

## Desenvolvimento ergonômico de produtos de plástico auxiliado por protótipos rápidos *Ergonomic development of plastic products aided by rapid prototypes*

**SABINO NETTO, Aurélio da Costa**

Mestre em engenharia mecânica, UFSC

**MERINO, Eugenio Andrés Díaz**

Doutor em engenharia de produção, UFSC

**AHRENS, Carlos Henrique**

Doutor em engenharia mecânica, UFSC

**OGLIARI, André**

Doutor em engenharia mecânica, UFSC

Palavras-chave: desenvolvimento de produto, ergonomia, prototipagem rápida.

O objetivo deste artigo é discorrer acerca do desenvolvimento ergonômico de produtos de plástico, mostrando a importância de aplicar a ergonomia desde o início do processo de projeto e como a utilização de protótipos rápidos pode auxiliar na inclusão de características ergonômicas nos produtos. Ao final é apresentado um estudo de caso para demonstrar as idéias principais do artigo.

*Key words: product design, ergonomics, rapid prototyping.*

*The objective of this paper is to discuss about ergonomic development of plastic products, showing the importance of early application of its principles on project process and how the use of rapid prototypes could assist on the incorporation of ergonomic characteristics on the products. After that, a case study is presented to demonstrate the mainly ideas of this paper.*

### **Introdução**

No mercado de bens de consumo, o aumento da competitividade tem contribuído para que muitas empresas procurem o aprimoramento técnico e gerencial no desenvolvimento de seus produtos. O consumidor, de maneira geral, escolhe dentre o rol de produtos disponíveis, aquele que pelo menor preço lhe trazer a maior quantidade de benefícios. Assim, para manterem-se competitivas as empresas cada vez mais deverão conceber seus produtos com foco no atendimento das necessidades de seus consumidores.

A qualidade ergonômica de um produto se apresenta como um dos fatores que podem influenciar o consumidor no momento de compra. Segundo a definição de Wisner (1987) a ergonomia é “o conjunto de conhecimentos científicos relativos ao homem e necessários para a concepção de ferramentas, máquinas e dispositivos que possam ser utilizados com o máximo de conforto, segurança e eficácia”. Intuitivamente, o homem interage com a ergonomia desde o período pré-histórico quando passou a criar ferramentas e utensílios para que suas atividades fossem realizadas com o menor esforço e maior segurança (MERINO, 2003). Apesar da ergonomia estar estabelecida como ciência desde a década de 50 percebe-se que ainda um número considerável de empresas negligencia ou aplica superficialmente os preceitos ergonômicos no desenvolvimento de seus produtos.

Os produtos de plástico se mostram soluções econômicas e eficazes para a produção em massa de produtos, razão pela qual, são empregados nos setores mais competitivos do mercado. Tirando como exemplo a indústria automotiva, a possibilidade de criar peças integradas, com peso reduzido e design complexo, além da redução de custos, consagrou o uso destes produtos. Em razão disto, é cada vez mais comum, serem encontrados produtos de plástico “interfaceando” com alguma parte do corpo humano.

Nos próximos itens procura-se analisar o desenvolvimento de produtos de plástico, salientando a importância de aplicar a ergonomia desde o início do processo de projeto. Em seguida, a utilização de protótipos rápidos é apresentada como uma alternativa viável para a inclusão de características ergonômicas aos produtos de plástico. Procurando comprovar este pensamento, apresenta-se ao final um estudo de caso envolvendo o

projeto de um prendedor de roupas no qual os protótipos rápidos foram utilizados no seu desenvolvimento ergonômico.

### A ergonomia no desenvolvimento de produtos

O processo de desenvolvimento de produtos geralmente é conduzido com auxílio de alguma metodologia de projeto, no caso dos produtos de plástico não é diferente. Ulrich e Eppinger (1995) consideram as metodologias de projeto importantes por três razões: primeiro, contribuem para que o processo decisório seja racional, evitando a continuação do projeto com informações não fundamentadas; segundo funcionam como *checklists* assegurando que as etapas fundamentais foram executadas e terceiro, favorecem a documentação das atividades, estruturando um histórico que poderá ser utilizado pela equipe de projeto em desenvolvimentos futuros.

Em síntese, as metodologias subdividem o processo de projeto em quatro fases, conforme pode ser observado na figura 1. Na fase de projeto informacional, a partir de informações coletadas no mercado são relacionados todos os dados relevantes para ter-se o completo entendimento do produto a ser concebido. Estes dados são traduzidos de forma que ao final desta fase sejam estabelecidas as especificações do projeto. Com base nas especificações de projeto são propostas algumas alternativas de concepção e, segundo algum critério, é escolhida a opção mais adequada. O resultado da fase de projeto conceitual é o primeiro esboço conceitual do produto. Na fase seguinte, a de projeto preliminar, o conceito torna-se mais concreto quando as questões técnicas e econômicas passam a ter uma maior importância no processo, uma vez que para o produto são realizados os cálculos para dimensionamento, a definição da geometria e a escolha do material. Ao final desta fase tem-se o leiaute do produto. Finalmente, na fase de projeto detalhado, o leiaute do produto é aprimorado e realiza-se a convergência de todo o processo de projeto, resultando na documentação do projeto.

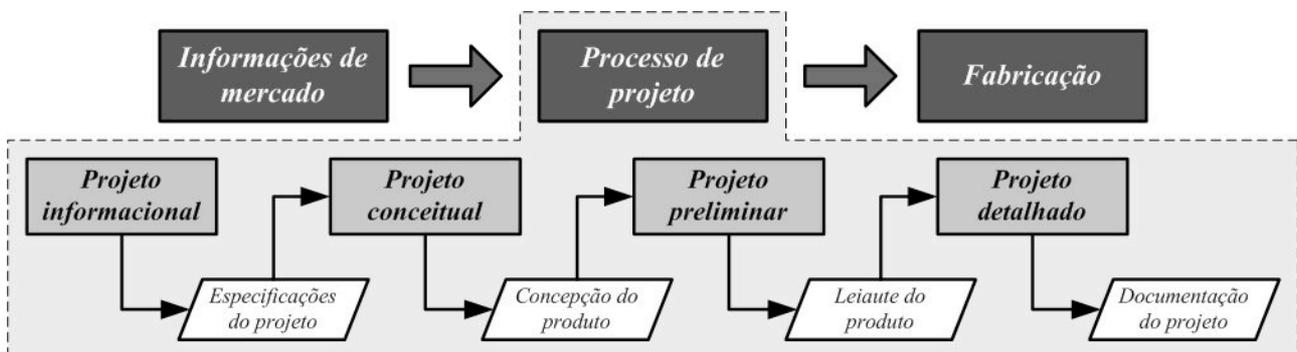


Figura 1 - Principais fases abordadas pelas metodologias de projeto (adaptada de OGLIARI, 1999).

Para as metodologias clássicas de projeto, observa-se de maneira geral que a ergonomia é tratada como um item secundário do processo. Como as fases do processo de projeto são encadeadas, a não consideração de necessidades ergonômicas durante o desenvolvimento do projeto informacional é transportada para as fases subsequentes de projeto, conseqüentemente, os efeitos desta falta, muitas vezes, é evidenciado somente com o uso do produto. Observa-se que na prática algumas empresas se atentam para a ergonomia depois de equacionadas as questões técnicas do produto ou depois de identificado um problema relacionado com a ergonomia do produto. Nestes casos, a ergonomia passa a ser aplicada somente nos estágios avançados do desenvolvimento nos quais a sua atuação fica comprometida, passando a desempenhar um papel apenas corretivo. Aliás, segundo Iida (1997) soluções adotadas podem não ser satisfatórias em função da elevação dos custos envolvidos com as modificações no produto, a cada nova fase o incremento de custo é 10 vezes maior (SMITH e REINERTSEN, 1997). No caso de produtos de plástico, se a modificação ocorrer no início, antes da fabricação do molde, os custos na maioria das vezes são pequenos quando comparados aos custos decorrentes de re-trabalhos e alterações no molde.

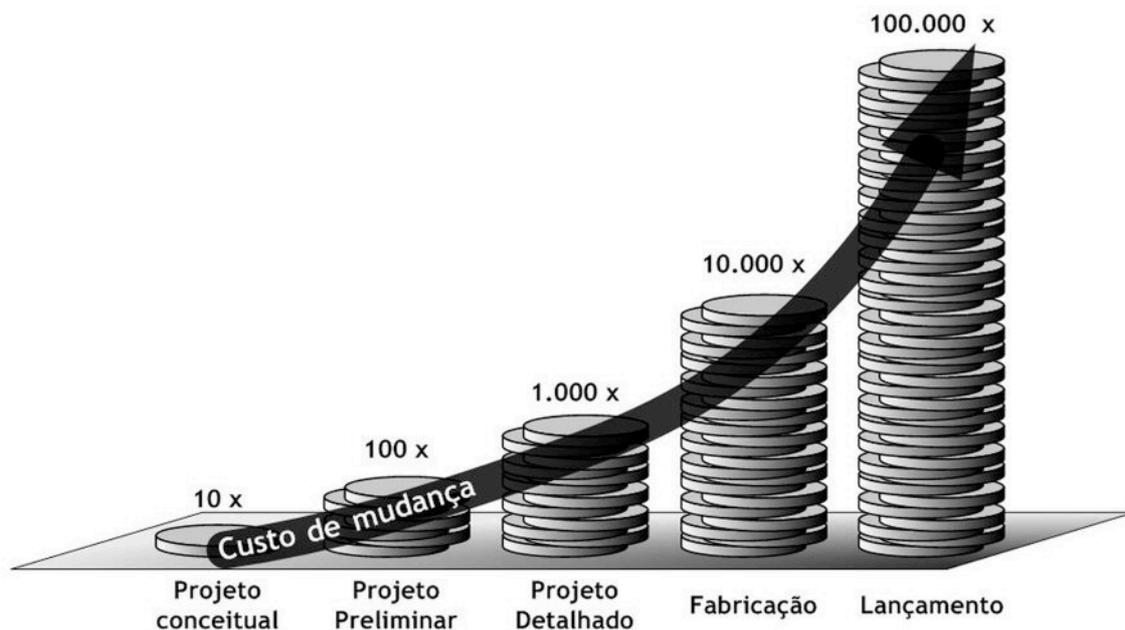


Figura 2 - Evolução dos custos de mudança (adaptada de SMITH e REINERTSEN, 1997)

Em razão da elevação dos custos de modificação nas etapas finais do projeto, seria mais adequado aplicar os preceitos da ergonomia desde o início, a chamada ergonomia de concepção. Neste caso, é importante que a equipe de projeto tenha um maior entendimento da ergonomia, pois nesta etapa as decisões são baseadas em situações hipotéticas (IIDA, 1997). A formação de equipes multidisciplinares e o envolvimento antecipado dos usuários são fundamentais para obter sucesso neste tipo de desenvolvimento (COHAN, 1999). As equipes multidisciplinares são formadas por profissionais de variadas áreas de conhecimento como design, engenharia, finanças, marketing, etc. e tendo em vista o envolvimento destes desde o começo do desenvolvimento, os problemas podem ser amplamente investigados e solucionados com mais facilidade. As informações provenientes dos usuários influenciam decisões durante o desenvolvimento do produto e são importantes para que a equipe mantenha o foco no atendimento dos requisitos de projeto.

O desenvolvimento ergonômico de produtos tem um caráter iterativo, ou seja, um método cíclico de projeto e avaliação com relação ao cumprimento dos requisitos ergonômicos do produto. A equipe de projeto precisa encontrar uma solução válida entre uma infinidade de soluções possíveis, num ambiente em que os objetivos e os meios estão expostos a mudanças rápidas e contínuas. Segundo Bernsen (1995), na maioria das vezes, a solução ótima não é alcançada em função de um espaço de tempo limitado e cada vez menor para o desenvolvimento de produtos.

### **Uso de protótipos rápidos no desenvolvimento ergonômico de produtos**

Os protótipos físicos são considerados ferramentas quase que imprescindíveis para o desenvolvimento ergonômico de produtos (IIDA, 1997; WISNER, 1987; JORDAN, 1998). Eles se apresentam como um elemento de ligação entre a equipe multidisciplinar e os usuários na avaliação das diversas soluções de compromisso adotadas. Em virtude do longo tempo necessário para a produção por meios convencionais, muitas empresas optavam por limitar o uso de protótipos prejudicando a iteratividade no desenvolvimento de seus produtos.

Desde a década de 90, a prototipagem rápida vem sendo largamente empregada como uma alternativa capaz de produzir protótipos com uma fidelidade maior e em curto espaço de tempo, permitindo a otimização e, conseqüentemente, a melhoria da qualidade dos produtos.

Atualmente, está disponível no mercado um número considerável de processos capazes de produzir protótipos rápidos. Estes processos podem ser facilmente separados em dois grupos. O primeiro grupo se

destina a aplicações conceituais, como a idealização da forma e experimentação de idéias, comuns às etapas iniciais de desenvolvimento. Podem ser incluídos neste grupo os processos baseados nas tecnologias de impressão 3D (3DPrinting, SolidScape, Thermojet, Sanders e Polyjet) e de laminação de folhas (LOM e KIRA). Nestas aplicações os protótipos são utilizados para avaliar rapidamente se o projeto está no caminho certo e têm como principal requisito o baixo custo. Os materiais comumente utilizados para a fabricação são a cera, o gesso e o papel. O segundo grupo, composto pelos processos de estereolitografia (SL), sinterização seletiva a laser (SLS) e modelagem por fusão e deposição (FDM), se destina à avaliação do comportamento funcional do produto de plástico. Neste caso, as propriedades mecânicas, o acabamento superficial e a precisão dimensional passam a ter maior importância. Em função da sofisticação dos equipamentos e materiais utilizados, os custos destes protótipos são normalmente maiores. Os materiais utilizados para a fabricação dos protótipos procuram se aproximar das propriedades de polímeros como polipropileno, polietileno, poliamida e ABS.

De acordo com um levantamento realizado, o percentual de protótipos produzidos exclusivamente para a realização de estudos ergonômicos é de 3,7% (WOHLERS, 2002). Conforme pode ser observado na figura 3, este valor é bastante insignificante, sobretudo, quando comparado com os valores de outras aplicações como recursos visuais, modelos para a fabricação indireta, protótipos funcionais e simulação de montagens.

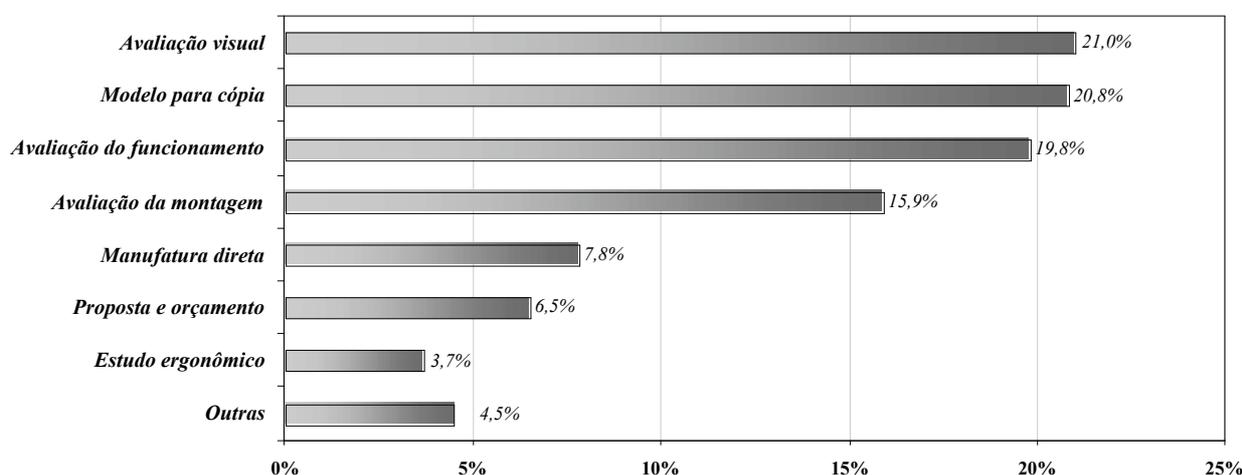


Figura 3 - Principais usos dos protótipos rápidos (adaptada de WOHLERS, 2002)

Este baixo aproveitamento pode ser consequência da utilização de processos convencionais, como a modelagem manual em espuma, para a produção dos primeiros protótipos (WAI, 2001). A utilização de protótipos rápidos para esta finalidade ainda pode ser melhorada, pois é crescente o número de produtos fabricados que de alguma forma são projetados para se “encaixarem” no corpo humano, como por exemplo, respiradores, capacetes, óculos, controles e ferramentas (WOHLERS, 2002). Acredita-se que a participação mais efetiva no mercado de equipamentos que produzem protótipos conceituais poderá contribuir para o aumento desta participação nos próximos anos.

### **Estudo de caso**

Para demonstrar algumas das idéias expostas ao longo deste trabalho apresenta-se a seguir uma descrição de um caso real de desenvolvimento de um produto de plástico, no qual procurou-se desde o início considerar os requisitos ergonômicos durante o processo de projeto.

O problema de projeto consistiu em desenvolver um prendedor de roupas num componente único e sem a utilização de molas, apresentando vantagem competitiva em comparação aos concorrentes, relacionadas ao baixo preço de aquisição, desempenho técnico superior, aparência agradável, ergonomia e simplicidade de uso.

Para o desenvolvimento do produto, foi organizada uma equipe com integrantes das áreas de engenharia e design que se baseou na divisão do processo de projeto conforme apresentado na figura 1. Nos itens a seguir serão apresentadas as principais informações resultantes das fases de projeto informacional, conceitual e preliminar e uma discussão sobre os resultados deste estudo de caso.

### - Projeto informacional

No início desta fase, procurou-se estabelecer as necessidades do produto através de um estudo da tarefa (prender roupas) com alguns produtos existentes no mercado. Neste estudo foram observadas as principais dificuldades com relação à ergonomia e usabilidade dos produtos atuais. A participação de alguns usuários durante o estudo da tarefa foi importante, pois algumas necessidades fundamentais do produto somente foram identificadas através deles. A lista de necessidades foi convertida para um conjunto de requisitos que foram hierarquizados a partir da técnica do QFD. Em seguida, foram estabelecidas as especificações de projeto.

### - Projeto conceitual

A partir das informações coletadas no estudo da tarefa foram identificadas as funções do produto através da técnica de decomposição funcional. A equipe determinou que o produto deveria cumprir as seguintes funções elementares: promover pressão, facilitar entrada, gerar estabilidade, promover pega, proporcionar conforto e apresentar estética.

Para cada uma das funções elementares foram propostas soluções. A escolha da melhor solução para cada função foi baseada nos requisitos de projeto, hierarquizados na fase de projeto informacional, levando em consideração aspectos econômicos, funcionais e fabris. O conceito adotado, esboçado na figura 4, é a composição das soluções que foram escolhidas.

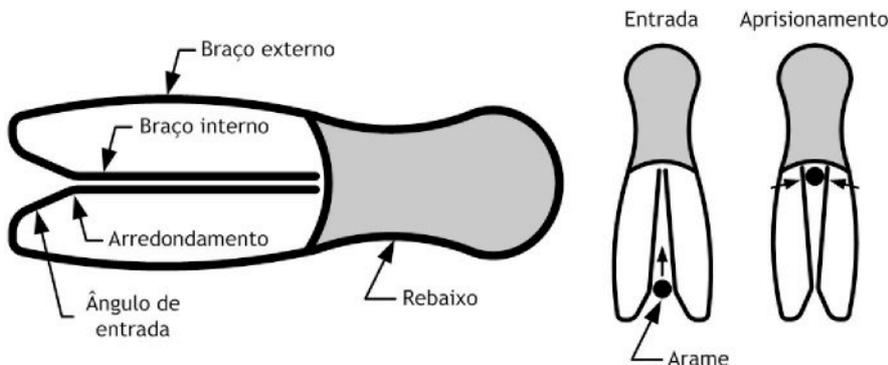


Figura 4 - Esboço esquemático da solução adotada

Do ponto de vista ergonômico, o conceito de pega geométrica permite a utilização por destros e canhotos e possibilita a variação antropométrica e de posições, uma vez que o produto é destinado para a população feminina e masculina (PASCHOARELLI e COURY, 2000). O rebaixo adotado permite maior apoio e segurança na utilização do produto. O conceito apresenta vantagens com relação à usabilidade, já que para executar a tarefa o usuário precisa empurrar e puxar o prendedor.

### - Projeto preliminar

Realizou-se um estudo preliminar para o dimensionamento do produto com base no esboço conceitual da figura 4. Foram concebidos, por meio de modelagem manual, protótipos confeccionados em poliuretano expandido, em razão da indisponibilidade de um processo de fabricação de protótipos rápidos conceituais. A partir desta primeira aproximação física externa do produto foi possível avaliar duas funções relacionadas à ergonomia: promover pega e proporcionar conforto. A equipe de projeto manuseou o modelo e procurou simular os movimentos esperados para o processo de fixação de uma roupa em varal identificados no estudo da tarefa, conforme ilustra a figura 5. O desempenho nestes aspectos foi considerado aceitável e a equipe

aprovou a geometria externa para a elaboração do modelo CAD 3D e iniciou a configuração estrutural do produto.

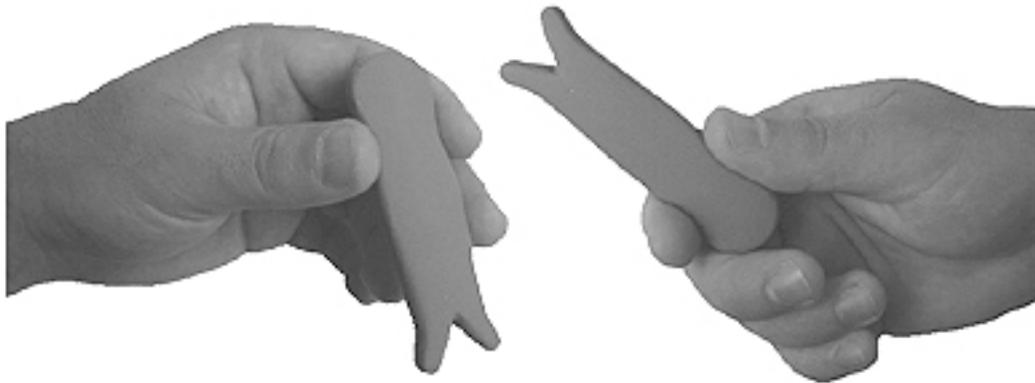


Figura 5 - Avaliação ergonômica preliminar

Finalizada a primeira iteração de projeto, a equipe de projeto julgou necessário avaliar especificamente algumas características do produto, pois existia uma certa dúvida com relação à usabilidade e o funcionamento do produto. Diante desta situação considerou-se que a elaboração de protótipos rápidos funcionais poderia facilmente ajudar na eliminação dessas dúvidas. A escolha baseou-se na disponibilidade do processo de estereolitografia. Com o propósito de testar o uso do produto foi produzido um aparato similar ao utilizado para estender roupas, conforme representado na figura 6.

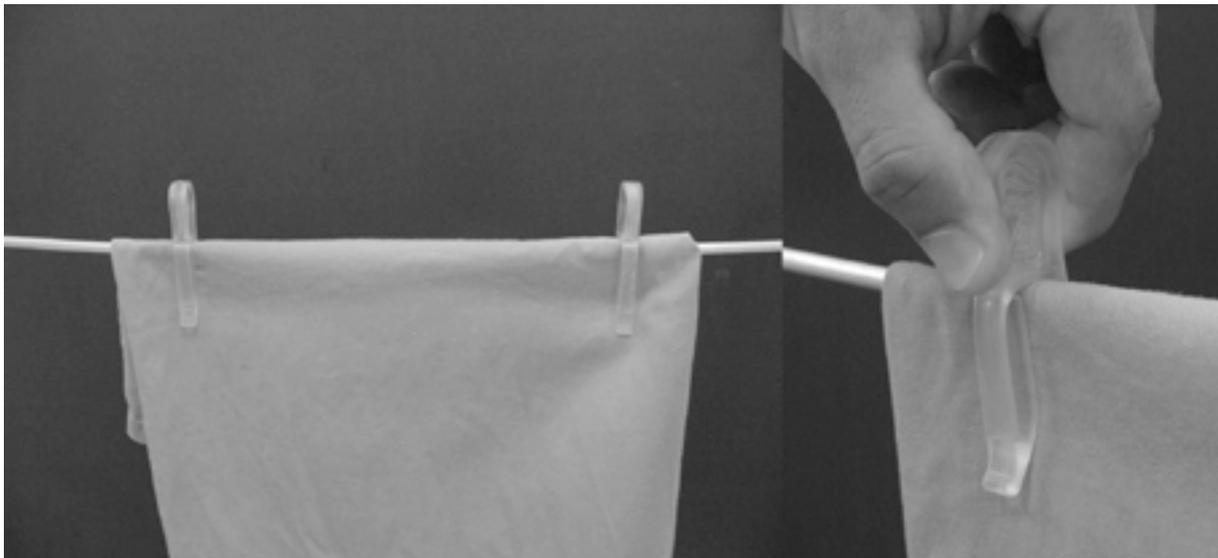


Figura 6 - Teste de funcionamento e usabilidade produto com auxílio de protótipos rápidos

Os testes mostraram que a região de pega apresentava largura satisfatória, entretanto, a espessura poderia ser aumentada para melhorar o conforto. O produto apresentou facilidade no manuseio, além de requerer pouco esforço para desempenhar esta tarefa, permitindo ao usuário desenvolver movimentos simples para aproximar, instalar e retirar o prendedor, com pouca movimentação do pulso. A rápida identificação da forma de uso foi considerada um ponto positivo para a usabilidade do produto. Apesar do produto ter funcionado conforme o esperado, foi proposta a redução no comprimento e aumento na espessura dos braços para aumentar ligeiramente a pressão sobre a roupa.

## **- Discussão**

Os diferentes tipos de protótipos utilizados no decorrer deste projeto foram muito importantes para o aprimoramento da qualidade ergonômica do produto. No início da fase de projeto preliminar, cogitou-se utilizar protótipos rápidos, porém devido à indisponibilidade de uma tecnologia de caráter conceitual, preferiu-se utilizar a modelagem em espuma. O uso destes protótipos se mostrou uma boa opção na materialização da forma básica do produto, porém um tempo excessivo foi gasto devido ao processo de fabricação ter sido manual.

Seguramente métodos computacionais também poderiam ser utilizados nesta avaliação, entretanto custos de modelagem e tempo de processamento poderiam suplantar os benefícios. Os protótipos fabricados pelo processo de estereolitografia, não possibilitaram uma avaliação fiel, pois tanto o material quanto o processo de fabricação do protótipo diferem dos que foram selecionados para o produto. Com eles não foi possível avaliar a presença de rebarbas nas linhas de partição da peça. Apesar disto os protótipos utilizados permitiram verificar rapidamente a usabilidade e a funcionalidade do produto, transmitindo segurança suficiente para a equipe de projeto prosseguir com o desenvolvimento do produto.

## **Conclusões e contribuições**

Neste trabalho foi possível ressaltar a importância da consideração dos preceitos ergonômicos nas fases iniciais do processo de projeto. No estudo de caso, isto contribuiu para que a ergonomia do produto não fosse negligenciada ou atendida somente ao final do desenvolvimento, acarretando num produto mais adequado para o uso. A utilização de protótipos rápidos auxilia na melhoria das características ergonômicas do produto. Eles permitem que a equipe multidisciplinar realize a apreciação do produto muito mais cedo e muito mais vezes, inclusive com a participação antecipada de usuários. Estes benefícios também são potencializados pelo grau de aproximação que os protótipos rápidos podem ter em relação ao acabamento superficial, precisão dimensional e comportamento mecânico do produto de plástico que por processos convencionais consomem grande quantidade de tempo.

Cabe ressaltar que uma dificuldade para um aumento na utilização de protótipos rápidos ainda é o alto custo destas tecnologias, sobretudo, para pequenas empresas que dispõem de recursos mais limitados para o desenvolvimento de produtos. No entanto, as empresas devem encarar o esforço no desenvolvimento de um produto mais ergonômico, não como um custo e sim como um investimento que produzirá retorno financeiro com o aumento da participação do mercado e da margem de lucro.

Em virtude do aumento de competitividade, as características ergonômicas podem representar um importante diferencial de mercado para o produto. Como as metodologias clássicas de projeto não abordam de maneira adequada o desenvolvimento ergonômico de produtos, sobretudo as relacionadas com produtos de plástico, este pode ser um possível campo para futuros trabalhos.

## **Bibliografia**

- BERNSEN, J. **Design: defina primeiro o problema**. Tradução de Fernando Vugman e Dulce Márcia Cruz. Florianópolis: Senai/LBDI, 1995. 119 f.
- IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. 1997. 4ª reimpressão. São Paulo: Edgard Blücher. 465f.
- JORDAN, P. W. **An introduction to usability**. London. Taylor & Francis, 1998.
- MERINO, E. **Ergonomia**. 2003. Apostila do Curso de Pós-Graduação em engenharia de produção.
- PASCHOARELLI, L. C.; COURY, H. J. C. Aspectos ergonômicos e de usabilidade no design de pegas e empunhaduras. **Estudos em Design**. v.8, nº1, p. 79-101, 2000.
- ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. **Product design and development**. 1ª ed. McGraw-Hill, 1995. 384 f.
- WAI, H. W. RP in art and conceptual design. **Rapid Prototyping Journal**. v. 7, Nº4, p. 217-219, 2001.
- WISNER, A. **Por dentro do trabalho: ergonomia, método e técnica**. Tradução Flora Maria Gomide Vezzà. São Paulo, FTD, Oboré, 1987.
- WOHLERS, T. **Rapid prototyping & tooling state of the industry annual worldwide progress report**. Colorado: Wohlers Associates Inc., 2002.
- OGLIARI, A. **Sistematização da concepção de produtos auxiliada por computador com aplicações no domínio de componentes de plástico injetados**. Florianópolis, 1999. 349 f. Tese. UFSC.

COHAN, P. S. **Liderança tecnológica**: como empresas de alta tecnologia inovam para obter sucesso. São Paulo: Futura, 1999. 234 f.

SMITH, P. G.; REINERTSEN, D. G. **Desenvolvendo produtos na metade do tempo**. Editora: Futura, 1997. 358 f.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao CNPq pelo suporte financeiro para a realização deste trabalho.

**Aurélio da Costa Sabino Netto** – [asabino@cimject.ufsc.br](mailto:asabino@cimject.ufsc.br)

**Eugenio Andrés Díaz Merino** – [merino@cce.ufsc.br](mailto:merino@cce.ufsc.br)

**Carlos Henrique Ahrens** – [ahrens@cimject.ufsc.br](mailto:ahrens@cimject.ufsc.br)

**André Ogliari** – [ogliari@emc.ufsc.br](mailto:ogliari@emc.ufsc.br)