

rotações entre 12.000 e 18.000 rpm. O mesmo ocorreu para a D26, como pode ser observado na figura 35. Já a espuma D33 já pode ser cortada com velocidades levemente superiores.

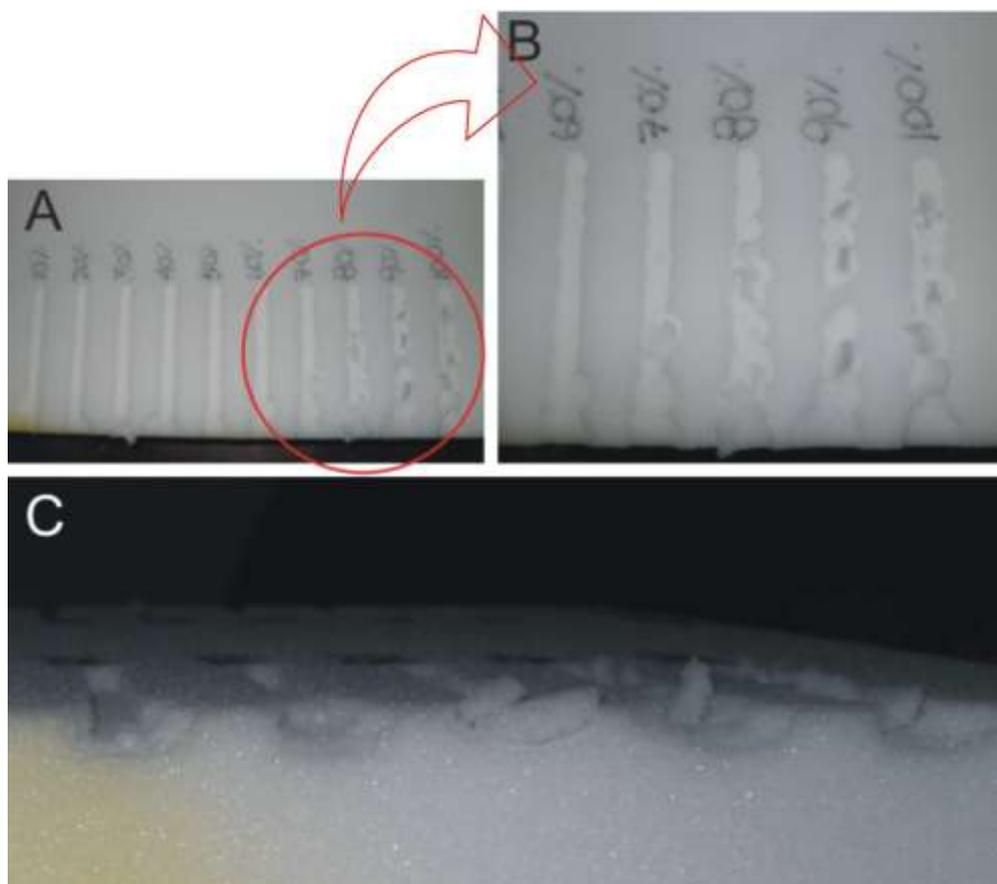


Fig 35: Corte na espuma D26 com rotação de 6.000 RPM e alto avanço (entre 2.400 – 60% até 4.000 – 100%). (A) vista geral da espuma com todos os avanços; (B) região de maiores avanços (60% a 100%) e (C) vista lateral da região danificada.

As espumas com mais alta densidade (alto IFD), analogamente, permitiram maiores velocidades, com rotações de 18.000 a 24.000 rpm e avanços de 2.000 a 2.800 mm/min. As espumas D45 e D50 apresentaram as melhores condições de acabamento e velocidade. Já a D60 não seguiu o mesmo padrão esperado, fato atribuído a sua densidade e IFD abaixo dos valores nominais. Resultados satisfatórios foram obtidos com rotações de 18.000 e 24.000 RPM, porém, com a alta rotação as espumas de baixa densidade apresentaram uma tendência ao arrancamento de material, especialmente na entrada da ferramenta.

Para as espumas de alta densidade, o avanço de 2.000mm/min gerou ótimo acabamento (fig. 36).



Fig 36: Corte na espuma D45 com rotação de 18.000 RPM e avanços entre 1.600 e 3.200 mm/min.

O número de arestas da ferramenta influenciou principalmente o corte nas espumas de menor densidade (D20, D26 e D33), nas quais a ferramenta com duas arestas gerou cortes mais “limpos”, ou seja, com melhor acabamento. A ferramenta com mais arestas de corte permite que cada dente realize uma menor retirada de material por rotação, possibilitando a geração de cavacos menores, fato normalmente de interesse para usinagem de materiais duros. No entanto, para materiais flexíveis o cavaco contínuo implica em melhor acabamento, uma vez que a deformação gerada na entrada da ferramenta tende a deixar rebarbas (fig. 37). No caso das espumas flexíveis, a dureza pode ser associada ao seu valor de IFD, o que justifica o fato de as espumas de menor densidade serem melhor usinadas com menos arestas de corte. Para as espumas de maior densidade (em particular para D45 e D50) o acabamento, em alta rotação, apresentou-se similar tanto para a ferramenta de duas quanto para a de quatro arestas de corte e, assim, ambas foram consideradas adequadas (figura 38).



Fig 37: Corte na espuma D45 com rotação de 12.000 RPM e avanço de 2.800mm/min (70%).

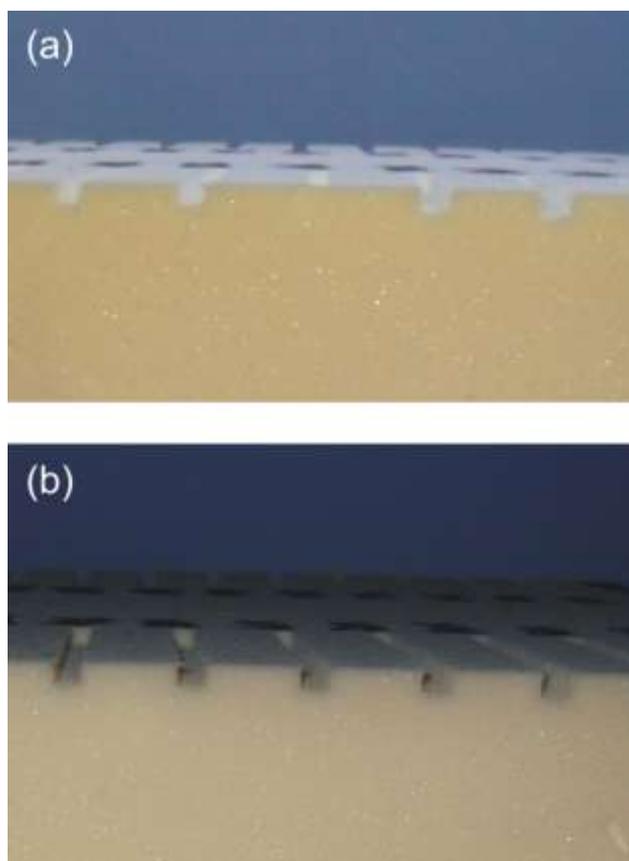


Fig. 38: Comparação dos cortes na espuma D45 a velocidade de 24.000 rpm e avanços entre 1.600 e 3.200 mm/min. (a) Ferramenta C com duas lâminas de corte, e (b) Ferramenta B com quatro lâminas de corte.

Espuma D20: A espuma D20 apresentou bastante dificuldade de ser cortada com bom acabamento, sendo os melhores resultados obtidos com avanços de 2.000 mm/min (50%) e rotações entre 12.000 e 18.000 RPM. As ferramentas com duas

lâminas de corte apresentaram melhores acabamentos, a ferramenta com quatro lâminas de corte destruiu a integridade da espuma com maior facilidade, como é observado na figura 39.



Fig. 39: Dificuldade de usinagem na espuma D20 a 1.800 RPM e 2.000, 2.400, 2.800, 3.200 e 3.600 mm/min (50% a 90%) com ferramenta com duas lâminas de corte.

Espuma D26: Apresentou resultado similar a D20, com dificuldade para ser cortada gerando bom acabamento. Inclusive com a ferramenta B à velocidade de 18.000 RPM e avanço de 4.000 mm/min (100%), a espuma ficou presa na ferramenta e foi arrancada da mesa, causando danos irreparáveis ao material, como é observado na figura 40.



Fig 40: Dano na espuma D26 quando usinada com parâmetros 18.000 rpm e 4.000 mm/min (100%).

Espuma D33: Mesmo ainda apresentando dificuldades na usinagem, a espuma de densidade 33 mostrou cortes mais “limpos” que as de menor densidade. Com as ferramentas com duas lâminas de corte, os parâmetros de rotação permanecem os mesmos, mas os avanços aumentam, indo de 2.000 a 3.200 mm/min (figura 41). Com a ferramenta de 4 cortes, começa a mostrar melhores cortes com velocidade de 18.000 RPM com melhores avanços a 2.000 mm/min.

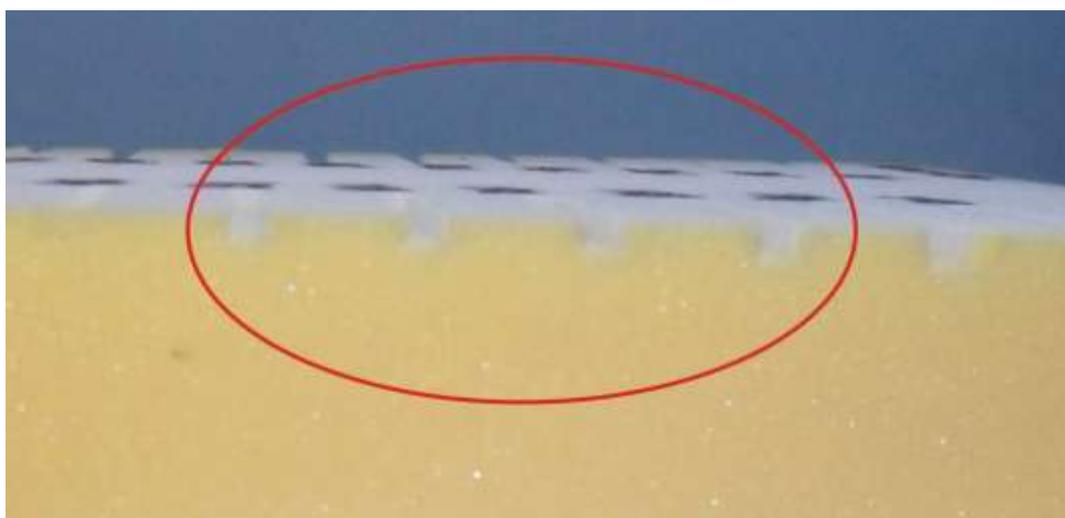


Fig 41: Espuma D33, com ferramenta com duas lâminas de corte a 12.000 RPM e avanços de 2.000, 2.400, 2.800 e 3.200 (50% a 80%).

Espuma D45: A espuma D45 apresentou as melhores condições de acabamento e velocidade. As três ferramentas mostraram-se adequadas para usinagem. Com as ferramentas de duas lâminas de corte, as melhores rotações foram de 18.000 RPM e 24.000 mm/min a avanços de 1.600 e 3.600 mm/min. A ferramenta de quatro lâminas de corte apresentou também bons resultados a 24.000 RPM e avanços de 1.200 a 2.800 mm/min (figura 42).

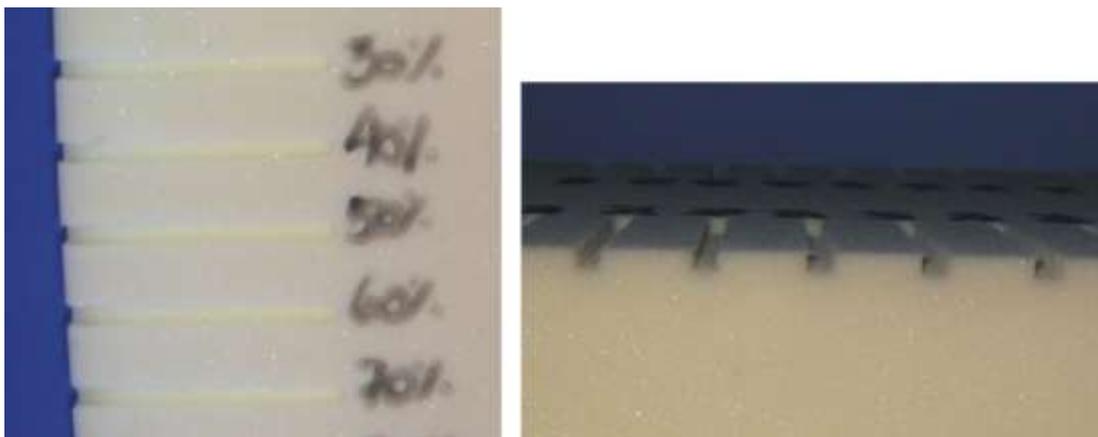


Fig. 42: D45 com ferramenta com quatro lâminas de corte a 24.000 RPM, de 1.200, 1.600, 2.000, 2.400 e 2.800 mm/min (de 30% a 70%).

Espuma D50: Assim como a espuma D45, a D50 maior facilidade de usinagem e cortes mais “limpos”, no entanto, apresentou cortes a maiores velocidades de avanço com todas as ferramentas e bom acabamento com a ferramenta com quatro laminas de corte a 24.000 RPM. Na figura 43, observa-se o corte com ferramenta A, a rotação de 24.000 RPM e avanços de 1.200 a 2.800 mm/min.



Fig. 43: Espuma D50 usinada com a ferramenta A, a 24.000 RPM, de 1.200, 1.600, 2.000, 2.400 e 2.800 mm/min (30% a 70%).

Espuma D60: A espuma D60 não seguiu o mesmo padrão esperado, em comparação à D45 e D50, fato atribuído a sua densidade e IFD fora dos valores nominais. A ferramenta com quatro laminas de corte não gerou cortes limpos, apenas as ferramentas com duas laminas e a parâmetros reduzidos. Na figura 44,

pode-se visualizar os cortes gerados com a ferramenta C a 18.000 RPM, de 1.600 a 3.200 mm/min.

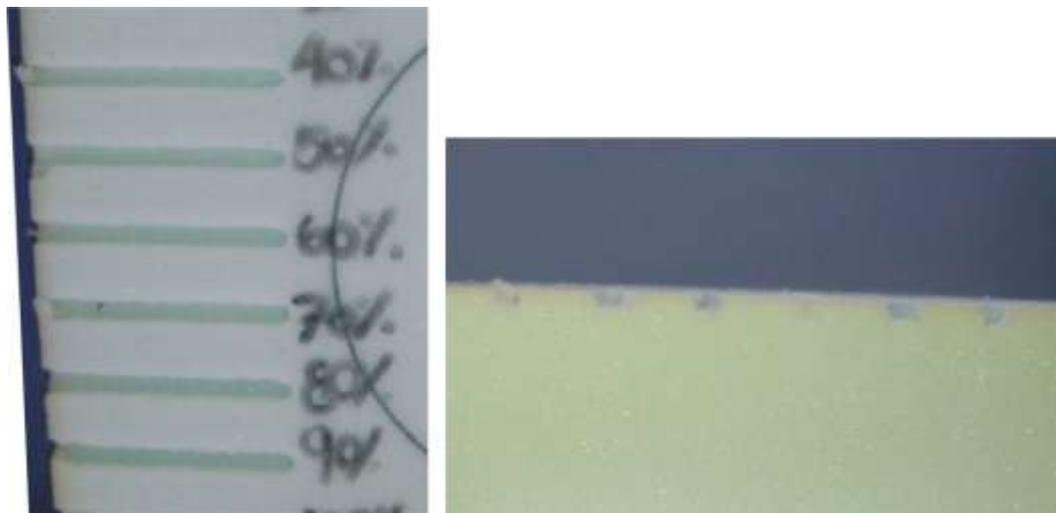


Fig. 44: Poucos cortes limpos na D60, com ferramenta B, 18.000 RPM, de 1.600, 2.000, 2.400, 2.800 e 3.200 mm/min (40% a 90%).

Os resultados foram então compilados em uma tabela simbólica, segundo os aspectos considerados pelo método aplicado de Shi, Lewis e Strenkowski (2004), onde o nível A é aplicado a cortes considerados excelentes, o nível B para cortes satisfatórios, o nível C caracteriza-se por corte insatisfatórios, e o nível D são os cortes inaceitáveis, que danificaram a integridade da espuma, e não são recomendáveis para uso. A classificação dos parâmetros de corte pode ser visualizada no quadro 01. Esta tabela pretende gerar dados de fácil visualização, que possam ser utilizados em outras pesquisas e na seleção dos melhores parâmetros para fabricação de produtos em espumas de PU flexível.

Quadro 01: Tabela representativa dos cortes gerados nas esoumas de PU com as diferentes ferramentas.

AVANÇO (%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
ESPUMA D20										
ESPUMA D26										
ESPUMA D33										
ESPUMA D45										
ESPUMA D50										
ESPUMA D60										

FERRAMENTA A

FERRAMENTA B

FERRAMENTA C

ROTAÇÃO (RPM):

- 6.000
- 12.000
- 18.000
- 24.000

FERRAMENTA A

FERRAMENTA B

FERRAMENTA C

Nível A

Nível B

Nível C

Nível D

4.2 ENSAIOS DE ACABAMENTO

Para o acabamento, também buscou-se uma superfície uniforme, o mais lisa possível, sem alterações e sem rebarbas. Analisando visualmente, todas as combinações dos parâmetros de avanço geraram uma superfície com os fatores desejados. Neste sentido, foi realizada a análise dimensional através da digitalização 3D para maior precisão e avaliação das superfícies obtidas.

4.2.1 Análise dimensional

A análise dimensional mostrou que ocorreu pouca deformação durante a usinagem. Na figura 45, pode-se ver que as áreas em amarelo e em azul variaram menos de 1mm. As espumas que foram usinadas com maiores velocidades de avanço, 2.400 e 4.000 mm/min, apresentaram maiores desvios dimensionais que as usinadas a 800 mm/min. Por se tratar de um material flexível, este se move quando a ferramenta o penetra, podendo causar as deformações observadas.

Na figura 46 pode-se visualizar o desvio padrão das deformações dimensionais causadas pelos parâmetros de desbaste, que mede a dispersão dos valores individuais em torno da média. Os parâmetros ensaiados mostraram pequeno grau de variação (entre 0,24 mm a 0,26 mm), o que se reflete em deformações pequenas. Neste sentido, os parâmetros que foram considerados pertinentes para serem ensaiados em peças foram as velocidades de avanço de 2.400 e 4.000 mm/min. O avanço a 800 mm/min mostrou-se inviável para peças maiores pelo tempo gasto durante as operações tanto de desbaste quanto de acabamento.

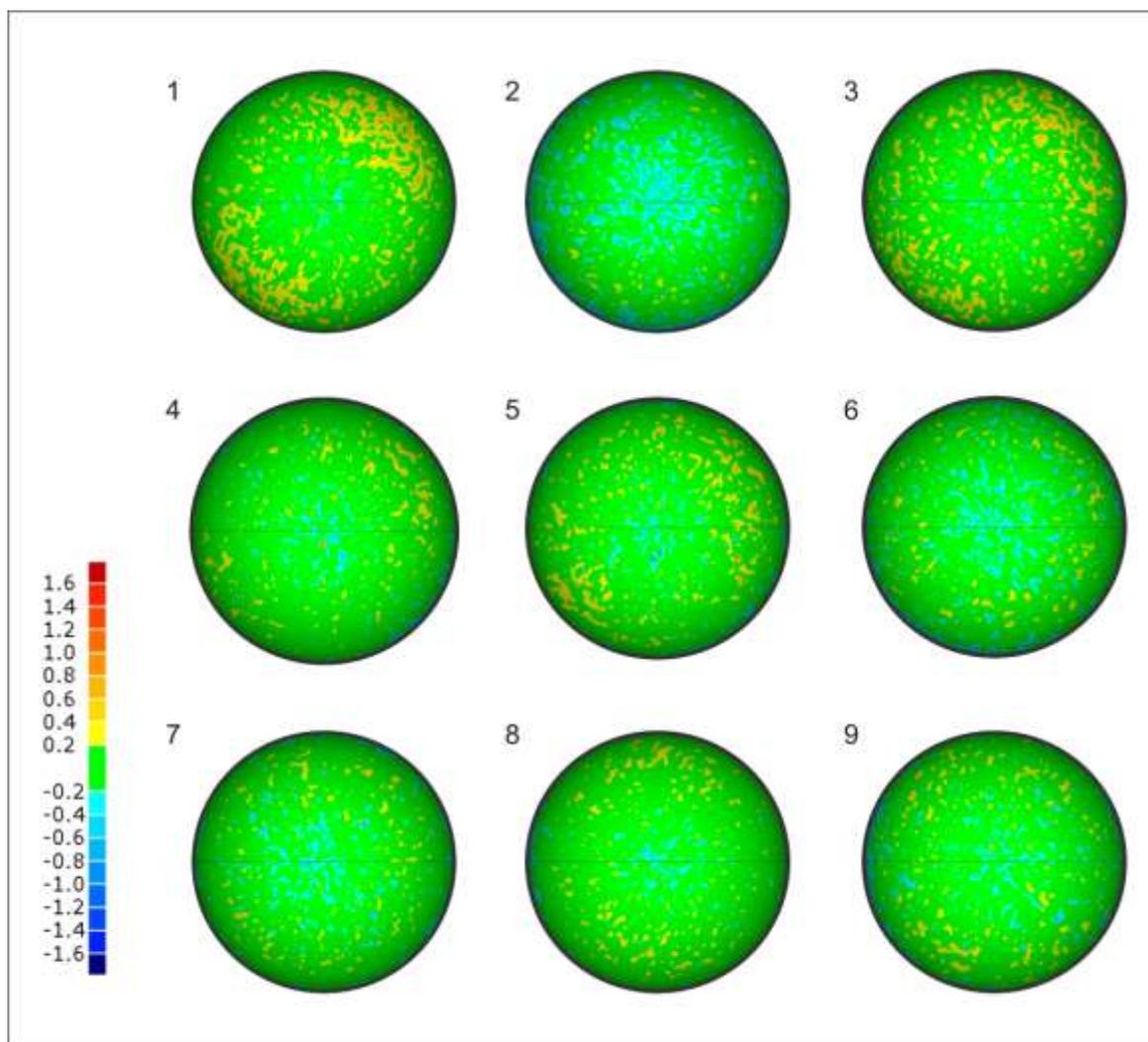


Fig. 45: Comparação dimensional das semiesferas usinadas.

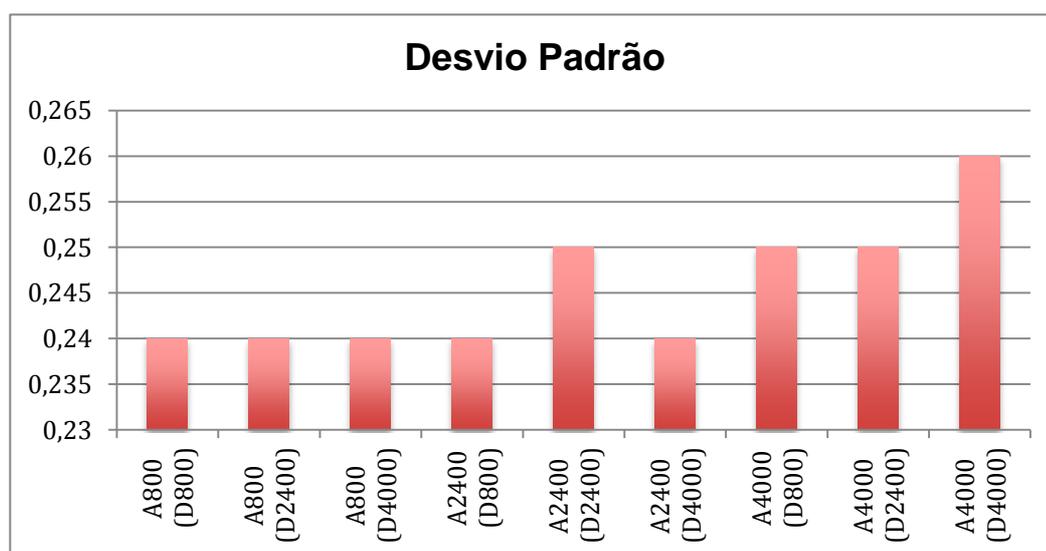


Fig. 46: Desvio Padrão em mm da deformação dimensional dos parâmetros de desbaste (D) e acabamento (A) dado pelos ensaios de acabamento.

4.3 VERIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS DE USINAGEM PARA UM ASSENTO.

O método de coleta de dados antropométricos não foi analisado no presente trabalho já que este foi visto pelo trabalho de Prestes (2011), onde chegou ao resultado que o molde de gesso permitia a obtenção da geometria do usuário com maior precisão que outros sistemas. Assim, apenas os fatores referentes a usinagem dos assentos personalizados foram averiguados. Uma das formas de avaliação para determinação do corte resultante é o cavaco gerado durante a operação de usinagem. Os cavacos gerados durante as operações de desbaste foram longos. Quando a 4.000 mm/min os cavacos formados foram em forma de fita longos (figura 47B). Contudo, por serem muito longos, de tempos em tempos, estes se enroscavam na ferramenta e eram expulsos sendo chicoteados para fora da peça. Este fator poderá vir a estragar uma peça, caso esta apresente paredes finas que possam ser arrancadas ou deformadas quando o cavaco é expulso da ferramenta. Mesmo se tratando de um material flexível, este fator também poderá contribuir para o dano de uma ferramenta. Quando a 2.400 mm/min os cavacos obtidos foram menores, mas acumularam na área de corte (Figura 47A), o que acredita-se ter prejudicado o acabamento, por vezes danificando partes da peça. Assim, aconselha-se que os cavacos sejam removidos manualmente para ambos os parâmetros, sendo ideal que este aspecto ocorresse de forma automatizada e não manual.

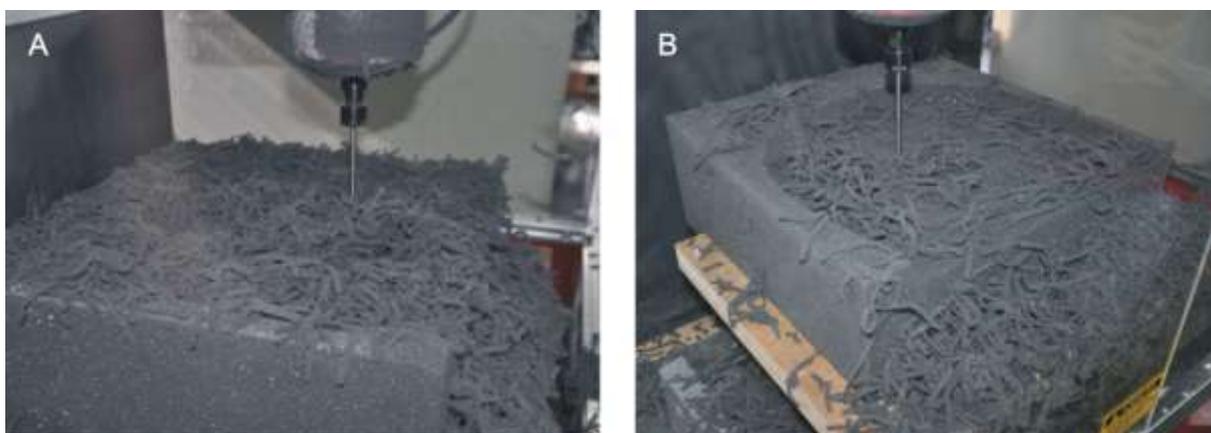


Fig. 47: (A) Cavaco gerado na operação de desbaste com avanço a 2.400 mm/min e (B) cavaco gerado na mesma operação a 4.000 mm/min.

Durante a operação de desbaste, a velocidade de avanço de 4.000 mm/min mostrou-se eficiente e não causou danos a espuma de PU. Por outro lado, a 2.400 mm/min ocorreu dano a peça, em uma das paredes do assento, como pode ser visualizado na figura 48A. Já o acabamento a avanço de 2.400 mm/min resultou em boa superfície com apenas um passe; a 4.000 mm/min leves degraus permaneceram na peça (figura 48B). Para que os de 4.000 mm/min gerassem o mesmo acabamento, foi necessário passar o mesmo programa na espuma duas vezes, baixando 2 mm. Para que esta mudança não implicasse em resultados conflitantes durante os outros testes, o acabamento de 2.400 mm/min usinado duas vezes na peça, baixando os mesmos 2 mm. No entanto, para obter maior precisão da geometria, a operação de desbaste poderá ser programada 2 mm acima, e a operação de acabamento com os 2 mm abaixo, evitando assim os degraus e a deformação da forma.

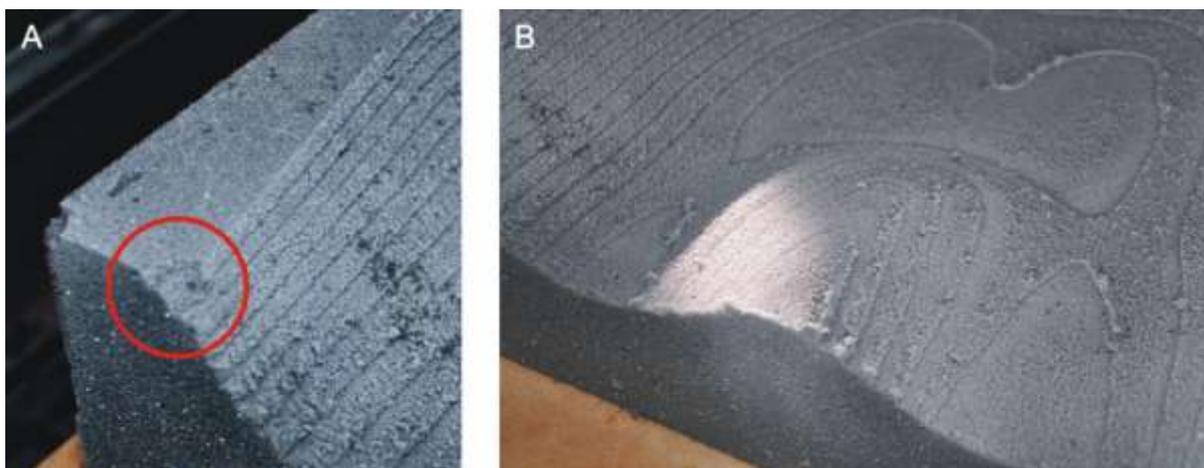


Fig. 48: Defeitos gerados na espuma 01. (A) Desbaste com avanço a 2.400 mm/min, imperfeições no material. (B) Acabamento com avanço a 4.000 mm/min, degraus na superfície.

Quando as peças maiores foram executadas, uma maior deformação foi encontrada no assento que teve desbaste a 2.400 mm/min e acabamento a 4.000 mm/min, em comparação aos assentos usinados com as outras combinações de parâmetros. A análise comparativa realizada no software Geomagic Qualify é mostrada na figura 49. As áreas com maiores deformações mostraram uma diferença dimensional menor que 2 mm ao serem comparadas ao modelo 3D do molde de gesso. O assento que teve maior deformação (desbaste a 2.400 mm/min e

acabamento a 4.000 mm/min), sofreu esta na sua porção central e ainda maior nas laterais. O assento produzido com desbaste a 4.000 mm/min e acabamento a 2.400 mm/min apresentou pequenas deformações nas paredes laterais, e o feito com desbaste a 4.000 mm/min e acabamento a 2.400 mm/min, alguma deformação na porção central. Ainda assim, estas deformações não foram significativas, inferiores a 2 mm.

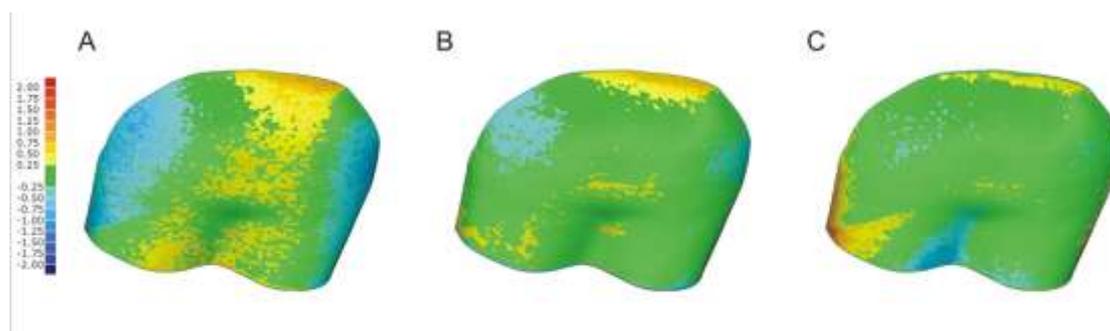


Fig. 49: Comparação dimensional assentos usinados com o modelo tridimensional do molde de gesso. (A) Desbaste 2.400mm/min e acabamento 4.000 mm/min, (B) Desbaste 4.000mm/min e acabamento 2.400 mm/min, (C) Desbaste 4.000mm/min e acabamento 4.000 mm/min.

O assento A usinado com desbaste a 2.400 mm/min e acabamento a 4.000 mm/min foi o que mostrou maior deformação e pior acabamento da superfície. Além disso, este demorou o maior tempo para ser cortado, demorando 2h 42min durante a operação de desbaste e 57min durante o acabamento. O assento B, com operação de desbaste com 4.000 mm/min de avanço despendeu 1h 34min para ser usinado e a operação de acabamento a 2.400 mm/min, 1h 28min. Assim, a combinação de velocidades de avanço considerada mais satisfatória, e utilizada nos testes de validação, foi a do assento C, de desbaste a 4.000 mm/min e acabamento a 2.400 mm/min, escolhida devido ao acabamento satisfatório e a menor deformação. Os tempos das operações em cada um dos assentos podem ser visualizados na tabela 12.

Tabela 12: Tempos de usinagem dos assentos A, B e C.

	Assento A	Assento B	Assento C
Desbaste	2h 42 min	1h 34min	1h 34min
Acabamento	57 min	1h 28min	57 min
Total	3h 39min	3h 2min	2h 31 min

4.3.1 Análise da distribuição de pressão

O teste de distribuição de pressão mostrou que as pequenas deformações nos assentos não se mostraram significantes para alterar a distribuição de do peso do usuário. O assento padronizado da cadeira de rodas, também testado, acumulou a pressão nos ossos isquiáticos do usuário (figura 50 A), enquanto os assentos personalizados mostraram

Os assentos personalizados ao serem comparados com o assento padrão da cadeira de rodas distribuíram melhor a pressão resultados similares de distribuição de pressão, com o peso igualmente propagado na superfície do assento, como pode ser comparado na figura 50 B, C e D. Foi considerado que estes assentos beneficiariam o posicionamento do usuário, o que provavelmente diminuirá a probabilidade de aparecimento de úlceras de pressão. Neste sentido, considerando apenas a distribuição de pressão, todos os parâmetros de usinagem se mostraram adequados para obtenção de objetos com este objetivo.

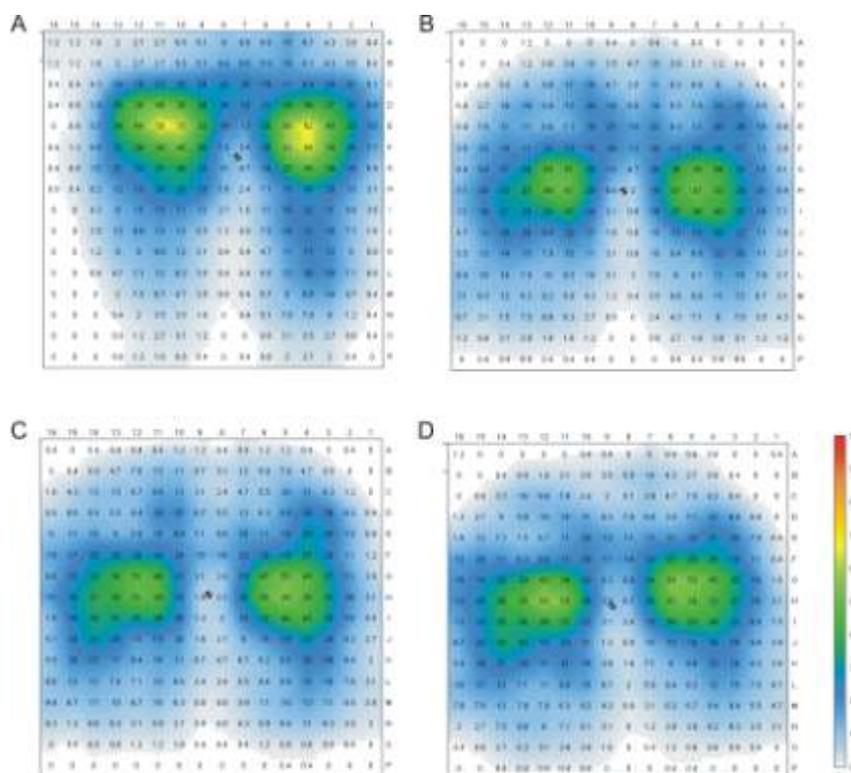


Fig 50: Distribuição de pressões. (A) Assento padronizado, (B) Assento com desbaste 2.400 mm/min e acabamento a 4.000 mm/min, (C) Assento com desbaste a 4.000 mm/min e acabamento a 2.400 mm/min, (D) Assento com desbaste a 4.000 mm/min e acabamento a 4.000 mm/min.

4.3.2 Análise da distribuição de temperatura.

A análise termográfica realizada demonstrou que a temperatura nos assentos personalizados foi melhor distribuída, não tendo pontos onde menor ou maior temperatura são acumulados mostrando resultados similares aos três. Já o assento padronizado da cadeira de rodas mostrou áreas com picos de temperatura. Na figura 51, pode-se observar a distribuição do calor através de cores e o gráfico de temperatura. Os gráficos apresentam a temperatura em graus Celsius no eixo vertical (de cima para baixo) e a extensão das linhas L01 e L02 traçadas nos assentos. De acordo com as linhas LO1 e LO2 da Figura 51A, podem-se verificar grandes diferenças térmicas entre os lados do assento, onde a linha LO1 corresponde à cor vermelha e linha LO2, à azul. Já no assento personalizado, a distribuição de pressão mostrou-se semelhante entre os dois lados do assento, como pode ser observado no gráfico da figura 51B.

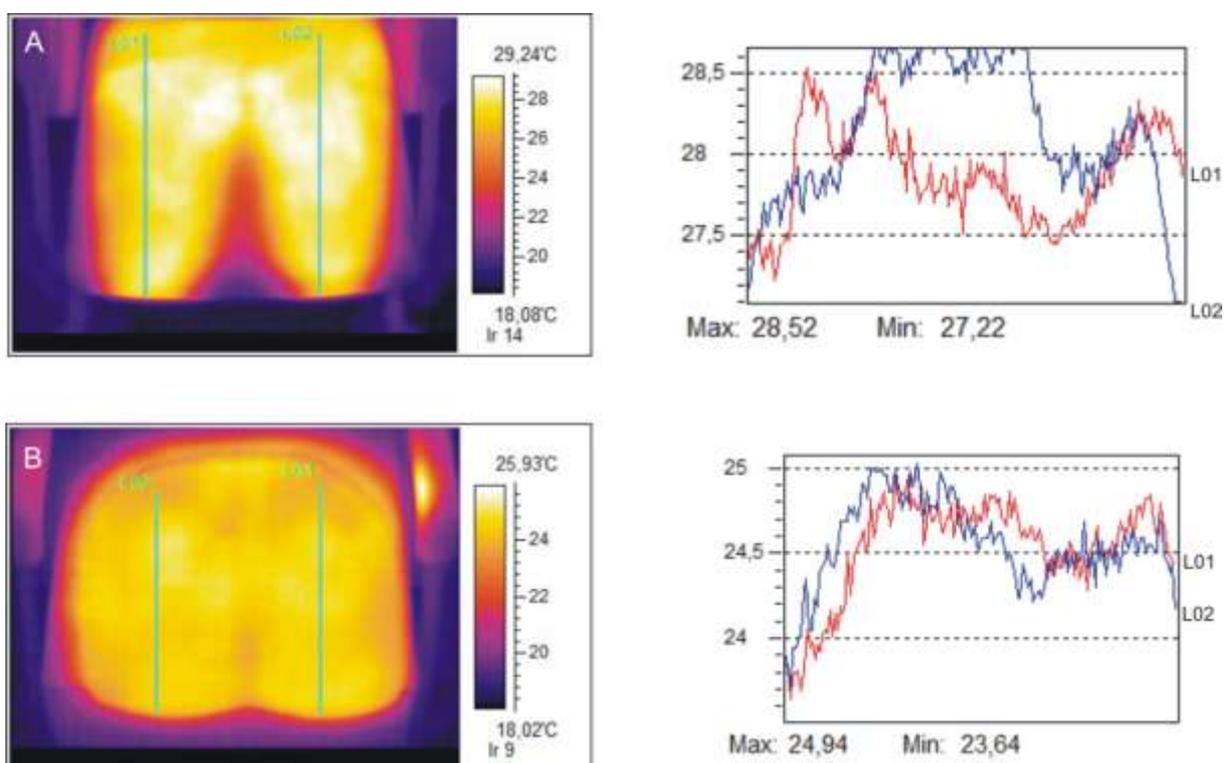


Fig. 51: Análise termográfica. (A) Assento padronizado e (B) assento personalizado usinado a velocidade de avanço de 4.000 mm/min para desbaste e 2.400 mm/min para acabamento.

Este teste demonstrou que o assento personalizado aumenta a área de contato entre a superfície da espuma e o usuário, enquanto o assento padronizado possui áreas em que o contato é concentrado, gerando mais calor, e áreas com pouco contato.

4.4 VALIDAÇÃO

Durante a validação, algumas dificuldades foram identificadas no que tange a usinagem do assento em quatro partes. Mesmo com a adaptação na plataforma do equipamento, as regiões onde os quadrantes se encontraram geraram pequenas diferenças de aproximadamente 1 mm entre as partes. Estes pequenos degraus foram lixados para que a superfície se tornasse lisa. Além disso, com a usinagem em quatro partes, aumenta-se o tempo de produção da peça, pois é necessário fazer paradas no processo para girar a peça e prendê-la mais uma vez na plataforma. A operação realizada em quatro partes demorou por volta de 2h e 47min durante a usinagem de cada parte (parte 1: 49min, parte 2: 35min, parte 3: 36min, parte 4: 47min), além do tempo para efetuar o reposicionamento da espuma, que no total, somou 20 min. Enquanto se fosse realizada em apenas uma etapa, ocorreria a diminuição destes 20 min, o que para apenas uma peça não é significativo, mas ocasionaria atrasos quando mais de um assento deverá ser produzido. Na figura 52 pode-se ver a peça sendo executada durante o corte das quatro partes do assento.



Fig. 52: Assento sendo usinado em quatro partes (usinagem do terceiro quadrante).

Outro problema identificado foi que, em primeiro momento, um o canto da espuma que ficava encostado no esquadro não estava preso, e apenas este atrito e as outras contenções não foram o suficiente, já que em uma operação de acabamento a ferramenta levantou a peça causando danos a espuma. Assim, na segunda usinagem, este canto foi ancorado, e o problema não se repetiu. No geral, o acabamento da espuma se mostrou satisfatório com os parâmetros utilizados, gerando uma superfície lisa e sem danos como rebarbas a peça. Na figura 53A, pode-se observar o assento após a operação de desbaste, e na figura 53B, depois da operação de acabamento que gerou o assento final.

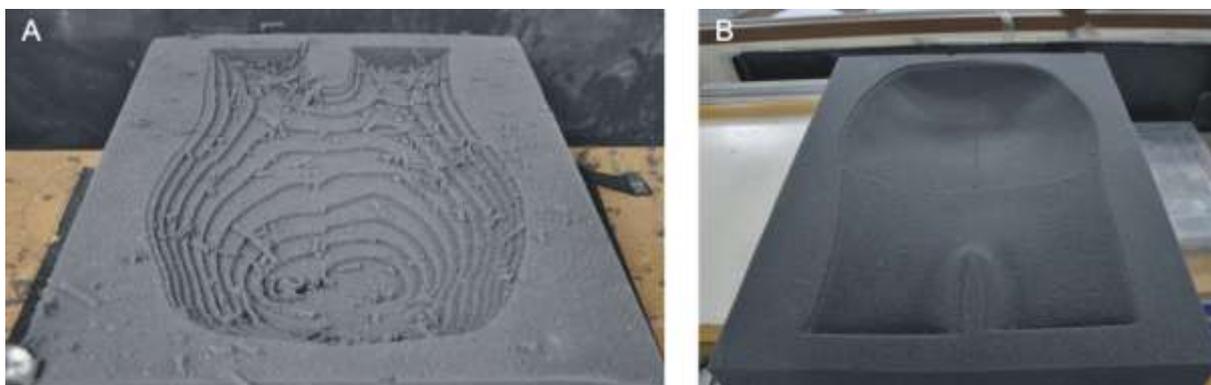


Fig. 53: (A) Assento depois da operação de desbaste e (B) assento com acabamento.

Durante a obtenção do molde e na execução dos testes do assento, o usuário foi questionado sobre sua opinião perante o conforto gerado pelo assento, e qual a posição ele considerava mais confortável; se com o encosto reclinado ou com angulação mais próxima a 90°. Sua impressão foi que a ângulos maiores ele possuía maior estabilidade e conforto. Seu fisioterapeuta não colocou nenhuma objeção quanto a este fato, assim, seu molde foi obtido de tal forma que fosse ao encontro aos requisitos do próprio usuário. Quando nos testes do assento personalizado, o usuário disse que estava se sentindo mais confortável e “seguro” naquele assento. Mesmo não possuindo sensibilidade na região em contato com o assento, sua percepção o indicou que o assento personalizado lhe provinha uma estabilidade e posicionamento superior ao assento padronizado que já utilizava.

4.4.1 Análise da distribuição de pressão

A análise de pressão comprovou os resultados obtidos previamente, onde o assento personalizado distribuiu melhor o peso do usuário na superfície. É possível observar na figura 54 os picos de pressão gerados pelo assento padronizado e que o peso concentra-se em uma área específica do assento. Já o assento personalizado não gerou estes picos, e o usuário teve melhor posicionamento e distribuição de seu peso. Ainda assim, algumas áreas possuíam picos mais elevados devido a deficiência do usuário ser estruturada e seu peso estar concentrado do lado direito do corpo. Os pequenos desvios causados pela usinagem ter sido executada em quatro partes não exerceram influência negativa na distribuição de pressão, não ocorrendo diferenças de pressão nestas áreas.

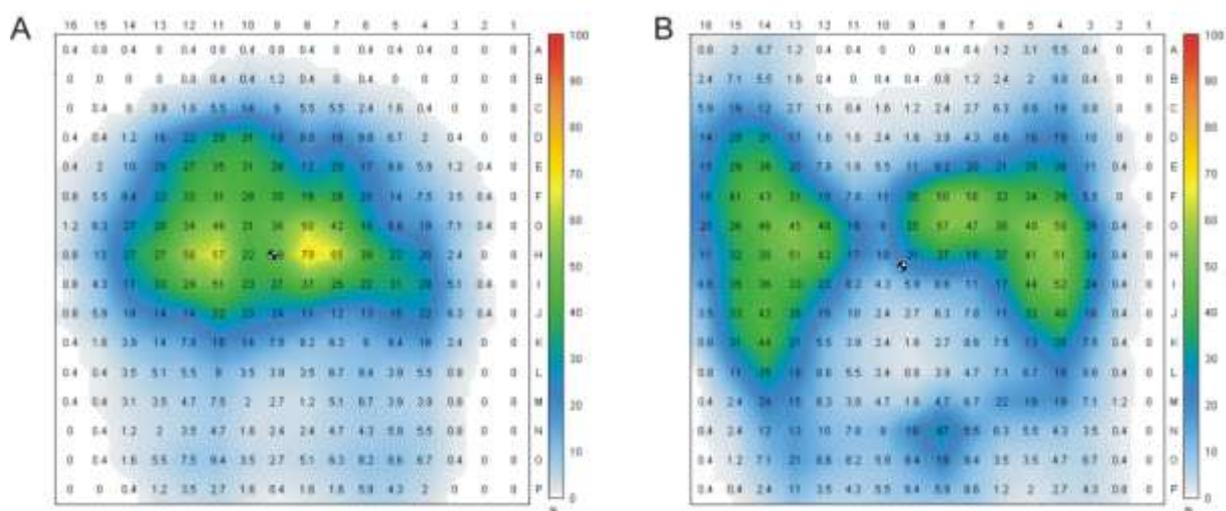


Fig. 54: Análise da distribuição de pressão no assento padronizado e no assento personalizado.

4.4.2 Análise da distribuição de temperatura.

As termografias para comparação dos lados dos assentos foram geradas (figura 55), onde a linha LO1 corresponde à cor vermelha e linha LO2, à azul, e estas são representadas de cima para baixo nos gráficos. O assento padronizado mostrou diferenças de 2 °C entre a parte da frente e de trás do assento, enquanto o assento personalizado teve diferenças de 1 °C. Neste sentido, a análise termográfica desconcordou com os estudos prévios, mostrando uma a maior variação de

temperatura no assento personalizado; e também vão de encontro dos resultados relatados na dissertação de Prestes (2011), onde o assento padronizado que mostrou maiores diferenças térmicas.

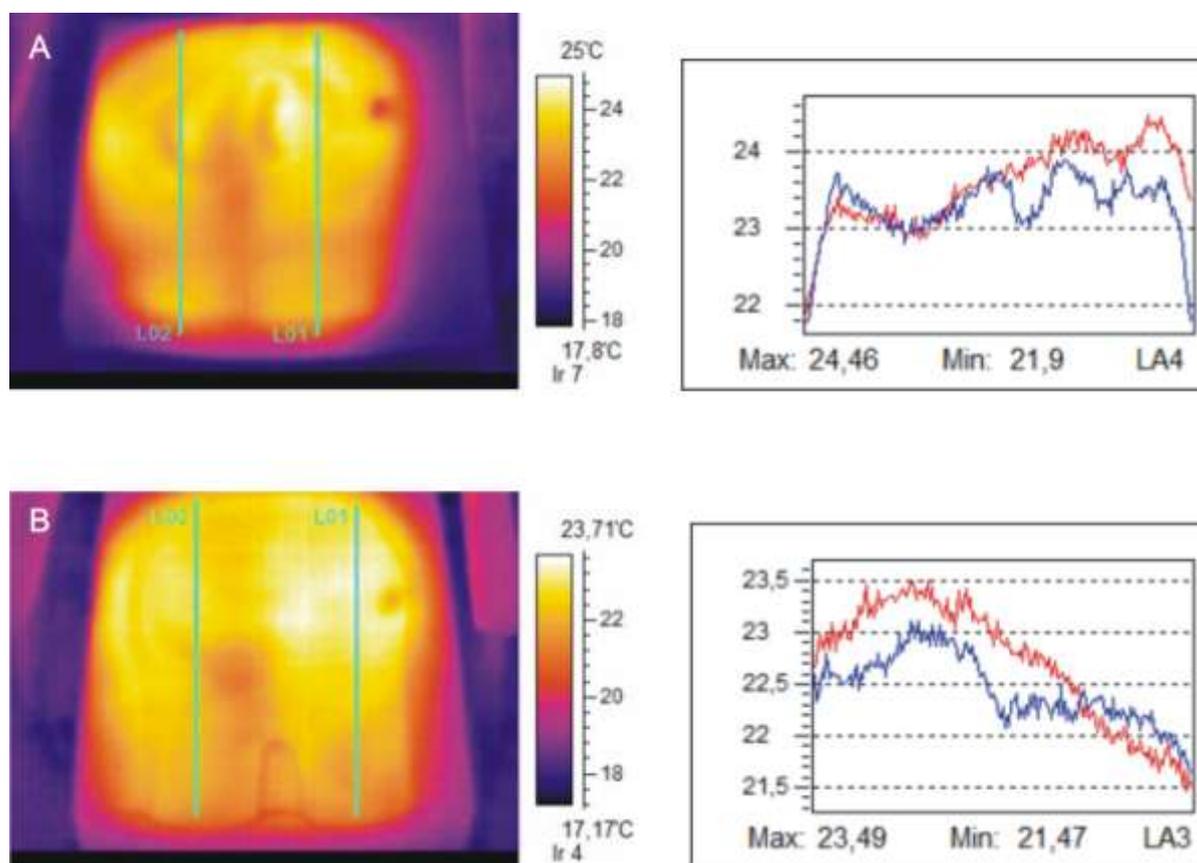


Fig. 55: Análise da distribuição de pressão. (A) Assento padronizado e (B) assento personalizado.

No assento personalizado, a temperatura acumulou-se na parte posterior do assento, como mostrado na figura 55 A. Este fato é atribuído a escolha do usuário de manter a cadeira reclinada para gerar maior conforto, assim percebido por ele. Além disso, como o usuário tende a manter seu peso no lado esquerdo do corpo, algumas áreas apresentaram mudanças de temperatura nesta área. Como para este usuário em particular, o foco principal do assento foi melhorar a distribuição de pressão, tendo em vista que o usuário já tinha desenvolvido úlceras, o assento mostrou-se adequado para ele. No entanto, maiores estudos poderão ser realizados sobre as propriedades do material para melhoria térmica.

5 CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento de produtos customizados localizados na última categoria da personalização em massa, é possível prover equipamentos e serviços que unem a tecnologia de fabricação adequada com as necessidades específicas de um público que não pode ser satisfeito apenas com produtos massificados. Esta pesquisa desenvolveu rotas que pudessem facilitar a produção do produto “assento personalizando”, também, contribuindo para que seja um impulsionador de outras pesquisas na área de Tecnologia Assistiva, beneficiando, assim, as pessoas com deficiência.

As superfícies de suporte hoje disponíveis no mercado promovem o fornecimento do conforto ao usuário, no entanto, tendem a não satisfazer dois fatores importantes deste conceito, por muitos deles apresentarem superfícies que ou proveem apenas a distribuição de pressão, no caso de assentos de gel, ou apenas proveem o posicionamento, no caso das espumas anatômicas. Além disso, para gerar melhor posicionamento, muitos dos cadeirantes fazem uso de contenedores laterais de tronco, o que pode criar pontos de pressão específicos nessas áreas. Por estas razões o assento personalizado, produzido com espuma em densidade adequada, mais uma vez se torna importante. Este equipamento mostrou, através das análises realizadas, melhorar o posicionamento e diminuir os pontos de pressão, além do aumento do conforto.

O produto específico teve como objetivo prover uma melhor área de contato o corpo do usuário e a superfície do assento, influenciando assim na estabilidade que se reflete no conforto percebido pelo usuário. A pesquisa efetuada mostrou que o termo “conforto” ainda não pode ser facilmente conceituado, por depender de fatores como a percepção do usuário. Para pessoas com deficiência este fator se torna ainda mais difícil de ser avaliado, pois muitas delas não possuem sensibilidade e também algumas possuem restrições na fala e comunicação, não podendo verbalizar suas necessidades. Assim, tornou-se necessário o uso de ferramentas que puderam avaliar de forma quantitativa fatores que o usuário não poderia mensurar, como a distribuição do peso e a geração de calor gerada pelo usuário. Estas ferramentas geraram já que geram dados que puderam ser avaliados

além de serem indicativos para, se necessário, fazer alterações no produto para atingir o objetivo.

Outro ponto importante para prover adequação postural foi identificar uma densidade de espuma que sustentasse o corpo, mas tivesse uma deformação para de adequar a pequenas mudanças de posição. As espumas com baixa densidade, 20, 26 e 30 kg/cm³, mostraram-se inadequadas por terem uma deformação muito grande e não iriam promover o posicionamento necessário. As espumas com densidade de 45 e 50 kg/cm³ possuem comportamentos muito similares, sendo ambas consideradas adequadas para proverem o posicionamento desejado. Esta conclusão veio ao encontro com a sugestão de uso da nota técnica 060/2001, que aconselha o uso da densidade 50 kg/cm³ para assentos. No entanto, a recomendação da densidade adequada dependerá do peso de cada usuário, e este trabalho não avaliou este fator. Neste sentido, torna-se necessário um estudo mais específico neste ponto para maiores afirmações.

Quanto a produção dos assentos, os ensaios realizados de usinagem quanto a operações de desbaste e acabamento mostraram que é possível efetuar o corte das espumas de PU com equipamentos e ferramentas convencionais diretamente no material flexível. Os parâmetros aconselhados para a espuma de densidade 50 kg/cm³ que geraram a melhor superfície foram de 4.000 mm/min de avanço para as operações de desbaste e 2.400 mm/min de avanço para as operações de acabamento, ambos com rotações a 24.000 RPM. Com estes parâmetros já estabelecidos, a rapidez de entrega será maior já que a definição destes agiliza a produção, não precisando ser testados para cada peça, diminuindo o tempo de planejamento desta operação.

Por se tratar de um material flexível, foi prevista a possibilidade da espuma se deformar durante a operação de usinagem, fato identificado para espumas de menores densidades (20, 26 e 30 kg/cm³). Estas espumas mostram uma deformação perceptível a olho nu. No entanto, a espuma de 50 kg/cm³, mais explorada, não apresentou dimensão alterada. A deformação das espumas desta densidade foi mínima com os parâmetros selecionados, tornando o uso de qualquer uma das três combinações estudadas apropriadas quanto a este fator. Contudo, ao levar em consideração o acabamento e o tempo de usinagem, os parâmetros acima mencionados (desbaste a avanço de 4.000 mm/min) são os mais apropriados.

Desta forma, na fabricação do assento de teste, os parâmetros estudados foram validados com eficiência, gerando uma peça com superfície lisa e sem rebarbas ou danos. O maior problema encontrado foi a usinagem ter sido feita em quatro partes, já que o curso da máquina que estava disponível para a produção deste era menor que a área que deveria ser cortada. Assim, antes da aquisição do equipamento de usinagem CNC, é necessário efetuar uma pesquisa sobre tamanhos de assentos para cadeiras de rodas que possam satisfazer usuários maiores, sendo a peça executada em apenas uma etapa de produção, diminuindo o tempo e a imprecisão do corte. O assento personalizado satisfaz os fatores de estabilidade percebida pelo usuário e distribuição de pressão, mas não atingiu uma melhor distribuição de calor devido a posição preferida pelo usuário. No entanto, se este permanecer na posição ideal, sobre os ísquios, o calor se distribuiria melhor. Neste caso, a temperatura não foi considerada o fator de maior importância pelo fisioterapeuta, preferindo dar mais enfoque ao conforto que o usuário requereu. Portanto, é importante trabalhar em uma equipe multidisciplinar; em conjunto com o profissional da saúde que acompanha o usuário, assim como escutar a opinião deste paciente, e gerar um assento que vá ao encontro aos seus requisitos pessoais.

Assim, foi possível definir rotinas para a desenvolvimento e manufatura de assentos personalizados para cadeiras de rodas fazendo uso da usinagem CNC convencional com o uso espumas de PU, gerando uma superfície com mínima distorção dimensional e bom acabamento. Estes fatores fazem com que o objetivo do assento personalizado, que é aumentar a área de contato, seja atingido. Além disso, o trabalho contribui com a rota tecnológica para a obtenção de assentos personalizados, definindo os parâmetros de usinagem para a produção destas peças. Com estudos deste tipo, mostra-se que é possível levar produtos customizados que satisfazem necessidades específicas de uma pessoa com deficiência, provendo um produto com bom acabamento.

Ao comparar os assentos personalizados com os convencionais, tanto nos testes de distribuição de pressão e de temperatura, os assentos com o contorno do usuário se mostraram mais eficientes. O usuário também se mostrou satisfeito com o assento gerado. Para avaliar a satisfação do usuário, maiores estudos terão de ser feitos na área de percepção do conforto por pessoas com deficiência para

melhor abordar e obter resultados mais precisos do que os obtidos até então. Assim, para o presente trabalho, ferramentas que poderiam medir fatores que fazem parte do conforto foram testados e chegou-se a conclusão que, segundo estes fatores, o assento personalizado aumenta o posicionamento e conforto do usuário. O estudo de validação foi executado apenas com um usuário, no entanto, para estudar melhor os benefícios dos assentos e as rotas tecnológicas para obtenção destes, a pesquisa continuará sendo aplicada no projeto do MEC “Tecnologias para adequação postural visando a inclusão social de pessoas com deficiência” realizado dentro do LdSM – Laboratório de Design e Seleção de Materiais. Neste, outros assentos estão sendo produzidos com estes parâmetros e realizados com outros usuários com diferentes tipos de deficiências físicas para que, posteriormente, possa se avaliar cada caso, indo ao encontro dos preceitos da personalização em massa.

Com a presente pesquisa, foram identificados alguns fatores que poderiam ser melhor explorados em outras dissertações e teses, no âmbito de aprofundar o que foi aqui explorado e discutido, além de acrescentar para que a área de TA ganhe mais atenção em estudos acadêmicos. Fatores para serem explorados em outras pesquisas são:

1. A questão do conforto para as pessoas com deficiências que possuem pouca ou nenhuma sensibilidade, e aqueles que possuem restrições na comunicação. Deverão ser explorados aspectos de como medir este conforto e obter dados que possam ser transpostos e aplicados em projetos.
2. O tema “conforto” pode abranger a relação emocional que o usuário com deficiência possui com os produtos que vem ao seu auxílio e como isto afeta sua percepção dos mesmos.
3. Pode ser explorado qual a melhor densidade de espuma de PU flexível para diferentes usuários, considerando seu peso e sua deficiência.
4. Almofadas personalizadas com densidades diferentes de espumas em partes que necessitam de maior ou menor sustentação podem ser estudadas.
5. No que tange a área das engenharias, seria interessante estudar materiais ou alterações nos materiais já disponíveis que pudessem melhorar a propagação e dissipação do calor nos assentos e encostos. Uma intervenção que pode ser feita é a inserção de microcápsulas de PCM's (*Phase Change Materials*; Materiais de

Mudança de Fase) nas espumas de PU. Estes materiais melhoram as trocas de calor entre o meio e o material, podendo melhorar o conforto térmico do usuário. Além de estudar a impregnação da espuma com estes materiais, será necessária uma investigação com os usuários para verificação da eficiência desta alteração no material.

6. Eliminar os cavacos formados durante a operação de desbaste, que permanecem na área de corte, enrocando-se na ferramenta e podendo prejudicar a o peça final.

REFERÊNCIAS

- AISSAOUI, R.; BOUCHER, C.; BOURBONNAIS, D.; LACOSTE, M.; DANSEREAU, J.. Dynamic stability in sitting. *Arch Phys Med Rehabil* Vol 82, February 2001.
- ALAUDDIN, M.; CHOUDHURY, I.A.; EL BARADIE, M.A.; HASHMI, M.S.J. Plastics and their machining: a review. *Journal of Materials Processing Technology* 54 (1995) 40-46.
- AMSTERDAN, P. Custom equipment: why does it take so long? *The Case Manager* 11 (2) (2000), 44-45.
- APATSIDIS, D. P.; SOLOMONIDIS, Stephan E.; MICHAEL, Shona M. Pressure Distribution In Custom-Molded Wheelchair Seats. *Arch Phys Med Rehabil* Vol 83, August 2002.
- ASTIN, M.; LAWTON, D.; HIRST, M. The prevalence of pain in a disabled population. *Soc. Sci. Med.* Vol. 42, No. 11, pp. 1457-1464, 1996.
- ATKINS, A.G.; Xu, XIANZHONG. Slicing of soft flexible solids with industrial applications. *International Journal of Mechanical Sciences* 47 (2005) 479–492.
- ATKINS, T. Optimum blade configurations for the cutting of soft solids. *Engineering Fracture Mechanics* 73 (2006) 2523–2531.
- BATISTA, Vilson João; KINDLEIN JÚNIOR, Wilson; MORAES, Helton Scheer de; BERCH, Rita de Cássia Recziegel. Fabricação de assentos personalizados via modelagem em gesso, digitalização 3D e usinagem CNC. Publicado nos *Anais do V Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação*. Minas Gerais, de 14 a 17 de abril de 2009.
- BERTOL, L. S. ; SILVA, F. P. ; ROCKENBACH, M. ; ROLDO, L. ; KINDLEIN JUNIOR, Wilson . Digitalização tridimensional a laser como ferramenta para a avaliação de biomodelos fabricados por usinagem CNC e prototipagem rápida. In: 4º Workshop Design & Materiais: Seleção de Materiais e Processos de Fabricação, 2009, Ouro Preto. 4º Workshop Design & Materiais: Seleção de Materiais e Processos de Fabricação. Barbacena : EDUEMG, 2009. v. 1.

_____.; KINDLEIN JÚNIOR, W.; SILVA, F. P. da; AUMUND-KOPP, C. Medical design: Direct metal laser sintering of Ti-6Al-4V. *Materials and Design* 31 (2010) 3982–3988.

BERSCH, Rita. *Introdução à Tecnologia Assistiva*. CEDI - Centro Especializado em Desenvolvimento Infantil: Porto Alegre, 2008.

BINDER, William J. Custom-Designed Facial Implants. *Facial Plast Surg Clin N Am* 16 (2008) 133–146.

BINDER, WJ; KAYE, A. Three-dimensional computer modeling. Use in creating custom-designed implants for treating aesthetic and acquired facial contour deformities. *Facial Plast Surg Clin North Am* 2 (3) (1994) 357–71.

BISHU, R.R., HALLBECK, M.S., RILEY, M.W., STENTZ, T.L. Seating comfort and its relationship to spinal profile: a pilot study. *Int. J. Industrial Ergonomics* 8 (1991) 89–101.

BRANTON, P. Behavior, body mechanics and discomfort. *Ergonomics*, v.12, n.2, p.316-327, 1969.

BRIENZA, D. M.; BRUBAKER, C. E.; MCLAURIN, C. A.; CHUNG, K.-C. A manufacturing system for contoured fo cushions. *Journal of Rehabilitation Research and Development* Vol. 29 No. 4 1992.

BRIENZA, D.M.; CHUNG, K.C.; BRUBAKER, C.E.; WANG, J.; KARG, T.E.; LIN, C.T. A system for the analysis of seat support surfaces shape control and simultaneous measurement of applied pressures. *IEEE Transact Rehabil Engin* 4 103-13, 1996.

BRINKS, K.; PALEG, G. Sensory Input Processing in Dynamic Seating. *26th International Seating Symposium March 11 – 13, 2010*.

BROUGHTON, G.; DILABIO, M.; COOPER, D. Custom contoured seating - The next step. In: *17th International Seating Symposium*, Orlando, USA, 2001.

BUDAK, I.; HODOLIC, J.; SOKOVIC, M. Development of a programme system for data-point pre-processing in Reverse Engineering. *Journal of Materials Processing Technology* 162–163 (2005) 730–735.

BUS, Sicco A.; ULBRECHT, Jan S.; CAVANAGH; Peter R. Pressure relief and load redistribution by custom-made insoles in diabetic patients with neuropathy and foot deformity. *Clinical Biomechanics* 19 (2004) 629–638.

CARCONE, Steven M.; KEIR, Peter J. Effects of backrest design on biomechanics and comfort during seated work. *Applied Ergonomics* 38 (2007) 755–764.

CARLSON, J. M.; PAYETTE, M. J.; VERVENA, L. P. Seating orthosis design for prevention of decubitus ulcers. *Journal of Prosthetics & Orthotics*, v. 7, n. 2, p. 51-60, 1995.

CARTAS, O., NORDIN, M., FRANKEL, V., MALGADY, R., HEIKHZADEH, A. Quantification of trunk muscle performance in standing, semistanding and sitting postures in healthy men. *Spine* 18 (1993) 603–609.

CHESTER, Mandy R.; RYS, Malgorzata J.; KONZ, Stephan A. Leg swelling, comfort and fatigue when sitting, standing, and sit/standing. *International Journal of Industrial Ergonomics* 29 (2002) 289–296.

CHOW, W. Mechanical properties of gels and other materials with respect to their use in pads transmitting forces to the human body (*Dissertação*). Ann Arbor (MI): Univ. of Michigan, 1974.

COLOMBO, Giorgio; FILIPPI, Stefano; RIZZI, Caterina; ROTINI; Federico. A new design paradigm for the development of custom-fit soft sockets for lower limb prostheses. *Computers in Industry* 61 (2010) 513–523.

COOK, A.M. & HUSSEY S.M. Seating and positioning systems as extrinsic enablers for assistive technologies. *Assistive Technology: Principles and Practice*. Mosby, (1995) 235-310.

COOPER, R.A. *Wheelchair Selection and Configuration*. Demos Medical Publishing Inc., New York: 1998.

DA SILVEIRA, G., BORENSTEIN, D., & FOGLIATTO, F. Mass customization: Literature review and research directions. *International Journal of Production Economics*, 72(1), 1 –13, 2001.

DAVIS, S. From future perfect: Mass customizing. *Planning Review* 17 (2) (1989) 16-21.

DE LOOZE, M.P., KUIJT-EVERS, L.F., VAN DIEEN, J. Sitting comfort and discomfort and the relationships with objective measures. *Ergonomics* 46 (2003) 985–997.

DHOKIA, V. G.; KUMAR, S.; VICHARE, P.; NEWMAN, S.T. An intelligent approach for the prediction of surface roughness in ball-end machining of polypropylene. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 24 (2008) 835–842.

DIGIOVINE, M. M.; COOPER, R. A.; BONINGER, M. L.; LAWRENCE, B. M.; VANSICKLE, D. P.; RENTSCHLER, A. J. User Assessment of Manual Wheelchair Ride Comfort and Ergonomics. *Arch Phys Med Rehabil* Vol 81, April 2000.

DRUMMOND, D.S., NARECHANIA, R.G., ROSENTHAK A.N., BREED. A.L., LANGE, T.A., DRUMMOND, D.K. A study of pressure distributions measured during balanced and unbalanced sitting. *Journal of bone and joint surgery* 64 (1982) 1034-1039.

DRURY, C.G., COURY, B.J. A methodology for chair evaluation. *Ergonomics* 13 (1982) 195–202.

DURAN A, NALBANT M. Finite element analysis of bending occurring while cutting with high speed steel lathe cutting tools. *Mater Des* 26 (6) (2005) 549–54.

DURAY, R. Approaches to mass customization: configurations and empirical validation. *Journal of Operations Management*. Amsterdam, 18 (6) (2000) 605-625.

R, ELLEUCH K, SALAH B, ZAHOUANI H. Tribological behavior of thermoplastic polyurethane elastomers. *Mater Des* 28 (3) (2007) 824–30.

ENGSTRÖM, Bengt. *Ergonomic Seating: A true challenge – When using wheelchairs*. Posturalis Books. Suécia, 1993.

FALLER, Roberto da Rosa; SILVA, Fábio Pinto da; KINDLEIN JR, Wilson. A Utilização da Usinagem em Altíssimas Velocidades com Quatro Eixos no Design de Produto. *Anais do P&D Design*. Curitiba, 2006.

FERRARESI, Dino. *Fundamentos da Usinagem dos Metais*. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.

FREELAND, P. Chair experts tell back pain sufferers to get off their butts. *Business First of Columbus*, week of January 26, 1998.

FEITZINGER, E., LEE, H. L. Mass customization at Hewlett-Packard: The power of postponement. *Harvard Business Review*, 75(1), 116–121, 1997.

FERREIRA, J. Integration of reverse engineering and rapid tooling in foundry technology. *Journal of Materials Processing Technology*, 2003.

FREDRIKSSON, Peter; GADDE, Lars-Erik. Flexibility and rigidity in customization and build-to-order production. *Industrial Marketing Management* 34 (2005) 695 – 705.

FREITAS, Gustavo. Digitalização 3D em ambientes computacionais de suporte à Engenharia Simultânea aplicada ao setor de calçados. *Dissertação de mestrado*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais-PPGEM. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

FRUTOS, Juan Diego. Um modelo para configuração de produtos oferecidos em um ambiente de customização em massa. *Tese de Doutorado*, UFRGS, Escola de Administração. Porto Alegre, 2006.

FRYMOYER, J.W., Predicting disability from low back pain. *Clin. Orthop. Rel. Res.*, 279 (1992) 101–109.

GARBER, S. L.; DYERLY, L. R. Wheelchair cushions for persons with spinal cord injury: an update. *American Journal of Occupational Therapy* 45 (1991) 550-554.

GILMORE, H., PINE, B.J. The four faces of mass customization. *Harvard Business Review* 75 (1) (1997) 91–101.

GRANDJEAN, E.; KROEMER, K.H.E. *Manual de ergonomia: adaptando o trabalho ao homem*. porto Alegre: Bookman, 1998.

GÖTZE, C.; STEENS, W.; VIETH, V.; POREMBA, C.; CLAES, L.; STEINBECK, J. Primary stability in cementless femoral stems: custom-made versus conventional femoral prosthesis. *Clinical Biomechanics* 17 (2002) 267–273.

GYI, D.E., PORTER, J.M. Interface pressure and the prediction of car seat discomfort. *Appl. Ergon.* 30 (1999) 99–107.

HÄNEL, S.E., DARTMAN, T., SHISHOO, R. A comparison of measuring methods for comfort rating of beds. *Adv. Occup. Ergon. Saf.* 1 2 (1996) 783–787.

HARRISON, D. D.; HARRISON, S. O.; CROFT, A. C.; HARRISON, D. E.; TROYANOVICH, S. J. Sitting Biomechanics, Part I1: Optimal Car Driver's Seat and Optimal Driver's Spinal Model. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. Volume 23 Number I January, 2000.

HART, C. Mass customization: Conceptual underpinnings, opportunities and limits. *International Journal of Service Industry Management* 6 (2) (1995) 36-45.

HELANDER, M.G., MUKUND, S. The use of scaling techniques for subjective evaluations. In: Kumashiro, M., Megaw, E.D. (org.), TOWARDS HUMAN WORK: Solution to Problems in Occupational Health and Safety. Taylor & Francis, London, 1991.

HELANDER, M. G.; JIAO, J. Research on E-product development (ePD) for mass customization. *Technovation* 22 (2002) 717–724.

HOBSON, Douglas; CRANE, Barbara. Wheelchair Seating Comfort. In Wheelchair Seating. Org. BRUBAKER, Clifford E.; BRIENZA, David M. *Wheelchair Seating: A State-of-the-Science Conference*, Pittsburgh, Pennsylvania, 2001.

HOF, A.L.; GAZENDAM, M.G.J.; SINKE, W.E. The condition for dynamic stability. *Journal of Biomechanics* 38 (2005) 1-8.

HUNT, Peter Cody; BONINGER, Michael L.; COOPER, Rory A.; ZAFONTE, Ross D.; FITZGERALD, Shirley G.; SCHMELER, Mark R. Demographic and Socioeconomic Factors Associated with Disparity in Wheelchair Customizability Among People with Traumatic Spinal Cord Injury. *Arch Phys Med Rehabil* Vol 85, November 2004.

HWANG, Tae Jin; LEE, Kunwoo; OH, Hun Young; JEONG, Jee Hoon. Derivation of template shoe-lasts for efficient fabrication of custom-ordered shoe-lasts. *Computer-Aided Design* 37 (2005) 1241–1250.

IIDA. I. *Ergonomia: projeto e Produção*. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

JAY, E. C. Customized seat cushion. *United States Patent*. Número 5 018 790, maio 1991.

JIAO, J., QUINHAI, M., & TSENG, M. Towards high value-added products and services: Mass customisation and beyond. *Technovation*, 23(10), 809–821, 2003.

JIAO, J.; TSENG, M. M. Customizability analysis in design for mass customization. *Computer-Aided Design* 36 (2004) 745–757.

JOHNSTON, M.; BONETTI, D. Disability: Psychological and Social Aspects. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, 2004, Pages 3704-3710.

JOUANEH, M.; HAMMAD, A.; DATSERIS, P. A Flexible Automated Foam Cutting System. *Int. J. Mwh. Tools Mmufact.* Vol. 37, No. 4, pp. 437--449, 1997.

JURGENS HW. Seat pressure distribution. *Coll Antropol* 21 359-66, 1997.

KABAYASHI, A. *Machining of Plastics*. McGraw-Hill, New York 1967.

KAUFMAN–SCARBOROUGH; Carol. Reasonable Access for Mobility-Disabled Persons is More Than Widening the Door. *Journal of Retailing* Vol. 75, No. 4 1999.

KOCHHANN, A R S; CANALI, N; SERAFIM, M A P. Comparação de Picos de Pressão em Assento Flexível em Portadores de Lesão Medular e Indivíduos Normais: Uma Avaliação por Interface de Pressão. *ACTA FISIATR* 2004.

KOTHA, S. Mass customization: Implementing the emerging paradigm for competitive advantage. *Strategic Management Journal* 16 (1995) 21-42.

KOVACH, Christine R.; GRIFFIE, Julie; MUCHKA, Sandy. Assessment and Treatment of Discomfort for People with Late-Stage Dementia. *Assessment and Treatment of Discomfort*, Vol. 18 No. 6 December 1999.

KROEMER, K H E; GRANDJEAN, E. *Manual de Ergonomia – Adaptando o Trabalho ao Homem*. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

KUSNER, W.; MICHMAN, J. Setting expansion of plaster of paris: the initial contraction. *J Dent Res* 46:661, 1967.

LAKE GJ, YEOH OH. Measurement of rubber cutting resistance in the absence of friction. *Int J Fract* 14(5) (1978) 509–26.

LAMPEL, J.; MINTZBERG, H. Customizing customization. *Sloan Management Review* 38 (1996) 21-30.

LAU, Ronald S. M. Mass Customization: the next industrial revolution. *Industrial Management. Norcross*, v. 37, n. 5, p. 18-19, Set/Out 1995.

LEE, N.S., SCHNEIDER, L.W., RICCI, L.L. Review of Selected Literature Related to Seating Discomfort. UMTRI-90-12, PB90-224809, Ann Arbor, Michigan, 1990.

LENGSFELD, M., FRANK, A., VAN DEURSEN, D.L., GRISS, P. Lumbar spine curvature during office chair sitting. *Med. Eng. Phys.* 22 (2000) 665–669.

LI, Zhizhong; CHI, CHANG, Chien-Chi; DEMPSEY, Patrick G.; CAI, Xiuwen. Refraction effect analysis of using a hand-held laser scanner with glass support for 3D anthropometric measurement of the hand: A theoretical study. *Measurement* 41 (2008) 842–850.

LINDEN, Júlio Carlos de Souza van der. Um modelo descritivo da percepção de conforto e de risco em calçados femininos. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Porto Alegre, BR-RS, 2004.

LINDEN, J. C. S.; KUNZLER, L. S. Q. *A seleção de materiais e o conforto percebido em produtos*. Gramado: ABERGO, 2001.

LÓPEZ-TORRES, Miguel; PORCAR, Rosa; SOLAZ, José; ROMERO, Tomás. Objective firmness, average pressure and subjective perception in mattresses for the elderly. *Applied Ergonomics* 39 (2008) 123–130.

LONG, David. Why Providers of Wheelchairs should be Cognisant of Night Time Positioning: a Practical, Instructional Session. *26th International Seating Symposium* March 11 – 13, 2010.

LU, Jun-Ming; WANG, Mao-Jiun J.; CHEN, Chien-Wen; WU, Jyi-Hua. The development of an intelligent system for customized clothing making. *Expert Systems with Applications* 37 (2010) 799–803.

MACCARTHY, B.; BRABAZON, P. G.; BRAMHAM, J. Fundamental modes of operation for mass customization. *Int. J. Production Economics* 85 (2003) 289–304.

MALAK, Sharif F.F.; ANDERSON, Iain A. Orthogonal cutting of polyurethane foam. *International Journal of Mechanical Sciences* 47 (2005) 867–883.

MATSUOKA, Y., HANAI, T. Study of comfortable sitting posture. SAE REPORT No. 880054, 1988.

MCCARTHY, C.T.; ANNAIDH, A. Ní; GILCHRIST, M.D. On the sharpness of straight edge blades in cutting soft solids: Part II – Analysis of blade geometry. *Engineering Fracture Mechanics* 77 (2010) 437–451.

MCCARTHY, C.T.; HUSSEY, M.; GILCHRIST, M.D. On the sharpness of straight edge blades in cutting soft solids: Part I – indentation experiments. *Engineering Fracture Mechanics* 74 (2007) 2205–2224.

MOONEY, V.; EINBUND, M. J.; ROGERS, J. E.; STAUFFER, E. S. Comparison of pressure distribution qualities in seat cushions. *Bulletin of Prosthetics Research*—Spring 1971.

MONETTE, M., WEISS-LAMBROU, R., & DANSEREAU, J. *Search of a better understanding of wheelchair sitting comfort and discomfort*. Artigo apresentado na RESNA Annual Conference, 1999.

MORAES, Helton Scheer de. Projeto conceitual de sistemas de assento para cadeira de rodas: uma abordagem sistemática. *Dissertação (mestrado)* - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia e Faculdade de Arquitetura. Programa de Pós-Graduação em design. Porto Alegre, BR-RS, 2009.

MOURTZIS, D.; PAPAKOSTAS, N.; MAKRIS, S.; XANTHAKIS, V.; CHRYSOLOURIS, G. Supply chain modeling and control for producing highly customized products. *Manufacturing Technology* 57 (2008) 451–454.

NGUYEN CT, VU-KHANH T, LARA J. Puncture characterization of rubber membranes. *Theor Appl Fract Mech* 42 (1) (2004) 25–33.

NOWAK, Ewa. The role of anthropometry in design of work and life environments of the disabled population. *International Journal of Industrial Ergonomics* 17 (1996) 113-121.

OLARI, John R., ALLEN, Donald L. Process for machining a flexible foam. *Patente*. United States Patent application publication. US 2004/0089963 A1. Maio 13, 2004.

OSWALD, S., & BOULTON, W. Obtaining industry control: The case of the pharmaceutical industry. *California Management Review*, 38(1), 138–162, 1995.

- PAGH, J.D., COOPER, M.C. Supply chain postponement and speculation structures: how to choose the right structure? *Journal of Business Logistics* 19 (2) (1997), 13–34.
- PARK, S.J., LEE, H.J. The relationship between sleep quality and mattress types. In: *Proceedings of the 46th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society*, vol. 1, Baltimore, USA, 2002.
- PARK, S.J., LEE, H.J., HONG, K.H., KIM, J.T. Evaluation of a mattress for Koreans. In: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 45th Annual Meeting*, vol. 1, Minneapolis/St. Paul, MN, USA, 2001.
- PINE, J. *Personalizando produtos e serviços: customização maciça*. São Paulo: Makron Book, 1994.
- PINE, J. Mass customizing products and services, *Planning Review* 21 (4) (1993) 6–13.
- PINE, J.; VICTOR, B.; BOYTON, A. Making mass customization work. *Harvard Business Review* 71 (5) (1993) 108–111.
- PORTER, J., GYI, D.E., TAIT, H. Interface pressure data and the prediction of driver discomfort in road trials. *Applied Ergonomics* 34 (2003) 207–214.
- PRESTON, E. *CAD/CAM systems: justification, implementation, productivity measurement*. Nova York: Marcel Dekker, 1984.
- PHILLIPS, Kevin; HUSSON, Roxanne. Ride Custom Seating Case Study Survey Review. *26th International Seating Symposium* March 11 – 13, 2010.
- RATLIFFE, K. T. *Fisioterapia clínica pediátrica*. 1.ed. São Paulo: Santos, 1999.
- REID, D.T. The effects of a saddle seat on seated postural control and upper extremity movement in children with cerebral palsy, *Dev Med and Child Neuro*, 38 (1996) 805–815.
- RITHALIA, S.V.S., GONSALKORALE, M.J. Assessment of alternating air mattresses using a time-based interface pressure threshold technique. *J. Rehab. Res. Dev.* 35 (1998) 225–230.

ROSENTHAL, M. J.; FELTON, R. M.; HILEMAN, D. L.; LEE, M.; FRIEDMAN, M.; NAVACH, J. H. A Wheelchair Cushion Designed to Redistribute Sites of Sitting Pressure. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 77, 278-82, 1996.

ROUSSEAU, M.; PÉRENNOU, D. Comfort care in severely disabled multiple sclerosis patients. *Journal of the Neurological Sciences* 222 (2004) 39– 48.

SHAH, Sinal; SUNDARAM, Geeta; BARLETT, David; SHERIFF, Martyn. The use of a 3D laser scanner using superimpositional software to assess the accuracy of impression techniques. *Journal of Dentistry* (2004) 32, 653–658.

SHEN, Wenqj; PARSONS, Kenneth C. Validity and reliability of rating scales for seated pressure discomfort. *International Journal of Industrial Ergonomics* 20 (1997) 441 461.

SHIH, A. J.; LEWIS, M. A.; STRENKOWSKI, J. S. End Milling of Elastomers— Fixture Design and Tool Effectiveness for Material Removal. *Journal of Manufacturing Science and Engineering* February 2004, Vol. 126.

SILVA, Fábio Pinto da. O uso da digitalização tridimensional a laser no desenvolvimento e caracterização de texturas aplicadas ao design de produtos. *Dissertação de mestrado*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais-PPGEM. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

_____ ; Duarte, L. C. ; Roldo, L.; Kindlein Jr, W. A Digitalização Tridimensional Móvel e sua aplicação no Design de Produto. *Design & Tecnologia* N 01, 2010.

SILVEIRA, G. D.; BORENSTEIN, D.; FOGLIATTO, F. S. Mass customization: Literature review and research directions. *Int. J. Production Economics* 72 (2001) 1-13.

SILVERMAN, M. W. Method for forming an individually contoured corrective seat for a wheelchair. *United States Patent*, Número 4 615 856, outubro 1986.

SINGARE, Sekou; DICHEN, Li; BINGHENG, Lu; YANPU, Liu; ZHENYU, Gong; YAXIONG, Liu. Design and fabrication of custom mandible titanium tray based on rapid prototyping. *Medical Engineering & Physics* 26 (2004) 671–676.

- SPIRA, J. Mass customization through training at Lutron Electronics. *Computers in Industry* 30 (3) (1996) 171-174.
- SPRIGLE, SH; CHUNG, K-C; BRUBAKER, CE. Factors affecting seat contour characteristics. *J Rehabil Res Dev* 27(2) (1990a) 127-34.
- SPRIGLE, S., CHUNG, K., BRUBAKER, C. Reduction of sitting pressures with custom contoured cushions. *J. Rehabil. Res. Dev.* 27 (1990b) 135–140.
- STOCKTON, L.; GEBHARDT, K. S.; CLARK, M. Seating and pressure ulcers: Clinical practice guideline. *Journal of Tissue Viability* 18 (2009) 98 108.
- SU, Jack C.P.; CHANG, Yih-Long; FERGUSON, Mark. Evaluation of postponement structures to accommodate mass customization. *Journal of Operations Management* 23 (2005) 305–318.
- SULLIVAN, Michael J.L.; STANISH, William; WAITE, Heather; SULLIVAN, Maureen; TRIPP, Dean A. Catastrophizing, pain, and disability in patients with soft-tissue injuries. *Pain* 77 (1998) 253–260.
- TORTOSA, L., PAGE, A., MORAGA, R., GARCIA, C., VERDE, V. Methodology to analyse and evaluate furniture: application to school furniture design. IEA'94. *Proceedings of the 12th Congress of the International Ergonomics Association*, Toronto, Canada, 1994.
- TREFLER, Elaine; SCHMELER, Mark. State of the science white paper on seating for postural control. *In Wheelchair Seating*. Org. BRUBAKER, CLIFFORD E.; BRIENZA, David M. *Wheelchair Seating: A State-of-the-Science Conference*, Pittsburgh, Pennsylvania, 2001.
- TRYBUS, John. Method of machining plastic soft foam blocks. *Patente*. United States patent application publication. US 2003/0051333 A1. Mar. 20,2003.
- TURK, D.C., OKIFUJI, A., Perception of traumatic onset, compensation status and physical findings: Impact on pain severity, emotional distress, and disability in chronic pain patients. *J. Behav. Med.*, 19 (1996) 435–453.
- VAN DIEEN, J., DE LOOZE, M.P., HERMANS, V. Effects of dynamic office chairs on trunk kinematics, trunk extensor EMG and spinal shrinkage. *Ergonomics* 44 (2001) 739–750.

VERGARA, M., PAGE, A. Relationship between comfort and back posture and mobility in sitting-posture. *Applied Ergonomics* 33 (2002) 1–8.

VIDAL, A.; ALBERTI, M.; CIURANA, J.; CASADESU's, M. A decision support system for optimising the selection of parameters when planning milling operations. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 45 (2005) 201–210.

VIDAL, J. C.; MUCIENTES, M.; BUGARÍN, A; LAMA, M. Machine scheduling in custom furniture industry through neuro-evolutionary hybridization. *Appl. Soft Comput. J.* (2010), doi:10.1016/j.asoc.2010.04.020.

VIDEMAN, T., NURMINEN, M., TROUP, J. Lumbar spinal pathology in cadaveric material in relation to history of back pain. *Spine* 15 (1990) 728–740.

ZACHARKOW, D. Effect of posture and distribution of pressure in the prevention of pressure sores. In B. Y. Lee (org.), *Chronic Ulcers of the Skin*. New York: McGraw-Hill, 1985.

ZACHARKOW, P.T. *Posture: Sitting, Standing, Chair Design and Exercise*. Charles C. Thomas Publisher, New York, 1988.

ZHANG, L., HELANDER, M.G., DRURY, C.G. Identifying factors of comfort and discomfort in sitting. *Hum. Factors* 38 (1996) 377–389.

YANG, S.L.; LI, T.F. Agility evaluation of mass customization product manufacturing. *Journal of Materials Processing Technology* 129 (2002) 640–644.

YALÇIN, B.; ÖZGÜR, A.E.; KORU, M. The effects of various cooling strategies on surface roughness and tool wear during soft materials milling. *Materials and Design* 30 (2009) 896–899.

WANG, Y. C. Analytical parametric analysis of the contact problem of human buttocks and negative Poisson's ratio foam cushions. *International Journal of Solids and Structures*, 39, 4825-38, 2003.

WARREN, R. W. Customized Modular Seating System. *United States Patent*. Número 4 753 482, junho 1988.

WERNER, A.; LECHNIAK, Z.; SKALSKI, K.; KEDZIOR, K. Design and manufacture of anatomical hip joint endoprotheses using CAD/CAM systems. *Journal of Materials Processing Technology* 107 (2000) 181-186.

WESTBROOK, R.; WILLIAMSON, P. Mass customization: Japan's new frontier, *European Management Journal* 11 (1) (1993) 38-45.

WHO - World Health Organization. *ICD - Classification of Diseases, Functioning, and Disability*. Retirado de <http://www.cdc.gov/nchs/icd.htm>, acesso em 29 de julho de 2010.

WRIGHT, P.; CUMMING, A. P. C. *Soft Polyurethane Materials*. Gordon and Breach: New York, 1969, 66-68.

APÊNDICE

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Esta pesquisa tem como proposta o desenvolvimento de dispositivos de adequação postural sentada. Para isso, será realizada uma investigação sobre os princípios de adequação corporal em equipamentos com esta finalidade.

Serão feitos moldes de gesso do paciente com ataduras engessadas, e após um assento personalizado para este. Para análise do dispositivo assento, serão feitos testes com um medidor de pressão e um termógrafo, os quais o paciente participará.

Os procedimentos de análise da pesquisa não oferecem risco à saúde dos indivíduos, visto que não será realizado nenhum procedimento invasivo.

Os dados e resultados da pesquisa serão mantidos sob sigilo ético, não sendo mencionado o nome dos participantes em trabalhos escritos, apresentação oral que venha a ser publicado.

Eu _____
____portador (a) do RG. N° _____ residente
na rua _____

recebi as informações sobre os objetivos e a importância desta pesquisa de forma clara, autorizo minha participação ou de meu filho (a) nesta pesquisa e também a publicação dos resultados. Declaro que também fui informado:

- Da garantia de receber resposta a qualquer pergunta ou esclarecimento acerca dos assuntos relacionados a esta pesquisa.
- De que minha participação é voluntária e terei a liberdade de retirar o meu consentimento, a qualquer momento e deixar de participar do estudo, sem que isto traga prejuízo para a minha vida pessoal e nem para o atendimento prestado a mim.
- Sobre o projeto de pesquisa e a forma como será conduzido e que em caso de dúvida ou novas perguntas poderei entrar em contato com a pesquisadora: Elisa Marangon Beretta, telefone _____, email: _____.

Declaro que recebi cópia deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, ficando outra via com a pesquisadora.

Bento Gonçalves, ____, de _____ de 2011.

Assinatura do paciente ou responsável

Elisa Marangon Beretta - Pesquisadora