

**FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO  
ESCOLA SUPERIOR DE ARTES E DESIGN DE MATOSINHOS**

**Desenvolvimento de Novos Produtos em Vidro  
Utilizando Tecnologias de Prototipagem Rápida**

**ACÁCIO JOSÉ VIEGAS PEREIRA**

Licenciado em Design do Produto  
pelo Instituto Superior Politécnico de Viana do Castelo

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de mestre  
em  
**Design Industrial**

Dissertação Realizada sob a supervisão de  
**Professor Doutor Fernando Jorge Lino Alves,**  
do Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial  
da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Porto, Março de 2006



**À minha mulher**  
**pelo apoio incondicional**

**À minha filha Mariana**  
**pela alegria que me transmite**

**Aos meus pais**



---

## Sumário

O actual ambiente de competição caracterizado pela célere variação da necessidade pronunciada por parte dos consumidores na sua satisfação estética, implica uma constante adaptação por parte das empresas, quer a nível de desenvolvimento, quer a nível de produção.

A obtenção de peças decorativas em vidro, com recurso a processos de termoformação de formas tridimensionais exige a produção de moldes complexos, de difícil obtenção por métodos tradicionais, por estes representarem um substancial agravamento dos custos e tempos de desenvolvimento dos produtos, desmotivando deste modo a sua produção.

Este trabalho apresenta metodologias adequadas à produção de objectos em vidro por termoformação, recorrendo a modelos obtidos a partir de tecnologias de prototipagem rápida e processos de conversão. Estes processos permitem obter rapidamente ferramentas para a termoformação, usufruindo de maior liberdade na criação de objectos com formas tridimensionais, reduzindo o tempo de colocação de novos produtos no mercado e abrindo novas oportunidades no design de peças em vidro.

São apresentados casos práticos de peças obtidas por este método, referindo as técnicas de obtenção dos moldes cerâmicos, ciclos térmicos e técnicas de inclusão de motivos decorativos, mencionando os parâmetros de influência na qualidade final do produto.

### **Palavras – chave:**

Design, Produto, Vidro, Termoformação, CAD, Prototipagem.



---

## **Abstract**

The actual competition characterized by fast evolution of the consumer's necessity in aesthetic satisfaction demands a constant adaptation of the companies' development and production levels.

The production of decorating glass parts by thermoforming of three-dimensional shapes demands expensive moulds, which are hard to get through the traditional methods. Therefore it represents a substantial aggravation in the price and development time of the final product, which doesn't make their production attractive.

The present work presents adequate methodologies for glass artifacts production by thermoforming, which are based on rapid prototyping models and conversion technologies that allow the fast obtainance of thermoforming tools. This method brings greater liberty on products design with three-dimensional shapes, which allow the reduction in the time to market and opens new opportunities in the design of new bold glass artifacts.

Thermoforming cycles, glass decorating techniques and the influence of the ceramic moulds production parameters on the product final quality are studied and the best solutions presented.

## **Keywords**

Design, Product, Glass, Thermoforming, CAD, Prototyping.



---

## **Agradecimentos**

Ao Professor Doutor Fernando Jorge Lino Alves, pela amizade e dedicação na orientação deste trabalho, e pelo entusiasmo com que trata as questões do design.

Ao Eng.º Rui Neto, pela interesse em incluir este trabalho nos objectivos de inovação tecnológica do INEGI, assim como a disponibilização de meios físicos e humanos que tornaram possível a sua realização.

Ao Eng. Rui Félix, Eng. Pedro Teixeira, Sr. José Teixeira, Sr. Fernando Moreira, Sr. Sertório Lares, Eng. Bárto Paiva e Eng. Ricardo Paiva, pela ajuda e colaboração no trabalho experimental.

À Professora Doutora Maria Teresa Vasconcelos e Professor Doutor Augusto Barata da Rocha, pelas cartas de recomendação para admissão no mestrado.

Ao Dr. Eduardo Martins, Designer Carlos da Torre, pela leitura e crítica.

Dr.ª Sofia Pereira, pela ajuda nas traduções.

Aos meus amigos e colegas de mestrado.

Aos professores do mestrado.

Ao João Sousa, pela impressão deste trabalho.

A todos os que directa ou indirectamente me apoiaram na realização do mestrado.



## Introdução

Desenvolver produtos é um processo essencial para a competitividade das empresas. O aumento da concorrência e as rápidas mudanças tecnológicas, a diminuição do ciclo de vida dos produtos e uma crescente exigência por parte dos consumidores, obrigam as empresas a uma maior agilidade e produtividade, levando à adopção de sistemas de concepção e desenvolvimento de novos produtos que permitam uma rápida resposta às necessidades do mercado.

A investigação em meios informáticos cada vez mais sofisticados e potentes tem alterado radicalmente os processos de trabalho em projecto, quer nas áreas do design conceptual, quer nas áreas do projecto de engenharia.

O recurso às novas tecnologias de prototipagem rápida através de ficheiros CAD provenientes dos sistemas de concepção de produtos é cada vez mais necessário, pela sua capacidade de resposta em prazos mais curtos, e por permitir uma análise mais detalhada do produto, evitando assim erros que detectados mais tarde poderiam tornar-se mais onerosos.

As indústrias de transformação de vidro plano em objectos decorativos por processos de termoformação, debatem-se com a constante limitação no que diz respeito à obtenção de formas tridimensionais, por estas exigirem a produção de moldes complexos obtidos por métodos tradicionais, representando um substancial agravamento dos custos e tempos de desenvolvimento dos produtos e muitas vezes limitando a criatividade dos designers.

Este trabalho de investigação pretende sensibilizar, familiarizar e alertar os designers para o uso das tecnologias de prototipagem rápida e fabrico rápido de ferramentas, facilitando a comunicação e estabelecendo códigos apropriados, desenhos, imagens e ficheiros, que facilitem o recurso a estas tecnologias.

Entre os objectivos específicos podem ser citados:

- 
- Proporcionar uma visão geral da história do vidro, assim como o conhecimento superficial sobre as propriedades e aplicações deste milenar material.
  - Abordagem teórica que permita a compreensão da coexistência das dimensões socio-económicas no design de produtos, desde a revolução industrial à proliferação das tecnologias na era digital.
  - Ressaltar a importância da utilização de métodos de concepção e desenvolvimento de produto, como um processo chave para a competitividade das empresas.
  - Abordagem às diversas tecnologias de prototipagem rápida e fabrico rápido de ferramentas, e a sua importância no processo de desenvolvimento de novos produtos.
  - Desenvolver metodologias adequadas à produção de objectos em vidro por termoformação, recorrendo a modelos obtidos a partir tecnologias de prototipagem rápida e processos de conversão que permitam obter rapidamente ferramentas para a termoformação.

Este trabalho insere-se nos objectivos de inovação tecnológica propostos pelo INEGI – Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, onde este trabalho de investigação foi realizado, e que tem como missão estudos de inovação e transferência de tecnologias, contribuindo para o aumento da produtividade das empresas nacionais.

## Índice Geral

Sumário .....	5
Abstract .....	7
Agradecimentos .....	9
Introdução .....	11
Índice Geral .....	13
<b>1. ESTUDO DOS VIDROS .....</b>	<b>17</b>
1.1. Breve História do Vidro .....	17
1.2. Breve História do Vidro em Portugal .....	24
1.3. O que é o Vidro? .....	25
1.3.1. Tipos de Vidros .....	28
1.4. Principais Processos de Trabalho do Vidro .....	32
1.5. Técnicas de Trabalho de Forno - Termoformação (slumping) .....	35
1.5.1. Tipos de Moldes .....	36
1.5.2. Ciclo de Cozedura .....	37
<b>2. O DESIGN, DA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL À REVOLUÇÃO DIGITAL .....</b>	<b>41</b>
<b>3. DESENHO ASSISTIDO POR COMPUTADOR (CAD) .....</b>	<b>51</b>
3.1. Sistemas 2D .....	52
3.2. Sistemas 3D .....	53
3.3. Dos Sistemas de CAD à Prototipagem Rápida .....	55
<b>4. CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS .....</b>	<b>59</b>
4.1. Evolução do Conceito de Produto/Novo Produto. ....	59
4.2. Definições do Processo de Desenvolvimento de Produto .....	60
4.3. Situação Actual .....	60
4.4. Design e Desenvolvimento de Produto. ....	61
4.5. Processo de Desenvolvimento de Produto .....	63
4.5.1. Observação .....	64
4.5.2. Geração de Conceitos .....	64
4.5.3. Selecção de Conceitos .....	67

---

4.5.4.	Prototipagem .....	68
4.5.4.1.	Prototipagem Rápida.....	70
4.5.4.1.1.	Principais Processos de Prototipagem Rápida .....	74
4.5.4.2.	Fabrico Rápido de Ferramentas (RT) .....	85
4.5.5.	Implementação .....	90
4.5.5.1.	Projecto de Detalhe.....	90
4.5.5.2.	Lançamento em produção .....	90
4.5.6.	Conclusões .....	91
<b>5.</b>	<b>TRABALHO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>95</b>
5.1.	Introdução .....	95
5.2.	Objectivos do Trabalho Experimental .....	95
5.3.	O Problema .....	95
5.4.	Processo de Design .....	96
5.5.	Produção dos Objectos em Vidro .....	96
5.5.1.	Produção do Molde com Recurso a Tecnologias de Prototipagem Rápida.....	96
5.5.1.1.	Obtenção do Negativo do Molde em Silicone .....	98
5.5.1.2.	Moldação Cerâmica .....	100
5.5.1.3.	Termoformação.....	103
5.5.1.4.	Acabamentos dos Vidros .....	105
5.5.1.5.	Inclusões de Motivos Decorativos .....	107
5.6.	Considerações Finais.....	109
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS.....</b>	<b>113</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>115</b>

# **CAPÍTULO 1**



## 1. ESTUDO DOS VIDROS

Olhar o passado possibilita a visão de um cenário rico em oportunidades de melhoria e de inspiração, quer em elementos técnicos, quer em elementos estéticos e que nos permitirá alcançar a modernidade e a perícia técnica necessária ao desenvolvimento de novos conceitos assentes em bases experimentais solidificadas.

Os vidros têm características extremamente interessantes que respondem a necessidades de utilização nos mais diversos contextos. Uma visão atenta possibilita a percepção da grande omnipresença dos materiais vítreos, o que faz com que estes muitas vezes passem despercebidos, uma vez que fazem parte do nosso quotidiano.

Esta situação advém do facto de ser um material milenar conhecido e estudado ao longo do tempo, estando entre os materiais mais antigos feitos pelo homem. É, por isso, um material cuja história se confunde com a própria história da civilização.

Neste capítulo pretende-se, de forma sucinta, proporcionar uma visão geral da história do vidro, assim como um conhecimento superficial sobre as propriedades e aplicações deste milenar material, focando em especial o vidro plano, conhecido como vidro de construção, por ser a base do trabalho experimental.

### 1.1. Breve História do Vidro

Os vidros existem na natureza desde que se formou a crosta terrestre e o homem deles terá feito uso muito antes de saber produzi-los.

Os chamados vidros naturais podem ser formados quando alguns tipos de rochas são fundidas a elevadas temperaturas e, em seguida, solidificadas rapidamente. Esta situação pode, por exemplo, ocorrer nas erupções vulcânicas, formando os vidros naturais, chamados obsidiana e tektites.

Ao contrário de outras famílias de materiais, como os metais ou cerâmicos, os vidros, por serem esteticamente atraentes devido ao seu brilho e transparência foram inicialmente utilizados pelo homem apenas com funções decorativas, e só posteriormente tiveram aplicações utilitárias [1].

Vejamos então por ordem cronológica alguns dos principais acontecimentos que marcaram a evolução dos vidros.

### **9.000 a.C.**

No antigo Egito pequenas contas de obsidiana (vidro natural de origem vulcânica) eram utilizadas para fins decorativos.

### **7.000 a.C.**

Ao desembarcarem nas costas da Síria, há cerca de 7000 anos a.C., os fenícios improvisaram fogões usando blocos de salitre sobre a areia. Observaram que, passado algum tempo de fogo vivo, escorria uma substância líquida e brilhante que solidificava rapidamente. Admite-se que os fenícios dedicaram muito tempo à reprodução daquele fenómeno, até obterem materiais utilizáveis. Shelby, em “Introduction to Glass Science and Technology” oferece-nos um cenário sugerindo que a combinação de sal marinho (NaCl), e talvez ossos (CaO), presentes nos pedaços de madeira utilizados para fazer fogo sobre a areia (SiO<sub>2</sub>), junto à água salgada do mar (o Mediterrâneo?), reduziria suficientemente o seu ponto de fusão, de tal modo que vidro bruto, de baixa qualidade, poderia ser formado [2].

### **3.000 a. C.**

Os primeiros vidros que se conhecem datam de 3000 a.C., em plena idade do bronze, sendo provenientes da Mesopotâmia. Tendo sido um resultado de experiências com vidrados cerâmicos, permitiram a execução de pequenos objectos, como contas, com as quais se procurava imitar as qualidades físicas das pedras preciosas. Esses primeiros objectos de vidro, na sua maior parte de cor azul e verde, foram feitos a partir de talhe de vidro com as formas desejadas, sendo depois polidos. Foi, no entanto, no segundo milénio A.C. que a manufactura evoluiu de modo bastante significativo, ao ponto dos artesãos se revelarem capazes de criar objectos ocos, sem necessidade de talhar um bloco de vidro [3].

Nas margens do Mediterrâneo (actual Líbano) surgem as primeiras peças de vidro (areia e soda fundidas a temperaturas superiores a mil graus Celsius), pequenas contas e figuras decorativas maciças, realizadas por mestres Amoritas e Sumérios [S1].



**Figura 1.1** - Colar de contas de vidro e pasta sílica, com pendentes em forma de figuras e cabeças modeladas sobre núcleo e em molde. Bacia Mediterrânica, Séculos VI-II a.C Museu de Cau Ferrat, Sitges (Espanha) [3].

### **1650 a. C.**

Deu-se início à produção de pequenos recipientes de vidro através da técnica do núcleo prévio ou núcleo de areia, que se tornaria num dos processos mais utilizados e difundidos até ao aparecimento do vidro soprado. Consistia em elaborar um núcleo cuja forma gerava o interior do recipiente [3].

### **600 a.C.**

Data desta época o mais antigo manual de arte vidreira conhecido, pertença da biblioteca de Ashurbanipal, Rei dos Assírios.

### **200 a.C.**

Um desenvolvimento fundamental na arte de fazer objectos de vidro deu-se por volta do ano 200 a.C., quando artesãos sírios da região da Babilónia e Sidon desenvolveram a técnica de sopro. Através desta técnica, um tubo de ferro de aproximadamente 100 a 150 cm de comprimento, com 1 cm de diâmetro, permitia ao vidreiro introduzi-lo no forno contendo a massa de vidro fundida, e retirar uma certa quantidade que, soprada pela

extremidade contrária, dava origem a uma peça oca. Data desta época, também, a utilização de moldes de madeira para a produção de peças de vidro padronizadas [4].

---



---

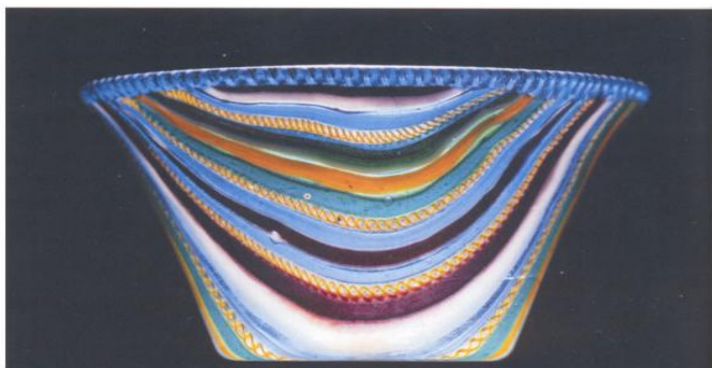
**Figura 1.2** - Frascos executados para guardar perfumes, Mediterrâneo Ocidental, séculos VI-IV a.C Museu de Cau Ferrat, Sitges (Espanha) [3].

### 100 a.C.

Na Alexandria Surgem os primeiros vidros incolores, graças à introdução de óxido de manganês nas composições e de melhoramentos importantes nos fornos, como a geração a altas temperaturas e o controlo da atmosfera de combustão, os quais tiveram marcada influência sobre a qualidade dos vidros e permitiram uma fusão mais eficiente dos materiais constituintes [4].

No Império Romano o vidro é colorido pela adição de óxido de magnésio e generaliza-se a sua aplicação em janelas.

---



---

**Figura 1.3** - Taça de vidro mosaico, provavelmente executada em Itália, na primeira metade do século I a.C., Corning Museum of Glass (Estados Unidos) [3].

### 800 d. C.

Após um longo período de decadência tecnológica que acompanha o declínio do Império Romano, renasce o interesse pelo vidro associado ao seu uso nos vitrais das catedrais. Hrabanus Maurus, bispo da Magúncia, compila pela primeira vez no livro de *Originibus Rerum* os conhecimentos coevos sobre o vidro, sua composição e laboração.



**Figura 1.4** - Vitral Oeste da catedral de Chartres (França). A figura representa a genealogia de Cristo [4].

### **1300 d. C.**

Os venezianos descobrem a composição do “cristallo”, vidro de elevada transparência, e dominam a partir da ilha de Murano a tecnologia do vidro nos séculos seguintes.

### **1400 d. C.**

O vidro Alemão ou da floresta, obtido pela substituição parcial da soda por potassa, obtida da cinza das árvores, atinge a sua maturidade. Este vidro pela sua composição é mais difícil de moldar mas mais adaptado à sua decoração por lapidação.

### **1600 d. C.**

George Ravenscroft inicia em 1675 a produção do vidro “flint” para resolver as dificuldades da fusão do vidro a partir da queima de carvão. Também conhecido por cristal de chumbo, as suas características de brilho e transparência fazem dele a referência de topo do vidro, destronando o “cristallo” veneziano.

Em 1687 o italiano Bernardo Perrotto testa, com sucesso industrial, a produção de vidro plano estirando a massa fundente sobre uma mesa metálica [S1].

### **Os últimos 300 anos**

Em 1765 inicia-se a produção do vidro cristal.

Em 1700 a Saint-Gobain introduziu na sua fábrica um processo de laminação de vidro plano desenvolvido por Louis Lucas Nehon.

Em 1787 inicia-se a utilização de aparelhos de vidro para o estudo das propriedades físicas dos gases: Lei de Boyle e Charles.

Em 1800 dá-se a revolução industrial, a qual abre uma nova era na fabricação de vidros. são usadas pela primeira vez matérias-primas sintéticas e disponibilizados vidros com propriedades controladas.

Em 1840 a Siemens desenvolve o forno do tipo tanque, para a produção de vidro em grande escala (produção de recipientes e vidro plano).

Em 1863 é introduzido o processo “Solvay” que reduz drasticamente o preço da principal matéria-prima para fabricação de vidros.

Em 1875 são desenvolvidos vidros especiais na Alemanha, por Abbe, Schott e Carl Zeiss. A Universidade de Jena, torna-se o maior centro de ciência e engenharia do vidro. A química do vidro está na sua infância.

Em 1876 é fundada a Bauch & Lomb Optical Company, em Rochester, Nova York, e inicia-se a fabricação de lentes e outros componentes ópticos.

Em 1881 apresentam-se os primeiros estudos sobre propriedade-composição de vidros para a construção de instrumentos ópticos, tais como o microscópio.

Em 1886 é desenvolvida, por Ashley, a primeira máquina para soprar vidro.

Em 1915 a Universidade de Sheffield, na Inglaterra, funda o Departamento de Tecnologia do Vidro, hoje chamado Centro para a Pesquisa do Vidro.

Em 1920 a Griggith propõe a teoria que permite compreender a resistência dos bulbos de vidro, o que levou ao entendimento e aperfeiçoamento da resistência dos vidros.

Em 1926 Wood e Gray desenvolveram uma máquina que permitiu a fabricação de bulbos e invólucros de vidro em grande escala (1000 peças/minuto).

Em 1932 Zachariasen publica o seu famoso trabalho sobre a hipótese da rede aleatória e as regras para a formação de vidros no Journal of American Chemical Society [4].

Em 1936, demonstrando avanço no processo de produção de subprodutos do vidro foi desenvolvida a fibra de vidro, ou filamentos finos de vidro utilizados para produzir fios e material têxtil. Esta fibra é utilizada na fabricação de isolantes, plásticos reforçados por fibras e outros materiais compostos [S2].



**Figura 1.5** - Jarro Savoy, vidro incolor e opalino moldado. Alvar Aalto, Finlândia, desenho datado de 1937. Coleção particular [3].

1950-1960, a companhia americana Ford Motor Co. funda o principal centro de pesquisa em vidro. A ciência do Vidro torna-se na sua maior área de pesquisa.

Em 1959, a empresa Pilkington desenvolveu e patenteou um processo revolucionário para produção do vidro plano, o “float-glass”. Este processo consistiu na flutuação do vidro fundido, de forma contínua, num banho de estanho, que pelo efeito do seu próprio peso e do calor, a face superior torna-se perfeitamente plana, polida (atribuindo-lhe melhor transparência) e com uma espessura uniforme.

Em 1960 Turnbull e Cohen propõem um modelo para a formação de vidros, baseado no controlo da cristalização através da taxa de arrefecimento.

Em 1970 a Corning Glass americana produz a primeira fibra óptica de sílica, usando técnicas de deposição química de vapor, para reduzir a atenuação aumentando o sinal da transmissão.

Em 1984 Marcel, Michel Poulain e Jacques Lucas descobrem os primeiros vidros fluoretados em Rennes, na França

Actualmente, as pesquisas estão concentradas nos vidros à base de óxidos utilizando processos tradicionais de fusão. Nos últimos 20 anos foram desenvolvidos novos processos de fabricação de vidros, como o processo sol-gel (totalmente químico, em que não se usa a fusão) e os processos baseados na deposição química de vapor [4].

## 1.2. Breve História do Vidro em Portugal

A história dos vidros em Portugal começou há mais de 250 anos...

### 1400 d. C.

Cerca de 1445 mestres vidreiros colaboram no fabrico dos vitrais do Mosteiro de Santa Maria da Vitória, Batalha.

A Manufactura do vidro expande-se pelo país, havendo referências à sua produção em Coima (Barreiro), em 1470, e Oliveira de Azeméis em 1520.

### 1700 d. C.

A Real Fábrica de Vidros é estabelecida em Coima por D. João Beare em 1719, e transferida para a Marinha Grande em 1747, vindo a fechar em 1767.

Em 1769 o alvará desta fábrica é cedido a Guilherme Stephens e no ano seguinte inicia-se a laboração de “vidro cristalino”, que muitos suspeitam designar o cristal de chumbo.

### 1800 d. C.

Em 1811 é fundada em Lisboa a fábrica da Rua das Gaivotas, cuja actividade se prolongará até 1985.

**1900 d. C.**

Na viragem do século ocorre uma grande expansão da indústria vidreira.

Em 1941 inicia-se a produção de vidro plano mecanizado, pelo processo Fourcault, com a inauguração da fábrica Companhia Vidreira Nacional (Covina), em Santa Iria de Ozóia.

Em 1969 esta fábrica adopta o sistema Pittsburg e só em 1986 adopta o sistema Float.

Em 1971 a Barbosa & Almeida inicia, na sua fábrica de Avintes, a produção automática de vidro de embalagem, com uma máquina IS.

A produção nacional automática de cristalaria inicia-se em 1974 na fábrica da Marinha Grande da Crisal.

A Associação Industrial de Cristalaria é constituída em 1992.

A região do Vidro da Marinha Grande é criada em 1999 pelo Decreto-Lei nº 154/99 [S1].

No mesmo ano a Vitrocristal regista a marca “Marinha Grande Mglass”, distinguida pelo seu design, concebido normalmente por jovens designers portugueses. Em simultâneo, alguns projectos eram concebidos especificamente para os EUA, com a colaboração de designers americanos reconhecidos, tornando-se numa marca de referência com a atribuição de várias distinções, entre elas o prémio Modernism Award 2004, atribuído pela revista Metropolitan Home. Segundo Carlos André, Presidente do Concelho de Administração da Vitrocristal, “no final de 2006, a marca “Marinha Grande Mglass” deverá ser não apenas uma realidade incontornável, do ponto de vista do prestígio, mas também do ponto de vista comercial” [5].

**1.3. O que é o Vidro?**

Qualquer matéria pode ser classificada segundo o seu estado sólido, líquido ou gasoso. No caso do vidro verifica-se a criação de um “estado vítreo”, caracterizado pela sua estrutura amorfa (não cristalina) traduzida microscopicamente pelo agrupamento desordenado de

iões, átomos ou moléculas. A desordem estrutural da matéria vítrea faz com que ela se assemelhe mais à dos líquidos, embora não possa ser considerada como um líquido, mas sim um produto inorgânico fundido, que arrefeceu até ter atingido um estado rígido sem cristalizar [3].

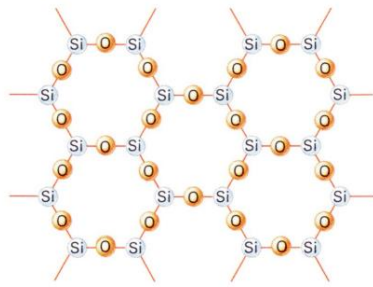
George W. Marey define o Vidro como “Uma substância inorgânica numa condição contínua e análoga ao estado líquido daquela substância, a qual porém, como resultado de uma mudança reversível na viscosidade durante o arrefecimento, atingiu um alto grau de viscosidade de modo a ser, para todos os fins práticos, rígido” [6].

Esta definição é prática porque nos diz o que acontece quando o vidro é fabricado, porém, não responde à questão básica. O que é o vidro?

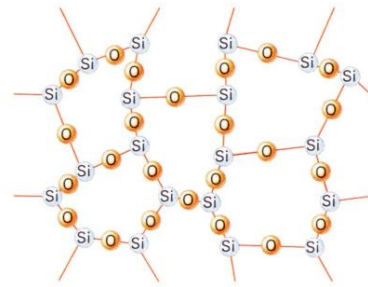
O vidro é um material obtido a partir da fusão de algumas substâncias inorgânicas, em geral areia de sílica e óxidos metálicos secos pulverizados ou granulados. Durante o processo de fusão forma-se uma massa viscosa, transparente e homogênea a temperaturas superiores a 1.000 °C. O arrefecimento desta massa viscosa até à temperatura ambiente, de forma controlada, para evitar a desvitrificação ou cristalização, dá origem a um “Estado Vítreo” em que o vidro adquire uma rigidez adequada ao seu manuseamento, possibilitando a sua obtenção sob diversas formas. Este sólido duro, que não muda de forma, tem a mesma densidade dos cristais de igual composição e várias outras propriedades comuns aos cristais [3, 6, 7, 8].

Geralmente as matérias-primas utilizadas no fabrico do vidro são divididas em três grupos, de acordo com o papel que desempenham, sendo eles vitrificantes, fundentes e matérias secundárias.

A sílica, sob a forma de dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ), é o componente principal do vidro, representando 60 a 80% do seu peso, e é utilizada como vitrificante. A esta matéria é acrescentado os fundentes, de carácter sódico ou potássico, que servem para favorecer a formação do material e baixar a temperatura de fusão, e os estabilizantes que são materiais que conferem dureza à matéria vítrea tendo normalmente carácter cálcico [3].

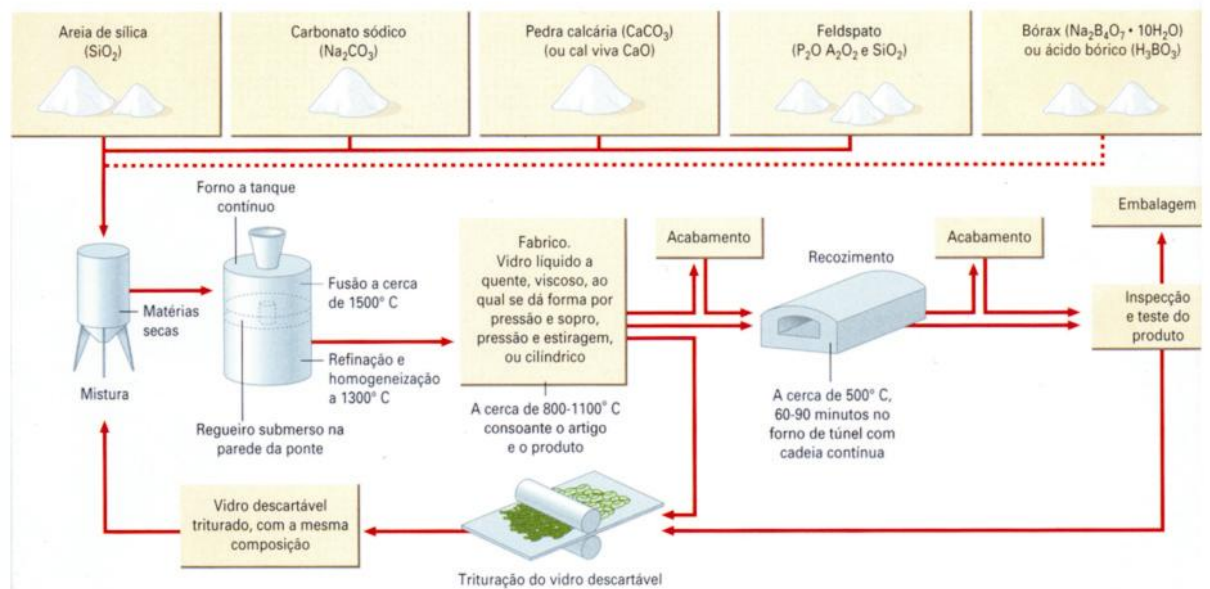


Moléculas de SiO<sub>2</sub> na forma cristalina  
(cristal de quartzo)



Moléculas de SiO<sub>2</sub> dispostas numa rede  
desordenada, própria do vidro.

**Figura 1.6** - Modelo de disposição dos átomos de um material ordenado (cristal) e do vidro (amorfo) [3].



**Figura 1.7** - Diagrama do processo de produção industrial do vidro [3].

### 1.3.1. Tipos de Vidros

A maior parte dos vidros são fabricados a partir de uma mistura de óxido de silício com outros óxidos metálicos, que actuam como fundentes, dando origem a vários tipos de vidro. De uma maneira geral existem três grandes grupos de vidros:

- i) **Vidro silício-sodo-cálcico** ou vidro de construção, é utilizado na fabricação do vidro plano de construção, em embalagem, etc. e representa cerca de 95% de todo o vidro fabricado mundialmente. A este grupo será dada especial atenção por ser o utilizado na parte experimental (Capítulo 5).
  
- ii) **Vidro de chumbo ou cristal**, é obtido a partir da fusão da sílica, potássio e chumbo, apresenta um elevado índice de refração e é mais brilhante do que o vidro comum, o que permite gravar, cortar e decorar, sendo por isso mais utilizado na produção de peças artísticas.

Vidro com maior percentagem de óxido de chumbo (65%) pode ser usado como protector contra as radiações, dada à sua capacidade de absorção dos raios-gama, e outras formas de radiações prejudiciais [6].

Este vidro apresenta menor condutividade eléctrica do que o vidro alcalino, daí a sua utilização em aparelhos científicos.

- iii) **Vidro de boro-silicato**, composto por sílica, ácido bórico ( $H_3BO_3$ ), ácido fosfórico ( $H_4PO_4$ ) e em determinadas circunstancias o óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ), que conferem a este vidro elevada resistência química e estabilidade térmica.

Caracterizados pelo seu baixo teor de alcalóide, apresenta uma durabilidade química e resistência ao choque térmico. Desta forma, é adequado para utilização na indústria química, material de laboratório, para ampolas ou outras embalagens farmacêuticas, para aplicações de luz, com alta densidade, e fibra de vidro usada na indústria têxtil ou para plásticos reforçados com fibras. Em casa são-nos familiares, através dos vidros designados no mercado por Pyrex e que podem ser congelados, levados ao forno e à máquina de lavar loiça [8].



**Figura 1.8** - Instrumentos de laboratório e de cozinha executados com vidro de boro-silicato [3].

Existem ainda outros tipos de vidros importantes, mas representam uma menor parte da utilização total dos vidros, tais como: **o vidro de sílica, o vidro alumínio-silicato, o vidro cerâmico e os vidros ópticos.**

**iv) Vidro de Sílica**, com elevada importância técnica, mas, a necessidade de um ponto de fusão de  $1500^{\circ}\text{C}$  faz com que a sua transparência seja difícil e dispendiosa de alcançar. Uma das alternativas que torna o seu uso menos dispendioso, em muitas aplicações, é a sílica fundida, cujo ponto de fusão é consideravelmente mais baixo, mas a formação de pequenas bolhas de gás no produto final, conferem uma superfície não transparente.

**v) Vidro de alumínio-silicato**, representa um pequeno mas importante grupo de vidros, contendo cerca de 20% de óxido de alumínio, e por vezes óxido de cálcio, óxido de magnésio e óxido bórico em percentagens reduzidas.

A fusão deste tipo de vidro requer altas temperaturas, o que o torna um vidro difícil de trabalhar, mas com a vantagem de adquirir boa resistência ao choque térmico.

As aplicações técnicas incluem, entre outras, tubos de combustão e lâmpadas de halogênio-tungstênio capazes de operar a temperaturas de  $750^{\circ}\text{C}$ .

**vi) Vidro cerâmico**, uma característica essencial da estrutura de vidro é a ausência de cristais, no entanto, através da estimulação propositada de crescimento de cristais nos vidros, é possível produzir uma grande variedade de materiais, com cristalização controlada, sendo possível combinar muitas das melhores qualidades do vidro e da cerâmica.

Alguns destes vidros cerâmicos são formados tipicamente por vidros de silicato do alumínio de lítio, que apresentam elevada resistência ao choque térmico e têm aplicações, tais como, artigos de cozinha e espelhos para telescópios astronômicos.

**vii) Vidros ópticos**, podem ser desenhados para quase todas as combinações específicas de propriedades ópticas, sendo a mais importante o índice refractário e a dispersão.

Uma das características dos vidros ópticos, é a sua reacção à luz ultra-violeta ou ondas infra-vermelhos, tornam-se escuros e voltam à posição original [8].

Em seguida apresentam-se as principais propriedades do vidro silício-sodo-cálcico. Este vidro é normalmente composto por:

- a) Um vitrificante, a sílica, introduzido sob a forma de areia (70 a 72%);
- b) Um fundente, a soda, sob a forma de carbonato e sulfato (cerca de 14%);
- c) Um estabilizante, o óxido de cálcio, sob a forma de calcário (cerca de 10%);
- d) Outros óxidos, tais como os de alumínio e magnésio, que melhoram as propriedades físicas do vidro, especialmente a resistência à acção dos agentes atmosféricos;
- e) A incorporação de diferentes óxidos metálicos permite conferir ao vidro diferentes colorações.

As suas principais propriedades mecânicas são:

- a) **Densidade.** A densidade do vidro plano é cerca de 2.5.
- b) **Resistência à compressão.** A resistência à compressão é muito elevada (1000 MPa).
- c) **Resistência à flexão.** A resistência à ruptura em flexão é da ordem dos 40 MPa, para um vidro polido recozido, e 120 a 200 MPa para um vidro temperado (variando com o tipo de bordo e o processo de fabrico).

Existem vidros com resistência ainda mais elevada devido a tratamentos térmicos específicos que sujeitam as superfícies a tensões de compressão mais elevadas.

- d) **Elasticidade.** O vidro é um material perfeitamente elástico, não apresentando deformação permanente. No entanto, é um material frágil, ou seja, quando submetido a uma tensão crescente, parte sem apresentar sinais indicadores de que vai fracturar [9].

Na tabela 1, são apresentadas várias aplicações de vidros, referindo-se às suas propriedades e métodos de produção.

**Tabela 1** - Aplicações de vidros, propriedades e métodos de produção [8].

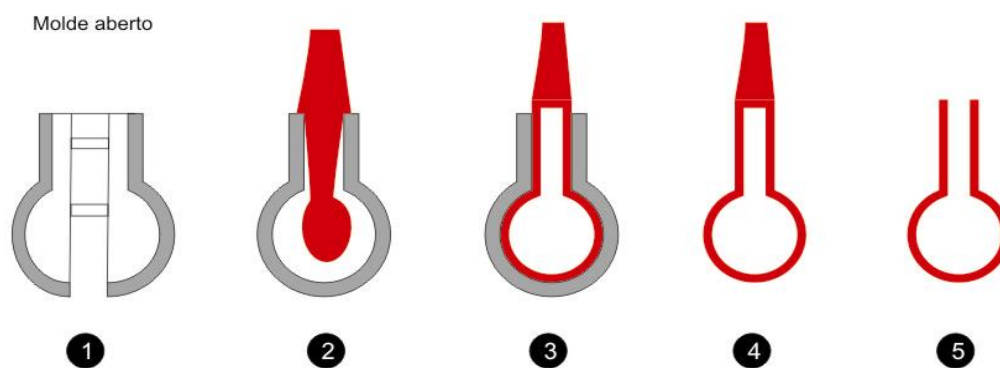
Aplicação	Propriedades	Método de Produção
Contentores, frascos e jarras	Relativamente barato, quando produzido em grandes séries. Resistente ao choque. Pode ser reutilizado ou reciclado. Pode ser esterilizado a altas temperaturas. Não permite a aderência de odores, sabores e substâncias tóxicas.	Soprado mecânico.
Vidro Plano "Flat"	Relativamente barato. Resiste às intempéries. Pode ser revestido.	Processo "Float".
Vidro para uso doméstico	Aparência agradável. Capacidade de se manter operacional em uso constante. Não afecta o conteúdo.	Soprado mecânico. Soprado manual. Prensado.
Protecção de radiações	Alta densidade para absorver as radiações.	Extrudido e vazado, pode ser desbastado e polido para obter precisão óptica.
Tubo de termómetro	Estabilidade térmica e alta transparência.	Manual ou automático.
Vidro de laboratório	Alta durabilidade química. Baixa expansão térmica.	Soprado manual. Sinterizado.
Cristal, vidro doméstico	Acabamento brilhante, atractivo.	Feito à mão por especialistas.
Vidro resistente ao aquecimento	Resistente ao choque térmico. Atractivo. Fácil de limpar. Pode ser usado em microondas.	Prensado automático Soprado mecânico.
Vidro óptico	Larga gama de índices refractários . Dispersão perfeita . Homogeneidade. Alta transparência.	Vazado. Soprado. Prensado.
Vidro para componentes eléctricos	Boas propriedades eléctricas. Baixas perdas eléctricas nas variações de temperaturas. Operacional a altas temperaturas.	Soprado. Sinterizado. Extrudido. Prensado.

## 1.4. Principais Processos de Trabalho do Vidro

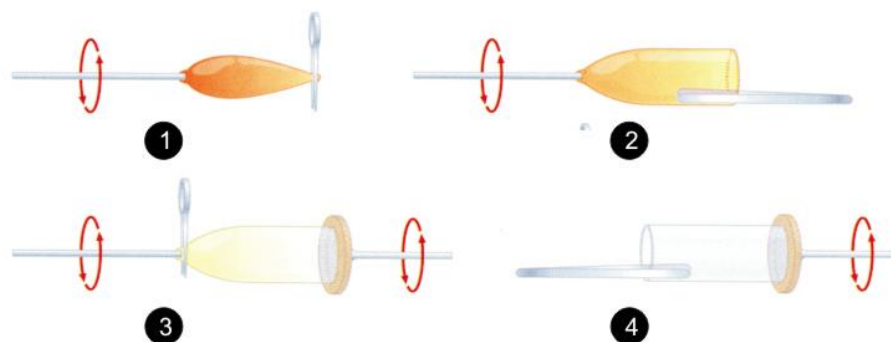
No que se refere ao trabalho manual do vidro, os métodos usados são, hoje, praticamente os mesmos que eram usados há séculos atrás. A diferença é que actualmente os vidreiros dispõem de materiais mais modernos, tais como aços e grafite que facilitam o seu trabalho. Os principais processos de trabalho do vidro são:

### i) Soprado manual

Este processo consiste em soprar o vidro dentro de moldes de ferro fundido, os quais podem ser apenas polidos no seu interior ou revestidos com uma camada de cortiça carbonizada. O sopro pode ser realizado com o vidro parado ou em movimento de rotação no interior do molde, dependendo do tipo de acabamento que se pretende. Neste processo, o vidreiro usa um tubo de aço de 1,2 a 1,5 m de comprimento, a que se dá o nome de cana, que permite recolher a quantidade de vidro fundido, adequada ao tamanho da peça a fabricar, que adere à ponta da cana. A partir deste ponto o vidreiro pode soprar o vidro através da cana contra as paredes do molde, ou pode através de sopros sucessivos e com a utilização de ferramentas adequadas obter outras peças, que podem ser ocas ou maciças. Na figura 1.9 são apresentadas as diferentes fases do sopro manual. Este processo pode ser utilizado sem o recurso a moldes, sendo a forma final conseguida pela habilidade do vidreiro, como mostra a figura 1.10 [6].



**Figura 1.9** - Diferentes fases do processo de sopro manual com molde.



**Figura 1.10** - Diferentes fases do processo de sopro manual sem molde [3].

## ii) Soprado mecânico

A mecanização do processo do soprado manual, foi iniciada no princípio do século XX, passando então a ser possível a produção de peças em vidro de maiores dimensões e mais económicas. No processo de soprado mecânico ou automático, o vidro é soprado por meio de compressores, enquanto a alimentação do vidro, que inicialmente era feita pelo vidreiro de forma manual, é agora efectuada automaticamente por um canal chamado de “forehearth” [6].

## iii) Laminação ou processo “float”

O vidro obtido por este processo denomina-se **vidro plano** ou “float”. A sua obtenção processa-se em 5 grandes etapas, são elas:

### a) Composição

À mistura vitrificável é adicionado o vidro partido (caco) para diminuir a temperatura de fusão. O transporte, a pesagem, a mistura e enformamento são feitos automaticamente. Esta mistura é humedecida para evitar a segregação dos grãos das diferentes matérias-primas e a libertação de poeiras.

### b) Forno de fusão

A elaboração do vidro compreende três fases essenciais: a fusão, durante a qual as matérias-primas são fundidas a temperaturas próximas dos 1150°C; a afinação, durante a qual o vidro fundido é tornado homogéneo e liberto de bolhas gasosas; o acondicionamento térmico, onde o vidro pouco viscoso é arrefecido até que a sua viscosidade corresponda às exigências do processo de transformação.

**c) Banho de estanho**

O vidro líquido é vertido a cerca de 1000°C sobre um banho de estanho fundido. O vidro, menos denso que o estanho, “flutua” sobre este e forma uma chapa com uma espessura natural de 6 a 7 mm. As faces do vidro são polidas, por um lado pela superfície do estanho, e pelo outro pelo fogo. Dispositivos mecânicos permitem acelerar ou diminuir a velocidade do vidro para regular a sua espessura.

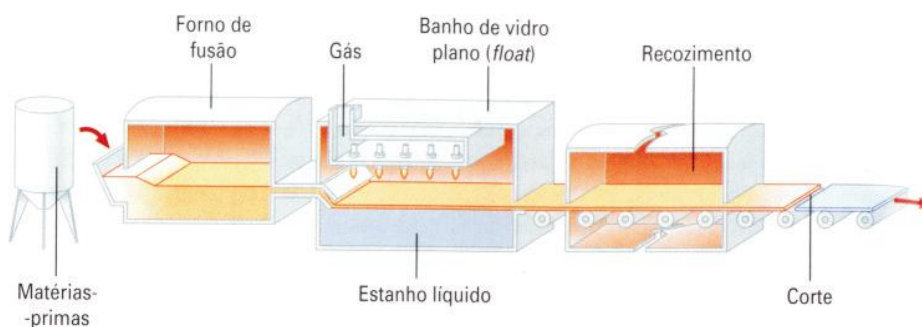
**d) Forno de recozimento**

À saída do banho de estanho a chapa de vidro agora rígida, passa para o túnel de arrefecimento. A temperatura do vidro é reduzida gradualmente de 620 a 250 °C. O arrefecimento lento passa a ser realizado ao ar livre. Este processo permite libertar o vidro de todas as tensões internas que poderiam provocar a sua quebra no momento do corte.

**e) Corte**

A chapa de vidro frio, até aqui contínua, é cortada automaticamente em placas de dimensões standardizadas [9].

A figura 1.11 ilustra, de uma forma geral, o processo de produção deste vidro plano.



**Figura 1.11-** Diferentes fases do processo “float” [3].

## 1.5. Técnicas de Trabalho de Forno - Termoformação (slumping)

A termoformação do vidro, ou termoformado, é um processo que visa dar uma determinada forma ao vidro mediante o aumento da temperatura, sem nunca atingir o estado fluído. Esta técnica é fundamentada na capacidade de deformação do vidro sob o seu próprio peso, ou seja pela acção da gravidade, adaptando-se à superfície do molde. A figura 1.12 mostra um exemplo de uma peça termoformada.

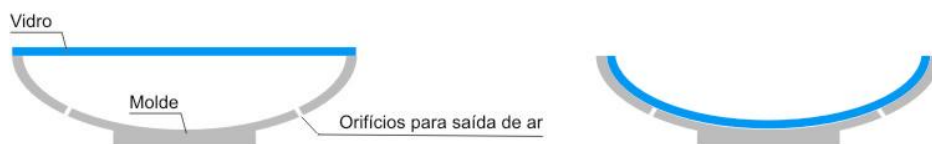
As técnicas de termoformação permitem que o vidro adquira a forma desejada mediante o recurso a moldes utilizados de acordo com os efeitos pretendidos, podendo estes ser executados em diferentes materiais, e servir para elaborar objectos volumétricos ou com relevos e texturas.



**Figura 1.12** - Peça em vidro termoformado com molde (7x38x24cm), Anna Marco, 2002 [3].

A termoformação com moldes pode ser dividida em dois grupos:

- a) Termoformação no interior do molde, em que o vidro se adapta de modo uniforme às suas paredes (figura 1.13).



**Figura 1.13** - Esquema de termoformação no interior do molde.

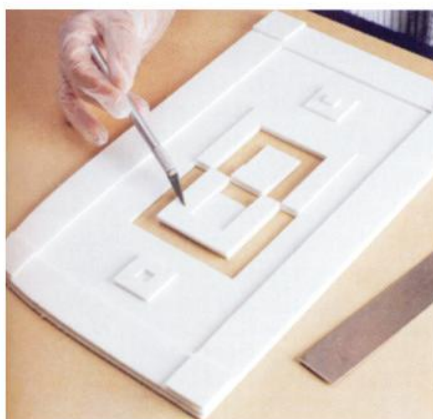
- b) Termoformação no exterior do molde, em que o vidro é colocado sobre o molde, adaptando-se à forma deste (figura 1.14).



**Figura 1.14** - Esquema de termoformação no exterior do molde.

### 1.5.1. Tipos de Moldes

Um dos principais materiais utilizados na indústria de termoformação é a fibra cerâmica ou manta cerâmica (figura 1.15), fabricada à base de alumina e silicatos, minerais que contêm sílica, unidos com um aglutinante orgânico, e que são utilizadas para modelar directamente o vidro. Este tipo de material é facilmente cortado com um objecto afiado.



**Figura 1.15** - Fibra cerâmica ou manta cerâmica utilizada na fabricação de moldes para termoformação [3].

Existem outros tipos de materiais, embora usados com menos frequência, como é o caso dos aços (figura 1.16) e da argila refractária resistente ao calor, com um ponto de fusão na ordem dos 1600 a 1750 °C [10].



**Figura 1.16** - Exemplo de molde em aço utilizado na termoformação [3].

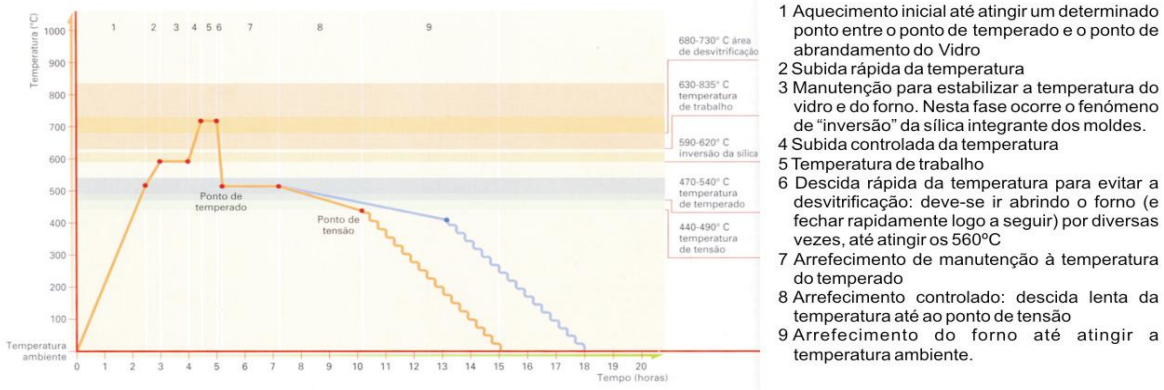
### 1.5.2. Ciclo de Cozedura

A termoformação é, realizada a temperaturas que oscilam entre os 630°C e os 835°C. Dentro deste intervalo situam-se as diferentes técnicas que englobam a sua denominação.

O termoformado é o resultado da combinação de diversos factores, dependendo de aspectos como a espessura e tamanho do vidro, forma do molde, variações de viscosidade relativamente à temperatura, variações da tensão superficial e do peso do material. Este processo exige por isso um controlo exaustivo por parte de quem elabora a peça, sendo a experiência e a sensibilidade factores importantes neste processo, sendo que o grau de exigência aumenta quando se tratar de termoformação em queda livre. Durante o ciclo de cozedura nunca se deve atingir um estado totalmente fluido, evitando assim que o vidro flua livremente, o que poderia originar resultados indesejáveis.

O ciclo de termoformação inclui fases específicas, com subida de temperatura controlada, possibilitando vigiar o comportamento do vidro durante a etapa de aquecimento rápido.

Vejam os um exemplo de curva de cozedura ideal de um objecto, utilizando uma chapa de vidro com 4mm de espessura. Esta curva (figura 1.17) foi pensada para um forno com fonte de calor superior. A temperatura de trabalho oscila entre 560 e 730°C [3].



**Figura 1.17-** Exemplo de ciclo térmico utilizado na termoformação [3].

## **CAPÍTULO 2**



## 2. O DESIGN, DA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL À REVOLUÇÃO DIGITAL.

Os meios de produção e o ambiente sócio-económico revelam-se como factores condicionantes que interferem directamente na forma, no estilo e no próprio método de conceber os produtos.

Durante o período medieval vigorou um modelo de produção artesanal, onde o artesão se destacava como o único responsável pela concepção e criação dos produtos, sendo ele detentor de todos os conhecimentos técnicos que lhe permitiam materializá-lo [11].

O crescimento do comércio, no final da idade média, e o início da transição para uma organização capitalista, embora baseada em processos de produção artesanal mas especializado que permitia a produção de vários objectos do mesmo tipo, origina uma natural separação entre o projecto e a manufactura.

Esta mudança levou a uma expansão do comércio originando, uma maior competitividade entre as oficinas, o que conduziu à necessidade de diferenciação dos produtos para atrair os consumidores.

Neste contexto, o design passou a ser visto como uma novidade capaz de impulsionar as vendas, adquirindo uma grande importância no seio de uma cultura capitalista. Servindo como veículo de comunicação estética e social, a sua interferência resumia-se então às questões formais, proporcionando ao produto um “toque artístico” e o status de objecto de moda.

A revolução industrial inglesa, do século XVII, e a mecanização da produção, possibilitou a reprodução em série e assim a fabricação de artigos utilitários mais baratos.

Essas mudanças levaram a mais inovações na produção, visando cada vez mais a mecanização, a economia das matérias-primas e a redução de tempos de serviço.

Os artistas contratados pelas empresas para criação da forma dos objectos, faziam-no sem ter em conta os processos de produção, como afirma Heskett “... os desenhos eram aplicados aos processos e não derivados deles”. Esta incompatibilidade gerou um conflito entre a concepção e produção, obrigando a uma adaptação do design em função dos processos de manufactura.

No início do século XX surge uma reacção contrária à ornamentação e ao vínculo formal dos produtos industriais aos estilos artísticos. Por volta dos anos 20, uma “estética da máquina” havia surgido, enfatizando formas geométricas abstractas vinculadas a uma “filosofia funcionalista” [12].

No contexto funcionalista, onde a forma de um produto dependia da sua utilidade e eficiência, mantendo uma relação directa com a função a desempenhar, surge a preocupação com a industrialização progressiva dos objectos da vida quotidiana, procurando novas formas adaptadas aos materiais e aos processos de produção, e que reflectissem o espírito da Era Moderna.



---

**Figura 2.1-** Exemplo de objectos funcionalistas, mostra de produtos da oficina de metais Kunstgewerbeschule, Burg Giebichenstein, Halle, c. 1927 [13].

Assente nesta filosofia, o design começa a afirmar-se como uma actividade projectual, preocupando-se com a viabilidade técnica dos produtos, de um ponto de vista racional, tornando-se primordial a optimização de materiais e processos produtivos.

A Bauhaus, escola de design fundada em 1919 na Alemanha, baseava-se no conceito de “a forma segue a função”, significando que aquilo que é projectado, do ponto de vista funcional, acaba por ter uma forma agradável, atraindo as pessoas.

A escola exercia influências em áreas distintas do design. Na verdade, pretendia criar um profissional “completo”, um profissional da forma, que estudava desde os fundamentos da arte e composição, até inúmeras oficinas de ofícios e arquitectura [14].

A partir de 1923, recebe influência da estética do De Stijl, movimento artístico que enaltece a máquina e o controle racional do processo criativo, apropriando-se da sua morfologia baseada nas formas elementares e nas cores primárias. Essa orientação estética que vinha ao encontro dos interesses da escola em estreitar o seu relacionamento com a indústria, com a produção em massa e o emprego das máquinas, devido à preocupação do seu director, Walter Gropius, com estas questões. Neste período, a escola começou a ocupar-se da produção de modelos de produtos para a indústria, consolidando a linguagem estética que caracteriza a Bauhaus até os dias de hoje, apelidado por Maldonado “funcionalismo técnico formalista” [15].



---

**Figura 2.2** - Cadeira Modelo N° B3 Wassily, Bauhaus Dessau 1926 [13].

Com a direcção de Hannes Meyer, em 1928, o ensino passa a priorizar um funcionalismo baseado na exaltação do produtivismo, enfatizando cada vez mais a busca de soluções

colectivas e de uma estética universal, baseada em conceitos como função, padrões e normas, adoptando uma postura anti-arte.

---



---

**Figura 2.3** - Mesa Modelo N° B27 e cadeira Modelo N° B46 para a Thonet, Marcel Breuer 1928-1929 [13].

Nos anos trinta, começa a configurar-se um design orientado para dois pólos opostos: o “styling”, sustentado pelo capitalismo monopolista americano e o legendário estilo Bauhaus, propiciado pelos protagonistas da Bauhaus, emigrados para os EUA, um grupo de arquitectos, críticos e historiadores norte-americanos” [15].

Durante os anos 40 desenvolve-se na Europa o conceito de “gute form” (boa forma), que corresponde ao similar europeu do “good design” norte-americano. O personagem principal na criação desta concepção é Max Bill, ex-aluno da Bauhaus. O mesmo Bill é nomeado, em 1955, o primeiro director da então inaugurada Hochschule für Gestaltung (HfG), na cidade de Ulm, na Alemanha.

Nos anos 60 iniciam-se algumas manifestações contrárias ao racionalismo ditado pelos preceitos da escola de Ulm, entre elas a influência da “Pop Art” no design de produtos, e o Design Italiano, que, com seu espírito lúdico, assumia uma posição de destaque no cenário internacional.

Na década de 70, surge o movimento pós-moderno, e com ele a rejeição ao funcionalismo e ao legado do modernismo: os pós-modernos rejeitavam os objectivos utópicos dos modernistas na procura de uma estética universal e, em vez disso, procuravam criar uma linguagem visual feita através de signos, metáforas visuais, referências ao passado e ao trabalho de outros designers. O formalismo e o historicismo voltam a ter importância no discurso do design, incentivando a concepção de produtos mais decorativos e divertidos, onde a ênfase no visual e significado do objecto são mais importantes do que sua função prática.

A partir dos anos 80 o design passa a questionar o consumismo exasperado das sociedades capitalistas e começa a voltar a atenção para o ser humano e o meio ambiente. Surge o design verde, enfatizando a preocupação com o uso de materiais recicláveis, a durabilidade dos produtos e a economia de energia. O design for “disassembling” (design para o desmantelamento), que prevê no projecto a desmontagem e a reciclagem de cada componente do produto, antecipando para o momento da concepção do produto a preocupação com o destino dos objectos após o término da sua vida útil.

Os avanços tecnológicos ocorridos neste final de século, englobando os processos produtivos, a redução dimensional dos componentes e o aparecimento de novos materiais, têm vindo a contribuir progressivamente para uma maior liberdade na concepção formal dos produtos industrializados [16].

A revolução digital e o aparecimento dos produtos electrónicos interactivos e a realidade virtual, intensificaram o debate sobre os aspectos comportamentais, psicológicos e cognitivos que envolvem o ser humano e o mundo artificial. Neste contexto, cabe aos designers o desafio de encontrar formas de aliar a tecnologia à dimensão cultural, actuando como intérpretes entre a produção e os usuários. Talvez através deste enfoque que começa a delinear uma nova abordagem para o design de produtos, a arte e a tecnologia possam encontrar uma posição de equilíbrio, desempenhando funções complementares e não antagónicas neste universo profissional [17].

Neste cenário de revolução digital é sugestiva a hipótese de William Mitchell de uma proliferação das tecnologias de prototipagem rápida e de CAD/CAM, desenvolvidas nas indústrias de moldes, nomeadamente para o sector automóvel, e que Frank Gehry utilizou na construção do Museu Guggenheim de Bilbao (figura 2.4), assim como Zaha Hadid Ltd,

London no Museu Gugenheim de Taiwan (figura 2.5 e 2.6). Como diz Mitchell: «O futuro do processo de design e construção irá de modo crescente ser a composição de guiões digitais e depois a produção a partir de uma ampla variedade de performances mecanizadas - gráficas, materiais e outras. As performances iniciais - do tipo que pensamos como visualizações e simulações - serão na sua maioria rápidas e pouco onerosas, e servirão para revelar os potenciais intrínsecos de um guião. Mais tarde, as performances serão mais caras e duradouras e permanecerão connosco como trabalho realizado». Deste modo, design e produção são uma e a mesma coisa, o efeito do mesmo “digital-script”, cuja linha se desdobra agora em 3D [18].

Mas este processo só é possível pela maneira como o design e as tecnologias digitais se reflectem, como se fossem duas faces da mesma moeda.



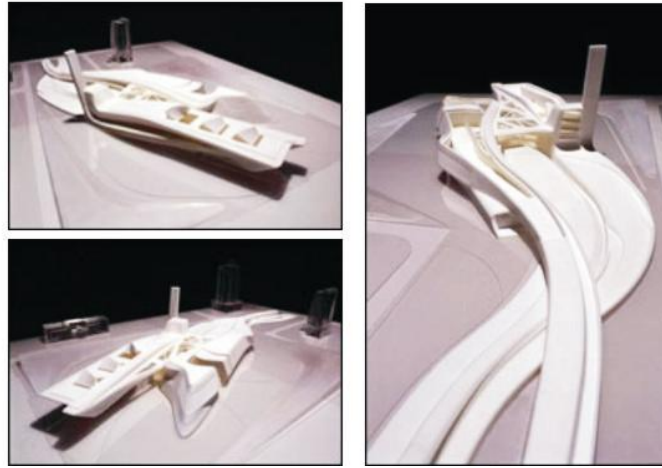
**Figura 2.4** - Museu Gugenheim de Bilbao [S3].

---



**Figura 2.5** - Protótipo virtual (CAD) do Museu Gugenheim de Taiwan [S3].

---



**Figura 2.6** - Maqueta do Museu Guggenheim em Taiwan, produzida com tecnologias de prototipagem rápida [S2].

A geração electrónica de formas passa a ser, portanto, um fenómeno próprio desses primeiros tempos do uso das tecnologias informáticas no acto de projectar. O projecto e a máquina misturam-se, e por vezes confundem-se, para aparecerem como representações de um novo modelo de projecto e acabando por ser representações metafóricas das próprias máquinas digitais.

A predominância das formas curvas ou muito angulosas, as formas “fluidas” (que sugerem movimento) e complexas assumem diferentes configurações e caracterizando-se menos pela versão final e mais pela sugestão de serem o resultado de um cálculo preciso envolvendo “geometrias complexas” tornadas viáveis pela facilidade de manipulação de dados no computador [19].

Nalguns casos poderiam provavelmente ser possíveis de conceber por processos tradicionais (de desenho e cálculo), mas facilmente seriam abandonadas pela extrema dificuldade de as tornar exequíveis.

O uso das novas tecnologias, nomeadamente a modelação 3D e a prototipagem rápida proporcionam, além do mais, economia de tempo e um uso eficaz dos materiais, bem como precisão na documentação para execução, que, por um lado, proporcionou economia de recursos financeiros e, por outro, possibilitou a geração de formas que sem elas dificilmente seriam viáveis, facilitando a aproximação do designer tanto do processo como dos clientes.

Estas tecnologias têm originado um “movimento artístico” que assenta na exploração das capacidades de geração electrónica de formas tridimensionais, só possíveis de materializar por processos de prototipagem rápida (RP). Existem actualmente exposições de esculturas realizadas por estes processos (figura 2.7). A figura 2.8 mostra alguns exemplos de esculturas obtidas com diferentes processos de RP.

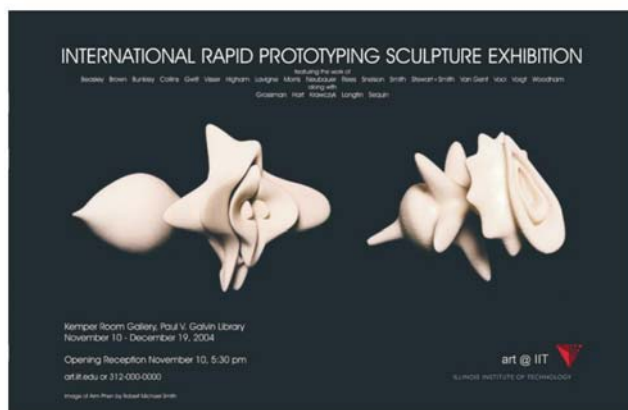


Figura 2.7- Poster do International Rapid Prototyping Sculpture Exhibition, Novembro 2004 [S4].



Figura 2.8- Exemplos de esculturas realizadas com tecnologias de prototipagem rápida, do artista Bathsheba Grossman [S4].

Neste cenário de revolução e cultura digital pode-se arriscar dizer que o design moderno é o reflexo da revolução digital.

## **CAPÍTULO 3**



### 3. DESENHO ASSISTIDO POR COMPUTADOR (CAD)

Desde a pré-história que o homem utiliza os esboços e desenhos 2D para exprimir e comunicar ideias, conceitos e mensagens. Estes constituem um meio natural de comunicação efectiva e rápida e uma ferramenta acessível e económica que os designers utilizam constantemente para materializar, propor e potenciar soluções [20].

A evolução dos equipamentos informáticos, particularmente nas décadas de 80 e 90, foi tão grande que possibilitou o acesso aos computadores à grande maioria da população, em especial no Ocidente. Este desenvolvimento, permitiu também o aparecimento de programas informáticos capazes de rivalizar com operadores especializados em determinadas áreas, provocando em muitos sectores pequenas revoluções na forma de trabalhar no meio empresarial e industrial [21].

A investigação em meios informáticos cada vez mais sofisticados e potentes tem alterado radicalmente os processos de trabalho em projecto, quer nas áreas do design conceptual, quer nas áreas do projecto de engenharia.

Poderemos fazer a seguinte analogia: do mesmo modo que os processadores de texto substituíram as máquinas de escrever, o uso do computador no projecto substituiu o estirador e deu origem ao termo CAD (Computer Aided Design).

Os programas CAD que estão na base desta transformação cada vez se aproximam mais do utilizador, oferecendo interfaces acessíveis, intuitivas e que até simulam o processo de esboço manual que os designers realizam durante a sua pesquisa criativa [20].

Os sistemas CAD são de extrema importância para o projecto. As vantagens oferecidas no apoio ao projecto podem ser comprovadas em muitas de suas etapas, indo desde uma melhor documentação e apresentação do produto, com melhoria da qualidade dos desenhos, diminuição de tempo e custos e aumento geral de produtividade, até uma melhor gestão do projecto.

Assiste-se assim ao abandono progressivo dos tradicionais processos baseados em desenho 2D e à sua substituição por sistemas informáticos de CAD capazes de gerar modelos de sólidos tridimensionais.

Por outro lado, os sistemas de CAD somente podem ter o seu potencial totalmente aproveitado, inclusive justificando-se técnica e economicamente, se estiverem integrados no processo produtivo como um todo. Numa estrutura integrada, o CAD proporciona além dos ganhos intrínsecos ao projecto do produto, aumento da eficiência das funções relacionadas com o planeamento, fabricação e qualidade. Por outras palavras, o CAD deve estar integrado com outros sistemas como o CAM (Computer Aided Manufacturing) e os sistemas de gestão da produção [22].

Actualmente, existe uma variedade de opções que devem ser consideradas ao analisar-se os sistemas CAD, algumas delas caracterizam a funcionalidade do sistema, ou mesmo a sua aplicabilidade integrada com outros sistemas. Considerando o tratamento dos dados, existem hoje no mercado algumas variações, apresentando-se de seguida uma descrição sobre os sistemas 2D e 3D.

### **3.1. Sistemas 2D**

A principal vantagem no uso de um sistema CAD 2D é a rápida aprendizagem por parte dos utilizadores, o que permitiu o rápido abandono do estirador, pois permite trocar, corrigir e transformar um desenho, sem que o utilizador seja obrigado a redesenhar esse mesmo trabalho, revelando-se bastante útil na realização de projectos onde não existe a necessidade de informações volumétricas.

No projecto mecânico tem-se utilizado a representação 2D para o desenvolvimento de desenhos de conjunto, pois são mais facilmente alterados. Nessa fase emprega-se grande número de peças normalizadas, que são incluídas no desenho de forma interactiva, o que confere uma grande produtividade a esta actividade. Empresas do sector mecânico de pequeno e médio porte preferem utilizar sistemas 2D, pois além do menor custo de aquisição e formação de seus funcionários, estes sistemas exigem máquinas menos poderosas. No entanto, hoje em dia existe no mercado uma série de sistemas 3D que se propõem a preencher essa lacuna [22].

## 3.2. Sistemas 3D

Na década de 90, os sistemas de CAD evoluíram para uma outra filosofia, baseada na representação de modelos tridimensionais. A seguir são citados os principais métodos de representação 3D:

### Modelação por Wireframe

No passado, a modelação por *wireframe* era o principal método utilizado pelos sistemas CAD, possibilitando ligar linhas entre pontos no espaço 3D, permitindo a criação de modelos espaciais e garantindo a consistência de vistas 2D derivadas e cotação associada.

Com o avanço tecnológico e maior capacidade de processamento dos computadores, esses sistemas começaram a ser substituídos pelos baseados nos métodos de modelação sólida. Isto aconteceu também em parte devido à dificuldade de uso dos *wireframe* quando é necessário incorporá-los em *softwares* de análise ou produção, já que não possuem nenhum tipo de informação relacionada com as características físicas dos componentes reais [22]

Esta forma de modelação apresenta a mais simples técnica de representação de objectos tridimensionais, através da qual é efectuada uma descrição do “esqueleto” ou da “estrutura” de um objecto tridimensional.

### Modelação Sólida CSG (Constructive Solid Geometry)

Sistemas capazes de realizar a modelação sólida são muito mais poderosos do que os simples modeladores baseados em *wireframe*. Estes programas são usados para construir componentes que são objectos sólidos, e não simplesmente uma malha de linhas.

Utilizando sólidos para modelar os componentes, estes passam a adquirir propriedades físicas como volume, densidade, peso e massa. Assim, o computador pode calcular várias propriedades físicas desses componentes, como centro de gravidade, momento de inércia, etc. Estes cálculos podem ser utilizados em componentes com formas irregulares, onde o cálculo manual se torna extremamente difícil e trabalhoso, além de facilitar o uso do modelo em softwares de análise.

### **Modelação Solida Brep (Boundary Representation)**

A modelação *Brep* é baseada nas técnicas de modelação de superfícies anteriormente existentes. A primeira geração de modeladores *Brep* representava objectos sólidos apenas por tabelas de faces, arestas e vértices. Assim, somente suportava objectos com faces planas. Superfícies curvas eram modeladas por aproximação linear, num processo intitulado "facetamento".

A segunda geração de modeladores *Brep* incluiu objectos primitivos com superfícies analíticas, como cilindros, esferas, cones, etc., permitindo a criação de modelos muito mais complexos com geometria "exacta".

A modelação *Brep* possui algumas vantagens sobre a *CSG*, principalmente no que toca à versatilidade na geração de modelos complexos e na velocidade de verificação de relações topológicas. Isto acontece devido a maneira como o *Brep* regista as informações do modelo, armazenando os parâmetros das arestas de forma explícita.

### **Modelação Sólida Híbrida**

Os métodos de modelação sólida *CSG* e *Brep* são frequentemente combinados para gerar modelos de componentes. Cada um destes métodos possui as suas limitações, podendo, componentes de difícil criação, ser mais facilmente gerados usando uma combinação de ambos os métodos.

A maioria dos sistemas comerciais de modelação de sólidos é híbrida, utilizando tanto o método *CSG* como o *Brep*.

### **Modelação Sólida Paramétrica**

A modelação sólida paramétrica permite a criação de modelos de produtos com dimensões variáveis. As dimensões podem ser relacionadas através de expressões bidireccionais, entre o modelo e o esquema de dimensionamento, que permite a regeneração automática de modelos se houver alterações nas dimensões relacionadas.

Nem todos os sistemas de CAD paramétricos possuem esta bi-direccionalidade, devido à complexidade associada, pois é necessário que o projectista pense na estruturação das relações dimensionais antecipadamente, para que uma alteração dimensional não implique erros de construção em todo o modelo [Lucas Cley da Horta; Henrique Rozenfeld [S5].

### **3.3. Dos Sistemas de CAD à Prototipagem Rápida**

As apresentações em imagens foto realistas e animações por computador contribuem para alterar a atitude do cliente e, por vezes, evitar a elaboração de protótipos mais ou menos dispendiosos. Com os avanços e aperfeiçoamentos dos programas informáticos surge assim o conceito de prototipagem virtual (VP), como uma alternativa à prototipagem rápida física.

A prototipagem virtual, ao permitir a realização de análises e simulações em fases precoces do processo de desenvolvimento de um produto, tem-se revelado uma excelente ferramenta ao serviço do design.

Os programas de CAD podem associar-se a outras aplicações especializadas permitindo criar uma solução global para o desenvolvimento e fabrico do produto. É o caso das modernas técnicas conhecidas sob a designação de sistemas de Prototipagem Rápida (RP) que permitem a elaboração de protótipos e pré-séries com tempos de resposta às solicitações do mercado muito reduzidos. Entramos assim na era do fabrico assistido por computador (CAM, Computer Aided Manufacturing) e do fabrico integrado (CIM, Computer Integrated Manufacturing) [20, 21].

No capítulo seguinte abordam-se as tecnologias de prototipagem rápida e do fabrico rápido de ferramentas, integrados no sistema de desenvolvimento de produto.



## **CAPÍTULO 4**



## **4. CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS.**

Segundo Manzini (1993) um produto é composto por diversas camadas, diversos elementos que constituem no seu conjunto um objecto. De acordo com o mesmo autor é à superfície, na última camada do produto que está confiada a maioria da informação que podemos obter de um objecto: “a superfície de um produto é a matéria de primeira linha que deve suportar todo o tipo de exigências e agressões mecânicas, físicas, químicas, biológicas, etc. Além de ser a última camada que concentra a comunicação e o significado do objecto para o utilizador-observador” [23].

### **4.1. Evolução do Conceito de Produto/Novo Produto.**

O Conceito de produto tem vindo a ser alterado ao longo dos tempos. Se há alguns anos parecia bem claro que o produto era apenas o fruto de uma actividade industrial (própria ou alheia - revenda), nos nossos dias a situação é radicalmente diferente.

Segundo a adaptação de Carlos Aguiar de “Como Diseñar um Producto” de Jordi Mantañado, do ponto de vista do mercado, “um novo produto significa uma diferente percepção do consumidor em relação a um conjunto de características identificadoras”.

Todos constatamos a apropriação que outros sectores de actividade fizeram da palavra, transformando e alargando o seu significado. No balcão de qualquer banco disponibilizam-se “Produtos” que são serviços, empréstimos, esquemas de “leasing”, contas com determinadas características.

A compreensão do significado alargado da palavra fica facilitada se reflectirmos nesta simbiose total entre o serviço e o suporte, e se a transferimos para o mundo da produção industrial. Hoje em dia o produto industrial deixou de ser o objecto em si mas é claramente

um conjunto de dados interdependentes, e que estruturam um “pacote” de características pelas quais o público “descodifica” o objecto em si. O objecto passou a ser um dos componentes do produto e em muitos casos nem é o principal [24].

Cada produto não vive apenas de si. Contém um conjunto de atributos que relacionados entre si funcionam como veículo de comunicação das suas características, tais como funcionalidade, forma, identidade, usabilidade, potencialidade, etc. [25].

## **4.2. Definições do Processo de Desenvolvimento de Produto**

"É o processo a partir do qual informações sobre o mercado são transformadas nas informações e bens necessários para a produção de um produto com fins comerciais", Clark & Fujimoto (1991) [26].

“A actividade sistemática necessária desde a identificação do mercado/necessidades dos utilizadores até à venda de produtos capazes de satisfazer as suas necessidades - uma actividade que engloba produtos, processos, pessoas e organização”, Total Design de Pugh (1990, p.5) [27].

Para Nonaka & Takeuchi, o processo de desenvolvimento de novos produtos é simplesmente a essência da criação do novo conhecimento organizacional. Para gerir com sucesso este processo estes autores propõem que as empresas façam uma abordagem altamente adaptativa e flexível ao desenvolvimento de novos produtos, apresentem uma equipe auto organizada para supervisionar o processo de desenvolvimento de novos produtos e estimulem a participação de não especialistas, o que acrescenta variedade ao processo de desenvolvimento de novos produtos [28].

## **4.3. Situação Actual**

Um dos factores conhecidos sobre o processo de desenvolvimento de produto é que o grau de incerteza no início deste processo é bem elevado, diminuindo com o tempo, mas é

justamente no início que se selecciona a maior quantidade de soluções construtivas. As decisões entre várias alternativas disponíveis no início do ciclo de desenvolvimento são responsáveis por 85% do custo do produto final. O custo de modificações aumenta ao longo do ciclo de desenvolvimento, pois em cada mudança, um número maior de decisões já tomadas podem ser anuladas.

Assim, é por si só o desafio de gerir as incertezas envolvidas num processo de desenvolvimento de produto, onde as decisões de maior impacto têm que ser tomadas no momento em que existe um maior número de alternativas e grau de incerteza elevado. Soma-se a isto o facto de que:

- Este processo baseia-se num ciclo projectar-construir-testar que geram actividades necessariamente interactivas;
- É uma actividade essencialmente multi-disciplinar (trazendo fortes barreiras culturais sobre a integração);
- Existência de uma grande quantidade de ferramentas, sistemas, metodologias, soluções, etc.; desenvolvidas por profissionais/empresas de diferentes áreas, as quais não "conversam" entre si;
- Existência de diversas visões parciais sobre o processo de desenvolvimento de produtos.

#### **4.4. Design e Desenvolvimento de Produto.**

Desenvolver produtos é um processo chave para a competitividade na manufactura. A necessidade sentida pelas empresas numa mudança de posicionamento face à concorrência devido às rápidas mudanças tecnológicas, à diminuição do ciclo de vida dos produtos, à crescente complexidade dos produtos e à necessidade pronunciada por parte dos consumidores na sua satisfação estética, funcional e emocional associada a padrões de qualidade elevada. Exige-se assim uma constante adaptação por parte das empresas, no

sentido de adquirirem uma maior agilidade, associada à elevada produtividade e qualidade, com forte aposta na criação de novos produtos, que dependem necessariamente da eficiência e da eficácia do processo e do sistema de concepção e desenvolvimento de produto que permita uma melhoria contínua dos produtos, ou seja, o aumento da capacidade de renovar e melhorar a carteira de produtos existentes.

Recentemente, alguns sectores da indústria portuguesa têm vindo a apostar na criação de produtos próprios, recorrendo inevitavelmente ao design industrial. Mas o desenvolvimento de um produto exige um grande número de contributos para além do design industrial, e geralmente não pode ser cabalmente realizado sem a sua integração. Trata-se de um processo complexo e de grande responsabilidade para a empresa e para o qual diversas valências devem ser chamadas a colaborar segundo um modelo claro, inteligível e sobretudo adequado caso a caso em função da área de actividade e do tipo de unidade empresarial em causa.

A percentagem do contributo do design industrial num projecto, e o seu custo, variam largamente de sector para sector, do tipo de relação dos produtos com o mercado, tendo em conta o custo total do desenvolvimento.

Na industria aeronáutica e automóvel as percentagens de investimento em design industrial são muito baixas (1 a 3%) porque os montantes globais em jogo são elevadíssimos, em pequenos electrodomésticos ou objectos decorativos essas percentagens são geralmente um pouco mais significativas (5 a 12%) podendo atingir máximos de 30% para situações pontuais e muito específicas, como por exemplo as necessidades do desenvolvimento de instrumentos cirúrgicos.

Em todo o caso é essencial referir que o investimento em design industrial é ampliado nas mais valias que o produto encerra, e no sucesso empresarial da sua produção. Alguns autores indicam valores médios de 3 a 5 % para o custo do design industrial no total do investimento necessário ao desenvolvimento e lançamento de um novo produto, e avançam que esta participação é responsável por 40% das mais valias geradas na sua produção e comercialização.

A sua utilização sistemática (e devidamente adequada) na concepção de produtos de maior valor acrescentado nas sociedades ocidentais parece confirmar estes indicadores. Esta

prática estende-se cada vez mais a quase todos os sectores da actividade industrial pelas vantagens não apenas comerciais mas igualmente de racionalização e optimização de produção.

O design é hoje em dia indissociável de um projecto de produto de qualidade e para o qual exige alguma fiabilidade de resultados [24].

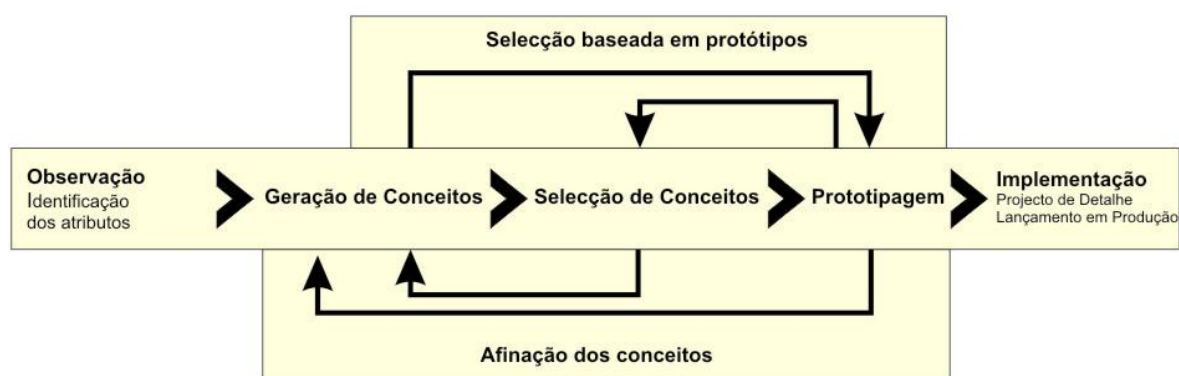
A vida das empresas centra-se à volta do que elas definem ou sentem como sendo o seu negócio. É para este verdadeiro motor das organizações que convergem todos os esforços, todas as preocupações, todos os investimentos e recursos. Não vale a pena tecer grandes comentários sobre o objectivo essencial das razões empresariais: conseguir os melhores resultados que, deverão repercutir ao nível de diferentes pessoas e instituições ligadas a elas directa e indirectamente e aos dos estados de que fazem parte, produzindo riqueza, empregos, massa crítica e imagem, que são muito importantes, mesmo para lá dos espaços nacionais.

Não se trata aqui de falar de um instrumento, de uma disciplina, o Design que pode contribuir decisivamente para alcançar os resultados referidos. Como acontece com todas as outras áreas do conhecimento que colaboram com as empresas (finanças, marketing, produção, recursos humanos, etc.), a utilização do design tem as suas especificidades, e as suas metodologias próprias que as organizações devem conhecer para retirar todo o partido que elas oferecem [29].

#### **4.5. Processo de Desenvolvimento de Produto**

O designer Bruce Mau afirma-o com clareza o que entende por processo de desenvolvimento de produto: *«O processo é mais importante do que o resultado. Quando é o resultado a conduzir o processo, acabamos sempre por ir onde já fomos. Se for o processo a conduzir o resultado, podemos não saber para onde vamos, mas sabemos que é para aí que queremos ir»* [30].

Geralmente, a decisão de criar novos produtos advém da necessidade de uma empresa manter activa e competitiva, num mercado cada vez mais feroz. Neste capítulo demonstra-se um processo de desenvolvimento de produto (figura 4.1), com destaque para a concepção de produtos, utilizando métodos simples e integrados para situações de projecto de média complexidade, aplicado a pequenas e médias empresas.



**Figura 4.1-** Processo de desenvolvimento de produto.

#### 4.5.1. Observação

O objectivo da observação tem como meta a identificação dos atributos, fornecendo uma base factual para justificar a especificação do produto, sem que nenhuma necessidade crítica seja esquecida ou desprezada, de forma a garantir um produto focalizado nas necessidades dos clientes.

#### 4.5.2. Geração de Conceitos

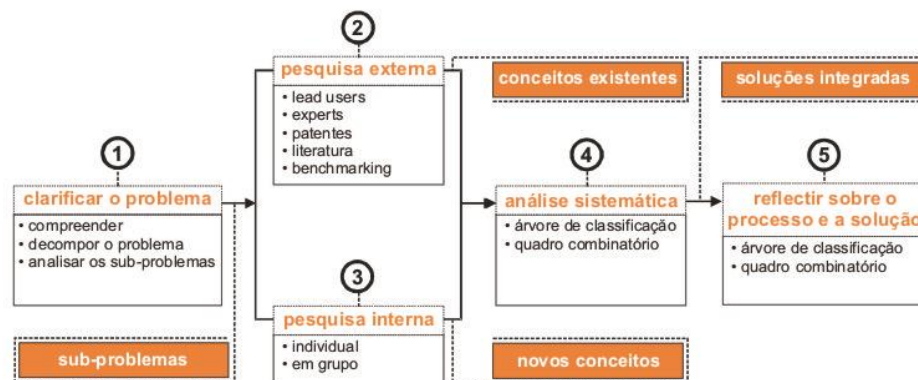
Pode-se dizer que o conceito do produto é uma aproximada descrição da tecnologia, dos princípios funcionais e da forma do produto. É uma descrição concisa da maneira como o produto vai cumprir os seus objectivos.

Durante esta fase deve explorar-se o maior número possível de alternativas, recolhendo o contributo do maior número de fontes

No processo de geração de conceitos a equipa de design começa por identificar as necessidades do cliente e as especificidades do produto.

Com o problema bem definido, pode-se começar a gerar o projecto conceptual o que exige intuição, imaginação e raciocínio lógico.

Se dividirmos o processo de geração de conceitos, é possível encontrar 5 momentos de acção tal como se pode visualizar no esquema da figura 4.2.



**Figura 4.2-** Esquema geral de geração de conceitos [31].

### 1ª fase, Clarificar o Problema

Consiste em desenvolver uma análise cuidada (causas e efeitos) e dividir o problema em sub problemas.

### 2ª fase, Pesquisa Externa

O objectivo desta fase é encontrar soluções para o problema e sub-problemas, identificados durante a primeira fase (clarificação do problema). Este estudo é sempre benéfico, pois utilizar soluções já concebidas, torna-se muito mais barato do que criar uma nova solução.

Desta forma, um estudo de exterior, inclui não só detalhes a nível de produtos concorrentes, como também tecnologias usadas em produtos relacionados com as suas sub-funções.

A pesquisa externa é um método importante para garantir soluções conceptuais. Esta capacidade pode ser desenvolvida através de uma observação atenta do que se passa no mundo.

### 3ª fase, Pesquisa Interna

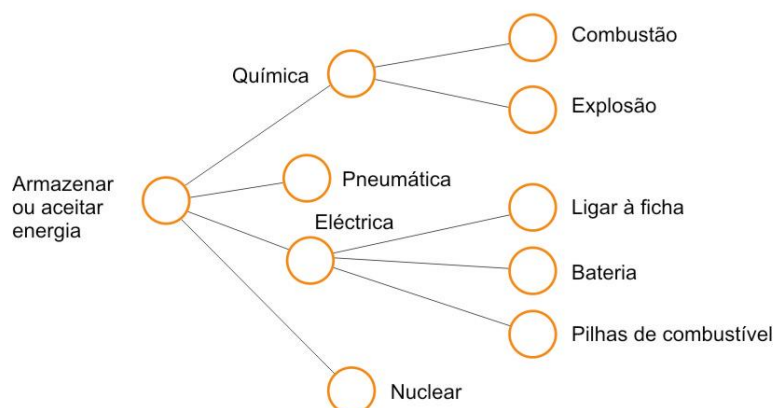
Pesquisa interna é o método utilizado individualmente ou em grupo, através de conhecimentos e criatividade para gerar soluções.

Com o problema bem definido, pode-se começar a gerar o projecto conceptual. o que exige intuição, imaginação e raciocínio lógico. A maior dificuldade nesta fase é libertar a mente para se chegar a conceitos originais. É assim necessário superar os bloqueios à criatividade, que surgem em consequência dos pensamentos convencionais.

### 4ª fase, Análise Sistemática

Como resultado da pesquisa externa e interna surgem dezenas ou mesmo centenas de soluções para os sub-problemas. A análise sistemática consiste em “navegar” no espaço de possibilidades através de uma organização e sistematização das soluções devidamente fragmentadas. Existem duas maneiras possíveis de gerir este processo de análise:

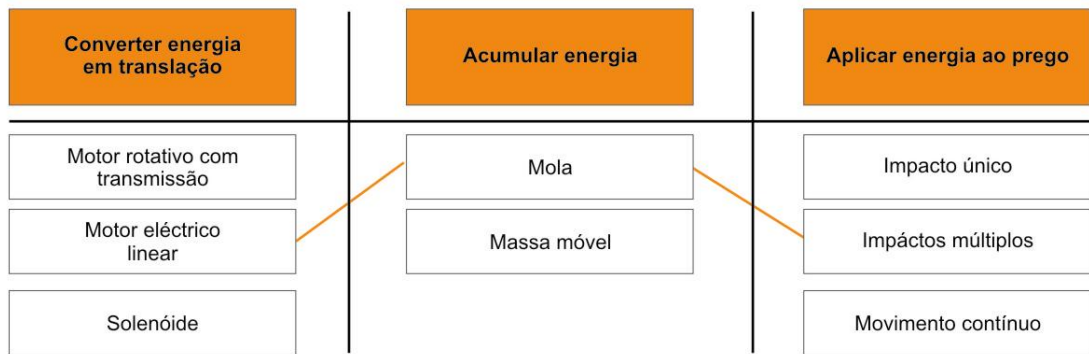
Através da “árvore” de classificação de conceitos (figura 4.3).



**Figura 4.3** - Exemplo da “árvore” de classificação de conceitos [31].

Através da combinação de um quadro de conceitos (figura 4.4).

Estes dois processos não são os únicos modelos de gestão do processo de exploração, mas são processos simples de suporte à organização e à geração de pensamentos criativos.



**Figura 4.4** - Exemplo do quadro de combinação de conceitos [31].

### 5ª fase, Reflexão sobre os Processos e Soluções

Nesta fase a equipa preocupa-se em analisar todo o processo de geração de conceitos e as soluções criadas, ou seja, produz um feedback construtivo. Identificando oportunidades, para desenvolver em possíveis interacções ou projectos futuros.

#### 4.5.3. Selecção de Conceitos

O designer é um produtor de ideias, recolhe informações e aplica-as na resolução de problemas que vão surgindo. Além de possuir capacidade intelectual para aplicar a informação mais adequada às diversas situações, deve também possuir criatividade.

Existem variadíssimos métodos possíveis de seleccionar conceitos. Podemos dizer que esta tarefa é um processo de avaliação, atento às necessidades dos consumidores.

A panóplia de conceitos gerados vai sendo sucessivamente reduzida a um conjunto menor, mas ao mesmo tempo surgem possíveis combinações, ajustamentos e melhoramentos entre eles.

Todas as equipas destinadas a esta função de selecção escolhem obrigatoriamente o método que considerem ser o mais eficaz.

Todas as fases iniciais do desenvolvimento do produto são de extrema importância para o seu sucesso final. O lugar que ocupa no mercado e onde actua, está seguramente dependente do conceito. Por outro lado, muitos analistas de mercado crêem que a escolha do conceito depende do custo eventual de produção do produto.

A selecção estruturada do conceito, ajuda a afirmar a objectividade ao longo desta fase conceptual, e orienta a equipa no desenvolvimento do produto, através das críticas, dificuldades e processos emocionais.

O objectivo da selecção de conceitos não é o de seleccionar o melhor, mas sim o de desenvolver um melhor conceito, que pode combinar vários conceitos [32].

#### **4.5.4. Prototipagem**

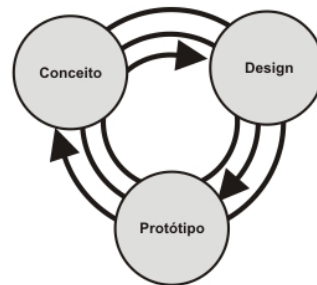
A fase de geração de conceitos (capítulo 4.5.2), pela sua natureza criativa e geradora de soluções inovadoras e pelos métodos de comunicação por imagens virtuais, distancia-se muitas vezes do produto real e do seu processo produtivo, tornando difícil uma correcta avaliação dos aspectos técnicos, funcionais e estéticos. É por isso necessário o recurso à construção de protótipos (figura 4.5) que permitam antever o produto final e tomar decisões críticas no momento oportuno.

O projecto não existe para ser concretizado fiel e rigorosamente, mas para dar as directivas principais do protótipo, abrindo oportunidades para a discussão e confirmação, permitindo antecipar melhores soluções [33].

O recurso a protótipos tradicionais intrinsecamente ligados a trabalhos artesanais, é normalmente um processo moroso, de difícil acesso por falta de mão-de-obra qualificada, e que não se adequa às actuais necessidades no cumprimento de prazos cada vez mais apertados.

O recurso às novas tecnologias de prototipagem rápida associados a ficheiros CAD provenientes dos sistemas de concepção de produto é cada vez mais necessário, pela sua capacidade de resposta no que diz respeito a prazos e facilidade de comunicação entre

todos os actores envolvidos no processo, permitindo uma análise mais rápida e detalhada do produto afim de evitar erros que podem, mais tarde, sair caros.

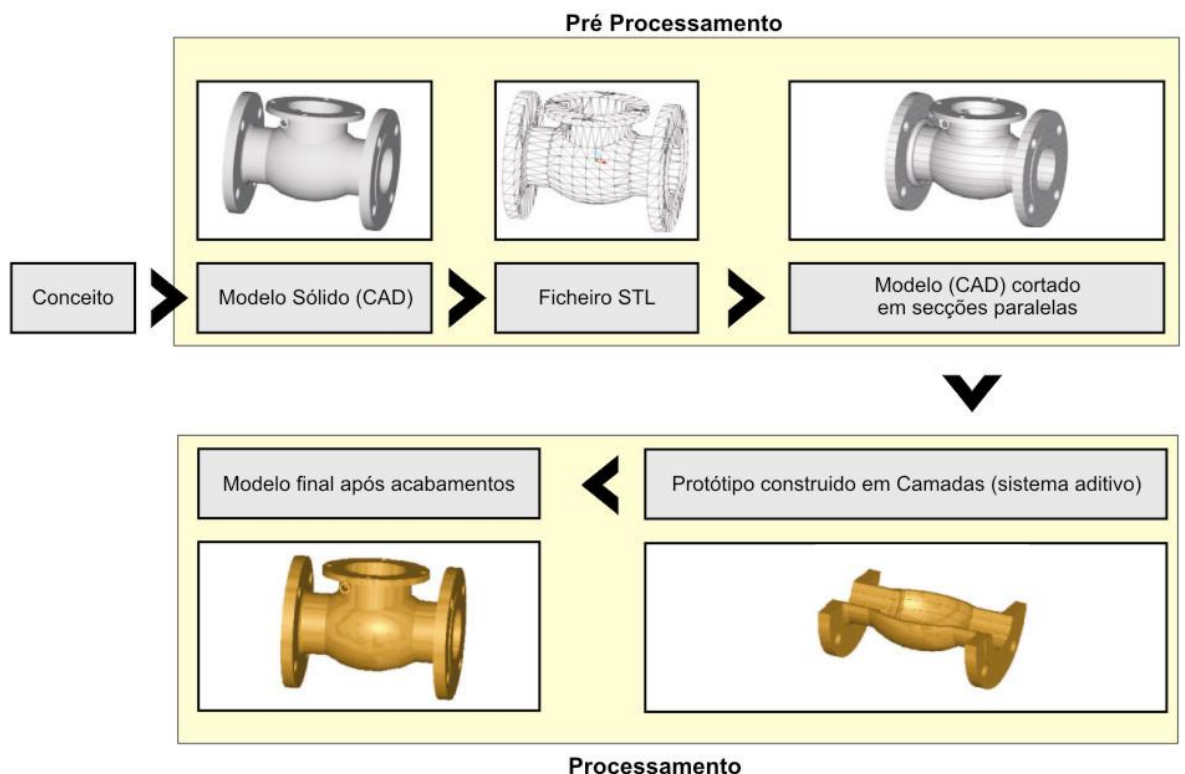


Ciclo de Inovação (processo criativo)

**Figura 4.5** - O processo interactivo é característico do ciclo de inovação [20].

É necessário familiarizar e preparar os projectistas com estas novas ferramentas, para facilitar a comunicação estabelecendo códigos apropriados, desenhos, imagens e ficheiros, que facilitem a boa concretização do protótipo. A figura 4.6, apresenta as diferentes fases de obtenção de um protótipo rápido.

**Prototipagem Rápida**



**Figura 4.6** - Fases de pré processamento e processamento aditivo das tecnologias de prototipagem rápida [33].

#### 4.5.4.1. Prototipagem Rápida

Para satisfazer as exigências de mercado, particularmente quanto a preço, qualidade e prazos de entrega, torna-se necessário recorrer à produção de modelos e protótipos que permitam analisar com um grau muito satisfatório o valor funcional e estético dos produtos [34].

A prototipagem rápida é fabulosa, poderosa e revolucionária. Desde o aparecimento do primeiro sistema de prototipagem rápida que a investigação e a procura de novas aplicações não tem parado. Na verdade todas as indústrias que desenvolvem e produzem componentes e produtos deveriam estar a usar (ou estar conscientes) a prototipagem rápida (RP) [35].

A RP é uma família de máquinas inovadoras que permitem, com tecnologias e materiais diferentes, obter um protótipo de um modelo, molde ou peça, de maneira precisa e rápida a partir do modelo sólido gerado no sistema CAD 3D. Tais máquinas, permitem obter peças físicas acabadas, de modo automático, de qualquer forma e em dimensões finais, com complexidade e detalhes, que nalguns casos não permitiriam a sua obtenção em máquinas convencionais de maquinagem, ou tornariam a sua execução demorada ou complexa em centros de maquinagem CNC. Desta forma, estes equipamentos possibilitam uma maior velocidade e menor custo (nalguns casos) na obtenção de protótipos se comparado com os processos tradicionais de obtenção de modelos. Além disso, em certos casos, estas técnicas permitem a obtenção de ferramentas capazes de produzir uma quantidade limitada de peças, ideal para a produção de lotes piloto. É assim possível que as empresas desenvolver produtos mais rapidamente (menor time to market), e principalmente, com um acréscimo na qualidade por meio de uma melhor avaliação do projecto. Leva-as também à uma diminuição das incertezas e riscos. É o caso das ferramentas, por exemplo, cujo risco de perda por falhas no projecto diminui drasticamente e também, do produto que, uma vez tornado físico pode ser melhor avaliado antes da decisão de dar continuidade ao seu desenvolvimento [36].

A figura 4.7 representa um esquema geral de obtenção de protótipos, utilizando diferentes tecnologias [34].

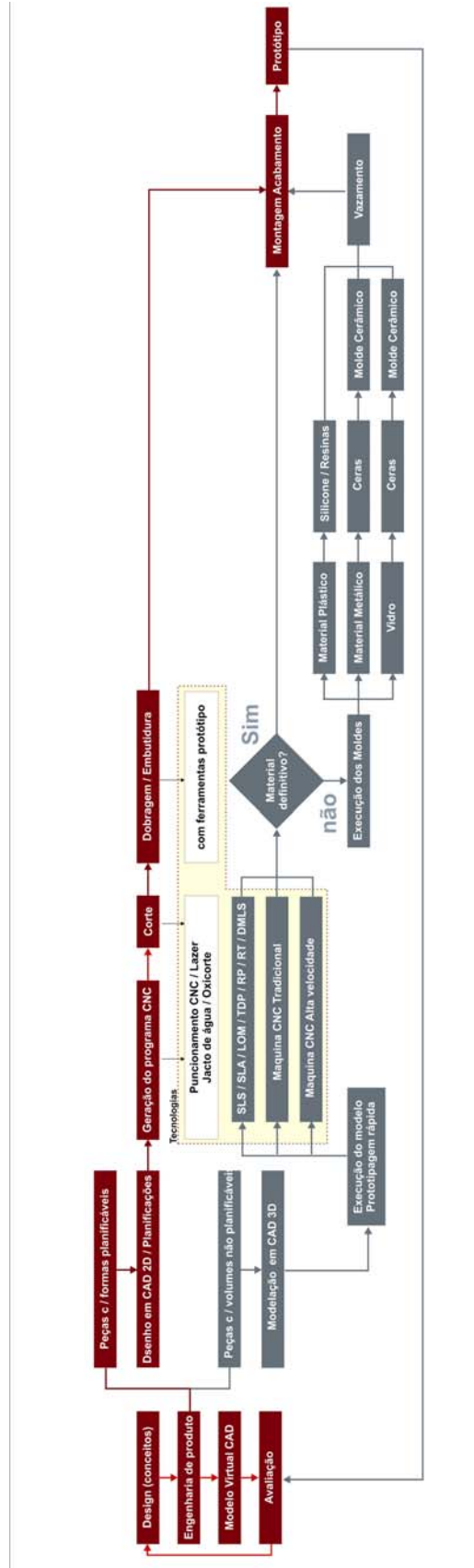
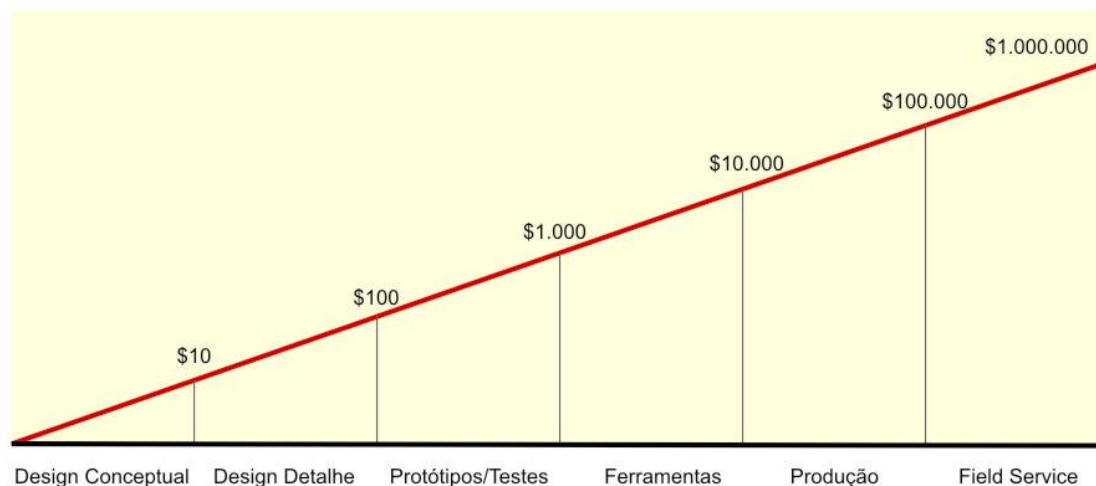


Figura 4.7 Esquema de geral de obtenção de protótipos

Figura 4.7 - Esquema geral de obtenção de protótipos funcionais [34].

Segundo Wohlers, o custo das mudanças de projecto ao longo do ciclo de desenvolvimento do produto, aumenta aproximadamente em cerca de uma ordem de magnitude conforme se passa de uma fase para a seguinte tal como é indicado na figura 4.8 [37].



**Figura 4.8** - Custo de alteração de projecto ao longo de ciclo de desenvolvimento do produto (Wohlers, 1998).

O primeiro sistema de Prototipagem rápida surgiu em 1987, com a estereolitografia (StereoLithography - SL) da empresa americana 3D Systems, processo que solidifica, por meio de um laser, camadas (layers) de resina foto-sensível. O sistema SLA-1, o primeiro sistema de prototipagem disponível comercialmente foi um precursor da máquina SLA - 250, bastante popular nos dias de hoje. Após a 3D Systems iniciar a comercialização de máquinas SL nos EUA, as empresas japonesas NTT Data e Sony/D-MEC passaram a comercializar as suas versões de máquinas de estereolitografia em 1988 e 1989, respectivamente. Em 1990, a empresa Electro Optical Systems - EOS na Alemanha, passou a comercializar o sistema conhecido como Stereos.

Logo após o lançamento deste processo apareceram as tecnologias conhecidas como Fused Deposition Modeling (FDM) da empresa americana Stratasys, Solid Ground Curing (SGC) da israelense Cubital e Laminated Object Manufacturing (LOM), da americana Helysis, todas em 1991.

Os sistemas de sinterização (Selective Laser Sintering - SLS) da empresa americana DTM e o sistema Solidform de estereolitografia da japonesa Teijin Seiki tornaram-se disponíveis em 1992.

Em 1993, a americana Soligen comercializou o produto conhecido por Direct Shell Production Casting (DSPC), que utiliza um mecanismo do tipo jacto de tinta para depositar um líquido agregante em pós cerâmicos, permitindo a produção de carapaças que podem por sua vez ser utilizadas na produção de modelos e moldes para peças e ferramentas em alumínio e outras ligas. Este processo baseia-se na impressão tridimensional que foi desenvolvida e patenteada pelo MIT (Massachusetts Institute of Technology).

Em 1994 muitas outras tecnologias e sistemas surgiram:

- ModelMaker da empresa americana Sanders Prototype, usando um sistema de jacto de cera (ink-jet wax);
- Sistema de estereolitografia da empresa Fockele & Schwarze (Alemanha) e Oshio (Japão);
- Sistema EOSINT, da empresa alemã EOS, baseado em sinterização;

O sistema Personal Modeler 2100 da empresa BPM Technology (Ballistic Particle Manufacturing) (EUA) foi vendido comercialmente a partir de 1996. A máquina produz peças a partir de um cabeçote de jacto de cera. No mesmo ano a empresa Aaroflex (EUA) passou a comercializar o sistema SOMOS em estereolitografia, da multinacional DuPont, e a empresa Stratasys (EUA) lançou o seu produto Genisys, baseado na extrusão, similar ao processo de FDM, mas utilizando sistema de prototipagem desenvolvido no Centro de Desenvolvimento IBM (IBM's Watson Research Center). No mesmo ano, após oito anos comercializando produtos em estereolitografia, a empresa 3D Systems (EUA) comercializou pela primeira vez, o seu sistema Actua 2100, baseado na impressão 3D. O sistema deposita camadas de cera através de 96 jactos. No mesmo ano, a Z Corp. (EUA) lançou o sistema Z402 3D para prototipagem baseado na impressão 3D, usando pós de gesso e fécula de batata.

Outras tecnologias e empresas apareceram e desapareceram até aos nossos dias. Companhias como a Light Sculpting (EUA), Sparx AB (Suécia) e Laser 3D (França) desenvolveram e implementaram sistemas de prototipagem, mas não tiveram o impacto industrial, que as permitisse afirmar numa área com um ritmo de inovação e desenvolvimento impressionante [S6].

#### 4.5.4.1.1. Principais Processos de Prototipagem Rápida

Existem inúmeras formas de classificar os processos de RP (existem no mercado mais de 35 processos) [37]. A forma seguinte de classificação baseia-se no estado do material utilizado para a construção do modelo:

- **Processos de base líquida**

Através de um processo de cura, o líquido é convertido em sólido com a ajuda de um laser ou luz ultra-violeta.

- **Processos de base sólida**

O sólido pode ter a forma de fio, rolo, laminado e grânulos.

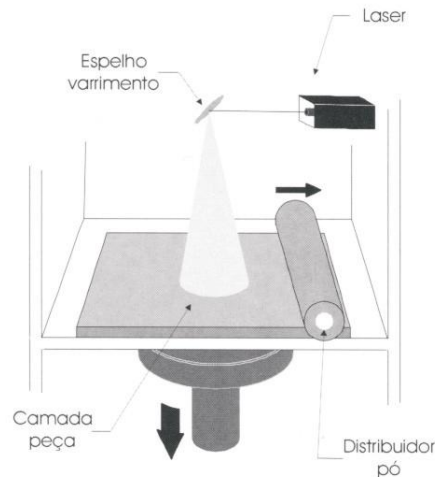
- **Processos de base pó**

O pó está no estado sólido, mas foi intencionalmente criada uma categoria fora dos sólidos para significar pó na forma de grânulos, o qual possui propriedades intermédias entre o sólido e o líquido.

#### **Estereolitografia (Stereolithography - SL ou SLA)**

Tal como em todos os processos de prototipagem rápida, a estereolitografia consiste na fabricação de objectos por adição sucessiva de camadas. O objecto é construído por fotopolimerização de uma resina epoxy líquida, usando um feixe laser de raios ultravioleta, que provoca na resina uma reacção fotoquímica. Esta reacção de polimerização da resina ocorre nas zonas onde incide o laser. A extensão polimerizada depende da potência do feixe laser, do seu diâmetro e da velocidade de varrimento [38,39, 40].

Usando sistemas electromecânicos de grande precisão, este processo vai construindo o modelo varrendo em cada camada o equivalente à superfície correspondente ao “corte” local da peça, tal como se pode observar no esquema da figura 4.9.



**Figura 4.9** - Esquema do princípio de funcionamento de uma máquina de estereolitografia [41].

Como a resina é líquida e relativamente pouco viscosa, a complexidade dos modelos que se podem obter pode ser extremamente elevada. No final da construção o modelo está completamente imerso na resina líquida, não polimerizada, a qual escorre com facilidade de todos os locais que não sejam “recipientes” fechados, dando origem ao modelo.

Como o meio envolvente do modelo em fabricação é líquido, todas as zonas das peças sem apoio necessitam de suportes sólidos em resina, para que seja possível construir os modelos. Estes suportes são gerados automaticamente pelo software do equipamento, simultaneamente com a definição do número de camadas (“slicing”).

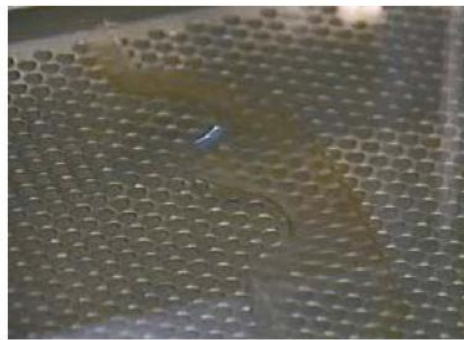
A figura 4.12 exemplifica algumas peças obtidas por estereolitografia.

Uma variante do processo SL é o “Quick Cast”, que consiste na obtenção de modelos parcialmente ocos (figura 4.14), sendo este definido automaticamente pelo software do equipamento, que reduz em 70 a 80% a densidade relativa dos modelos. A principal vantagem deste processo está relacionada com o processo de “investment casting” devido aos modelos produzidos poderem servir de modelos perdidos na conversão em metal [42,43].



**Figura 4.10** - Equipamento de estereolitografia (direita), mufla de pós-cura (esquerda), da 3D Systems.

---



**Figura 4.11** - Plataforma de construção do equipamento SL.

---

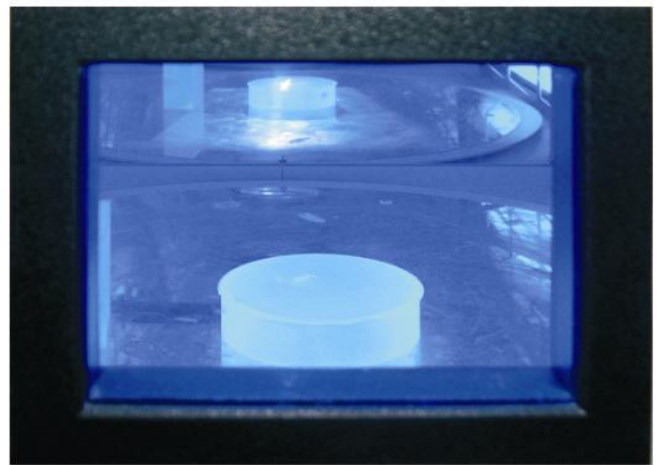


**Figura 4.12** - Exemplos de peças em estereolitografia.

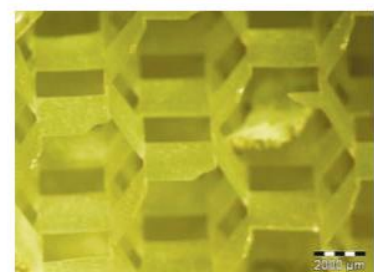
---

Se o ficheiro CAD 3D do modelo for construído por sólidos disjuntos, parte dos sub-componentes da peça a fabricar perde-se no seio do líquido, inviabilizando a utilização prática do modelo. Isto significa que este processo tolera mal os hipotéticos erros de CAD.

Durante a fabricação dos modelos, a polimerização da resina é apenas parcial, pelo que estes têm que sofrer, no final, um processo de pós-cura (figura 4.13), o qual lhes confere a máxima resistência mecânica. Após esta etapa, os componentes são normalmente submetidos a operações de acabamento superficial como lixagem, polimento ou pintura [41].



**Figura 4.13** - Peça em SL em processo de pós-cura.



Estrutura

**Figura 4.14** - Peça em SL obtida pelo processo "Quick Cast" e pormenor da estrutura interna.

### Sinterização Selectiva por Laser (Selective Laser Sintering-SLS)

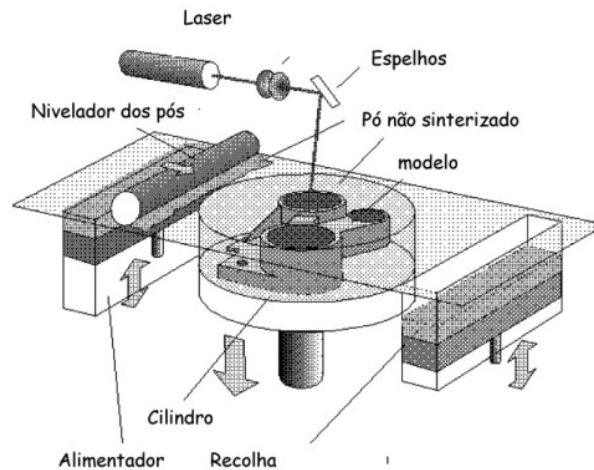
Este processo utiliza pós muito finos de material termoplástico, compósitos de matriz polimérica, metais revestidos a termoplástico ou ligas metálicas, posteriormente ligados por varrimento de um feixe laser.

Na câmara de construção pré-aquecida, é laminada uma camada de pó correspondente à espessura de cada camada de construção. Usando sistemas electromecânicos de precisão, o feixe laser incide nas partículas, provocando a fusão parcial das interfaces dos pós, obtendo-se desta forma uma estrutura sólida parcialmente porosa, semelhante às estruturas dos produtos obtidos por compactação seguida de sinterização [42].



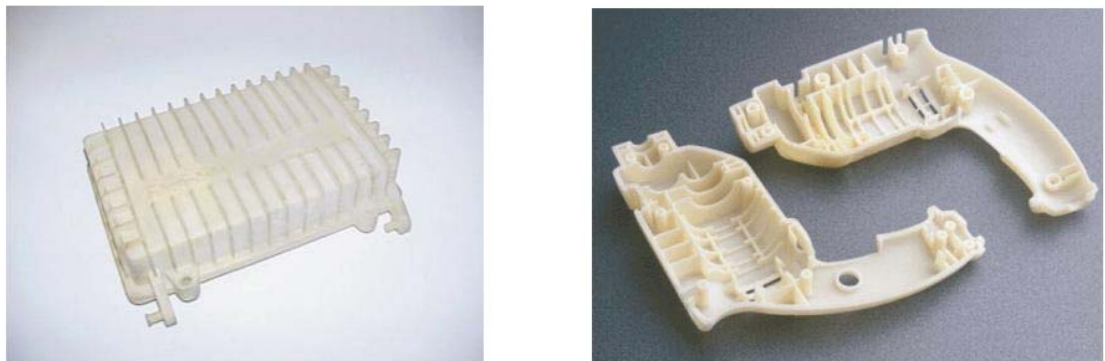
**Figura 4.15** - Máquina SLS da “DTM”.

No final do Processo os modelos ficam porosos e com alguma rugosidade superficial, exigindo assim a impregnação de resinas ou tintas para garantir melhor acabamento e impermeabilidade.



**Figura 4.16** - Esquema de uma máquina SLS.

Nas figuras seguintes apresentam-se alguns exemplos de peças obtidas por SLS.



**Figura 4.17** - Exemplos de peças obtidas por SLS.

### **Modelação por Extrusão de Plástico (Fused Deposition Modelling - FDM)**

O processo FDM, fabricado pela empresa Stratasys, EUA, consiste na fabricação de protótipos por adição de material em camadas, formadas pela extrusão de um material termoplástico através de uma microfieira. A figura 4.18 ilustra um equipamento FDM.

O material termoplástico é alimentado, sob a forma de fio, através de uma bobine. A cabeça de extrusão deposita o material em camadas muito finas, unindo-se a camada depositada à camada anterior durante a solidificação.

O equipamento Quantum™ possui duas cabeças extrusoras, que permite que uma cabeça construa o modelo, enquanto outra deposita o material de suporte.

Esta tecnologia permite a realização, com elevada precisão, de qualquer tipo de coordenadas de movimento. As cabeças extrusoras magnéticas estão suspensas por baixo de uma placa metálica. A existência de uma bolsa de ar entre a cabeças extrusora e a placa impede o contacto directo entre ambas, reduzindo o atrito a praticamente zero, permitindo assim elevadas velocidades de execução. Como a alimentação se processa de forma contínua, não há desperdício de material [40].



**Figura 4.18** - Equipamento FDM



**Figura 4.19** - Exemplo de peças obtidas pelo processo FDM, com dois tipos de suporte, sendo o da direita solúvel em água.

### Fabricação de Objectos por Camadas (Layer Object Manufacturing - LOM)

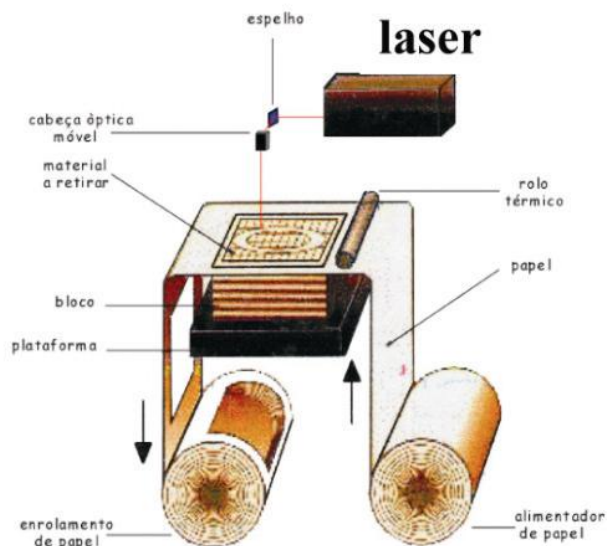
Considerado um dos 4 processos mais antigos e actualmente pouco usado merece aqui especial atenção por ser um dos processos utilizados na parte experimental (capítulo 5). O LOM (fabricação de objectos por folhas de papel com corte laser), baseia-se na colagem sucessiva de folhas de papel, cortando os contornos exteriores correspondentes ao modelo a obter através de um feixe laser.



**Figura 4.20** - Máquina de LOM da Helysis existente no INEGI.

O equipamento desenrola um rolo de papel impregnado com cola termoplástica na sua superfície inferior, seguidamente, um rolo pré aquecido a cerca de 300°C comprime a lâmina de papel sobre a camada anterior, originando a colagem das mesmas. Após a colagem das camadas o feixe laser com potência de 25-50W, controlado por um sistema electromecânico e por espelhos, efectua o corte do contorno da peça [42,43].

O papel que não faz parte do modelo pretendido é cortado em quadrados ou rectângulos, a fim de garantir uma fácil remoção da peça do interior do bloco (descubagem) envolvido por um caixilho realizado simultaneamente com todo o conjunto, como ilustra a figura 4.22 [41].



**Figura 4.21** - Esquema de uma máquina de LOM



**Figura 4.22** - Remoção do material excedente (descubagem) para retirar o modelo.

Na figura 4.23 pode ver-se um exemplo de um protótipo de um candeeiro realizado em LOM, e posterior conversão em alumínio por fundição em areia verde [44].

Modelação 3D



Protótipo LOM



Protótipo Alumínio



**Figura 4.23** - Exemplo de um protótipo de um candeeiro, com recurso à tecnologia LOM [44].

## Impressão Tridimensional (Threedimensional Printing -TDP)

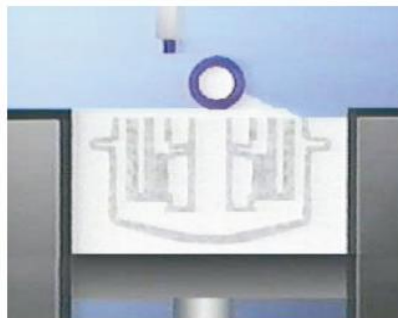
No processo de impressão tridimensional, os modelos são obtidos através de uma base de material em pó que vai ser aglutinado por um ligante líquido que é aplicado através de um jacto [40].



**Figura 4.24** - Equipamento TDP da Z Corporation.

Numa primeira fase é distribuída uma camada uniforme de pó sobre a área de trabalho, em seguida é depositado o ligante sobre essa camada, através de finos jactos, e nos pontos onde se pretende o corte local da peça. No processo de deposição do ligante, são utilizadas cabeças idênticas às tradicionais impressoras a jacto de tinta.

O processo é repetido várias vezes até construir na totalidade o modelo pretendido. Por fim é retirada a peça da máquina TDP, em que o pó não aglutinado pelo ligante se solta facilmente, permanecendo ligadas entre si as camadas que formam o modelo pretendido [42].



**Figura 4.25** - Processo TDP, mostrando a laminação do pó, e a escuro as regiões onde foi depositado o ligante.

## Principais Vantagens e Desvantagens dos Processos

**Tabela 2** - Vantagens e desvantagem dos principais processos de prototipagem rápida.

	Vantagens	Desvantagens
<b>Estereolitografia SL ou SLA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Um dos melhores processos em termos de precisão dimensional</li> <li>○ Permite obter as formas mais complexas e os detalhes mais finos</li> <li>○ Densidades máximas absolutas obtidas com resinas de vários tipos, nomeadamente, resistentes a altas temperaturas, rígidas, flexíveis, etc.</li> <li>○ Obtenção de modelos parcialmente ocos, reduzindo os custos de produção e possibilitando a sua utilização em fundição por modelos perdidos</li> <li>○ Óptimas superfícies de acabamento após lixagem e polimento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Fraca resistência mecânica dos componentes</li> <li>○ Tempo de fabricação relativamente elevado</li> <li>○ Custo total dos modelos elevado</li> <li>○ Necessidade de pós-cura e propensão a empenos</li> </ul>
<b>Sinterização Selectiva por Laser SLS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Um dos melhores processos para obter protótipos funcionais em materiais termoplásticos, só superável pelo FDM.</li> <li>○ Resistências mecânica e térmica dos modelos elevadas, sendo cerca de 60 a 70% das dos materiais equivalentes injectados.</li> <li>○ Rapidez de execução das peças, comparativamente com a SL e FDM.</li> <li>○ Não necessita de suportes e de pós-cura quando se usam termoplásticos.</li> <li>○ Grande variedade de oferta em termos de materiais e técnicas complementares.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Modelos com superfícies rugosas.</li> <li>○ Modelos sem densidade máxima, pois têm sempre porosidade.</li> <li>○ Precisão dimensional abaixo do SL e do LOM.</li> <li>○ Elevado custo das matérias-primas, o qual pode atingir, nalguns casos, 250 a 1000 €/kg.</li> </ul>
<b>Fabricação de Objectos por Camadas LOM</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Capacidade para produzir, duma única vez, componentes de elevadas volumetrias, até 800x500x500mm.</li> <li>○ Precisão dimensional e geométrica dos modelos superior ao SLS, especialmente em xx e yy.</li> <li>○ Possibilidade de se usarem produtos LOM para a técnica dos modelos perdidos.</li> <li>○ Rapidez de execução.</li> <li>○ Baixo custo do processo.</li> <li>○ Baixo custo das matérias-primas.</li> <li>○ Processo óptimo para a produção de peças de grande porte e de moldes de fundição.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Instabilidade do papel na presença de humidade</li> <li>○ Fraca precisão dimensional no eixo dos zz</li> <li>○ Necessidade de mão-de-obra elevada para descubagem e impermeabilização</li> <li>○ Dificuldade em obter espessuras (&lt;2mm) em peças de grande dimensão (&gt;200x200x200mm)</li> </ul>
<b>Impressão Tridimensional TDP</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Elevada velocidade</li> <li>○ Versatilidade</li> <li>○ Simples de operar</li> <li>○ Não gera desperdícios</li> <li>○ Possibilidade de obter cor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Limitação para modelos funcionais</li> <li>○ Gama de materiais limitada</li> <li>○ Fraco acabamento superficial</li> </ul>
<b>Modelação por Extrusão de Plástico - FDM</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Processo mais limpo, podendo ser instalado em gabinetes ou salas de desenho</li> <li>○ O mesmo bico faz espessuras diferentes, alterando a velocidade do bico e de extrusão</li> <li>○ Pode utilizar várias cabeças e é fácil mudar o material</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Pior acabamento que a SL, tendo uma precisão de +-127 micron se a contracção é difícil de prever</li> </ul>

#### 4.5.4.2. Fabrico Rápido de Ferramentas (RT)

O conceito de ferramenta aqui apresentado refere-se a ferramentas de cópia. Estas permitem produzir mais do que uma peça, isto é, estão projectadas para produção de cópias em ciclos repetidos. Não se incluem nesta definição, as moldações cerâmicas, em gesso ou outro material refractário que permitem apenas, em geral, um único vazamento. Este tipo de ferramentas é utilizado numa fase intermédia da tecnologia de RT. Como exemplo típico destas tecnologias, com ampla tradição em fundição, podem citar-se variantes de fundição por modelos perdidos que podem permitir, em cada vazamento, a produção de uma pequena série de peças devido à sua arquitectura em cacho.

Existe uma grande variedade de critérios que podem ser aplicados na classificação das tecnologias RT, como por exemplo: dependência do modelo RP, finalidade; tipo de varrimento de camadas; processo de conformação; duração e material da ferramenta [20].

Relativamente à dependência das tecnologias RT do modelo RP, estas podem ser divididas em dois grandes grupos: os processos directos e indirectos [45]:

##### **Processo directos**

O processo directo de ferramentas utiliza um equipamento RT ou RP para produzir directamente e em material definitivo uma ferramenta. Estes processos envolvem geralmente investimentos avultados em equipamentos, manutenção e matérias-primas que são ainda limitadas. A tabela 3 apresenta os principais equipamentos de RT, assim como o seu princípio de funcionamento, vantagens e imitações.

**Tabela 3** - Os principais equipamentos para a produção de RT pelo processo directo.

Tecnologias RT directas		
Designação	Fases	Vantagens e Limitações
Direct AIM tooling (3D Systems)	Ferramenta em casca ou maciça realizada por estereolitografia, seguida ou não por enchimento com material de reforço (ex. resina carregada)	-Durabilidade baixa -Rapidez elevada -Geometrias simples -Necessidade de insertos -Preço médio
SLS - Selective Laser Sintering Rapid Tool (DTM)	1-Ferramenta realizada por laser que aglutina o pó de aço revestido por ligante.2-Remoção do ligante e infiltração de bronze num forno, ferramentas em metais, plásticos e areias de fundição	-Durabilidade elevada -Peças pequenas -Processo lento -Rugosidade elevada -Necessidade de polimento
DMLS - Direct Metal Laser Sintering (EOS)	Ferramenta realizada por laser que sinteriza o metal em pó em fase líquida (directamente).Versões para o fabrico de ferramentas em metal, termoplástico e areia de fundição	-Durabilidade elevada -Peças pequenas -Processo mais rápido que o anterior -Rugosidade elevada -Necessidade de polimento
Impressão 3D -DSPC(Pró Metal/MIT)	1-Ferramenta realizada por uma cabeça de impressão electrostática que faz depositar spray de ligante líquido sobre o metal em pó. 2-Remoção do ligante e infiltração de um metal secundário num forno	-Durabilidade elevada -Processo económico -Mau acabamento -Grande variedade de materiais processáveis: metais, termoplásticos e cerâmicos
Geração por Laser (LENS, DMD)	Ferramenta realizada por injeção de pó metálico num foco de metal fundido no qual incide um feixe de laser numa câmara com argona baixa pressão. Aços inoxidáveis, aços de ferramentas e ligas de alta resistência (ex. ligas de titânio)	-Durabilidade elevada -Propriedades mecânicas elevadas -Potencial aplicação em materiais FGM (Functionally Graded Materials) -Adequado para reparações e enchimentos -Necessidade de elevadas sobreespessuras -Necessidade de maquinagem
Laminação com chapas metálicas (LLCC, Stratoconception)	1-Ferramenta realizada por um feixe de laser que corta chapas de aço. 2-Ligação das chapas. Investiga-se o ângulo de corte para reduzir a mecanização posterior.	-Durabilidade elevada -Moldes e ferramentas de grandes dimensões - Formas apenas aproximadas -Dificuldade de ligação dos laminados -Moroso e complexo -Necessidade de maquinagem

### Processos indirectos

Baseados normalmente em tecnologias tradicionais já conhecidas, os processos indirectos de RT apresentam-se como mais vantajosos pois apresentam um baixo custo de equipamentos e processamento [46]. Existem numerosos processos que têm sido desenvolvidos para a produção de ferramentas baseados em modelos de RP e que se podem, de acordo com a duração da ferramenta, classificar de:

**Soft Tooling**, fabrico de moldes em borracha de silicone vulcanizada à temperatura ambiente (RTV) para a produção de peças plásticas e séries de 1 a 50 unidades, e que constitui um dos métodos mais utilizado de RT.

Apresentam uma ampla gama de propriedades mecânicas cobertas pelos materiais utilizados em RT, mas a escolha é ainda limitada pois estes são sempre os mesmos, em geral, epoxy e poliuretano. Nestes casos não é possível usar os materiais nem os processos de fabrico definitivos, necessários para testes mecânicos em que é crucial que os protótipos sejam construídos no mesmo material e com o mesmo processo de fabrico que a peça de produção.

**Firm Tooling**, usam um modelo obtido por uma técnica apropriada de RP para o fabrico do molde, permitindo aos fabricantes obter uma redução significativa de tempo de desenvolvimento de novos produtos e simultaneamente reduzir os custos.

Estes permitem obter ferramentas a partir de materiais:

- **Metálicos**, as ferramentas metálicas são as que garantem maior durabilidade e podem ser obtidas por técnicas de vazamento sobre o modelo ou por revestimento superficial (projectão por spray, electrodeposição, etc.). Estas últimas são especialmente económicas para grandes dimensões. Os metais asseguram ciclos térmicos de processamento mais curtos devido à sua elevada condutibilidade térmica.
- **Cerâmicos**, usualmente conformados por técnicas de enchimento por barbotina, prensagem de pós ou técnicas de gelificação e podem conter adições de fibras, ligantes, aditivos e infiltração de resinas. Surgem, em geral, em fases intermédias do processo de fabrico das ferramentas RT e exigem sinterização a elevadas temperaturas.
- **Plásticos**, são processados por vazamento incorporando aditivos, catalisadores, cargas metálicas e reforço de fibras. Permitem obter ferramentas económicas, de duração limitada, em prazos reduzidos, sendo de admitir quando se toleram protótipos com propriedades diferentes, em geral, de tipo não funcional.

**Hard Tooling**, as quais são realizadas em ligas de aço, alumínio ou cobre.

Com estas tecnologias produziram-se ferramentas de metal capazes de sobreviver milhares de ciclos constituindo assim uma boa alternativa às técnicas tradicionais de fabricação de moldes.

Não existe uma distinção vincada entre os processos de soft, hard e firm tooling, pois uma dada tecnologia pode situar-se em mais do que um agrupamento ao permitir o fabrico de ferramentas em materiais de características mecânicas muito diferentes.

Utilizam frequentemente feixes laser que sinterizam directamente o pó metálico ou, em alternativa, fazem a consolidação do pó através de um ligante. Neste último caso, procede-se, em seguida, à remoção do ligante e à infiltração de um metal secundário num forno. Outros sistemas permitem a fabricação de moldes de injeção através de moldação de precisão em areia e moldação por modelos perdidos. Há ainda a registar um sistema variante de LOM (LLCC) que usa um feixe de laser para cortar folhas de metal para produzir moldes e matrizes.

Tratando-se de tecnologias emergentes é difícil estabelecer características rigorosas dos equipamentos e materiais disponíveis, dada a sua contínua desactualização motivada pelo elevado ritmo de introdução de novas tecnologias e a melhoria contínua dos equipamentos em comercialização.

**Tabela 4** - Os principais equipamentos para a produção de RT pelo processo indirecto [37,41,47,].

Tecnologias RT Indirectas		
Designação	Fases	Vantagens e Limitações
Vazamento metálico em modelos perdidos (conversão directa e indirecta)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Modelo RP da ferramenta em cera, poliestireno, fotopolímero (quickcast), etc.</li> <li>2. Carapaça cerâmica ou moldação maciça</li> <li>3. Sinterização do cerâmico</li> <li>4. Ferramenta metálica obtida por vazamento</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Durabilidade muito elevada</li> <li>o Precisão e acabamento elevados</li> <li>o Qualquer tipo de material</li> <li>o Peças complexas</li> <li>o Rapidez média</li> <li>o Defeitos de fundidos</li> </ul>
Electrodeposição (Cemcom)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Modelo-padrão RP ou modelo maquinado (grafite) da peça</li> <li>2. Ferramenta (carapaça) obtida por electrodeposição de níquel ou cobre</li> <li>3. Enchimento com ligas metálicas de baixo ponto de fusão, cerâmicos CBC e em resinas carregadas</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Durabilidade elevada</li> <li>o Peças com linhas de apartação complexas</li> <li>o Precisão e acabamento elevados</li> <li>o Rapidez média</li> <li>o Dificuldade em obter peças com geometrias profundas e estreitas</li> <li>o Ciclos mais longos</li> </ul>
Vazamento metálico sobre moldação em gesso ou cerâmicos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Modelo-padrão RP da ferramenta</li> <li>2. Negativo da ferramenta em material cerâmico</li> <li>3. Sinterização do cerâmico</li> <li>4. Ferramenta metálica obtida por vazamento</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Durabilidade muito elevada</li> <li>o Precisão e acabamento médio/elevado</li> <li>o Peças grandes</li> <li>o Elevadas contracções</li> <li>o O gesso é mais económico, mas só permite ligas de baixo ponto de fusão</li> </ul>
Vazamento metálico sobre moldação em areia cronig (PDC -EOS)	Vazamento metálico sobre moldação em areia cronig (PDC -EOS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Durabilidade muito elevada -Rapidez elevada</li> <li>o Precisão e acabamento baixos</li> <li>o Necessita de maquinagem</li> </ul>
Borracha de Silicone RTV ou Moldação por vácuo-VCM	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Modelo-padrão RP da peça</li> <li>2. Molde em borracha de silicone</li> <li>3. Cura</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Durabilidade baixa</li> <li>o Não necessita de saídas ou apartação</li> <li>o Rapidez elevada</li> <li>o Facilidade de desmoldação</li> <li>o Precisão e acabamento elevados</li> <li>o Baixo custo</li> <li>o Séries pequenas</li> <li>o Materiais diferentes</li> </ul>
Ferramentas em Resinas Carregadas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Modelo-padrão RP da peça</li> <li>2. Vazamento da resina sobre o modelo a fim de obter a ferramenta</li> <li>3. Desgasificação e cura</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Durabilidade média</li> <li>o Preço e rapidez médios</li> <li>o Precisão e acabamento médios</li> <li>o Necessidade de insertos</li> <li>o Peças de baixa e média complexidade</li> <li>o Ciclos longos</li> <li>o Baixas temperaturas e pressões de injeção</li> </ul>
Vazamento de pós metálicos (3D Keltool, Dynamic Tooling, Ecotoole RPBPS)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Modelo-padrão RP da peça</li> <li>2. Ferramenta obtida por vazamento de pós metálicos e ligante</li> <li>3. Compactação, cura e infiltração de cobre, bronze ou resinas(o processo 3D Keltool parte de um modelo RTV criado sobre o negativo da peça e obtido por RP)</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Durabilidade elevada</li> <li>o Processo metalúrgico complexo e sujeito a licenciamento.</li> <li>o Precisão e acabamento médios</li> <li>o Dificuldade de desmoldação</li> </ul>

## **4.5.5. Implementação**

### **4.5.5.1. Projecto de Detalhe**

Numa primeira fase do projecto de detalhe é necessário determinar as especificações finais do produto ao nível de suportes, encaixes, componentes, dimensionamento, tolerâncias, sobreespessuras, etc.

Na segunda fase é necessário a realização de simulações de desempenho, com recurso à modelação 3D virtual detalhada que permita a apreciação global do conceito.

Na terceira fase procede-se à materialização do produto através da realização de protótipos experimentais, recorrendo à prototipagem rápida, fabrico rápido de ferramentas, maquinação de “masters”, aquisição ou subcontratação de componentes, com a finalidade de obter uma pré série funcional na qual possam ser testadas soluções técnicas do produto face aos objectivos propostos de carácter funcional, de fabrico e de montagem, assim como a realização de testes de mercado, avaliando o relacionamento físico e emotivo com o utilizador.

### **4.5.5.2. Lançamento em produção**

O lançamento em produção requer uma cuidada e rigorosa preparação da documentação para a produção e controlo da qualidade do produto, para o projecto de ferramentas e preparação do sistema de produção, garantindo um rigoroso acompanhamento do arranque de produção, a fim de introduzir alterações resultantes de problemas nesta fase, embora estas devam ser antecipadas nas fases prévias do desenvolvimento.

#### **4.5.6. Conclusões**

A actividade de desenvolvimento de produto é fundamental para a competitividade das empresas, como tal, deve ser activamente gerida no plano estratégico e operacional, tal como a produção, a logística, etc.

A complexidade tecnológica crescente dos produtos e a necessidade de diferenciação requer a participação de todos os especialistas funcionais da empresa no processo de desenvolvimento de produto.

O processo de desenvolvimento de produto pode ser estruturado e gerido de forma a maximizar a eficácia e eficiência do processo incentivando, simultaneamente, a criatividade e inovação.



## **CAPÍTULO 5**



## **5. TRABALHO EXPERIMENTAL**

### **5.1. Introdução**

A necessidade pronunciada por parte dos consumidores na sua satisfação estética, implica uma constante adaptação por parte das empresas, quer a nível de desenvolvimento, quer a nível de produção. Da necessidade sentida pelas empresas numa mudança de posicionamento face à concorrência, advém a aposta na criação de produtos e marcas próprias, recorrendo inevitavelmente ao design, com o objectivo de criar um sistema de concepção e desenvolvimento que permita uma melhoria contínua dos produtos, ou seja, o aumento da capacidade de renovar e melhorar a carteira de produtos existentes.

### **5.2. Objectivos do Trabalho Experimental**

Pretende-se com este trabalho, desenvolver metodologias adequadas à produção de objectos em vidro por termoformação, recorrendo a modelos obtidos a partir tecnologias de prototipagem rápida e moldes cerâmicos endurecidos através de uma reacção sol-gel, que viabilizem a sua produção, e permitam uma maior liberdade e controlo das formas, assim como reduzir o tempo de colocação de novos produtos no mercado.

### **5.3. O Problema**

As indústrias de transformação de vidro plano em objectos decorativos por processos de termoformação debatem-se com a constante limitação no que diz respeito à obtenção de formas tridimensionais, por estas exigirem a produção de moldes complexos obtidos por métodos tradicionais, representando um substancial agravamento dos custos e tempos de desenvolvimento dos produtos.

## **5.4. Processo de Design**

A primeira fase do processo consistiu no design e concepção de duas peças de pequena dimensão, que originaram um molde cerâmico com forma e rigor geométrico de difícil obtenção pelos métodos tradicionais.

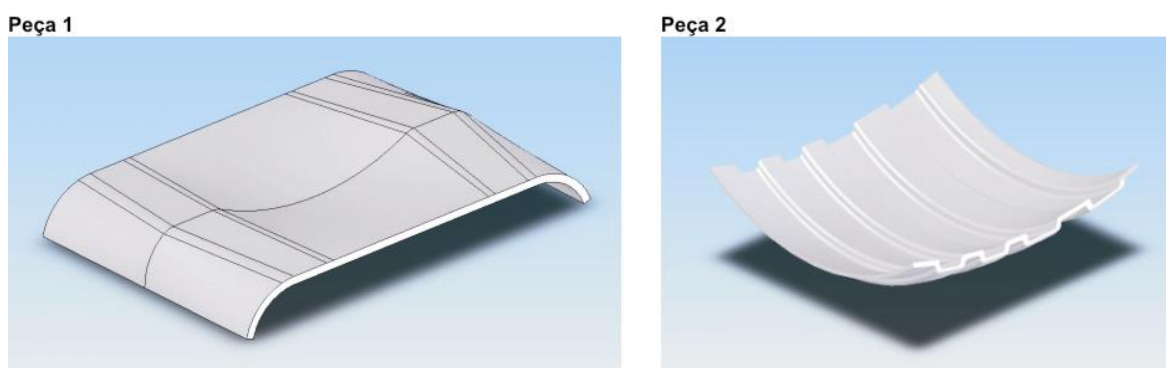
Nesta fase de concepção, ou geração de conceitos, não foram seguidas as metodologias de desenvolvimento de produto propostas no capítulo 2, por se tratar de conceitos que visam unicamente a experimentação, no que diz respeito à obtenção de peças tridimensionais e à produção dos moldes cerâmicos. Assim foram criadas duas peças e respectivos moldes num programa de CAD 3D (figura 5.1 e 5.2), com a preocupação destes poderem ser materializados através das tecnologias de prototipagem rápida, e de garantirem, no final do processo, a obtenção de peças em vidro pelo processo de termoformação, com geometrias tridimensionais que permitissem uma melhor avaliação do processo, bem como a possibilidade de experimentação com diferentes tipos de vidro, acabamentos e inclusões, de motivos decorativos, durante e depois do termoformado.

## **5.5. Produção dos Objectos em Vidro**

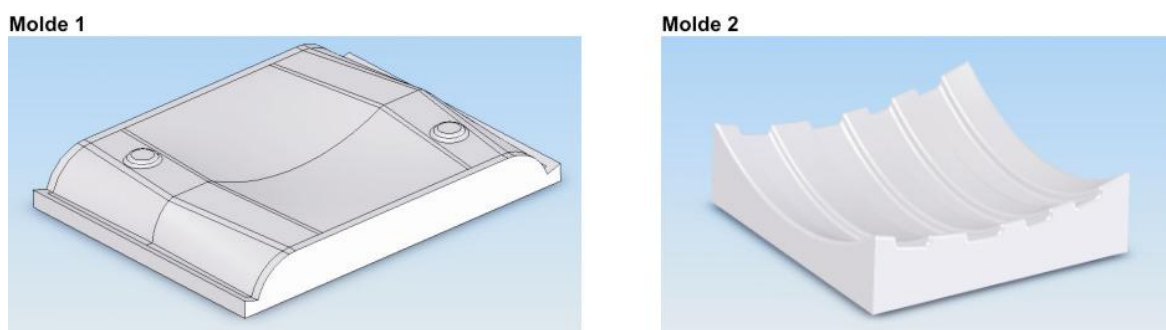
No processo de produção dos protótipos foram utilizadas duas tecnologias de prototipagem rápida, LOM e SL, assim como o fabrico rápido indirecto de ferramentas

### **5.5.1. Produção do Molde com Recurso a Tecnologias de Prototipagem Rápida**

Após o desenvolvimento criativo dos conceitos realizou-se a modelação 3D, no Software de modelação sólida paramétrica SolidWorks, das peças e dos moldes adequados à sua obtenção, conforme ilustram as figuras 5.1 e 5.2.



**Figura 5.1-** Geometria pretendida para as peças em vidro termoformado.



**Figura 5.2-** Modelação 3D dos moldes para a termoformação do vidro.

A segunda etapa deste processo foi a conversão dos ficheiros resultantes da modelação 3D, em ficheiros STL, para poderem ser reconhecidos e processados pelo equipamento de prototipagem rápida, obtendo-se desta forma modelos para a produção das ferramentas de termoformação.

O molde 1 (figura 5.3) foi realizado em papel pelo processo LOM. Depois de removidos os excessos de material (descubagem) resultante do processo, e realizadas as operações de acabamento, lixagem e aplicação de uma resina epoxy que confere ao modelo maior resistência, melhor acabamento superficial e impermeabilidade, este fica pronto para a etapa seguinte. O molde 2 (figura 5.3) foi realizado em resina, pelo processo SL. Depois de terminado o processo de construção na máquina, o protótipo foi sujeito a acabamentos superficiais com aplicação de massa de polir e lixagem para eliminar as imperfeições resultantes do processo SL (efeito de escada), obtendo-se uma superfície mais homogénea. Com este molde houve um cuidado particular neste acabamento superficial, devido a que

no primeiro molde (em LOM) todas as irregularidades da superfície foram transmitidas ao vidro.

Molde 1 (LOM)



Molde 2 (SL)

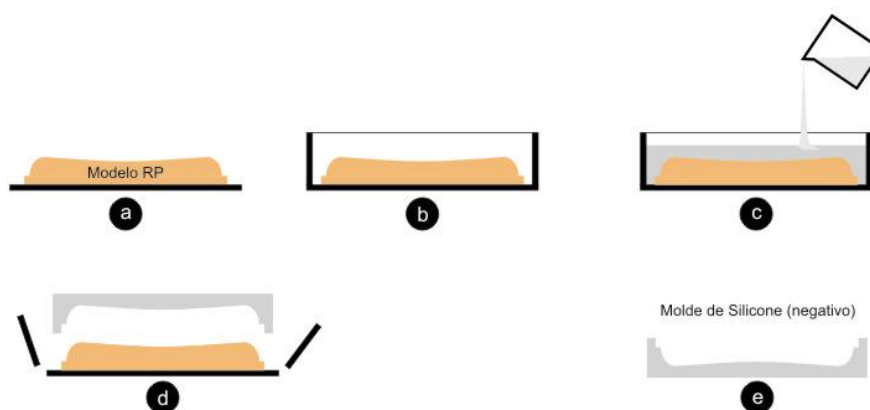


**Figura 5.3** - Molde em LOM e molde SL após operações de acabamento.

#### 5.5.1.1. Obtenção do Negativo do Molde em Silicone

A partir dos moldes RP, modelo positivo, realizaram-se os modelos negativos em silicone, que envolveu as fases ilustradas na figura 5.4, e que são as seguintes:

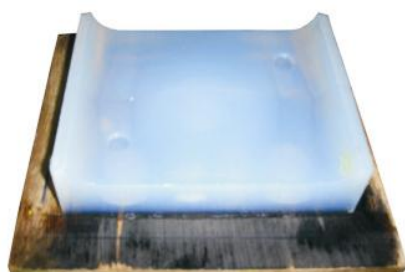
- Limpeza das superfícies do molde em LOM. O modelo deve ser manipulado com o maior cuidado, evitando sujidades tais como pó ou excesso de resina, para garantir um melhor acabamento superficial;
- Construção da caixa de vazamento do silicone (figura 5.4 a) e 5.4 b)). Esta caixa é construída em madeira, e as suas partes unidas com plasticina para facilitar a desmoldagem, e deve ter as dimensões adequadas e estritamente necessárias para o modelo que se pretenda obter, evitando os desperdícios de material;



**Figura 5.4** - Esquema de obtenção do molde de silicone.

- Preparação do silicone, 100 partes em peso de base SILASTIC T-4 e 10 partes de agente catalizador SILASTIC T-4 (Dow Corning). Posteriormente a mistura é colocada na câmara de vácuo para eliminar as bolhas de ar introduzidas durante o processo de mistura;
- Vazamento da mistura de silicone sobre o modelo (figura 5.4 c));
- Após o período de secagem, cerca de 2 horas numa mufla à temperatura de 50°C, procede-se à desmoldagem (figura 5.4 d)), que deve ser feita com muito cuidado para não ferir a superfície do silicone. Obtemos assim o negativo em silicone, conforme ilustram as figuras 5.4 e) e 5.5.

**Molde 1**



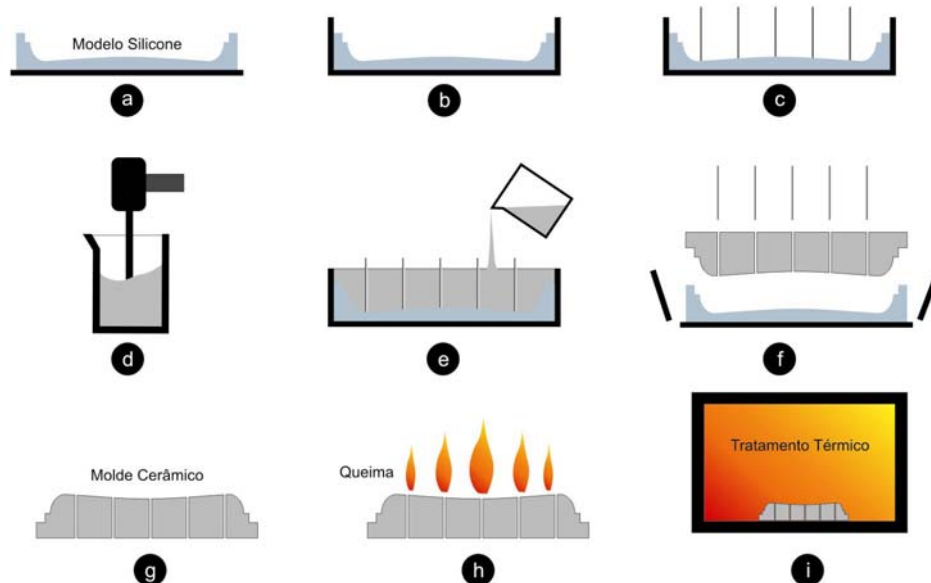
**Molde 2**



**Figura 5.5** - Modelos negativos em silicone.

### 5.5.1.2. Moldação Cerâmica

A partir dos modelos negativos em silicone, produziram-se as moldações cerâmicas. A produção da moldação cerâmica envolve as seguintes fases (figura 5.6):



**Figura 5.6** - Esquema das etapas de produção da moldação cerâmica.

- Execução de uma caixa de moldação em acrílico em volta do modelo de silicone (figura 5.6 a) e b));
- Colocação de tubos em plástico de 4mm de diâmetro, que darão origem a canais perfurados no molde cerâmico, que servirão mais tarde para a libertação de ar e gases resultantes do processo de conformação do vidro (figura 5.6 c));
- O material da moldação cerâmica é preparado misturando pós cerâmicos refractários, contendo uma boa porção de finos, para garantir uma boa reprodução de detalhes e baixa rugosidade e de grossos, para dar resistência à moldação, com um ligante à base de sílica (silicato de etilo hidrolisado). Os materiais são misturados num misturador até obter uma mistura homogénea. Após esta fase adiciona-se o

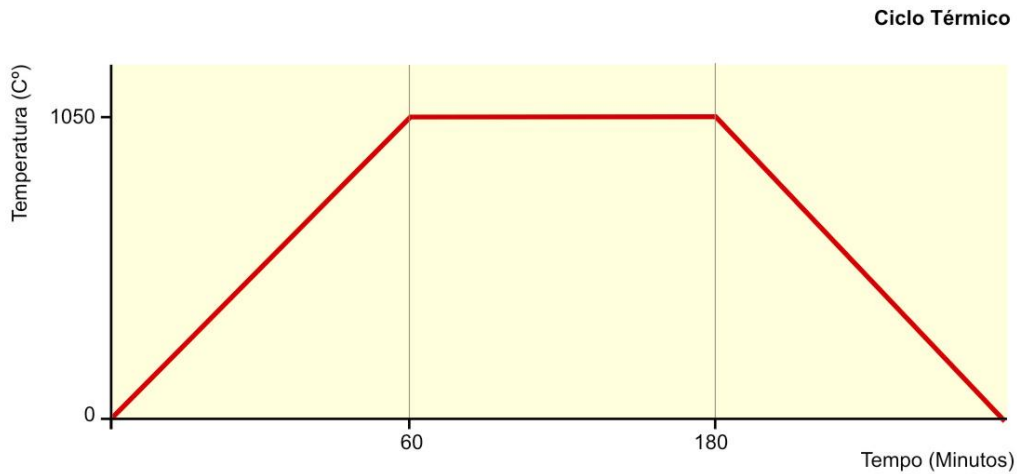
catalizador, que desencadeia a reacção de endurecimento (gelificação) (figura 5.6 d)). Mais detalhes deste processo podem ser encontrados nas referências [48 e 40].

A tabela 5 mostra a composição da moldação cerâmica produzida.

**Tabela 5 - Composição da moldação cerâmica.**

Material	Quantidade
Silicato de Etilo	1 parte para 7,5 em peso de cerâmico
Silicato de Zinco 325 Mesh	15%
Silicato de Zinco 200 Mesh	40%
Silicato de Zinco 110 Mesh	15%
Molochite 30/80	10%
Molochite 50/80	10%
Molochite 15/30	10%
Catalizador (hidróxido de amónia com concentração de 2,5 %)	1,8% do peso de Silicato de Etilo

- A barbotina líquida (cerâmico + ligante + catalizador) é vazada para a caixa onde se encontra o modelo de silicone (figura 5.6 e)). Após alguns minutos, o material cerâmico gelifica até atingir uma consistência parecida com a da borracha vulcanizada, podendo nesta altura a moldação ser separada do modelo.
- Após a remoção do modelo, que deve ser feita com cuidado para não danificar a moldação, a reacção de gelificação é interrompida, espalhando álcool etílico sobre a moldação e posterior queima (figura 5.6 g) e h)).
- Posteriormente é feito um tratamento térmico (figura 5.6 i)), colocando a moldação num forno à temperatura de 1050°C, durante um período de cerca de 2 horas (figura 5.7), o que confere à moldação cerâmica uma maior resistência mecânica e elevada estabilidade térmica.



**Figura 5.7**- Ciclo térmico de tratamento da moldação cerâmica.

- Com a moldação terminada, procede-se à sua pintura com Nitrato de Boro (RATH – Kerathin Coating C BN), utilizando uma pistola de ar comprimido, o qual actuará como desmoldante no processo de termoformação.

A figura 5.8 mostra os moldes cerâmicos finais obtidos.

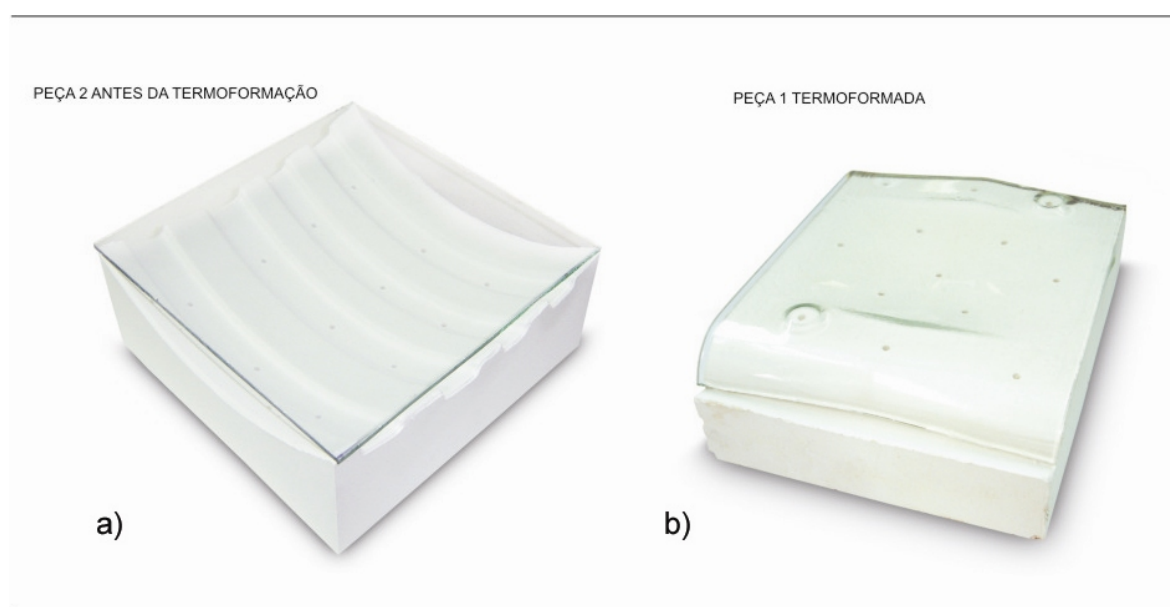


**Figura 5.8** - Moldes cerâmicos.

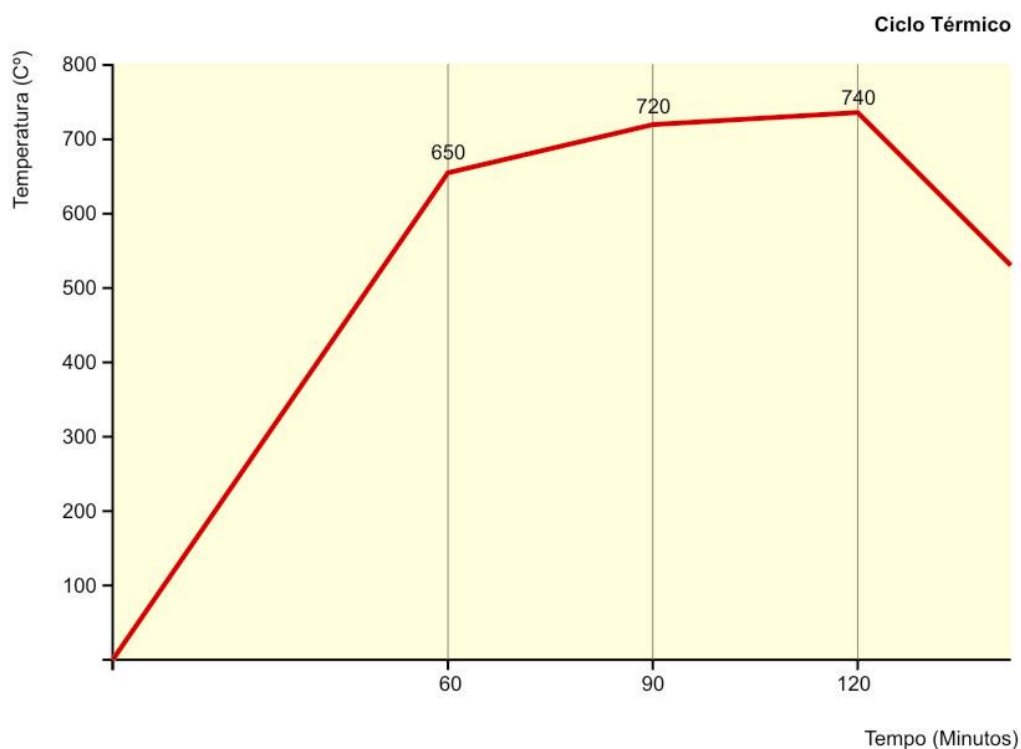
### 5.5.1.3. Termoformação

Após a obtenção do molde cerâmico (figura 5.8), pode então realizar-se a termoformação do vidro (termoformação no exterior do molde), cumprindo as seguintes etapas:

- Colocação do vidro, sobre o molde (figura 5.9 a)); no caso das peças com inclusões de motivos decorativos, os materiais utilizados na decoração foram colocados entre dois vidros, sendo o primeiro de maior espessura (4mm) e o segundo, colocado por cima, com uma espessura inferior (2mm);
- Colocação do conjunto no forno e realização do ciclo térmico, conforme ilustra a figura 5.9. Após o estágio e arrefecimento até cerca de 550°C, o forno é desligado e a peça permanece no seu interior até este atingir a temperatura ambiente;
- Obtenção da peça final (figuras 5.9 b), 5.11 e 5.12).



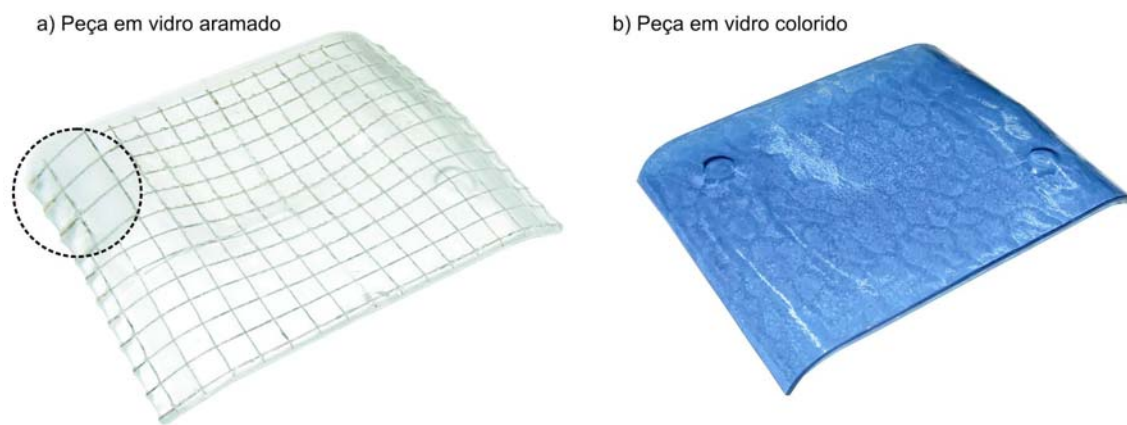
**Figura 5.9** - a) colocação do vidro em cima do molde para a termoformação, b) peça em vidro termoformado ainda sobre o molde cerâmico.



**Figura 5.10** - Ciclo térmico utilizado na termoformação.

A figura 5.11 mostra duas peças iguais, realizadas com vidros de diferentes tipos. A figura 5.11 a) mostra uma peça realizada em vidro aramado, cujo resultado não foi satisfatório pelo facto da malha de arame não se adaptar totalmente à forma pretendida, fazendo o vidro fluir entre ela, ficando o arame a descoberto nas extremidades (deverá utilizar-se um vidro com rede mais fina). Na figura 5.11 b) a peça foi realizada com vidro texturado e colorido, que resultou bastante bem, fazendo com que as imperfeições na superfície não se notassem.

As saliências redondas nas duas peças foram produzidas com o intuito de analisar o comportamento do vidro face a estes pequenos relevos, que como se pode observar são muito bem reproduzidos.



**Figura 5.11** - Peças realizadas com diferentes tipos de vidro (Peça 1).

---



**Figura 5.12** - Peça 2 em vidro termoformado.

---

#### 5.5.1.4. Acabamentos dos Vidros

Algumas das peças obtidas foram acabadas e decoradas recorrendo à grenalhagem, que consistiu em projectar um abrasivo, Corindon branco 24 (Coniex), com a ajuda de ar comprimido para matizar o vidro. Foram utilizadas máscaras, realizadas com fita autocolante nas superfícies onde este efeito não é pretendido. A figura 5.13 mostra o esquema dos principais componentes de um equipamento de grenalhar.



**Figura 5.13** - Principais componentes de um equipamento de grenalhagem.

A figura 5.14 apresenta duas peças iguais que sofreram operações de grenalhagem, pela parte inferior da peça, utilizando diferentes máscaras (peça 1). Verifica-se assim que é possível, de uma forma bastante simples, gerar uma grande variedade de efeitos estéticos nas peças finais, que podem, por exemplo, ser explorados para introduzir motivos gráficos tais como logótipos ou temas publicitários a custos reduzidos.



**Figura 5.14** - Peças decoradas com o processo de grenalhagem (peça 1).

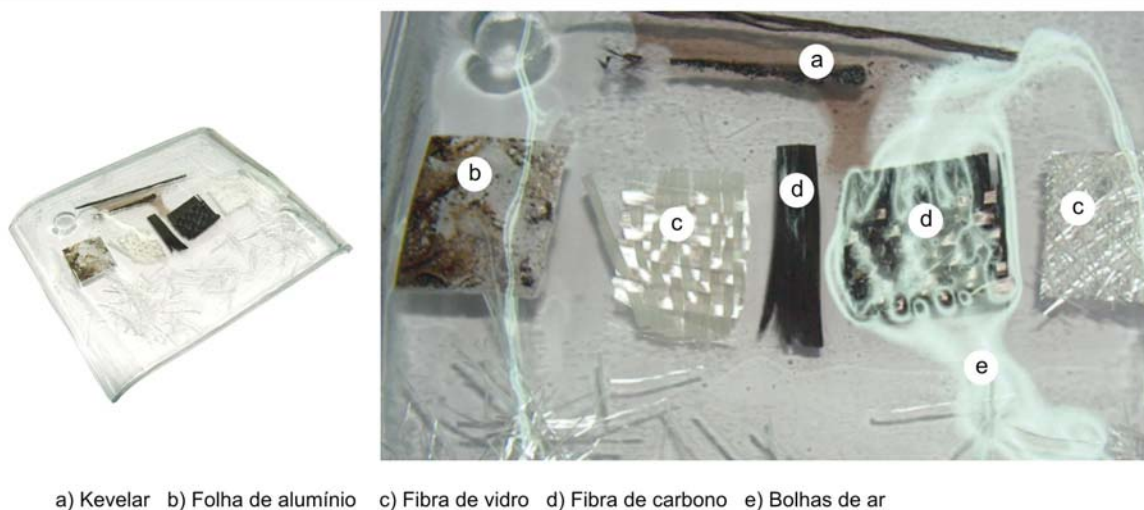
A figura 5.15 a) mostra a colocação de máscaras de ambos os lados, que depois da operação de grenalhagem, conferem a toda a peça um efeito matizado, apresentando do mesmo lado diferentes texturas.



**Figura 5.15** - Peças decoradas com o processo de grenalhagem (Peça 2).

#### 5.5.1.5. Inclusões de Motivos Decorativos

Foram realizadas algumas peças com inclusões, que consistiu na colocação de materiais entre dois vidros. Os materiais testados foram a folha de alumínio, fibras de vidro, fibras de carbono e de kevelar. A figura 5.16 mostra alguns dos efeitos obtidos, sendo de referir que o kevelar (Figura 5.16 a)) não resistiu às temperaturas aplicadas e desapareceu deixando apenas uma mancha escura. A folha de alumínio (Figura 5.16 b)) apresentou algumas zonas queimadas, que não resultaram no efeito pretendido. Por sua vez, as fibras de vidro e de carbono (Figura 5.16 c) e d)) geraram efeitos interessantes, não apresentando sinais de alteração nas suas propriedades visuais. Na figura 5.16 e) podemos ver, o aparecimento de manchas brancas, evidenciadas com recurso a software de tratamento de imagem, que são bolhas de ar no interior dos dois vidros. Neste teste considerou-se que as bolhas de ar tiveram pouca importância no efeito estético pretendido, mas devem ser considerados em experiências futuras.



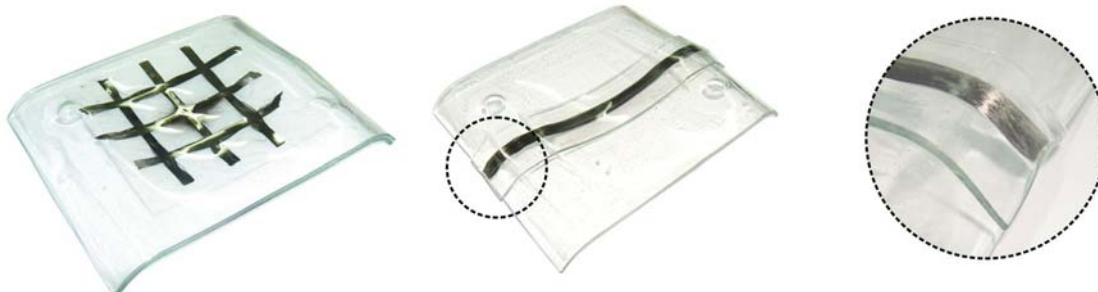
a) Kevelar b) Folha de alumínio c) Fibras de vidro d) Fibras de carbono e) Bolhas de ar

**Figura 5.16** - Pormenor dos testes com inclusões de motivos decorativos.

A figura 5.17 mostra peças em que se utilizaram fibras de carbono entre vidros iguais ou de diferentes tamanhos. Obtiveram-se efeitos estéticos interessantes que podem ser explorados com outros materiais.

a) Peça com 2 vidros de igual tamanho

b) Peça com 2 vidros de diferente tamanho



**Figura 5.17** - Peças com inclusões de motivos decorativos.

As peças obtidas mostraram que é possível testar ainda uma grande variedade de materiais como motivos decorativos, tais como pigmentos, alguns metais ou ligas metálicas, entre os quais o cobre e suas ligas, a prata, o ouro, na sua forma natural ou sob a forma de malha, fio, arame, folha, pó, etc.. Podem ainda ser utilizados materiais orgânicos, tais como elementos vegetais, que embora carbonizem durante o processo de termoformação, podem deixar um rasto que devidamente explorado poderá revelar-se num grande componente estético [3].

## 5.6. Considerações Finais

O principal problema encontrado neste trabalho experimental foi a insuficiente qualidade do acabamento das superfícies dos modelos obtidos por processos de RP, que apresentam superfícies com alguma rugosidade.

O modelo em LOM foi o que apresentou pior acabamento superficial, o que está de acordo com o que é referido na literatura para este processo [35, 36, 44], Esta rugosidade dos processos de RP (efeito de escada) são transmitidas para o molde de silicone e posteriormente à moldação cerâmica, sendo por isso necessário despende algum tempo nas operações de acabamento dos modelos, para garantir que no final do processo, as superfícies do vidro termoformado, que estiveram em contacto com o molde, não apresentam sinais dessas imperfeições.

Embora se verifique uma ligeira rugosidade na peça em vidro obtido a partir do modelo em SL, o acabamento superficial é superior ao do LOM e bastante superior ao verificado com o de moldes convencionais realizados em fibras cerâmicas, que conferem às peças uma textura acentuada, como facilmente se pode verificar na figura 5.18.



---

**Figura 5.18** - Exemplo de uma peça obtida a partir de um molde de fibra cerâmica [3].

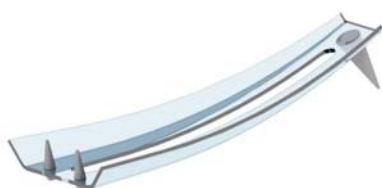
A principal vantagem verificada no processo apresentado reside na liberdade de exploração das capacidades de geração electrónica de formas tridimensionais, passíveis de serem materializadas em moldes cerâmicos, para termoformação de vidro, e que são de difícil ou de custo bastante elevado de obtenção dos mesmos moldes por processos convencionais (maquinagem).

Uma vez que as peças 1 e 2 produzidas (figuras 5.14 e 5.15) são de dimensão reduzida, desenvolveu-se uma nova peça de maiores dimensões, rigor geométrico e valor acrescentado.

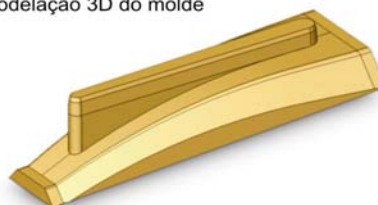
Foi realizada a modelação 3D da peça e do molde, assim como a produção do molde em LOM (figura 5.19), que sofreu um cuidadoso acabamento superficial para minimizar ao máximo o efeito de escada. Não foram executadas as restantes etapas devido aos custos envolvidos na sua produção, no entanto, atendendo ao grau de aceitação para comercialização das peças 1 e 2, pensa-se que esta é uma peça com elevadas potencialidades de vir a ser lançada no mercado.

Finalmente, tudo a leva a crer que com algum trabalho suplementar de investigação no desenvolvimento de moldes compósitos, que utilizem uma pele de silicone e o restante material de baixo custo, e de moldações cerâmicas mais económicas, que seja possível reduzir significativamente o custo do processo experimental apresentado, tornando-o ainda mais atraente para o desenvolvimento de novos produtos em vidro termoformado.

a) Modelação 3D da peça a obter



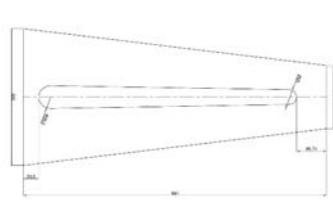
a) Modelação 3D do molde



a) Molde em LOM



a) Planificação do vidro



**Figura 5.19** - Fruteira em vidro com apliques de alumínio (660 x 280 x 135vmm). Fases do processo realizado.

## **CAPÍTULO 6**



## 6. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

A relação entre o design e a actividade de desenvolvimento de produto advém da necessidade de materialização do processo criativo, em objectos reais que permitam a sua comercialização. Assim é necessária uma aproximação da actividade de design aos processos produtivos, favorecendo o conhecimento mútuo das características e potencialidades nestas áreas. Por sua vez a alteração dos métodos de trabalho nas áreas do design conceptual e da engenharia, provocadas pelo aparecimento de meios informáticos sofisticados, implicam uma adaptação por parte das equipas de desenvolvimento de produto (DP).

Esta tese sugere uma metodologia de DP com recurso a ferramentas de modelação 3D e a tecnologias de prototipagem rápida e de fabrico rápido indirecto de ferramentas, partindo de conceitos existentes e complementares, contribuindo para uma aplicação prática nas indústrias de termoformação de vidro.

Estes conceitos são defendidos com elementos experimentais, informações históricas e sociais, enfatizando a relação entre a evolução do design, o processo de DP e as tecnologias de produção, alertando para importância do uso das novas tecnologias como factor preponderante na competitividade das empresas.

No capítulo 5 pretendeu-se materializar este conceito, concluindo de forma satisfatória a intenção desta dissertação, mas, com a consciência de que esta apenas serve de estímulo a estudos mais aprofundados, quer nos métodos, quer nos processos. Foram assim produzidas duas peças em vidro termoformado, nomeadamente, um cinzeiro e um pequeno centro de mesa com diferentes tipos de acabamentos e motivos decorativos. Finalmente apresentou-se o projecto de uma peça mais complexa e de maiores dimensões e valor acrescentado que poderá vir a ser comercializada desde que haja interesse por parte de alguma empresa.

Neste contexto as perspectivas de trabalhos futuros centram-se no aperfeiçoamento e optimização dos processos de obtenção dos moldes de silicone e cerâmicos, que permitam

a obtenção de peças em vidro por termoformação de elevada criatividade e boa qualidade no acabamento das superfícies, mas a mais baixo custo, assim como a experimentação de novos materiais que permitam introduzir inovações estéticas neste tipo de peças decorativas.

**BIBLIOGRAFIA**

- [1] Fernandes, Maria H. V., (1999), “Introdução à Ciência e Tecnologia do Vidro”, Universidade Aberta, 1ª Edição, Lisboa.
- [2] Shelby, J. E., (2005), “Introduction to Glass Science and Technology”, 2nd Edition - Paperback, Royal Society of Chemistry.
- [3] Beveridge, Philippa, Doménech, Ignasi, Pascual, Eva, (2004) “O Vidro, Técnicas de Trabalho de Forno”, Coleção Artes e Ofícios; Editorial Estampa.
- [4] Alves, Luiz, Gimenez, Lara, Mazali, Italo, (2001), “Vidros” Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, Divisão de Ensino da Sociedade Brasileira de Química.
- [5] André, Carlos, (2005), “Marinha Grande Mglass - Uma Referência no Principal Mercado”, Informar Portugal, Ano V, N.º 3, Maio/Junho, ICEP, IAPMEI, Portugal.
- [6] Maia, Samuel Berg, (2003), “O Vidro e a Sua Fabricação”, Editora Interciência.
- [7] Morey, G. W., (1938), “The Properties of Glass”, Reinhold Publishing Corp., New York.
- [8] Lefteri, Chris, (2002), “Glass - Materials for Inspiration Design”, RotoVision.
- [9] Saint-Gobain Glass, (2000), “Manual do Vidro”.
- [10] Walker, Brad, (2002), “Contemporary Warm Glass”, Four Corners International, Inc.
- [11] Gama, Ruy, (1986), “A Tecnologia e o Trabalho na História”, Nobel, São Paulo.
- [12] Heskett, John, (1998), “Desenho Industrial”. 2ª Edição. Rio de Janeiro: José Olympio.
- [13] Charlotte, Fiell, (2005), “Design do Século XX”, Taschen.
- [14] Bahiana, Carlos. (1998) “A Importância do Design para Sua Empresa”, CNI, Brasília.
- [15] Maldonado, Tomás, (1997), “El Diseño Industrial Reconsiderado”, Ediciones Gustavo Gili, Barcelona.
- [16] Schulmann, Denis, (1994), “O Desenho industrial”, Campinas: Papirus.
- [17] Ribeiro, M. Santos, (2000), “Design, Produção e Uso dos Aretefactos: Uma Abordagem a Partir da Actividade Humana”, Curitiba.
- [18] William, J. Mitchell, (1998), “Picture This. Build That. Algorithms, Machines, and Architectural Performances”, Harvard Design Magazine, N.º 6, pp. 8-11.
- [19] Steele, James, (2001), “Arquitectura y Revolución Digital”, México: Ediciones Gustavo Gili, SA de CV.

- [20] Vasconcelos, Pedro, (2004), “Fabrico Rápido Indirecto de Ferramentas Compósitas a Partir de Modelos de Prototipagem Rápida”, Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [21] Silava, Arlindo, Dias, João, Sousa, Luís, (2002), “Desenho Técnico Moderno”, 2ª Edição, Lidel.
- [22] Kerry, H. T., (1997). “Planejamento de Processo Automático para Peças Paramétricas”, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- [23] Manzini, Ezio, (1993), “A matéria da Invenção”, Centro Português de Design, Lisboa.
- [24] Aguiar, Carlos, (2002), “Design Industrial, Parte I - Desenvolvimento de Novos Produtos”, Tecnometal, N.º143, Novembro/Dezembro.
- [25] Almeida, Pedro, (2003), “O Desenvolvimento de Sistemas Marca-Produto, Parte I - A Identidade de Produto”, Tecnometal”, N.º 149, Novembro/Dezembro.
- [26] Clark, K. B., Fujimoto, T., (1991) “Product Development Performance: Strategy, Organization and Management in the World Auto Industry”, Mass, Harvard Business School Press, Boston.
- [27] Pugh, S., (1991), “Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering”, Addison Wesley.
- [28] Nonaka, I., Takeuchi, H., (1997), “Criação de Conhecimento na Empresa”. Rio de Janeiro: Campus.
- [29] Branco, João, (2002), “Design e Estratégias Empresariais”, Tecnometal, N.º 142, Setembro/Outubro.
- [30] Mau, Bruce, (2002), “Life Style”, Phaidon, 2ª Edição, pp.88, London.
- [31] Ulrick, Karl T., Eppinger, Steven D., (2004) “Product Design and Development”, 3ª Edição, Mc Graw Hill.
- [32] Baxter, Mike, (1995), “Projecto de Produto - Guia Prático para Desenvolvimento de Novos Produtos”, Edgard Blucher.
- [33] Marcelino, Rui, (2004), “Design e Prototipagem”, Tecnometal, N.º 150, Janeiro/Fevereiro.
- [34] Pereira, Acácio, Gomes, António, “Desenvolvimento de Produto - Produção de Protótipos e Pré-séries”, “Use(r) Design”, Tema 2: Valores, Lisboa, 2003.
- [35] Grimm, Todd, (2004), "User's Guide to Rapid Prototyping", Society of Manufacturing Engineers, USA.
- [36] Vasconcelos, M. T., Vasconcelos P. V., Lino, F. Jorge, R. J. Neto; (2003), “As Sinergias da Prototipagem Rápida e da Internet para um Design Optimizado”, “Use(r) Design”, Tema 2: Valores, Lisboa.
- [37] Wohlers, T., (2005), ”Rapid Pprototyping, Tooling, and Manufacturing State of The Industry”, Annual Worldwide Progress Report, USA .

- [38] Jacobs, P. S., (1996), "Stereolithography and Other RP&M Technologies", Society of Manufacturing Engineers - American Society Of Mechanical Engineers.
- [39] Projecto Mobilizador RNPR, (2000), "Prototipagem Rápida", Tecnometal, N.º 129, pp. 5-17.
- [40] Chua, C. K., Leong, K. F., Lim, C. S., (2003), "Rapid Prototyping, Principles and Applications", 2nd Edition, World Scientific.
- [41] Lino, F. J., Braga, F. J., Simão, M. S., Neto, R. J., Duarte, T. M., (2001), "Protoclick - Prototipagem Rápida", Porto.
- [42] D. Kochan, (1993), "Solid Freeform Manufacturing: Advanced Rapid Prototyping", Vol. 19, Manufacturing Research Technology, Elsevier Publishers B. V., Netherlands.
- [43] Neto, R. J., (1999) "Fabricação de Objectos por Camadas - LOM", O Molde, Revista da Associação da Indústria de Moldes, Ano 12, N.º 39, pp.18-19.
- [44] Lino, Jorge, Neto, Rui J. L., Vasconcelos, M. Teresa, Vasconcelos, Pedro V., Pereira, Acácio V., Silva, Elisabeth C., (2000), "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.
- [45] Karapatis, N., (1998), "Direct Rapid Tooling: a Review of Current Research", Rapid Prototyping Journal, pp. 77-89.
- [46] Duarte, P. Teresa, Lino, F. Jorge, Barbedo, A., Neto, Rui, Ferreira, J. M., (2004), "Conversion of Rapid Prototyping Molds Into Metallic Tools by Ceramic Moulding - Indirect Rapid Tooling Process", International Journal of Materials and Product Technology, vol. 21, N.º 4.
- [47] Hopkinson, N. Hague, R. J. M, Dickens, P. M., (2006), "Rapid Manufacturing, Industrial Revolution For The Digital Age", Wiley, England.
- [48] ASM, (1991) "Ceramics and Glasses", Engineered Materials Handbook, Vol. 4.
- [49] Duarte, P. Teresa, Lino, F. Jorge, Neto, Rui, (1999), "Utilização de Moldações Cerâmicas no Fabrico de Moldes Metálicos", O Molde, Revista da Associação da Indústria de Moldes, Ano 12, N.º 39, pp. 32-41.
- [S1] <http://www.aic-cristalaria.pt>
- [S2] <http://www.artspina.com.br/si/site/3504>
- [S3] <http://www.3trpd.co.uk>
- [S4] <http://www.bathsheba.com> esculturas
- [S5] [http://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos\\_port/pag\\_conhec/cadv2.html](http://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos_port/pag_conhec/cadv2.html)
- [S6] [http://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos\\_port/pag\\_conhec/prototipagem.html](http://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos_port/pag_conhec/prototipagem.html)