

## Estudo comparativo do comportamento mecânico da vértebra após vertebroplastia

Flávia Gonçalves<sup>1</sup>, Joana Reis<sup>2</sup>, Maria Teresa Oliveira<sup>3</sup>, António Ramos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro, Portugal, flaviagoncalves@ua.pt

<sup>2</sup>Departamento de Medicina Veterinária, Universidade de Évora, teresoliveira@uevora.pt

<sup>3</sup>Departamento de Medicina Veterinária, Universidade de Évora, jmfc@uevora.pt

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro, Portugal, a.ramos@ua.pt

### RESUMO

As fraturas de compressão vertebrais (VCFs) causam reduções do corpo vertebral e são mais incidentes na zona torácico-lombar. A vertebroplastia percutânea é uma cirurgia minimamente invasiva que pretende aliviar a dor causada por estas fraturas e a estabilizar das mesmas. Para tal é injetado cimento ósseo no local da fratura, que causa a alteração da biomecânica da vértebra. O objetivo do estudo é a reconstrução de um modelo numérico da vértebra lombar L4 de ovelha Merino, a validação do mesmo e a comparação da biomecânica desta vértebra intacta e após a vertebroplastia. O modelo numérico foi validado. A análise dos resultados sugere que, após a cimentação, as deformações principais máximas do osso esponjoso são transferidas do interior para o exterior da vértebra. Observou-se também a diminuição das tensões no interior osso esponjoso nas vértebras cimentadas comparativamente às situações não cimentadas verificando-se assim algum efeito de stress shielding.

**Palavras-chave:** Fratura de compressão, Vértebra lombar, Vertebroplastia percutânea, Cimento ósseo, Modelo de elementos finitos

### INTRODUÇÃO

As fraturas de compressão vertebrais (VCFs) causam reduções do corpo vertebral e são mais incidentes na zona torácico-lombar. As VCFs são maioritariamente causadas por hiperflexão e são a consequência mais comum da osteoporose. Na América, 700 mil das 1.5 milhões de fraturas osteoporóticas por ano são VCFs, e destas 25% são em mulheres na fase pós-menopausa [1], [2].

Na Europa a taxa de incidência é, por ano, de 1.1% nas mulheres e 0.6% nos homens na faixa etária entre os 50 e 79 anos[3]. A vertebroplastia percutânea é uma cirurgia minimamente invasiva cujo objetivo é o alívio da dor e a estabilização das fraturas. Para tal é injetado cimento ósseo no corpo vertebral. Os cimentos ósseos têm propriedades mecânicas diferentes das propriedades do osso e, portanto, existe alteração da biomecânica da vértebra com foco na sua rigidez. O objetivo do estudo foi a reconstrução de um modelo numérico da vértebra lombar L4 de ovelha Merino e a comparação da biomecânica desta vértebra intacta e após a vertebroplastia. A elaboração do modelo numérico foi baseada no estudo experimental *Ex Vivo Model for Percutaneous Vertebroplasty* [4]. Neste estudo foi desenvolvida uma nova abordagem modificada reproduzível para a vertebroplastia percutânea, testada *in vivo*, e avaliado o efeito da vertebroplastia. Posteriormente foi desenvolvido um modelo numérico da vertebroplastia que permitiu validar o efeito do cimento e comparar as diferenças biomecânicas aplicando uma carga fisiológica.

### MATERIAIS E MÉTODOS

A abordagem parapedicular bilateral limitada à hemivértebra cranial permitiu criar defeitos interligados em forma de V e com volumes médios de forma a garantir bons efeitos práticos. As vértebras de ovelha foram divididas no grupo A, B, C de vértebras intactas, com defeito e cimentadas com CERAMENT™. Para serem testadas mecanicamente foram realizados testes de compressão (Figura 1).

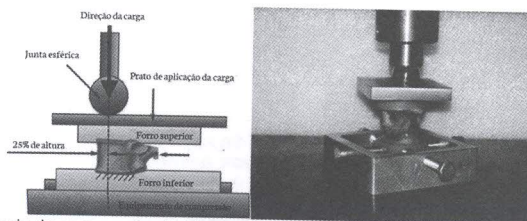


Figura 1. Ensaio de compressão. A)-Esquemática [1]; B)- Fotografia do ensaio experimental [4].

As vértebras foram comprimidas uniaxialmente e a carga foi aplicada no ponto ventral da vértebra a 25% por cento da sua altura a uma velocidade de 1 mm/min. As vértebras foram forradas com uma resina de polimetilmetacrilato, *Vertex®*, para garantir a perpendicularidade da carga.

No desenvolvimento do modelo numérico recorreu-se a imagens microtomográficas da vértebra lombar L4 para levantar as geometrias relevantes: osso cortical, esponjoso e defeito. Após a obtenção de 3 modelos -vértebra intacta, com defeito, cimentada com *CERAMENT™*- foram feitas simulações e aplicadas condições de fronteira e cargas de modo a repercutir os ensaios experimentais efeito de validação do modelo. Foram também realizadas simulações com as mesmas condições de fronteira, mas aplicando uma carga fisiológica para comparação do comportamento mecânico dos modelos. Adicionalmente foi realizada uma simulação usando propriedades de um cimento acrílico para comparação. Para contornar a falta de informação em relação ao cimento usado experimentalmente foram realizados ensaios de compressão seguindo a norma ASTM F451 para aferir sobre as suas propriedades mecânicas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliar a validade do modelo numérico compararam-se as deslocamentos no ponto central onde a carga foi aplicada com os valores dos deslocamentos verificados no ensaio experimental. Esses valores estão apresentados na Tabela 2. A partir da análise da tabela é possível verificar que para o caso da vértebra intacta e com defeito os valores do deslocamento têm um desvio de valores inferior a 20%. É, portanto, possível validar estes resultados. No entanto no caso da vértebra cimentada já se verifica um desvio muito elevado. Esta inconformidade dos valores é justificada pela variabilidade entre vértebras dos indivíduos dentro do mesmo grupo. É possível verificar que, no modelo experimental, a vértebra com defeito (BL4) apresentou maior rigidez e a cimentada apresenta menor rigidez que a vértebra intacta. Era expectável que a rigidez da vértebra cimentada aumentasse, no entanto isso não se verificou devido ao baixo módulo de elasticidade do cimento que confere uma rigidez inferior à vértebra intacta e também à variabilidade entre indivíduos. Em relação de modelo numérico, este apresenta resultados dos deslocamentos semelhantes na vértebra intacta e com cimento, contudo apresenta um grande desvio quando comparada com a cimentada justificada também pela variabilidade entre vértebras de indivíduos.

Tabela 1. Resultados do deslocamento do modelo numérico e experimental para os modelos AL4 (vértebra intacta), BL4 (vértebra com defeito) e CL4 (vértebra cimentada com *CERAMENT™*).

	Experimental			Numérico			desvio %
	Carga [N]	Desloc. [mm]	Rigidez [N/mm]	Desloc. [mm]	Rigidez [N/mm]		
AL4	7075	1,791	3950,6	1,698	4166,7	5,168	
BL4	10687,5	2,079	5141,1	2,489	3754,9	19,731	
CL4	6600	2,871	2298,6	1,520	4342,1	47,061	

Em relação aos resultados relativamente às simulações aplicando a mesma carga, foi possível concluir que a rigidez da vértebra é um fator muito dependente das características mecânicas do cimento. As vértebras cimentadas apresentaram maior rigidez relativamente à intacta e no caso da presença do cimento acrílico a rigidez é maior relativamente ao cimento de sulfato de cálcio. A análise dos resultados sugere que, após a cimentação, as deformações principais máximas do osso esponjoso são transferidas do interior para o exterior da vértebra. Observou-se também a diminuição das tensões no interior osso esponjoso nas vértebras cimentadas comparativamente às situações não cimentadas verificando-se assim algum efeito de stress shielding.

Tabela 2. Resultados do deslocamento no ponto ventral da vértebra a 25% da sua altura e rigidez aparente para os casos de vértebra intacta (AL4), vértebra com defeito (BL4), vértebra cimentada com *Cerament®* (CL4) e vértebra cimentada com *Vertecem®* (DL4).

	Carga [N]	Numérico	
		Deslocamento [mm]	Rigidez [N/mm]
AL4	800	0.1691	4731
BL4		0.1729	4627
CL4		0.1644	4866
DL4		0.1440	5556

## REFERÊNCIAS

- [1] K. E. Ensrud and J. T. Schousboe, "Vertebral Fractures," *N. Engl. J. Med.*, vol. 364, no. 17, pp. 1634–1642, 2011.
- [2] C. C. Wong and M. J. McGirt, "Vertebral compression fractures: A review of current management and multimodal therapy," *J. Multidiscip. Healthc.*, vol. 6, pp. 205–214, 2013.
- [3] D. Felsenberg et al., "Incidence of vertebral fracture in europe: Results from the european prospective osteoporosis study (EPOS)," *J. Bone Miner. Res.*, vol. 17, no. 4, pp. 716–724, 2002.
- [4] M. T. Oliveira et al., "Ex Vivo Model for Percutaneous Vertebroplasty," *Key Eng. Mater.*, vol. 631, pp. 408–413, 2014.