



## MAQUINAGEM DE UMA PRÓTESE PARA A ARTROPLASTIA TOTAL DO OMBRO

CARLOS D. OLIVEIRA, J. PAULO DAVIM

Universidade de Aveiro  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Campus de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal

*(Recibido 22 de diciembre de 2014, para publicación 22 de septiembre de 2015)*

**Resumo** – Atualmente, as doenças articulares que justificam substituição da articulação por uma prótese estão a ganhar proporções alarmantes. As próteses raramente são feitas à medida de cada paciente, podendo originar complicações, obrigando a artroplastias de revisão frequentes. Neste sentido, torna-se importante desenvolver métodos e estratégias de maquinagem capazes de dar uma resposta rápida e eficaz a esse problema. No presente trabalho realizou-se a maquinagem de uma prótese, utilizada na artroplastia total do ombro, que consiste em dois componentes, um umeral e outro glenoidal. Numa primeira fase, com recurso a um software CAD, realizou-se o projeto tridimensional de cada componente. De seguida, recorrendo a um software CAM desenvolveram-se estratégias de maquinagem que melhor resposta oferecem de acordo com alguns parâmetros, nomeadamente, a vida útil da ferramenta de corte, o tempo de maquinagem e o acabamento das superfícies obtidas. Finalizou-se o trabalho com a medição da rugosidade dos componentes maquinados, antes e depois do polimento. Foi demonstrado que é possível o fabrico dos componentes utilizados na artroplastia total do ombro, com uma boa precisão dimensional, com tempos de maquinagem apropriados e um bom acabamento de superfície dos componentes.

**Palavras-chave** – Maquinagem, prótese anatómica do ombro, artroplastia do ombro, CNC.

### 1. INTRODUÇÃO

A articulação do ombro, ou articulação glenoumeral, é uma articulação diferente dos outros ombros animais e acredita-se que tenha desempenhado um papel relevante na evolução da espécie humana. De todas as articulações do corpo humano, esta articulação é aquela que apresenta a maior amplitude de movimentos e funciona como o centro de rotação do membro superior. Esta é uma articulação composta por duas estruturas ósseas, a omoplata e a cabeça do úmero [1].

O ombro é a segunda articulação, após o joelho, com relatos de dor articular, com 30.6% vs 63.4%. Também é a terceira grande articulação mais comum a exigir a reconstrução cirúrgica, atrás do joelho e da anca, respetivamente [2]. A falta de movimento e dor são as principais razões pelas quais, os pacientes procuram um tratamento cirúrgico. A artroplastia do ombro é tratamento cirúrgico mais utilizado. É empregue no tratamento de mais de 100 doenças e condições limitadoras desconfortantes e utiliza para esse efeito próteses [3], [4]. As próteses são dispositivos ortopédicos permanentes, em que a sua utilização envolve a remoção do osso e da cartilagem durante o processo de implantação. Deste modo, os materiais devem de ser biocompatíveis ao mesmo tempo desempenhar a função para a qual foram destinados [5], [6].

Em geral, a componente umeral é na liga cobalto-crómio (CoCr) para a cabeça e para a haste ou de liga cobalto-crómio (CoCr) ou de ligas de titânio (Ti6Al4V). Preferencialmente opta-se por hastes e cabeças na liga cobalto-crómio (CoCr), por serem mais resistentes, rígidas e ao mesmo tempo mais resistente ao desgaste [6]. Para a interface glenoumeral, o polietileno (UHMWPE) é o mais utilizado. Este pode sofrer desgaste, mas as partículas produzidas não são tóxicas. A fixação pode ser melhorada com a adição de dispositivos de fixação [7]. Os materiais metálicos são usados devido, às excelentes propriedades mecânicas combinadas com uma excelente biocompatibilidade, resistência ao desgaste, à fadiga e à corrosão [8].

Por sua vez, as propriedades únicas de alta resistência à abrasão, baixo atrito, elevada resistência ao impacto, excelente resistência e baixa densidade, facilidade de fabrico, biocompatibilidade, fazendo do UHMWPE um material excelente para este tipo de utilização [9].

Durante os anos 80 do século XX, o desenvolvimento e a aceitação da artroplastia do ombro foi especialmente lenta. A articulação do ombro foi referida por muitos como a “*articulação esquecida*”. Foi evitada pelos cirurgiões pelo facto de não apresentarem resultados satisfatórios [10]. Hoje em dia, e face ao envelhecimento e atividade laboral mais tardia da população, observa-se um aumento acrescido do número de incapacidades articulares. Deste modo, torna-se importante desenvolver métodos de fabrico e estratégias capazes de dar uma resposta rápida e eficaz a este problema. Assim sendo, a maquinagem torna-se numa possibilidade, pois esta é utilizada por diversas indústrias em que existe a necessidade de obtenção de componentes de formas complexas, com acabamentos superficiais notáveis e excelentes tolerâncias geométricas e dimensionais [11], [12].

O presente trabalho tem como objetivo maquinar uma prótese articular utilizada na artroplastia total do ombro, constituída pela componente do úmero e da glenoide, recorrendo a um centro de maquinagem, com o mínimo de apertos e com um bom acabamento superficial.

## 2. METODOLOGIA

Esta secção fornece uma descrição detalhada da metodologia tomada. Iniciou-se pela seleção dos constituintes da prótese, seguindo-se a modelação CAD 3D, finalizando com a programação CAM dos componentes modelados e a maquinagem da prótese num centro de maquinagem CNC. Também é abordado o acabamento e o método de análise das superfícies maquinadas.

### 2.1. Prótese anatómica

O modelo de prótese utilizado neste trabalho, tem por base o modelo desenvolvido pela empresa *Zimmer*®. Esta consiste numa prótese total anatómica, de construção modular e com fixação cimentada. No seu conjunto, esta prótese, compreende um componente para o úmero e outro para a glenoide, como mostra a Fig. 1. O componente do úmero é dividido em cabeça, com uma ligação cónica para o pescoço e haste. As suas dimensões são normalizadas e são fornecidas pelo fabricante através de catálogos.

### 2.2. Modelação CAD

Para a modelação tridimensional dos componentes, representados na Fig. 1, utilizou-se o *software* CAD CATIA® (*Computer Aided Tridimensional Interactive Application*). A modelação CAD foi simplificada, isto é no componente umeral passou-se a ter um componente monobloco, invés de ser um conjunto modular. Aplicando as técnicas de projeto CAD 3D, obtiveram-se os seguintes componentes modulados (Fig. 2).

### 2.3. Simulação da maquinagem CAM

Após a modelação 3D de ambos os componentes, procedeu-se ao estudo das estratégias de maquinagem. Para este efeito, utilizou-se o simulador CAM, *Mastecam*®. As estratégias escolhidas respeitam fatores e procedimentos fundamentais tais como, o tempo de maquinagem, o acabamento superficial, a vida útil da ferramenta de corte.

A simulação da maquinagem para os componentes aqui tratados, foi executada a partir de um bloco em bruto. Esta é realizada em duas etapas, em que cada uma corresponde à respetiva face do componente a maquinar. Estas estratégias foram idealizadas para serem realizadas com dois apertos do bloco. Para a realização desta maquinagem, criaram-se apoios, com o objetivo de fixação da peça ao bloco, e também *offsets*, com o propósito de limitar a área de trabalho da ferramenta de corte e consequente diminuição do tempo de maquinagem. Os apoios foram criados através das funcionalidades CAD do *Mastercam*®, enquanto os *offsets* foram criados a partir do comando *Silhouette Boundary*. De salientar ainda que, não existem melhores nem piores estratégias de maquinagem, mas sim estratégias que melhor se adaptam a situações específicas de corte.

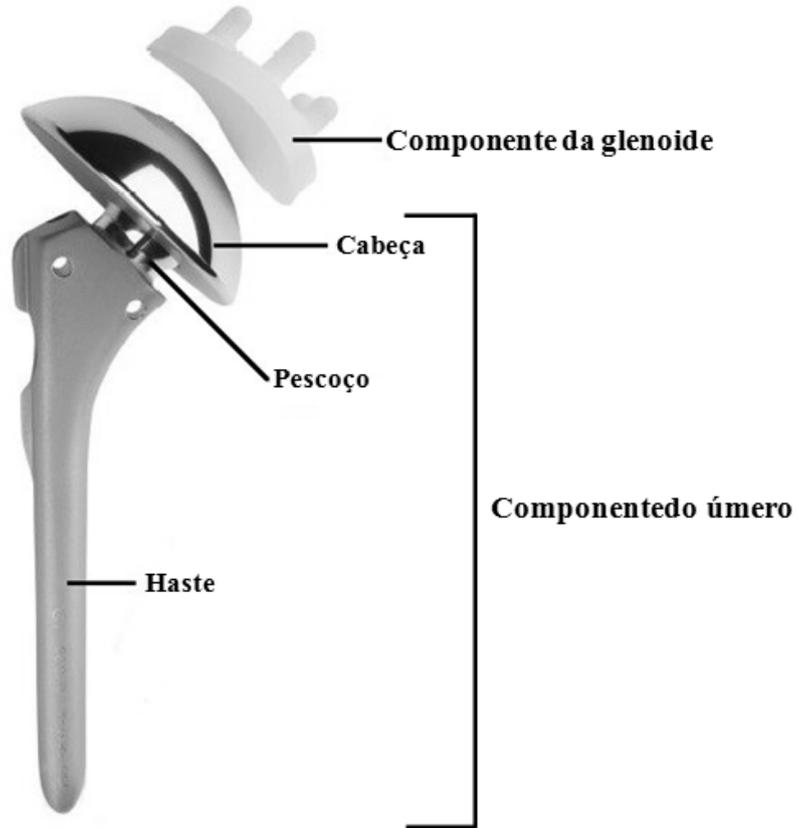


Fig. 1. Prótese anatômica do ombro e osseus componentes.

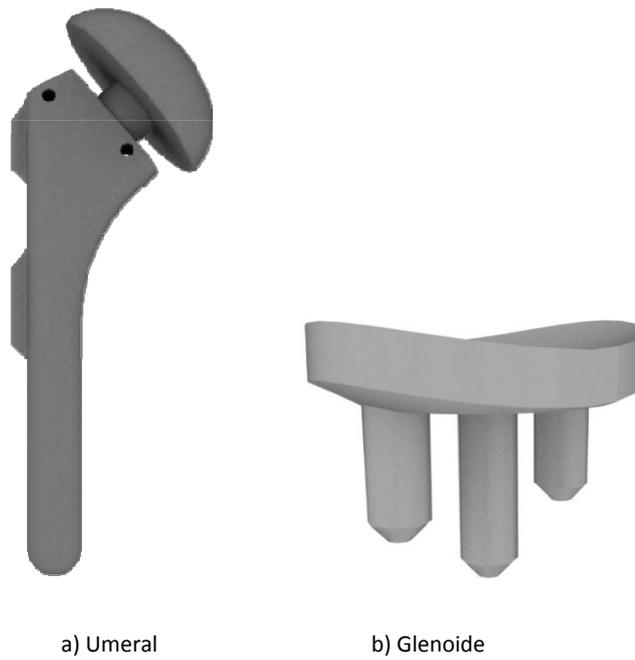


Fig. 1. Componentes modelados no software CATIA®.

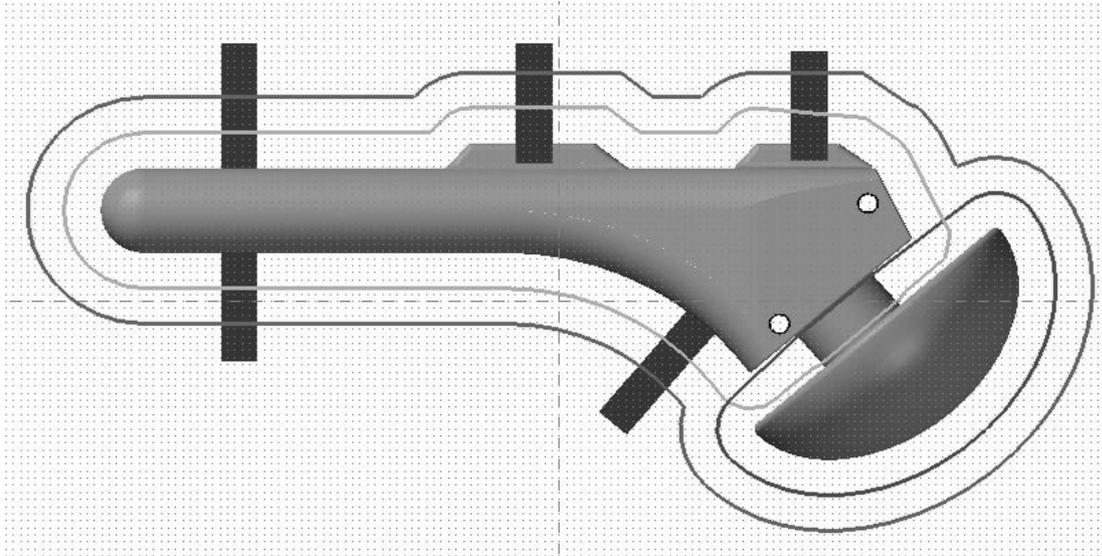


Fig. 3. Procedimentos iniciais (componente do úmero).

### 2.3.1. Componente umeral

Para a maquinação deste componente criaram-se cinco apoios e quatro *offsets*, como se pode ver na Fig. 3. Com a letra **a**) encontram-se os apoios, a letra **b**) representa o *offset* que engloba toda a peça e é utilizado nas operações de desbaste iniciais, segue-se as letras **c**) e **d**), representam o *offset* que abrange a cabeça e todo o corpo do componente, cuja utilidade reside nas operações de acabamento. Finalmente, o *offset* com a letra **e**) é utilizado para as operações de furação.

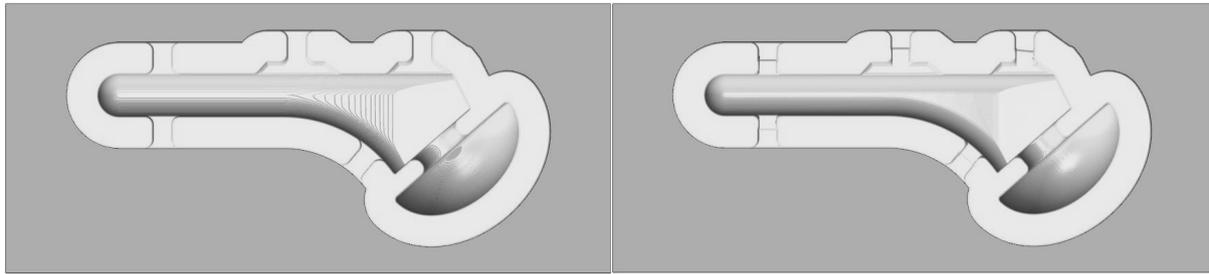
Após algumas simulações, obteve-se aquele conjunto de estratégias que satisfazem o maior número de critérios favoráveis. A operação de furação foi realizada após a maquinação das duas faces do componente. Então, para o desbaste inicial utilizou-se a estratégia *SurfaceHigh Speed – Area Clearance*, seguindo-se de um redesbaste com a estratégia *SurfaceHigh Speed – RestRoughing*. Estas estratégias criam percursos com diferentes profundidades de corte em Z. A Fig. 4 a) mostra a simulação da maquinação após as estratégias de desbaste. Concluídas as etapas iniciais de desbaste procederam-se as operações de pré-acabamento e acabamento. Para a zona da cabeça optou-se pela estratégia *SurfaceHigh Speed – Waterline*. Esta estratégia permite a obtenção de uma superfície lisa por toda a sua extensão. Esta é altamente eficaz em superfícies inclinadas, entre 30° a 90°. A mesma estratégia, a *Waterline*, foi utilizada como pré-acabamento para a haste, sendo que o acabamento foi realizado pela estratégia *SurfaceHigh Speed – Scallop*. A Fig. 4 b) patenteia o estado da simulação da maquinação após a utilização das estratégias de acabamento.

De seguida procedeu-se à maquinação da outra face. Para tal, no ambiente do Mastercam®, espelhou-se a peça e regeneraram-se as estratégias criadas.

Maquinada a segunda face, procedeu-se a estratégia de furação. Antes da furação propriamente dita, realizou-se a operação de pontear, recorrendo a uma boca de ponto e a estratégia *Simple Drill*. Posto isto, procedeu-se à furação com o ciclo *Chip Break*. Esta estratégia executa a retração parcial da ferramenta a cada vez que perfura um novo incremento. Esta retração permite quebrar as aparas ao mesmo tempo que as expulsa. A Fig. 4 c) mostra o resultado destas duas operações.

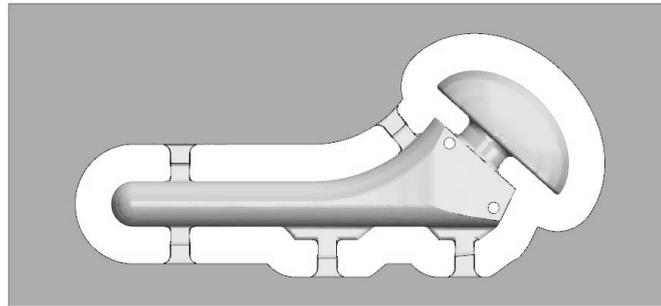
### 2.3.2. Componente da glenoide

A simulação da maquinação deste componente apresenta duas faces diferentes, o que envolve uma abordagem, a nível de estratégias de maquinação diferentes. Deste modo, foram criados, aqueles, *offsets* que melhor se adaptam à geometria de cada uma das faces. Para a maquinação deste componente, criaram-se quatro apoios, que se encontram representados na Fig. 5 com a letra **a**). A face inferior (Fig. 5 a)),



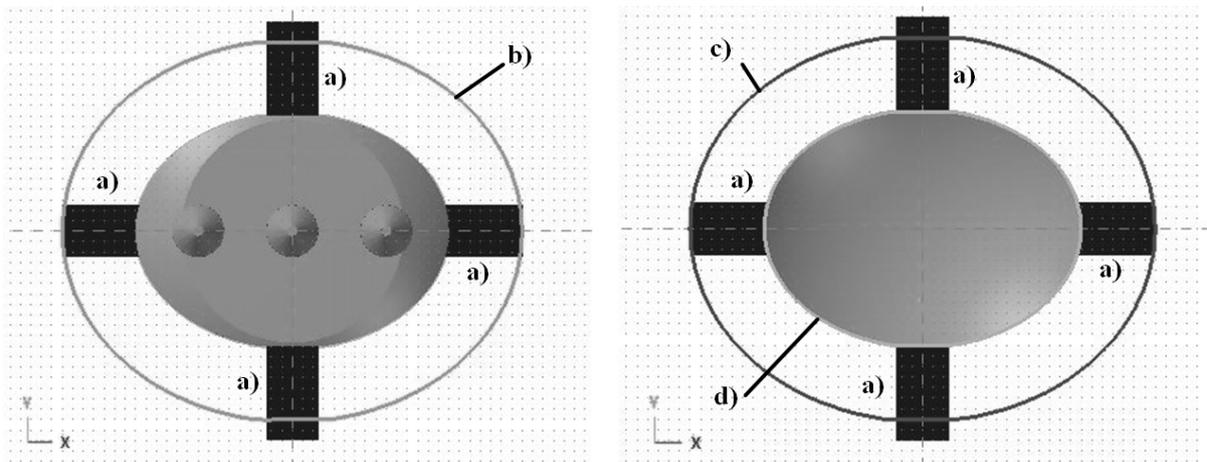
a) Após as estratégias de desbaste.

b) Após as estratégias de acabamento.



c) Após a maquinagem total.

Fig. 4. Resultado da maquinagem CAM componente umeral.



a) Face inferior

b) Face superior

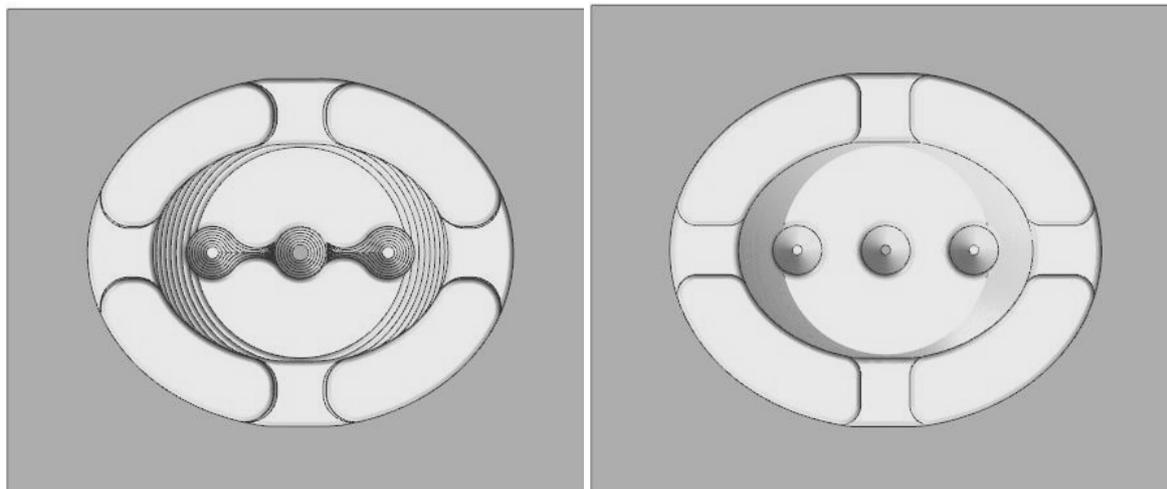
Fig.5. Procedimentos iniciais (componente da glenoide).

aquela que contem os pinos de inserção, possui um único *offset*, representado na figura com a letra **b**). Este *offset* contempla todas as operações de maquinagem para aquela face.

Por sua vez, a face superior (Fig. 5 b)), aquela que é a parte funcional do componente e que se articula com o componente do úmero, possui dois *offsets*. O *offset* com a letra **c**), é utilizado em operações de desbaste e acabamento daquela região, enquanto, o representado a **d**) é utilizado na operação de acabamento daquela superfície. Estes *offsets* estão representado na Fig. 5 b).

O desbaste para a face inferior deste componente foi realizado com a estratégia *SurfaceHigh Speed – Area Clearance*. Esta estratégia mostrou-se eficaz, removendo todo o material, deixando apenas o material de sobre-espessura (Fig. 6 a)).

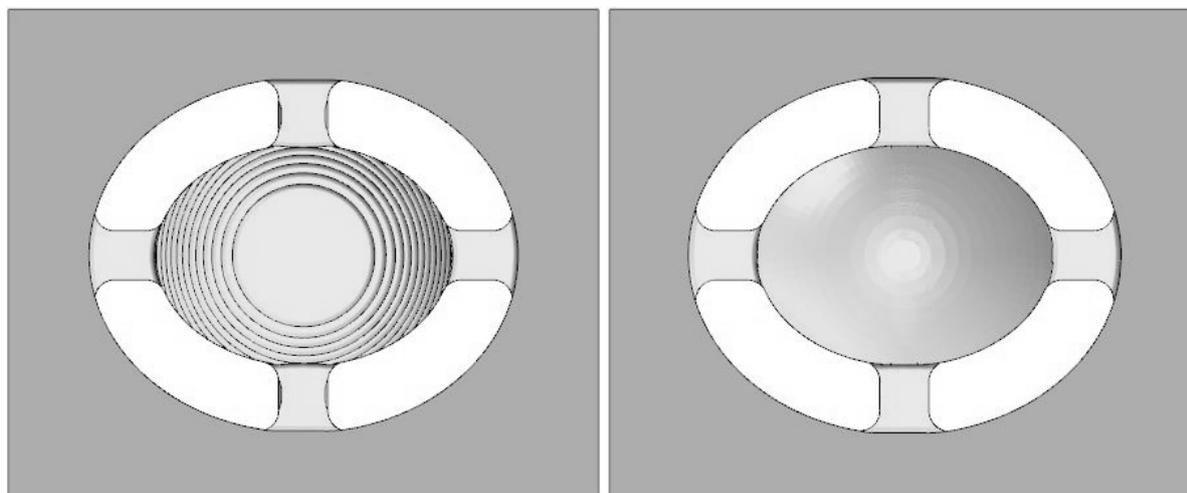
Face a esta eficácia, procedeu-se às estratégias de acabamento. Assim sendo, foram utilizadas uma combinação de duas estratégias, a *SurfaceHigh Speed – Waterlinee* a *SurfaceHigh Speed – Horizontal*



a) Após as estratégias de desbaste

b) Após as estratégias de acabamento

Fig. 6. Resultado da simulação CAM componente da glenoide - face inferior.



a) Após as estratégias de desbaste

b) Após as estratégias de acabamento

Fig. 7. Resultado da simulação CAM componente da glenoide - face superior.

*Area* (Fig. 6 b)). A estratégia *Waterline* tem a particularidade de realizar movimento suaves e de ser altamente eficaz em superfícies inclinadas (entre  $30^\circ$  e  $90^\circ$ ), fazendo desta indicada para acabamentos. Por sua vez, a *Horizontal Area* é indicada para maquinagens em superfícies planas.

Após isto procedeu-se a simulação da face superior. O desbaste inicial foi realizado com a estratégia *SurfaceHigh Speed – Area Clearance* (Fig. 7 a)). À semelhança da maquinagem anterior, seguiram-se as estratégias de acabamento. Iniciou-se pela maquinagem do limite exterior. Para tal, utilizou-se uma combinação das estratégias *SurfaceHigh Speed – Waterline* e *SurfaceHigh Speed – Horizontal Area*, que se mostraram altamente eficazes. Para finalizar e de modo a promover a superfície côncava, foi aplicada a estratégia *SurfaceHigh Speed – Raster*. Esta realiza um conjunto de desbastes paralelos com um passo lateral ao longo de uma superfície curva (Fig. 7 b)).

## 2.4. Maquinagem

O centro de maquinagem utilizado tem com quatro eixos (três eixos de avanço e um rotativo) e controlador HEIDENHAIN. Este centro de maquinagem atinge a rotação máxima de 8000 rpm, possui um armazém do tipo tambor horizontal com 21 ferramentas e uma área de trabalho de 500x500x500 mm.

Para a maquinagem dos componentes aqui referidos, foram utilizadas as seguintes ferramentas:

- Fresa de pastilhas Ø16, com 2 pastilhas de corte;
- Fresa de topo Ø6, com raio de ponta 0.5 mm e 2 navalhas de corte;
- Fresa de topo Ø5, com raio de ponta 0.5 mm e 2 navalhas de corte;
- Fresa de topo Ø4, com raio de ponta 0.5 mm e 2 navalhas de corte;
- Fresa de topo esférico Ø2, com raio de ponta 1 mm e 2 navalhas de corte;
- Broca de ponto, com 2 navalhas de corte;
- Broca helicoidal Ø3.

A fresa de Ø16 utiliza pastilhas revestidas com o designado comercialmente por TIN21 (TiN-Mt TiCN-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). As fresas inteiriças de navalhas são de carbonetos sinterizados (K10, segundo a classificação ISO). A broca de ponto e a broca helicoidal são em aço rápido (HSS).

## 2.5. Acabamento e Análise das superfícies

Qualquer que seja o processo de corte por arranque de aparta, este deixa sempre as suas impressões e por maior controlo que se exerça sobre os parâmetros de maquinagem, não é possível obter uma superfície absolutamente perfeita [12]. Para minimizar estes “defeitos” de maquinagem geralmente, procede-se a um polimento que consiste num processo mecânico de maquinagem por abrasão.

Assim, realizou-se um polimento, utilizando uma máquina de polir com duas escovas, em que uma escova é em sisal e outra em algodão. Este polimento é auxiliado com um meio abrasivo em forma de sabão.

Um dos principais fatores que limitam o bom funcionamento e de uma articulação é a geração de partículas de desgaste. Deste modo, torna-se imprescindível a análise e caracterização dessas superfícies. Assim, análise das superfícies maquinadas podem ser determinadas por diversos métodos, sendo que o mais utilizado é a medição da rugosidade. O parâmetro mais comum utilizado para caracterizar a rugosidade da superfície é a rugosidade média aritmética (Ra). Os valores típicos de rugosidade Ra dos principais materiais, utilizados na zona funcional da articulação artificial, são apresentados na Tabela 1.

Neste presente trabalho, as rugosidades foram medidas antes e após o polimento. A sua medição destes parâmetros foi realizada recorrendo ao rugosímetro HommelTester® T1000. A medição dos parâmetros de rugosidade Ra foram efetuadas no sentido perpendicular às estrias resultantes do processo de corte. Utilizou-se um filtro RC com comprimentos de palpagem (Lt) de 1.50 mm e um comprimento base (*cut-off*) de 0.25 mm de acordo com a norma ISO/DIS 4287/1E. O rugosímetro tem uma resolução máxima de 0.01 µm. Os parâmetros Ra medidos respeitam as normas DIN 4768 e ISO/DIS 4287/1E.

## 3. RESULTADOS OBTIDOS E SUA DISCUÇÃO

Após alguns testes preliminares de maquinagem realizados e alguns ajustes procedeu-se a maquinagem dos componentes. Para a realização deste trabalho foi utilizado materiais que se aproximam à realidade da indústria biomédica. Para o componente umeral foi utilizado o aço inoxidável AISI 316 e para o componente da glenoide o polietileno PE-500 (HMW).

Tabela1. Rugosidade Ra dos principais materiais utilizados na zona funcional daarticulação [13].

Material	Ra [µm]
Polietileno (UHMWPE)	0.1 – 2.5
Aço inoxidável	0.01 – 0.05
Liga CoCrMo	≈ 0.001

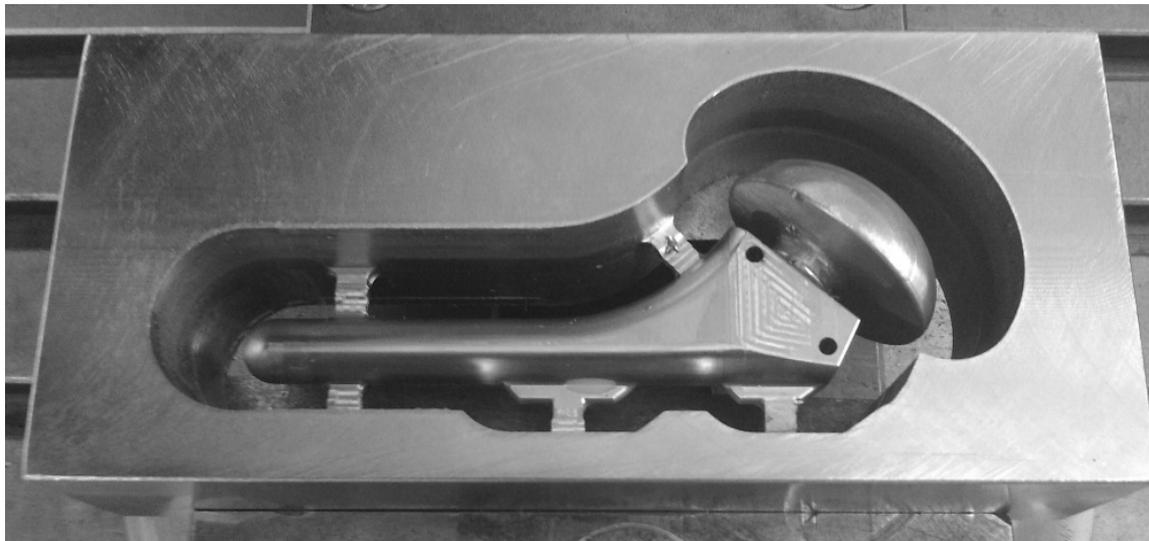


Fig. 8. Componente após a maquinagem.

### 3.1. Maquinagem da componente umeral

A maquinagem final foi tida em conta todo o estudo realizado anteriormente. Foi utilizado fluido de corte para remover, lubrificar e refrigerar a área de corte. Desta forma o componente umeral após as estratégias de desbaste, *SurfaceHigh Speed – Area Clearance* (ferramenta (f): Ø16, velocidade de corte ( $V_c$ ) = 2000 mm/min e velocidade de rotação ( $n$ ) = 4200 rpm) e a *SurfaceHigh Speed – RestRoughing* (f: Ø5,  $V_c$  = 2000 mm/min e  $n$  = 5000 rpm). Após a maquinagem de desbaste, prosseguiu-se a maquinagem de pré-acabamento e acabamento. Para este efeito foram utilizadas as estratégias *SurfaceHigh Speed – Waterline* para a cabeça (f: Ø4,  $V_c$  = 1200 mm/min e  $n$  = 8000 rpm) e para a haste (f: Ø4,  $V_c$  = 2000 mm/min e  $n$  = 8000rpm) e a *SurfaceHigh Speed – Scallop* (f: Ø2,  $V_c$  = 700 mm/min e  $n$  = 8000 rpm).

Concluída esta face, procedeu-se à viragem do bloco e conseqüente maquinagem. Após isto procederam-se iniciaram-se as operações de furação. Deste modo, realizou-se um furo de ponto com a estratégia *Simple Drill* (f: broca de ponto,  $V_c$  = 150 mm/min e  $n$  = 1900 rpm), seguindo-se a realização do furo com a estratégia *Chip Break* (f: broca helicoidal,  $V_c$  = 150 mm/min e  $n$  = 1900 rpm). O resultado da maquinagem, utilizando estas estratégias, está representado na Fig. 8.

Concluída a maquinagem, procedeu-se à separação do componente maquinado. Para tal, recorreu-se a técnicas de manuais de serralharia mecânica, tais como serragem e limagem. Após libertar a peça do bloco e numa análise mais detalhada, com é possível ver na Fig. 9, averiguou-se que, o desfaseamento entre a maquinagem das duas faces é mínimo. Também foi possível apurar que o acabamento realizado na segunda maquinagem, sobretudo na cabeça, é de menor qualidade. Isto acontece, devido às virações que ocorrem durante a maquinagem pela diminuição do material de apoio.

No que diz respeito ao acabamento final, este componente foi polido manualmente. Para tal, recorreu-se a uma máquina de duas escovas. A operação de polimento iniciou-se com um rompimento por intermédio de uma escova de sisal com um agente abrasivo, seguindo-se o lustro que utiliza uma escova de algodão com pasta de lustrar. Como resultado e observando a Fig. 10, obteve-se uma peça perfeitamente polida e com aspeto brilhante.

De modo a verificar a qualidade da maquinagem e do acabamento procederam-se às medições das rugosidades. Neste sentido foram medidos os valores rugosidade aritmética ( $R_a$ ), comparando-os com os valores da rugosidade teóricos. Segundo Mattei et al. [13], para a cabeça em aço inoxidável a  $R_a$  admitido é de 0.01  $\mu\text{m}$  a 0.05  $\mu\text{m}$ . Na falta de valores de rugosidade para o restante componente, nomeadamente da zona da haste, assumir-se-á que estes serão os valores de referência para o restante componente. Os valores de rugosidade encontram-se indicados na tabela 2, que correspondem as medições antes e depois do

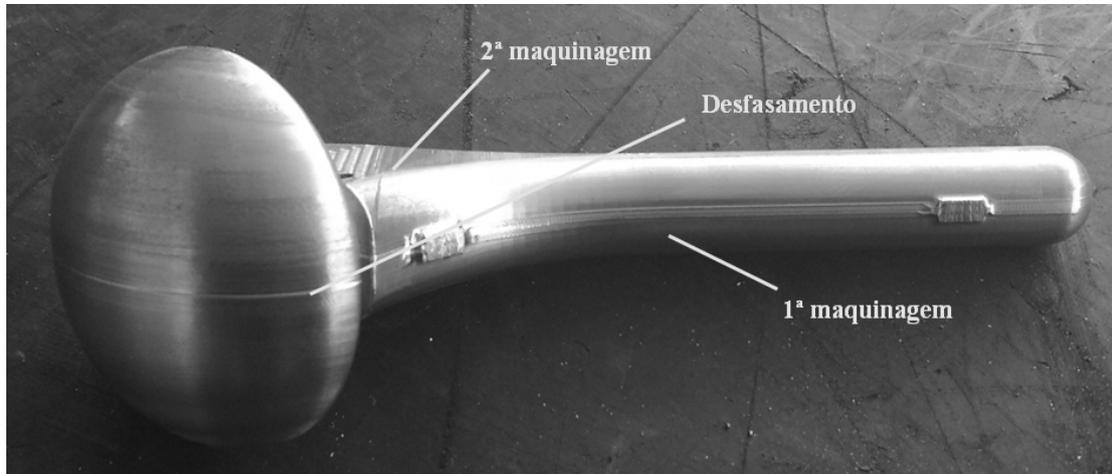


Fig. 9. Componente umeral.

Tabela 2. Rugosidades medidas antes e depois do polimento do componente umeral.

Componente umeral	Cabeça		Haste							
			Haste Inferior			Haste Superior				
	a)	b)	c)	d)	e)	f)	g)	h)		
Lt [mm]					1.50					
cut-off [mm]					0.25					
Ra [ $\mu\text{m}$ ] [13]					0.01 – 0.05					
Ra [ $\mu\text{m}$ ] – antes do polimento	0.41	0.93	0.20	0.35	0.51	0.17	0.43	0.64		
Ra [ $\mu\text{m}$ ] – depois do polimento	0.06	0.04	$\approx 0.01$							

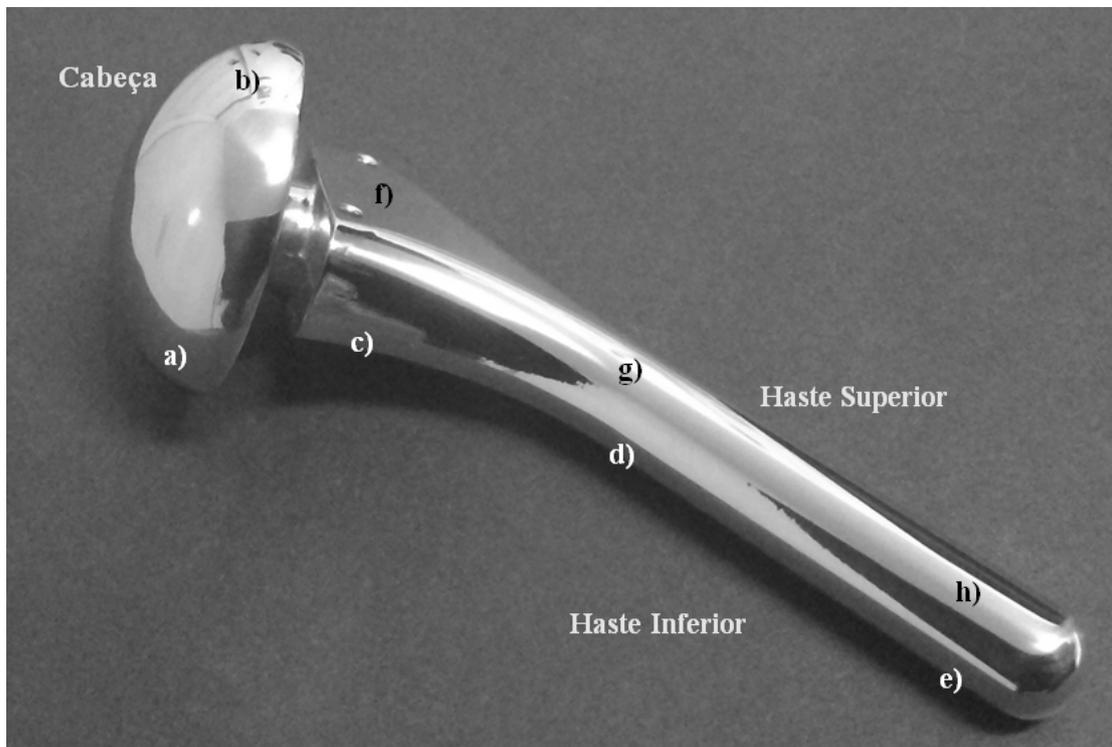
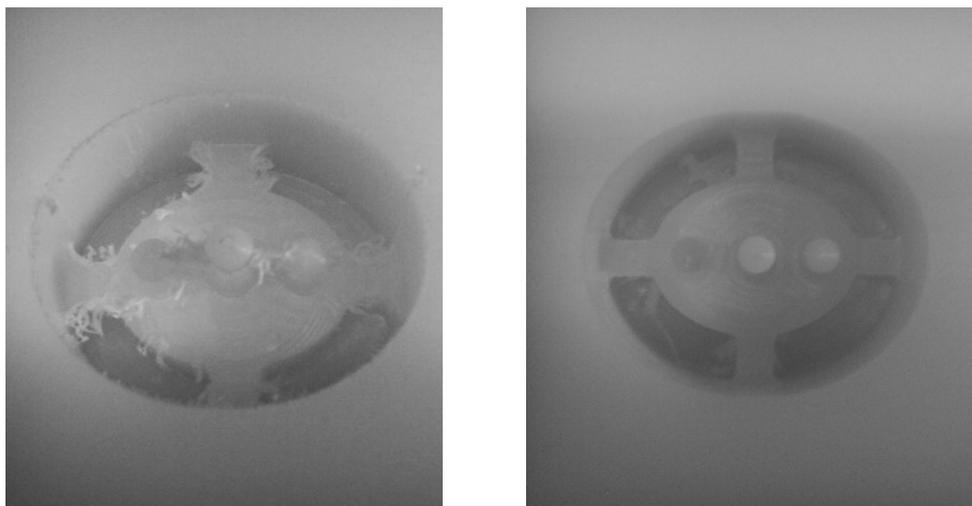


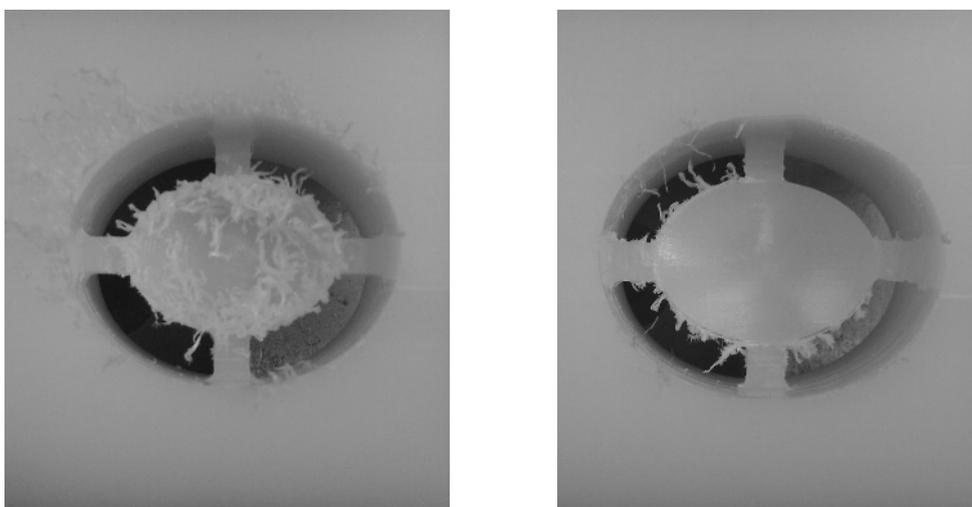
Fig. 10. Pontos para medição das rugosidades componente umeral.



a) Após o desbaste

b) Após o acabamento

Fig. 11. Resultado da maquinação para a face inferior do componente da glenoide.



a) Após o desbaste

b) Após o acabamento

Fig. 12. Resultado da maquinação para a face superior do componente da glenoide.

polimento. Os valores obtidos foram retirados de vários pontos do componente, como mostra a Fig. 10. A maquinação inferior e superior correspondem a primeira e segunda maquinação respetivamente.

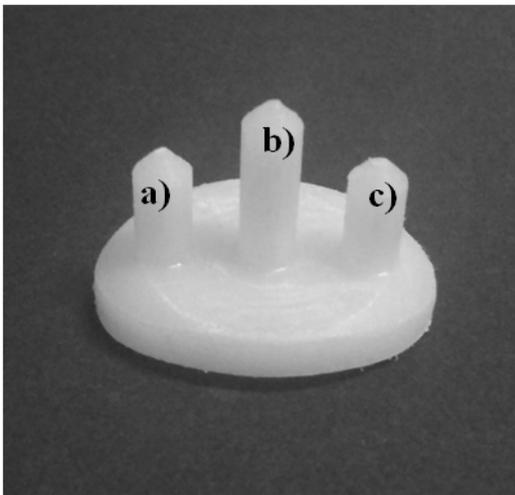
### 3.2. Maquinação da componente da glenoide

Tendo em conta o estudo realizado, executou-se a maquinação para este componente. Deste modo, procedeu-se à maquinação da face inferior com a estratégia de desbaste, *SurfaceHigh Speed – Area Clearance* (f: Ø6,  $V_c = 2000$  mm/min e  $n = 4000$  rpm) (Fig. 11a)), seguindo-se as estratégias de acabamento, *SurfaceHigh Speed – Waterline* (f: Ø3,  $V_c = 1800$  mm/min e  $n = 8000$  rpm) e *SurfaceHigh Speed – HorizontalArea* (f: Ø3,  $V_c = 1800$  mm/min e  $n = 8000$  rpm) (Fig. 11 b)).

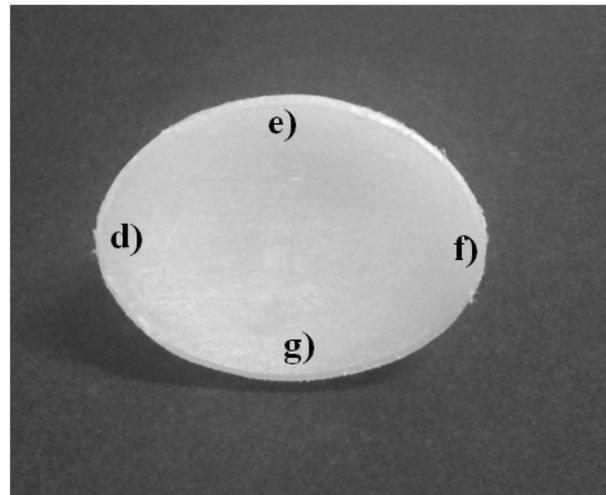
Após a maquinação desta região, procedeu-se à viragem do bloco e à maquinação da face superior. Desta feita, utilizou-se a estratégia *SurfaceHigh Speed - Area Clearance* para o desbaste (f: Ø6,  $V_c = 2000$  mm/min e  $n = 4000$  rpm) (Fig. 12a)), e as estratégias *SurfaceHigh Speed – Waterline*, *SurfaceHigh Speed*

Tabela 3. Rugosidades medidas antes do polimento do componente da glenoide.

Componente da glenoide	Inferior			Superior			
	a)	b)	c)	d)	e)	f)	g)
Lt [mm]				1.50			
cut-off[mm]				0.25			
Ra [ $\mu\text{m}$ ][13]				0.1 – 2.5			
Ra [ $\mu\text{m}$ ] – antes do polimento	1.31	1.17	1.05	0.85	1.15	1.97	0.61
Ra [ $\mu\text{m}$ ] – depois do polimento	1.14	1.41	1.27	1.46	2.30	1.52	1.80



a) Região inferior



b) Região superior

Fig. 13. Pontos para medição das rugosidades componente da glenoide.

- *Horizontal Area e SurfaceHigh Speed – Raster* para o acabamento (f:  $\text{Ø}4$ ,  $V_c = 1800 \text{ mm/min}$  e  $n = 8000 \text{ rpm}$ ) (Fig. 12b)).

O polimento deste componente foi realizado manualmente recorrendo a um tecido em flanela e a massa de polir. Isto porque, além deste componente possuir dimensões reduzidas, o seu constituinte material não é o mais indicado para receber o mesmo polimento realizado no componente anterior. Após o polimento e como de pode ver na Fig., o componente da glenoide ficou com um aspeto liso.

Os valores da rugosidade aritmética (Ra) medidos, encontram-se registados na Tabela , que correspondem as operações antes e depois do polimento. Os valores obtidos são comparados com os valores admitidos para este tipo de componente. Este componente é um polietileno, que segundo Mattei *et al.* [13], admite valores de Ra na ordem dos  $0.1 \mu\text{m}$  a  $2.5 \mu\text{m}$ . À semelhança do componente anterior, estes valores irão ser os valores de referência para o restante componente. Os valores de rugosidades foram medidos nos locais assinalados na Fig. 13.

#### 4. CONCLUSÕES

O trabalho desenvolvido consistia na maquinagem de uma prótese total, utilizada na artroplastia total do ombro, recorrendo a um centro de maquinagem CNC, com o menor número de apertos e com um bom acabamento superficial.

Com o aumento de lesões articulares e uma necessidade de rapidez de intervenção, torna-se necessário introduzir novos conceitos de fabrico, nomeadamente na conceção de dispositivos médicos. Neste sentido, optou-se por desenvolver este trabalho. Deste modo, estabeleceram-se dois casos estudo que no seu conjunto formam os componentes utilizados na artroplastia do ombro. O primeiro caso consistiu na maquinação do componente umeral que compreende a haste, pescoço e cabeça, e o segundo caso o componente da glenoide, que consiste numa pequena peça com uma superfície côncava.

Os modelos tridimensionais dos componentes em estudo, foram desenvolvidos com base nos modelos disponibilizados pela empresa Zimmer® utilizando o *software* CAD CATIA®. A fim de realizar um estudo sobre a melhor estratégia de maquinação, os modelos CAD foram submetidos a um *software* CAM Mastercam®. Estes posteriormente foram maquinados num centro de maquinação utilizando o aço inoxidável AISI 316, para o componente do úmero e o polietileno PE-500 para a componente da glenoide.

Para a maquinação do componente umeral utilizaram-se cinco apoios. A utilização de um número inferior de apoios induziria em tempos de maquinação inferior. Contudo, a redução do número de apoios na maquinação de um material metálico induz instabilidades e vibrações, que condicionam a maquinação e acabamento. Estes problemas evidenciam-se sobretudo na segunda face de maquinação. Por esta razão decidiu-se manter o mesmo número de apoios. A maquinação do componente da glenoide foi realizada com quatro apoios. Esta foi a solução que se mostrou mais vantajosa, visto que a implementação deste número de apoios permite o aumento das velocidades de avanço e rotação levando a um inferior tempo de processamento. O aumento destes parâmetros corte, com este número de apoios, não influenciam a qualidade final do componente, visto que os polímeros menos sensíveis a vibrações, quando comparados com os materiais metálicos. É de salientar que não existem melhores nem piores estratégias de maquinação, mas sim estratégias que melhor se adequam a situações específicas de corte, cada qual com as suas características.

Finalmente, conclui-se que é possível realizar a maquinação de uma prótese utilizada na artroplastia total do ombro (componente umeral e componente da glenoide), usando três eixos de um centro de maquinação, com dois apertos, com tempos aceitáveis e com valores de rugosidade apropriados.

O tempo de maquinação para a componente umeral foi, aproximadamente, 656 minutos (10h 56min), onde se obtém rugosidades Ra entre 0.20  $\mu\text{m}$  a 0.93  $\mu\text{m}$ . Após o polimento as rugosidades obtidas aproximam-se das ideias, podendo-se concluir que o polimento foi eficaz. Por sua vez, realizou-se a maquinação do componente da glenoide em, aproximadamente, 75 minutos (1h 15min), em que se obteve rugosidades Ra ordem de 1.16  $\mu\text{m}$  (valor médio). No entanto, o polimento concedido não se mostrou eficaz, obtendo-se valores de rugosidade entre 1.14  $\mu\text{m}$  e 2.30  $\mu\text{m}$ . Isto deve-se, ao facto de o agente abrasivo ser indicado para metáise deste modo provocar um aumento da rugosidade na superfície do polímero. Contudo, os valores encontram-se dentro dos parâmetros estabelecidos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CENFIM – núcleo de Oliveira de Azeméis e à empresa SILAMPOS – Sociedade Industrial de Louça Metálica Campos S.A. pela utilização das suas instalações e equipamentos. Agradecem de igual modo a disponibilidade e colaboração dos Eng.ºs António Resende, Marco Ermo e Carlos Lauro e aos formadores Paulo Bastos e Carlos Filipe Bastos.

## REFERÊNCIAS

- [1] Seeley, R.R., Stephens, T.D., Tate, P., *Anatomia e Fisiologia*, Lusociência (2005)
- [2] Kaback, L.A., Green, A., Blaine, T.A., “Glenohumeral arthritis and total shoulder replacement,” *Med. Health. R. I.*, **95**(4), 120–124 (2012)
- [3] Hamid, N., Galatz, L.M., “Total Shoulder Arthroplasty: Tried and True,” *Semin. Arthroplasty*, **22**(1), 21–23 (2011)
- [4] Walch, G., Boileau, P., Noël, E., “Shoulder arthroplasty: evolving techniques and indications,” *Joint. Bone. Spine*, **77**(6), 501–505 (2010)

- [5] Gutierrez, M., Lopes, M.A., Hussain, N.S., Cabral, A.T., Almeida, L., Santos, J.D., “Substitutos Ósseos Conceitos Gerais e Estado Actual,” *ArquiMed*, **19**, 153–162 (2006)
- [6] Park, J.B., Bronzino, J.D., *Biomaterials - Principles and Applications*, CRC PRESS (2003)
- [7] Zadeh, H.G., Calvert, P.T., “Recent advances in shoulder arthroplasty,” *Curr. Orthop.*, **12**(2), 122–134 (1998)
- [8] Rodrigues, L.B., “Aplicações de biomateriais em ortopedia,” *Estud. Tecnológicos em Eng.*, **9**(2), 63–76 (2013)
- [9] Navarro, M., Michiardi, A., Castaño, O., Planell, J.A., “Biomaterials in orthopaedics”, *J. R. Soc. Interface*, **5**(27), 1137–1158 (2008)
- [10] Neer, C.S., “The components of our global exchange on surgery of the shoulder”, *J. Shoulder Elb. Surg.*, **4**(6) 477–480 (1995)
- [11] Trent, E., Wright, P., *Metal Cutting*, Butterworth-Heinemann (2000)
- [12] Davim, J.P., *Princípios da Maquinagem*, Publindústria (2008)
- [13] Mattei, L., Di Puccio, F., Piccigallo, B., Ciulli, E., “Lubrication and wear modelling of artificial hip joints: A review,” *Tribol. Int.*, **44**(5), 532–549 (2011)

## MACHINING OF A TOTAL SHOULDER ARTHROPLASTY PROSTHESIS

**Abstract** – Nowadays, joint diseases that require prosthetic replacement are gaining shocking proportions. Prosthesis’ are rarely tailored to each patient, which can cause complications, leading to frequent revision arthroplasty. Therefore, it is important to develop methods and machining strategies that provide a fast and effective response to this issue. In the present work, a two-part prosthesis, humeral and glenoid, was machined with the final application in a shoulder arthroplasty. Initially, each three-dimensional component was designed using a CAD software. Afterwards, using a CAM software, it was developed the machining strategies that will offer better response according to some parameters, such as the cutting tool life, machining time and the finishing of the obtained surfaces. The work was finished with roughness measurement of machined components before and after polishing. It has been shown that it is possible to manufacture the components used in total shoulder arthroplasty with a good dimensional accuracy, with suitable machining times and a good surface finish of the components.

**Keywords** – Machining, Anatomical shoulder prosthesis, Shoulder arthroplasty, CNC.