

# PRODUÇÃO ADITIVA DE GOTEIRAS DE PROTEÇÃO PARA A PRÁTICA DESPORTIVA

Diogo Gomes, Manuel Sampaio Fernandes, Bruno Areias, Mário Vaz, José Reis Campos, Susana João Oliveira  
Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto, INEGI



## 1. Introdução

A utilização de goteiras de proteção desportiva confere aos atletas proteção relativamente a inúmeras lesões oro-faciais. Entre os diversos tipos de goteiras existentes, as *custom-made* ou personalizadas são as que proporcionam maior conforto, adaptação e absorção de impacto. (1) A termoformação a vácuo é o método de produção mais amplamente utilizado, sendo o acetato-vinilo de etileno ou suas modificações, o material *gold-standard* atual. (2) Nos últimos anos, o desenvolvimento de um fluxo digital para produção de goteiras de proteção, nomeadamente por impressão 3D, tem sido alvo de alguns estudos, mas a informação disponível é ainda escassa. (3)

O objetivo deste estudo é então Comparar, *in vitro*, goteiras de proteção para a prática desportiva produzidas por termoformação a vácuo com goteiras fabricadas por impressão 3D, relativamente aos seguintes parâmetros: precisão, veracidade e resistência ao impacto.

## 2. Materiais e métodos

A partir de um modelo de gesso maxilar foram criados dois grupos de goteiras de proteção: o Grupo Termoformado (GTerm, n=3) que utilizou placas *Playsafe Triple Light* (Erkodent™) e o Grupo Impresso (GImp, n=3) que utilizou poliestireno de alto impacto (HIPS), impresso por modelagem de deposição fundida. (Fig.1)

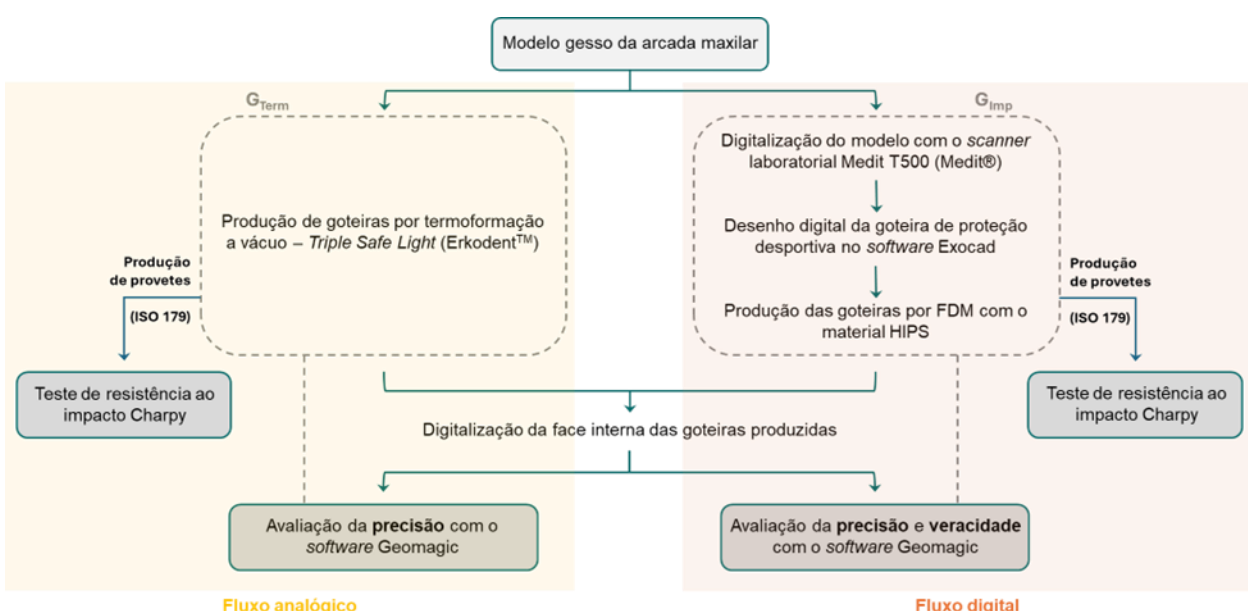


Fig.1 – Fluxo experimental do estudo *in vitro* realizado

### Produção por termoformação a vácuo

Foram produzidos três modelos de gesso, sobre os quais foi realizada a prensagem de placas *Playsafe Triple Light* (Erkodent™, Alemanha) na máquina de termovácuo Erkoform-3dmotion [Erkodent™, Alemanha], segundo as instruções do fabricante. Após um período de arrefecimento de 10 minutos, o conjunto modelo e placa termoformada foi retirado da máquina, realizando-se marcações dos limites pretendidos para o corte e finalização da goteira. (Fig.2)

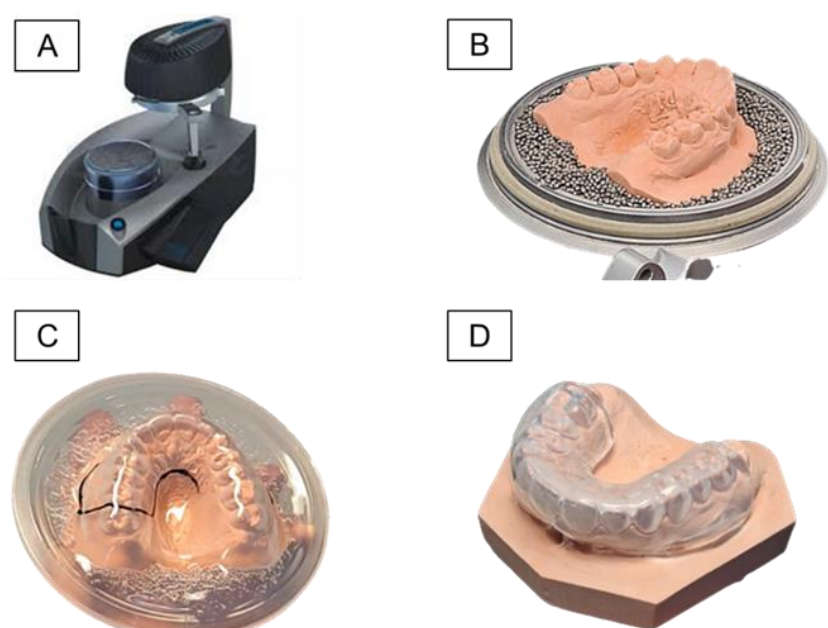


Fig. 2 - Produção de goteiras de proteção desportiva segundo o fluxo analógico (termoformação a vácuo). A) Equipamento de termoformação Erkoform-3dmotion (Erkodent™, Alemanha); B) Modelo de gesso preenchido por férulas na base; C) Conjunto modelo e placa Playsafe Triple Light (Erkodent™, Alemanha) com marcação dos limites; D) Goteira termoformada após acabamento e polimento.

### Produção digital por impressão 3D

O modelo mestre em gesso foi digitalizado com o scanner laboratorial Medit T500 (Medit™, Coreia do Sul), obtendo-se o ficheiro .STL correspondente. A partir deste ficheiro, e com o software *Exocad*, foi feito o desenho digital da goteira de proteção desportiva, replicando, tanto quanto possível, os limites e extensão das goteiras produzidas por termoformação a vácuo. A partir do ficheiro .STL do desenho da goteira, realizou-se a impressão das peças por FDM numa impressora *Original Prusa i3 MK3S* (Prusa Research™, República Checa) com o material HIPS, utilizando os parâmetros de impressão sintetizados na Tabela 1, escolhidos com base no trabalho de Sousa et al. (4) Após definição de todos os parâmetros de impressão e colocação de suportes para a impressão, foram impressas três goteiras em HIPS. (Fig.3)

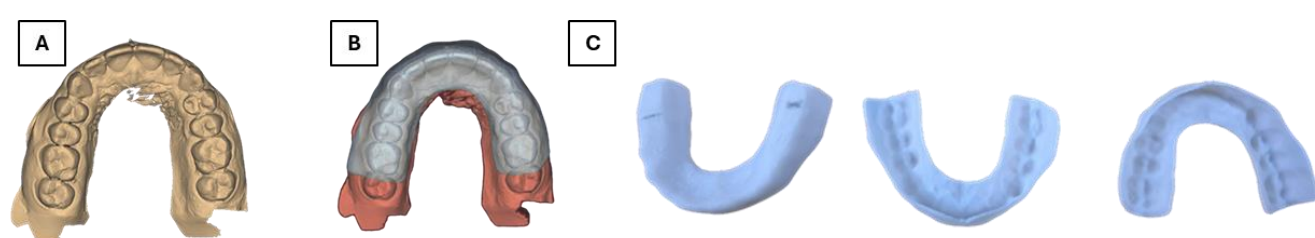


Fig. 3 - Produção de goteiras de proteção desportiva segundo o fluxo digital (impressão 3D). A) Ficheiro .STL do modelo mestre digitalizado; B) Desenho digital da goteira no software Exocad; C) Goteiras impressas por FDM em HIPS após eliminação dos suportes.

Tabela 1 - Parâmetros de impressão das goteiras de proteção por FDM em HIPS.

Parâmetros de impressão	Temperatura de impressão (°C)	Temperatura da cama (°C)	Velocidade de impressão (mm/s)	Altura de camada (mm)	Espessura final (mm)
	220	70	50	0,1	2

### Digitalização da face interna para avaliação da precisão e veracidade

A digitalização da face interna das goteiras foi realizada com o scanner laboratorial Medit T500. Após aplicação de spray anti-reflexo na face interna de cada goteira, estas foram imobilizadas na base do scanner, obtendo-se um ficheiro .STL para cada uma. (Fig.4) A análise da precisão e veracidade foi realizada com o software *Geomagic*, através da sobreposição dos ficheiros .STL de interesse com o algoritmo de alinhamento *best-fit*, e considerando os valores médios de *root mean square* (RMS) em  $\mu\text{m}$ . As sobreposições foram realizadas duas a duas e mapas de cores foram usados para evidenciar o alinhamento após sobreposição dos ficheiros, com a seguinte escala: valores negativos a azul e positivos a vermelho ( $\pm 1000 \mu\text{m}$ ), e valores entre ( $\pm 100 \mu\text{m}$ ) destacados a verde.

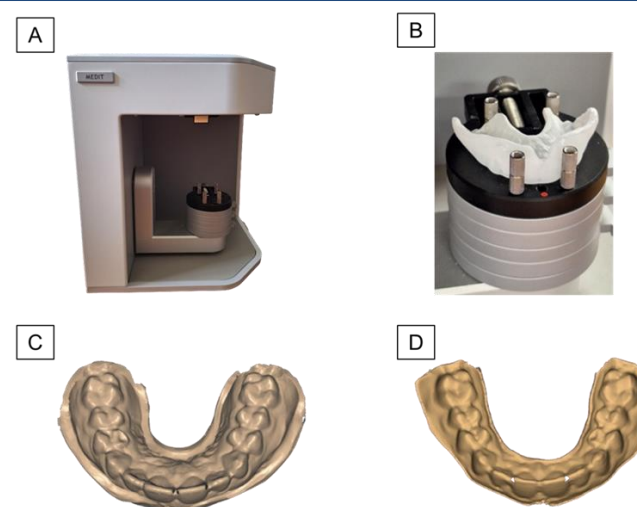


Fig.4 - Digitalização da face interna das goteiras de proteção desportiva produzidas. A) Scanner Medit T500 utilizado para a digitalização; B) Detalhe da imobilização das goteiras com o sistema de quatro pinos do scanner; C) Ficheiro .STL da face interna de uma goteira termoformada; D) Ficheiro .STL da face interna de uma goteira impressa.

### Teste de resistência ao impacto Charpy

Para o teste de resistência ao impacto Charpy foram produzidos provetes segundo a norma ISO 179, sendo estes 3 provetes de HIPS impressos por FDM, a partir de um ficheiro .STL, e 3 provetes de *Playsafe Triple Light*, obtidos a partir duma placa do mesmo material. Este teste foi realizado numa máquina *Hounsfield Plastic Impact Machine* (Tensometer Ltd, Morland Road, Croydon) para impacto de polímeros, constituída por um pêndulo de peso variável, um suporte para os provetes e um manómetro. Os provetes foram estabilizados horizontalmente, tendo sido usados pêndulos com  $\frac{1}{2}$  lb e 1 lb. (Fig. 5)

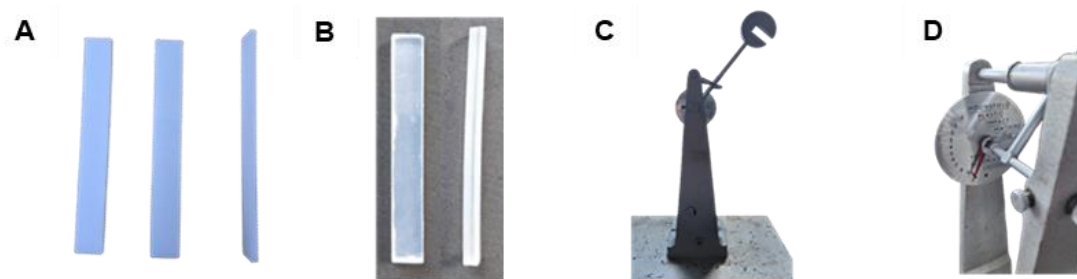


Fig. 5 – Teste ao impacto Charpy. A) Provetes impressos em HIPS; B) Provetes de Playsafe Triple Light (Erkodent™); C) Máquina Hounsfield Plastic Impact Machine (Tensometer Ltd, Morland Road, Croydon) usada para os testes de impacto realizados; D) Manómetro.

## 3. Resultados

A análise da precisão mostrou uma predominância de áreas verdes no grupo GImp (Fig.7), indicando maior precisão em comparação ao grupo GTerm (Fig.6). Os valores de *Root Mean Square* corroboraram esses resultados, com medianas e médias consideravelmente menores no grupo GImp (57,8  $\mu\text{m}$  e 54,2  $\mu\text{m}$ , respetivamente) em comparação ao grupo GTerm (812  $\mu\text{m}$  e 830,7  $\mu\text{m}$ , respetivamente). A veracidade, avaliada apenas para o grupo GImp, revelou uma boa correspondência entre os ficheiros .STL sobrepostos (predominância de áreas verdes, mediana de 118  $\mu\text{m}$  e média de 121,3  $\mu\text{m}$ ) (Fig. 8). Nos testes de impacto Charpy, os provetes impressos de poliestireno de alto impacto fraturaram, enquanto os de *Playsafe Triple Light* apenas deformaram, demonstrando uma maior resistência ao impacto dos provetes termoformados. (Fig. 9)

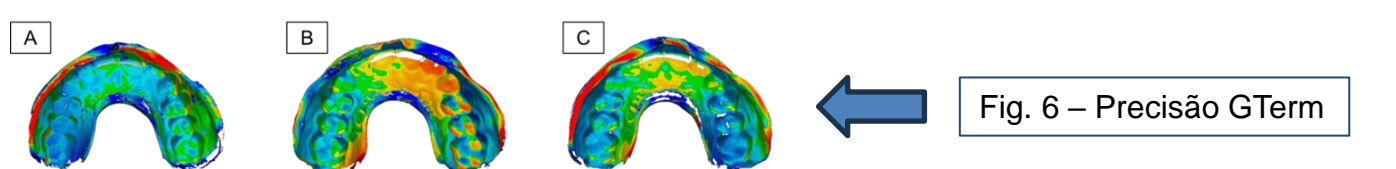


Fig. 6 – Precisão GTerm

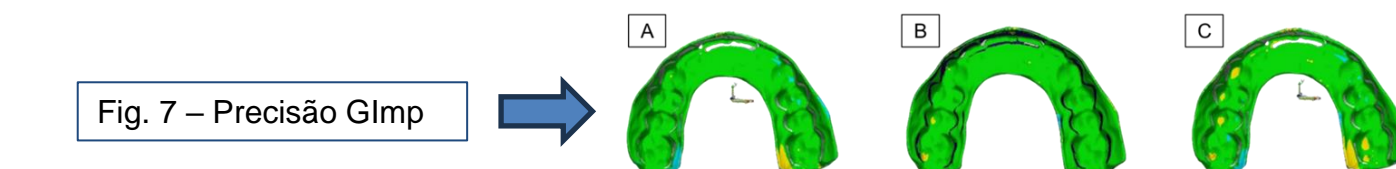


Fig. 7 – Precisão GImp

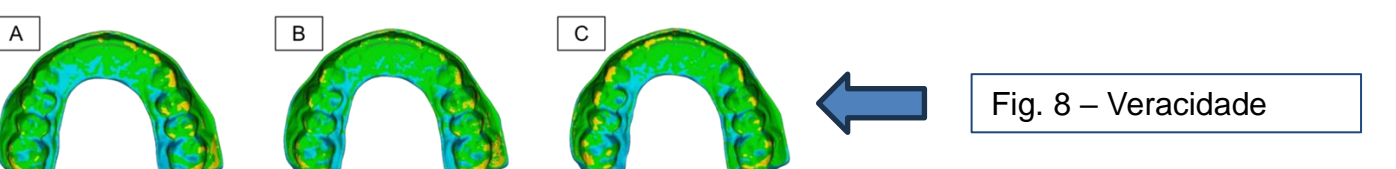


Fig. 8 – Veracidade

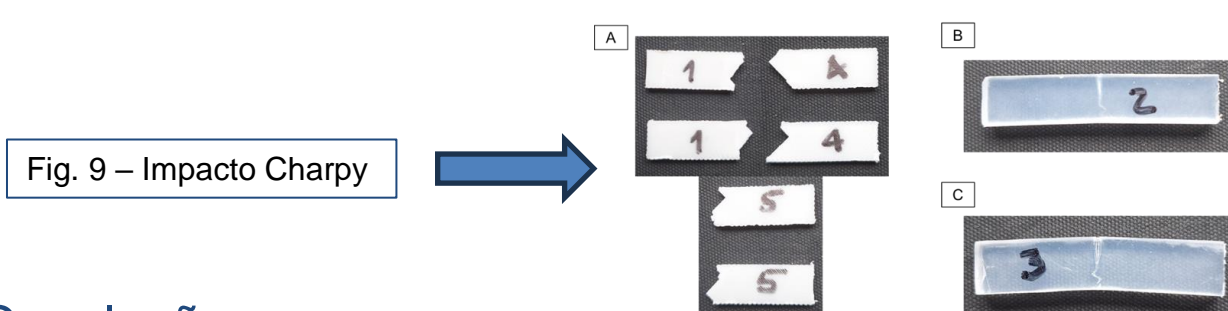


Fig. 9 – Impacto Charpy

## 4. Conclusão

Os resultados obtidos com o estudo piloto realizado permitem concluir que, nas condições experimentais testadas:

- i) A produção aditiva de goteiras de proteção desportiva por FDM com o material HIPS apresenta melhores valores de precisão quando comparada com a termoformação a vácuo de placas *Triple Safe Light*,
- ii) A veracidade do processo de produção aditivo utilizado encontra-se dentro dos valores aceitáveis para técnicas de impressão 3D;
- iii) A resistência ao impacto do material *Triple Safe Light* usado na produção de goteiras por termoformação é consideravelmente superior ao observado com o material HIPS processado por impressão 3D.

