

A PROTOTIPAGEM RÁPIDA NA INDÚSTRIA CERÂMICA, COMPARAÇÃO COM OUTROS SECTORES INDUSTRIAIS

F. Jorge Lino^{1,2}, Rui J. Neto²

¹FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, DEMEGI – Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, Portugal, Tel.: 225081704 (42), falves@fe.up.pt, www.fe.up.pt/~falves

²INEGI – Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, CETECOFF – Unidade de Fundição e Novas Tecnologias, Rua do Barroco, 174-214, 4465-591 Leça do Balio, Porto, Portugal Tel.: 229578714, Fax: 229537352, cetecoff@inegi.up.pt

Palavras Chave: Cerâmica, Prototipagem Rápida, Desenvolvimento de Produto, Tecnologias de Conversão, Protótipos

1. INTRODUÇÃO

Fabricar protótipos não funcionais de peças, vulgarmente designados por modelos de engenharia, outras vezes por modelos, não é um exclusivo das tecnologias de prototipagem rápida (PR). De facto, desde sempre se produziram protótipos por técnicas de modelação manual, maquetismo ou mesmo carpintaria de moldes e escultura. Mais tarde, muitos antes das tecnologias de PR aparecerem (em 1987 surgiu a primeira máquina de PR, a estereolitografia da 3D Systems Inc., USA) [1-4], surgiram as técnicas baseadas no desenho assistido por computador/fabrico assistido por computador (CAD/CAM), que normalmente associadas à maquinagem, e mais recentemente à maquinagem de alta velocidade (HSM), permitiam e permitem obter excelentes protótipos, em termos de rigor dimensional, rugosidade e até de propriedades mecânicas. No entanto, estas tecnologias por exigirem bastantes conhecimentos e muita experiência prática, adquirida ao longo dos anos, são apenas usadas por um grupo restrito de empresas. Em Portugal, fabricam-se excelentes protótipos por HSM, pelo menos em duas empresas, a SET S.A. e a DISTRIM 2, ambas sediadas na Marinha Grande. Nos países do centro da Europa e nos EUA, a elevada exigência técnica em termos de operadores e o seu elevadíssimo custo, praticamente inviabilizaram estas tecnologias de fabrico de protótipos. Tendo em conta

estes factos, hoje em dia, as grandes alternativas para o fabrico de protótipos são, e serão ainda mais no futuro, baseadas na utilização de diversos processos de PR [3-9].

Os processos de PR mais correntes, SLA, SLS, LOM, TDP e FDM (para mais detalhes ver as referências [1] e [4]), estão neste momento relativamente bem representados em Portugal. No entanto, a relação número de equipamentos por habitante está ainda muito abaixo dos números que se verificam na Europa Central, nos EUA e no Japão [2], o que demonstra a enorme diferença de competências entre esses países e Portugal, no que se refere à capacidade de desenvolver produtos e de os colocar no mercado. Estes dados reflectem-se na baixa capitalização de mais valias na produção industrial nacional [10-12].

Neste momento, os equipamentos existentes em Portugal, de que temos conhecimento, para a produção de protótipos, incluindo a HSM, a PR, o fabrico rápido de ferramentas (RT - Rapid Tooling), e as tecnologias de conversão são:

- ❖ Estereolitografia na Agiltec (Engenharia e Tecnologia para a Produção Ágil e Eco-Eficiente), Lisboa, na Cadform, Marinha Grande, e na Solidtech e Feyo Designer, Porto.
- ❖ Sinterização Selectiva de plásticos, de metais e areia, no Centimfe (Centro Tecnológico da Indústria de Moldes e Ferramentas Especiais) e Socem, Marinha Grande, e no Cinfu (Centro de Formação Profissional da Indústria de Fundição), Porto.
- ❖ Modelação por extrusão de plástico, no Cindor (Centro de Formação Profissional da Indústria de Ourivesaria), Gondomar, e na KLC, Marinha Grande.
- ❖ Sinterização directa por laser de metais, no Ineti (Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial), Lisboa.
- ❖ Fabrico de objectos por camadas no Inegi (Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial), Porto e na OCC, Guimarães.
- ❖ Thermoject, na Marinha Grande
- ❖ Impressão tridimensional da Z Corporation, na Universidade do Minho, Guimarães.
- ❖ Maquinagem de alta velocidade na Distrim 2 e Set SA, na Marinha Grande
- ❖ Conversão em poliuretano com moldes de silicone, no Inegi e Cinfu, Porto, Universidade de Aveiro (Dept. Mecânica), e na Cadform e Set SA, na Marinha Grande.

- ❖ Conversão em metal, no Inegi por cera perdida e no Cinfu por fundição em areia, Porto, e na Firmago por fundição em areia, Braga.

Desta lista facilmente se depreende que apesar do leque diversificado de oferta já disponível, as tecnologias que estão relacionadas com a PR, como o RT e o fabrico rápido (RM, rapid manufacturing), ao fim dos seus quase 15 anos de existência, teimosamente ainda não se afirmaram em Portugal como ferramentas imprescindíveis e de uso corrente na globalidade dos sectores industriais, mesmo naqueles que desenvolvem produtos e que os comercializam, e que quase obrigatoriamente os já deveriam ter adoptado. Este panorama, que naturalmente difere substancialmente de sector para sector, depende de muitos factores conjunturais, entre os quais se salienta a baixa percentagem de indústrias que desenvolvem produtos e a baixíssima adesão da generalidade dos sectores produtivos aos sistemas de projecto usando ferramentas de CAD 3D. Por outro lado, os sistemas de PR que realmente apresentam qualidades adequadas, ainda não entraram na sua curva descendente de custos de aquisição, o que se traduz numa impossibilidade de abaixamentos significativos do preço dos protótipos comercializados [2, 7, 13].

Outra parte do problema, porventura a mais preponderante, consiste no facto de que, independentemente dos preços, uma boa parte dos potenciais utilizadores dos processos ou têm relutância em usá-los, ou pura e simplesmente desconhecem a sua existência ou as suas potencialidades.

Seguidamente, faz-se uma abordagem ao panorama nacional actual comparando o que pensamos que se passa no sector das cerâmicas e dos vidros com outros sectores industriais em que a PR representa uma mais valia importante no desenvolvimento de novos produtos.

2. PANORAMA ACTUAL NOS DIVERSOS SECTORES INDUSTRIAIS

2.1 SECTOR DAS CERÂMICAS

Neste sector, a existência de tecnologias de PR não está minimamente difundida [14]. Falando apenas das cerâmicas decorativas e sanitárias, não há qualquer dúvida de que os métodos usados na generalidade das empresas são teimosamente tradicionais e

consequentemente desajustados às exigências da elevada velocidade de resposta dos mercados actuais. Quase não existe projecto em CAD 3D, pouco se usam protótipos não funcionais para visualização e detecção de erros de projecto, e esses erros pagam-se muito caros, pois quando são detectados nas amostras cerâmicas já sinterizadas, obrigam a novos moldes, que além de serem onerosos, demoram muito tempo a fabricar, porque são geralmente executados manualmente. Apesar dos preços dos protótipos obtidos por PR serem algo elevados, quer para simples protótipos para acções de visualização, quer para servirem de modelos para moldes, parece não restarem dúvidas relativamente ao impacto que estas tecnologias podem vir a ter neste cada vez mais importante sector industrial. A plataforma de partida passa obrigatoriamente pelo projecto em CAD 3D, que, à semelhança de outros sectores industriais, é o grande entrave à utilização mais generalizada destas tecnologias, que podem projectar a indústria cerâmica para respostas com melhores prazos e mais qualidade e menos perdas efectivas de capital face às solicitações do mercado. As figuras 1 a 4 apresentam exemplos de modelos de peças cerâmicas obtidas a partir da PR e das tecnologias de fabrico rápido de ferramentas, utilizando modelos de moldes obtidos por LOM..



Figura 1 Modelo em LOM de terrina, ferramentas rápidas obtidas a partir de “madres” em LOM e terrina em porcelana.



Figura 2 Protótipos em LOM (desenvolvidos no INEGI por alunos da Universidade Lusíada) pintados para apreciação de produtos e correcção de erros de projecto.



Figure 3 Moldes em gesso vazado sobre modelo da peça em LOM sobredimensionado com a contracção.



Figure 4 Moldes em gesso vazado directamente sobre contramoldes em LOM.

Recentemente (por solicitação de uma empresa nacional), usando diversas tecnologias alternativas para o fabrico de protótipos, foi possível, num curto espaço de 4 semanas produzir no INEGI um conjunto de 15 protótipos à escala real em LOM de lavatórios e sanitas para estarem presentes numa feira de materiais de construção.

Esta solução, de incluir protótipos no desenvolvimento e comercialização de novos produtos acerca dos quais ainda não se conhece a recepção no mercado, potencia as vendas baseadas em produtos que ainda não existem, podendo reduzir drasticamente o risco económico associado ao seu lançamento.

2.2 SECTOR DOS VIDROS

Quer na área da cristalaria, quer na área da embalagem, o panorama relativamente à utilização de tecnologias de PR é francamente desolador. Aparentemente, um protótipo feito por PR pouco ou nada parece poder ajudar um designer ou técnico a tomar decisões ou sugerir alterações. Esta parece ser a opinião da maior parte dos potenciais utilizadores.

Parece-nos, no entanto, que a possibilidade de um criador, que desenvolveu o seu objecto em CAD 3D, ter na mão o sólido, opaco mas sólido, que só pode ser materializado após algumas semanas e com moldes metálicos algo onerosos, é um pretexto suficientemente válido para que não exista um alheamento tão profundo destas novas tecnologias, que felizmente em Portugal, podem estar ao alcance de quase todos [15].

Para além do protótipo não funcional opaco, que não entusiasma o amante da arte do vidro, a PR pode proporcionar, com a tecnologia da fundição de precisão cerâmica, a possibilidade de muito rapidamente e economicamente se poderem fabricar protótipos de vidro em ferramentas metálicas protótipo, embora sem a qualidade ideal definitiva. Utilizando tecnologias complementares, a PR pode oferecer a produção de moldes protótipo em cerâmica para a produção de amostras pelo processo de sopro parado, sopro rodado ou mesmo injeção. Não se inclui nesta possibilidade a produção de protótipos em linhas automáticas, mas os protótipos de linhas automáticas podem e devem ser feitos em linhas normais manuais. A figura 5 apresenta alguns exemplos de peças em vidro obtidas em ferramentas rápidas cerâmicas e metálicas a partir de modelos em LOM.



Figura 5 Peças em vidro obtidas com tecnologias de conversão, a partir de modelos de PR..

2.3 DESIGN INDUSTRIAL

Este não é claramente um sector industrial relevante, mas para empresas que desenvolvem produtos, é uma componente fundamental na fase inicial da génese do desenvolvimento dos produtos. De facto é pelo design que tudo começa, numa área onde o alheamento da existência das tecnologias de PR é dificilmente desculpável para os profissionais deste sector. Embora não sejam conhecidas muitas utilizações das tecnologias de PR, entende-se que a PR é um excelente complemento às quase inexcedíveis capacidades gráficas que os mais poderosos sistemas de modelação em CAD 3D possuem, mas que apesar de excepcionais, não conseguem transformar em objectos sólidos o modelo CAD tridimensional, o que de facto é um dos objectivos concretos das tecnologias de PR [16-22]. As figuras 6 e 7 apresentam alguns exemplos de trabalhos realizados nesta área.



Figura 6 Exemplos de peças de design em que o Inegi colaborou utilizando as tecnologias de PR e de conversão.



Figura 7 Peças de design produzidas no Inegi.

2.4. SECTOR DE FUNDIÇÃO

A análise da utilização da PR na fundição deve ser subdividida em dois sub-setores, a fundição em areia e a fundição injectada.

No sector da fundição em areia, a utilização da PR tem um significado quase inexpressivo, e limita-se a ser usada por um pequeno grupo de empresas. Neste caso os modelos de PR, em SLA, SLS ou especialmente em LOM, são usados como masters de moldes e caixas de machos, fabricados por vazamento de uma resina epóxida ou de um poliuretano sobre o modelo. Apesar das enormes potencialidades do processo de PR LOM, para o fabrico de moldes e caixas de machos, a baixíssima utilização de sistema de CAD 3D pelas fundições e pelos carpinteiros de moldes, inviabilizam a sistematização da utilização dos processos de PR. A figura 8 apresenta alguns exemplos de modelos em LOM que foram usados como “masters” de ferramentas de fundição.



Figura 8 Modelos em LOM para fundição.

No sector da fundição injectada, especialmente para o caso de fabrico de pré-séries, a PR tem servido, com algum significado, para obter modelos de peças, particularmente em LOM, SLA e SLS, que após a realização de moldes em silicone em resinas rígidas, permitem obter peças em cera que são convertidas em protótipos metálicos, pelo processo da cera perdida, em apenas 3 / 4 semanas, para pré-séries de 20-100 peças [19, 23, 24].

O processo é rápido, tem elevada precisão dimensional, e os protótipos apresentam características inigualáveis. No entanto, os preços elevados dos protótipos restringem uma utilização mais generalizada. O trabalho desenvolvido pelo INEGI, para empresas como a Sonafi, Cacia, Julcar, Cifial, Kupper and Schmidt, Valsan, Vulcano e outras, que detêm tecnologias ou produtos, tem sido bastante significativo e gratificante, dada a aceitação da importância deste processo inovador no desenvolvimento de novos produtos [19].

Outras instituições, como por exemplo o Cinfu, usando modelos em SLS, têm tido experiências que pensamos serem igualmente gratificantes, na utilização de moldes e caixas de machos em SLS, para produzirem pré-séries de peças a serem futuramente injectadas.

Qualquer observador atento, que frequente congressos e feiras de PR, como por exemplo a Euromolde, poderá facilmente confirmar que um dos temas mais abrangidos pela PR nestes eventos, está exactamente relacionado com as tecnologias de conversão de protótipos em pré-séries pelo processo da cera perdida, com especial incidência no sector da indústria automóvel, mas igualmente aplicável ao sector de ferragens, torneiras, electricidade, electrónica, aeronáutica e aeroespacial [25, 26].

A figura 9 apresenta alguns protótipos metálicos obtidos a partir de modelos de PR e tecnologias de conversão [19]. Após a aceitação dos protótipos metálicos, as peças finais serão produzidas por fundição injectada.

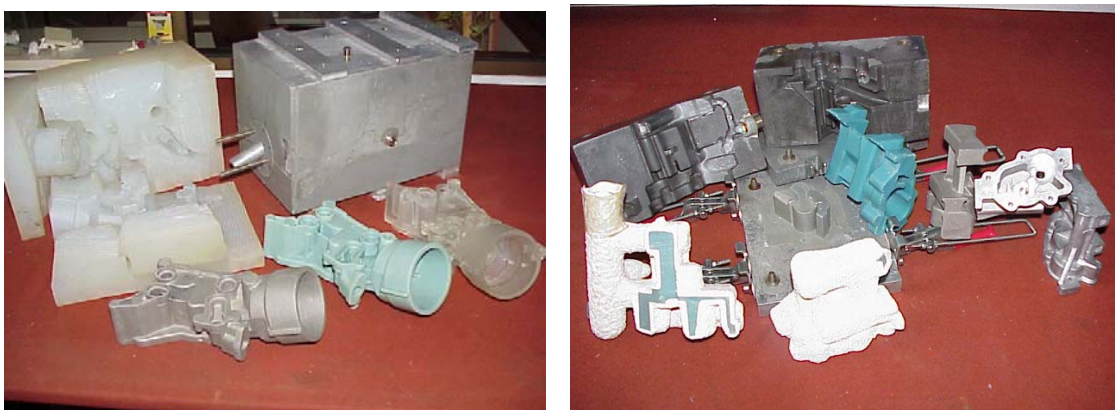


Figura 9 Pré séries obtidas a partir de modelos de PR e utilizando as tecnologias de conversão.

2.5 ARQUITECTURA E ENGENHARIA CIVIL

São raras as experiências da utilização de tecnologias PR nestes sectores da actividade económica [27]. No entanto, existem alguns exemplos de levantamentos topográficos e de maquetas realizados em LOM. Curiosamente, um dos últimos equipamentos adquiridos em Portugal, foi uma estereolitografia, modelo VIPER SI2, cujo objectivo da aquisição foi complementar as técnicas de maquetismo manual e de CAD/CAM, com tecnologias de alto detalhe e precisão como é o caso da estereolitografia. Nada melhor que a iniciativa de um interveniente directo neste sector, para justificar o enorme potencial e interesse das tecnologias de PR neste relevante sector de actividade. A figura 10 apresenta uma maqueta de um edifício e uma maqueta de uma zona da serra da Lousã, sendo esta última usada para projecção de imagens obtidas em simulações numéricas de incêndios.



Figura 10 Maquetas em LOM.

2.6 INDÚSTRIA AUTÓMOVEL, sub sector dos plásticos

Não deve ser muito errado afirmar que qualquer fabricante de componentes por injeção de plásticos, sabe que a PR existe e que provavelmente já usou modelos com algum objectivo, em última análise para visualizar a futura peça a produzir ou mais correntemente como

auxiliar de eventuais trabalhos de desenvolvimento. Alguns destes fabricantes, também usam estas tecnologias para finalidades diferentes, tais como para termodomésticos, electrodomésticos, indústria eléctrica e electrónica. Verifica-se assim que quem trabalha para este sector, por simpatia, tende a utilizar estas tecnologias noutros sectores industriais. Pode-se mesmo dizer que a grande força motriz do desenvolvimento das tecnologias de prototipagem rápida, a nível mundial foi, é e será sem dúvida, o sector automóvel [2, 19, 28, 29]. Não podemos deixar de referir aqui a situação do INEGI, que iniciou a sua actividade de PR com uma máquina de LOM, a produzir protótipos para a indústria de fundição, e que rapidamente diversificou a actividade para a produção de protótipos para sectores tão diversos como os do design, ferragens, arquitectura, sapatos, etc. [10, 11, 14, 15, 30]. Em Portugal, só por descuido pode ainda alguma empresa desconhecer as virtudes mínimas destas tecnologias, no aumento da capacidade e da velocidade de desenvolvimento de novos produtos e do conseqüente impacto que essa mais valia pode ter no aumento da competitividade e na redução do “time to market”.

Relativamente às utilizações das tecnologias complementares de prototipagem, tais como a reprodução de protótipos sob vácuo em moldes de silicone e a utilização dos modelos para ferramentas rápidas de injeção [29-34], já o panorama se apresenta menos favorável, quer em termos de utilizadores, quer em termos de conhecedores da tecnologia.

2.7 SECTOR DOS MOLDES

Por necessidade de sobrevivência, encaminhamento ou mesmo simpatia, deve ser difícil que algum industrial deste sector desconheça a PR, embora seja certo que para muitos a prototipagem não passe de mais um encargo que antes não existia e que agora alguns dos clientes exigem. De facto, perceber a PR, na verdadeira acepção da palavra, significa conhecer as vantagens e desvantagens dos diferentes processos, as técnicas de conversão usando moldes de silicone, a conversão metálica, as técnicas de fabrico rápido de ferramentas protótipo alternativas aos aços, etc. [1, 3, 29]. E aqui é que, provavelmente, na maior parte dos casos, alguns potenciais utilizadores se limitam a um olhar curioso e desconfiado sobre estas tecnologias.

2.8 SECTOR DO CALÇADO

Já foi o segundo sector nas exportações portuguesas, sendo neste momento o terceiro. É nossa convicção que o sub-sector em que mais se pode aplicar a PR é na produção de maquetas para solas. Curiosamente, apesar de o CAD/CAM à 6/7 anos atrás ser desconhecido neste sector, onde as maquetas das solas eram feitas integralmente à mão por artesãos, hoje em dia há uma adesão de quase 100% a sistemas de CAD/CAM, ou seja., só se fazem maquetas por comando numérico computadorizado (CNC) a partir de modelos CAD 3D, o que torna o processo relativamente simples, usando ferramentas de forma, e utilizando ou não processos de texturização manual das maquetas. Supostamente, os processos de PR não se adaptam bem a este sector, devido a serem demasiado onerosos (SLA), bastante rugosos (SLS), exigirem modelos CAD 3D de sólidos fechados e requererem técnicas de acabamento (lixagem, pintura, etc.), que entram em conflito com as técnicas de acabamento das maquetas em poliuretano de média densidade (LOM). Apesar de algumas tentativas de utilização da PR para a produção de maquetas, estas tecnologias não se afirmaram neste sector nem tendem a afirmar-se para apoio ao desenvolvimento e produção. Tal como em todos os outros casos, é possível que possa advir alguma vantagem na utilização destas tecnologias, mas os fabricantes têm a solução do CAD/CAM, que é evoluída, por vezes é mesmo muito sofisticada, e como funciona bem, há que reconhecer mérito aos industriais do sector que em devido tempo souberam responder às exigências do mercado.

Estamos convictos que a introdução das tecnologias de PR, associadas ao vazamento em câmaras de vácuo de protótipos em elastómero de poliuretano denso, podem representar um precioso auxiliar na velocidade de apresentação de novos modelos a mais baixos custos. Actualmente, a metodologia usada em Portugal para a produção de amostras é a mesma usada para a produção em série. Parte-se da maqueta em poliuretano, reproduz-se em silicone o contramolde, faz-se um macho de gesso cerâmico, fabrica-se por fundição a cavidade, maquina-se a bucha e finaliza-se o molde, injectando-se as amostras em PVC, TR ou PU, ou molda-se por compressão a Latex. Se as amostras forem aprovadas, completa-se a série de moldes, que inclui todos os números dos sapatos, caso contrário o molde metálico serviu apenas para fazer os protótipos que não chegaram a ser produtos. Esta metodologia existe e persiste, porque de facto, é impressionante o reduzido preço dos moldes definitivos. No entanto, perde-se em rapidez e em auto suficiência dos fabricantes

de solas, uma vez que com câmaras de vácuo e protótipos das solas por PR, poderiam assegurar o fabrico das amostras dentro de casa, com todas as vantagens que estas metodologias representariam. A figura 11 apresenta alguns exemplos de solas de sapatos obtidas a partir de modelos em LOM.



Figura 11 Solas de sapatos obtidas a partir de modelos em LOM.

2.9 SECTOR DAS FERRAGENS

Salvo algumas honrosas exceções, não será errado dizer que os industriais deste sector desconhecem as técnicas de PR e a sua importância, no auxílio ao desenvolvimento de novos produtos, quer no que respeita à verificação de formas e atravancamento, quer no que respeita à possibilidade desses protótipos poderem ser convertidos em metal pelas técnicas de “investment casting” [1, 20]. Dadas as pequenas dimensões destes artigos, os protótipos têm preços muito acessíveis e a desinibição que indubitavelmente transmitem aos criadores, garantem uma relação custo/benefício baixíssima. Comodismo, desinteresse e/ou desconhecimento, ou a não utilização do sistema de projecto CAD 3D, são as únicas justificações possíveis para o alheamento deste sector industrial a estas ferramentas de apoio ao desenvolvimento de novos produtos.

A regra que justifica estas afirmações, incomodativas e propositadamente controversas no sentido construtivo são; “é sempre mais caro corrigir uma matriz de forjamento ou um molde de fundição (moldação) do que fazer um protótipo”. A figura 12 mostra vários exemplos de ferragens desenvolvidas pelas novas tecnologias.



Figura 12 Exemplos de ferragens em LOM e conversões em metal pelo processo de cera perdida..

2.10 SECTOR DAS TORNEIRAS

Este sector está completamente alheado das potencialidade destas tecnologias, mas as vantagens que as técnicas de PR podem oferecer em Portugal são bastante restritivas. Quase todas as torneiras são feitas por fundição e as ferramentas de fundição (coquilha e caixa de machos) são de projecto complexo e execução bastante onerosa. A possibilidade de uma série de torneiras poder ser montada, comercialmente exibida e testada hidráulica e acusticamente, pode ser uma vantagem técnico/económica altamente compensadora. É possível, com recurso à PR e às tecnologias de conversão em metal, pelo processo de cera perdida, poder contornar este problema. Desconhecemos qualquer tipo de experiência de sucesso em Portugal ou noutros países, no entanto é um nicho de mercado para a prototipagem e uma potencial vantagem para os produtores de torneiras. Na figura 13 está representado um modelo de torneira desenvolvido por PR.



Figura 13 Protótipos de torneiras em latão e aço inoxidável obtidas por cera perdida, a partir de modelos de PR..

2.11 OUTROS SECTORES

Todos os sectores, industriais ou não, podem e devem beneficiar destas novas tecnologias, para de uma forma ou de outra, aumentar a velocidade de desenvolvimento de novos produtos, a sua capacidade de criar mais produtos por unidade de tempo e também a sua capacidade de o mais rapidamente possível os colocar com êxito no mercado. Não se pode usar estas ferramentas de uma forma racional sem previamente se utilizar correntemente o CAD 3D, pelo que é o alheamento que inibe e atrasa os grandes e potenciais utilizadores destas recentes tecnologias. Um bom exemplo de uma utilização não industrial destas tecnologias, e com um elevado grau de sofisticação, é no sector da saúde (ver figura 14). Neste caso, a partir de um TAC (Tomografia Axial Computarizada) ou RMN (Ressonância Magnética Nuclear) é possível, por exemplo, criar um ficheiro CAD 3D de tecidos humanos duros (ossos), ou moles (músculos). Introduzindo o ficheiro STL gerado a partir do CAD em qualquer equipamento de PR, pode-se reproduzir o conjunto em análise. Estes protótipos, podem por exemplo servir para:

- Possibilitar o treino pré-cirúrgico à equipa de cirurgiões que vai efectuar a intervenção.
- Reduzir o tempo de espera do paciente na intervenção e reduzir drasticamente o risco e o sofrimento da intervenção.
- Possibilitar a realização de instrumentos cirúrgicos adaptados ao paciente e ao caso específico.
- Reduzir o número de incisões ou mesmo evitá-las, por possibilitar o acesso através de outros caminhos.
- Possibilitar a realização de implantes ou próteses de partes ósseas fracturadas em acidentes ou retiradas por necessidade da intervenção cirúrgica (tumores).
- Próteses poliméricas ou metálicas à medida do paciente, obtidas por tecnologias de conversão.



Figura 14 Modelos médicos em LOM.

3. CONCLUSÕES

Este artigo de opinião, assenta num intenso trabalho realizado ao longo dos últimos 5 anos no INEGI e na FEUP/DEMEGI, em que se desenvolveram não só as tecnologias de prototipagem rápida e processos de conversão, mas também se publicaram um livro, numerosos artigos em conferências nacionais, internacionais e em revistas da especialidade.

Com este trabalho pretendeu-se sensibilizar os potenciais interessados da indústria cerâmica e de outros sectores industriais para a necessidade de utilização das tecnologias de CAD e PR, em franca expansão por todo o mundo, e que teimam em não se afirmar plenamente em Portugal.

As opiniões aqui emitidas podem naturalmente pecar por alguma arrogância que, no entanto, é premeditada, com o intuito de construtivamente alertar alguns sectores industriais para o perigo que correm em não aderirem rapidamente à utilização das novas tecnologias disponíveis que permitem aumentar a sua competitividade no mercado. Estamos convictos de que se ferimos alguma susceptibilidade, e que se esse facto foi suficiente para “ligar o interruptor” da actualização estratégica de alguma empresa, os nossos objectivos foram plenamente atingidos.

REFERÊNCIAS

- [1] Fernando Jorge Lino Alves, Fernando Jorge Sousa Braga, Manuel São Simão, Rui Jorge de Lemos Neto, e Teresa Margarida Guerra Pereira Duarte, “PROTOCLICK - Prototipagem Rápida”, Editado por Protoclick, www.protoclick.com, Porto, Fevereiro (2001).
- [2] T. T. Wohlers, “Rapid Prototyping & Tooling – State of the Industry”, 1999 Worldwide Progress Report, Wohlers Associates (1999).
- [3] RNPR, “Rede Nacional de Prototipagem Rápida”, O Molde , Ano 13 , N.º 45, pp. 28-33, Setembro (2000).
- [4] D. T. Pham e S. S. Dimov, “Rapid Manufacturing, the Technologies and Applications of Rapid Prototyping and Tooling”, Springer V., London Ltd. (2001).
- [5] F. Jorge Lino e Rui J. Neto, “A Prototipagem Rápida na Indústria Nacional”, 2º Encontro Nacional do Colégio de Engenharia Mecânica da Ordem dos Engenheiros, pp. 4.15-4.22, Coimbra, 15-16 Dezembro (2000).
- [6] M. P. Groover, "Fundamentals of Modern Manufacturing Materials, Processes and Systems", Prentice Hall Inc., Upper Saddle River, NJ (1996).
- [7] "New Developments", Rapid Prototyping, Fourth Quarter, Vol. 4, N.º 4, pp. 5 (1998).
- [8] F. Jorge Lino, Rui J. L. Neto, M. Teresa Vasconcelos, Pedro V. Vasconcelos, Acácio V. Pereira e Elisabete C. Silva, “Diluição de Fronteiras Entre o Design e a Indústria Através da Prototipagem Rápida – Um Caso de Estudo”, Cadernos Empresariais, Ano 2 N.º 7, pp. 58-63 (2000).
- [9] D. Kochan, "Solid Freeform Manufacturing: Advanced Rapid Prototyping", Vol. 19 Manufacturing Research Technology, Elsevier Publishers B. V., Netherlands (1993).
- [10] Rui J. L. Neto, A. Barbedo Magalhães, Mário J. A. Pinto, e Bárto A. C. Paiva, “A Prototipagem Rápida e a Produção de Protótipos Funcionais e Pré Séries em Fundição”, Tecnometal, N.º 112, pp. 5-8, Setembro/Outubro (1997).
- [11] R. J. Neto, A. B. Magalhães, T. P. Duarte, e F. Jorge Lino, “A Prototipagem Rápida e a Fabricação Rápida de Ferramentas para Forjamento na Indústria de Ferragens”, Tecnometal, N.º 115, pp. 5-9, Março/Abril (1998).
- [12] Projecto Mobilizador RNPR, “Prototipagem Rápida”, Tecnometal, N.º129, pp. 5-17, Julho/Agosto (2000).
- [13] J. L. Nevins e D. E. Whitney, “Concurrent Design of Products and Processes”, McGraw-Hill Publ. Co, NY (1989).

- [14] F. Jorge Lino, Rui J. Neto, Ricardo Paiva, Ana Moreira, “Rapid Prototyping and Rapid Tooling in Product Development of Ceramic Components”, II International Materials Symposium, Materiais 2003 of Sociedade Portuguesa de Materiais, A Materials Science Forum, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Campus da Caparica, 14 a 16 de Abril (2003).
- [15] F. Jorge Lino, Rui J. Neto, Ricardo Paiva, Anabela Alves, “Potential of Rapid Prototyping and Rapid Tooling in the Glass Industry”, II International Materials Symposium, Materiais 2003 of Sociedade Portuguesa de Materiais, A Materials Science Forum, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Campus da Caparica, 14 a 16 de Abril (2003).
- [16] George E. Dieter, “Engineering Design”, McGraw-Hill International Editions, 3rd Edition (2000).
- [17] Carlos Aguiar, “Design Industrial, Parte I – Desenvolvimento de Novos Produtos”, Tecnometal, N.º 143, Novembro/Dezembro, pp. 5-8 (2002).
- [18] Carlos Aguiar, “Design Industrial, Parte II – Os Métodos de Trabalho e as Novas Tecnologias”, Tecnometal, N.º 144, Janeiro/Fevereiro, pp. 5-10 (2003).
- [19] F. Jorge Lino, Rui J. Neto, Ricardo Paiva and Bárto Paiva, “Metallic Prototypes for the Pressure Die Casting Industry”, RPD – Rapid Product Development – Advanced Solutions and Development, Semana de Moldes 2002, Centimfe, Marinha Grande, 7-11 Outubro (2002).
- [20] F. Jorge Lino, Henry Camboa, Bárto Paiva e Rui J. Neto, “Direct Conversion of Rapid Prototyping Models”, MATERIAIS 2001, 1st International Materials Symposium, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Coimbra, 9-11 Abril (2001).
- [21] P. V. Vasconcelos, F. Jorge Lino, R. J. Neto, Maria Teresa Vasconcelos, “Design and Rapid Product Evolution”, RPD – Rapid Product Development – Advanced Solutions and Development, Semana de Moldes 2002, Centimfe, Marinha Grande, 7 a 11 de Outubro (2002).
- [22] M. Teresa Vasconcelos, Pedro V. Vasconcelos, F. Jorge Lino, “The Contribution of the New Technologies to the 21st - Century Design”, Reunión Científica Internacional de Historiadores y Estudiosos del Diseño, Istanbul, Turquia, 9 a 12 de Julho (2002).
- [23] Lex Lennings, Delft Spline Systems, Holanda, “Selecting Either Manufacturing or CNC Machining to Built Your Prototype”, SME Technical Paper, N° PEOO-171, (2000).

- [24] P. Jorge Silva, A. Barbedo Magalhães, Rui J. Neto, F. Jorge Lino, "Indirect Rapid Tooling Using Ceramic Moulding and Investment Casting Processes", RPD – Rapid Product Development – Advanced Solutions and Development, Semana de Moldes 2002, Centimfe, Marinha Grande, 7 a 11 de Outubro (2002).
- [25] Y. Myers e J. Norton, "Rapid Manufacturing with Rapid Tooling", Prototyping Technology International 98, pp. 30-34 (1998).
- [26] "Rapid Prototyping Booms, Thanks to Tooling", Machine Design, June 13, pp. 38-39 (1996).
- [27] 3D Systems, "Sagrada Familia, Aportaciones Tecnológicas de 3D Systems al Patrimonio de la Humanidad", 3D@work, XII (2001).
- [28] N. P. Karapatis, "Direct Rapid Tooling: a Review of Current Research", Rapid Prototyping Journal, Vol.4, N.º 2, pp. 77-89 (1998).
- [29] P. Vasconcelos, F. J. Lino, and R. Neto, "The Importance of Rapid Tooling in Product Development", MATERIAIS 2001, 1st International Materials Symposium, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Coimbra, 9-11 Abril (2001).
- [30] P. Vasconcelos, F. J. Lino, and R. J. Neto, "Optimization of Resin Tooling Processing – Aluminium Filled and Fiber Reinforced Epoxies", CIMTEC 2002, 10th International Conferences on Modern Materials & Technologies, 10th International Ceramics Congress & 3rd Forum on New Materials, Florence, Italy, 14-19 July (2002).
- [31] P. Vasconcelos, F. Lino, e R. Neto, "O Fabrico Rápido de Ferramentas ao Serviço da Engenharia Concorrente", Tecnometal, N.º 136, Setembro/Outubro, pp. 17-21 (2001).
- [32] Marshall Burns and James Howison, "Napster Fabbing – Internet Delevery of Physical Products" – O' Reilly Peer to Peer Conference, São Francisco, February (2001).
- [33] Smith, P., "Using Conceptual Modellers For Business Advantage", Time-Compression Technologies, April, pp. 18-24 (2001).
- [34] Pedro Vasconcelos, F. Jorge Lino, R. J. Neto, Armanda Teixeira, "Glass and Carbon Fibre Reinforced Hybrid Composites for Epoxy Tooling", Struers Journal of Materialography, Structure 40, pp. 3-5 (2003).