

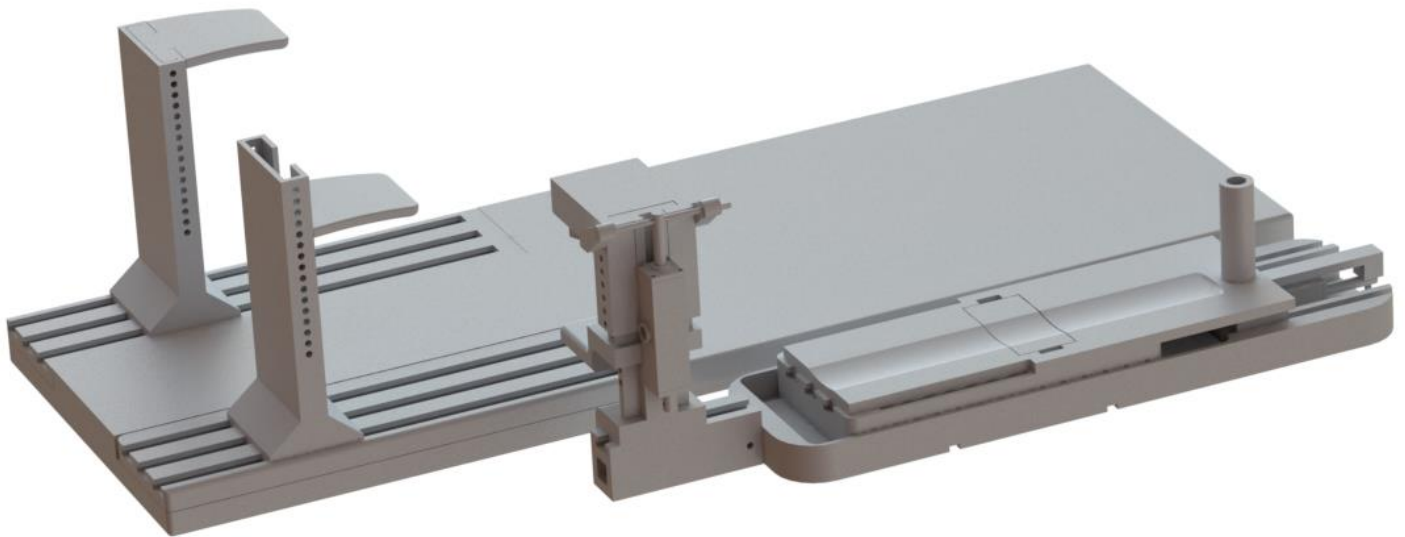
# DILATO

Dispositivo Inovador de medição de Laxidez  
Articular do Tornozelo e Ombro



Universidade do Minho  
Research Institute on Biomechanics,  
Biodegradables and Biomaterials

## Porto Shoulder Testing Device



Cofinanciado por:



UNIÃO EUROPEIA  
Fundo Europeu  
de Desenvolvimento Regional



DILATO

## Qual o problema que queremos resolver?

A instabilidade do ombro tem também uma prevalência alta, especialmente na população desportiva<sup>1-3</sup>. A instabilidade do ombro desenvolve-se após mecanismos traumáticos que causam a luxação do ombro ou por microtraumatismos repetidos nas estruturas capsuloligamentares. Na população em geral, as luxações do ombro são menos frequentes, mas ainda assim apresentam uma incidência que deve ser considerada.



As luxações recorrentes, para além de associadas com o desenvolvimento de instabilidade, estão também associadas a lesões osteoarticulares e capsuloligamentares.<sup>4</sup> Para além disso, luxações recorrentes levam a instabilidade do ombro que resulta em alterações degenerativas e lesões traumáticas da cartilagem articular que irão predispor ao desenvolvimento de osteoartrose precoce.<sup>5</sup> O aparecimento de osteoartrose acompanha-se frequentemente de dor, rigidez e deformidade, com as devidas consequências na incapacidade funcional, restrição de participação sociocultural e diminuição da qualidade de vida. Desta forma, é importante identificar precocemente uma potencial instabilidade do ombro para resolver a laxidez articular, procurando contribuir para a prevenção de osteoartrose precoce.

O diagnóstico de instabilidade do ombro é feito maioritariamente por história clínica e exame físico. No entanto, a fiabilidade e validade de alguns dos testes de exame físico são limitadas em função da experiência e sensibilidade pelo avaliador como também a especificidade dos testes empregues.<sup>6</sup>



**Gaveta anterior**



**Gaveta posterior**



**Teste de sulco**

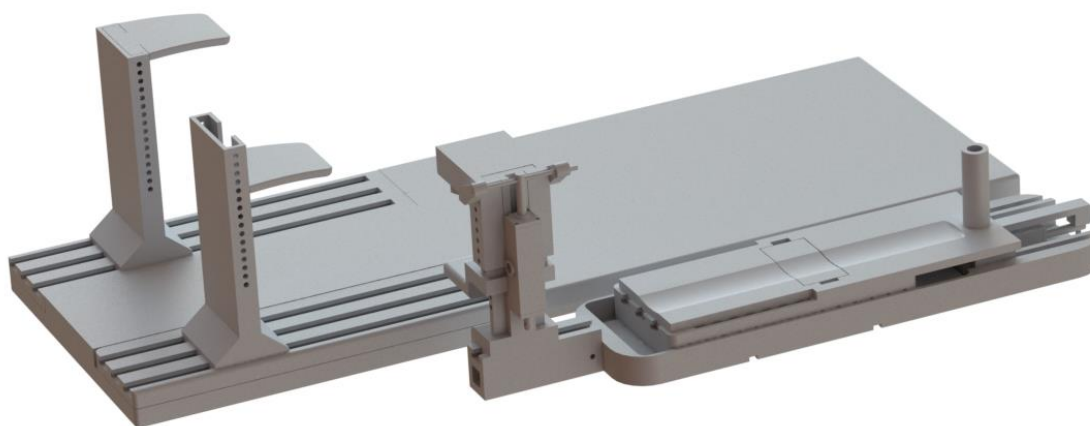
Exames imagiológicos tais como a radiografia, tomografia computadorizada e a ressonância magnética são frequentemente requisitados e necessários para investigar se existem lesões osteoarticulares e capsuloligamentares associadas. Não obstante, nenhum dos exames complementares de diagnóstico referidos permite avaliar objetivamente a laxidez articular.



A capacidade funcional, *i.e.*, em que medida os ligamentos contribuem para a estabilidade mecânica do ombro, tem sido aferida através de radiografias de stress com ou sem artrómetros para medir a laxidez da articulação glenoumeral. No entanto, os processos e equipamento referidos têm variadas limitações. A radiografia de stress comporta uma exposição do paciente à radiação e não permite a visualização de estruturas capsuloligamentares. Isto, faz com que não seja possível determinar se há rutura ligamentar associada à eventual insuficiência funcional. Por outro lado, outros artrómetros usam sensores eletrónicos para calcular as curvas de força-deslocação, mas não permitem medir o movimento ósseo intra-articular nem visualizar as estruturas capsuloligamentares.<sup>7</sup> Todos estes equipamentos têm materiais ferromagnéticos incorporados, o que os torna não-seguros e incompatíveis em ambiente de ressonância magnética, restringindo a sua usabilidade no meio complementar de diagnóstico isento de radiações e mais adequado para visualização de estruturas moles (ligamentos, músculos, etc.). Neste sentido, tornou-se necessário e o mercado exigia a criação de um instrumento que permita a avaliação objetiva e simultânea da componente estrutural e funcional do tornozelo.

## Como propomos resolver este problema?

No sentido de colmatar as limitações que encontramos na prática clínica e dos exames de imagiologia, decidimos desenvolver uma tecnologia inovadora com o intuito de revolucionar o diagnóstico de instabilidades articulares e contribuir para a medicina de precisão. Em oposição aos outros artrómetros, o dispositivo médico que nos propusemos a desenvolver ultrapassa o problema do ferromagnetismo, o que o torna seguro e compatível com a avaliação combinada em ambiente de ressonância magnética. Este dispositivo permite assim combinar a medição precisa da laxidez articular da glenoumeral (avaliação funcional da competência ligamentar) com a avaliação estrutural dos componentes osteoarticulares e capsuloligamentares (avaliação anatómica) através da ressonância magnética.



Cofinanciado por:

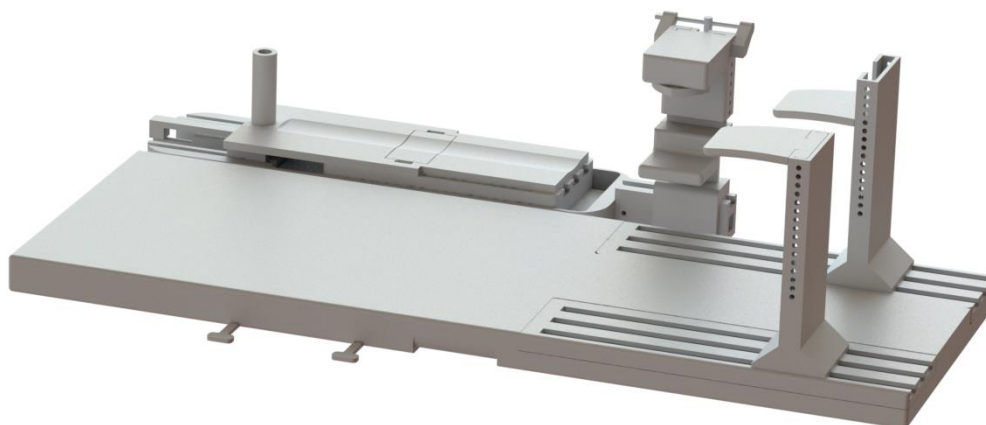


UNIÃO EUROPEIA  
Fundo Europeu  
de Desenvolvimento Regional



## Porto Shoulder Testing Device (PSTD)

O Porto Shoulder Testing Device (PSTD) é um dispositivo médico (artrómetro) contruído com base em poliuretano, tornando-o assim seguro e eficaz para utilizar durante o exame de ressonância magnética. Este dispositivo permite medir objetivamente a laxidez articular da glenoumeral (competência funcional) ao mesmo tempo que avalia o estado anatómico das estruturas osteoarticulares e capsuloligamentares (avaliação anatómica).



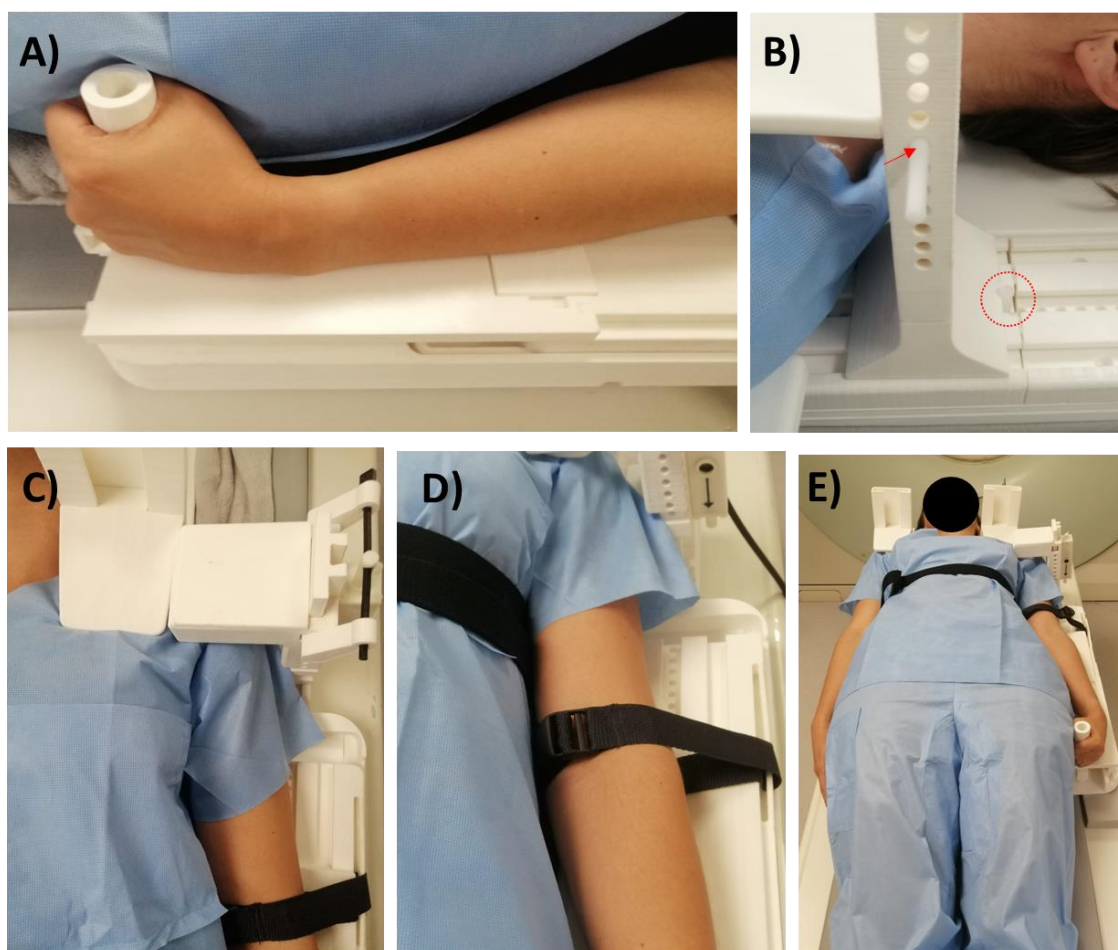
O PSTD desempenha um papel de extrema relevância clínica pois configura informações de que os médicos e fisioterapeutas necessitam para um diagnóstico preciso de instabilidade do ombro. A avaliação objetiva, alcançável por meio da tecnologia atual, ajuda a definir exatamente quem são os indivíduos que precisarão de cirurgia e aqueles que podem ser tratados com fisioterapia e programas de prevenção.

## Como aplicar o Porto Shoulder Testing Device (PSTD)?

A avaliação instrumentada com o PATD é implementada durante o exame de ressonância magnética e consiste em quatro momentos de avaliação:

- (i) um primeiro momento com o ombro em repouso (para adquirir o posicionamento articular de base);
- (ii) um segundo momento com a aplicação de pressão posteroanterior na cabeça umeral (simula o teste da gaveta anterior);
- (iii) um terceiro momento com a aplicação de pressão anteroposterior na cabeça umeral (simula o teste da gaveta posterior);
- (iv) um quarto momento em que é aplicada uma tração inferior do membro superior (simula o teste de sulco).

A avaliação inicia com o posicionamento do paciente em que este se deita sobre a plataforma de suporte do PSTD e coloca o membro superior ao longo do da componente modular. É necessário garantir que a cabeça umeral está alinhada com os eixos mecânicos do PSTD, que todas as componentes são ajustadas à biometria do membro superior do paciente. O torso e o membro superior são fixados no dispositivo através de fitas de compressão e a clavícula é estabilizada anteriormente com a componente do PSTD.

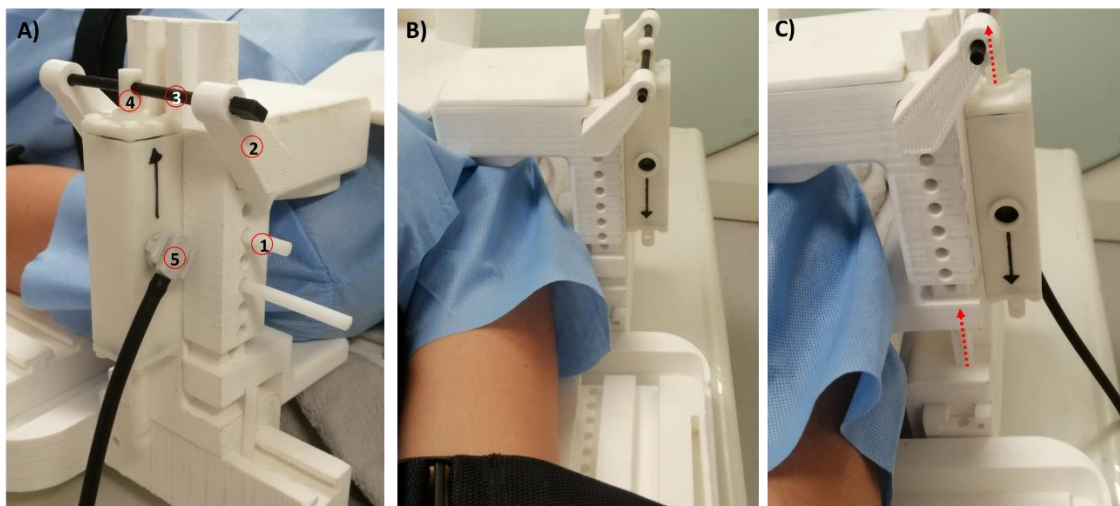


O paciente deve ser instruído para relaxar e evitar contração muscular do membro superior, o que poderia interferir com os resultados do exame. Deve ser também informado que a pressão será aplicada gradualmente para cumprir com as características mecânicas e viscoelásticas dos ligamentos do ombro e assim garantir a segurança do procedimento. Desta forma, na eventualidade de qualquer sinal de apreensão ou desconforto identificado no paciente, o exame é parado e o ar removido do êmbolo para voltar à posição de repouso.

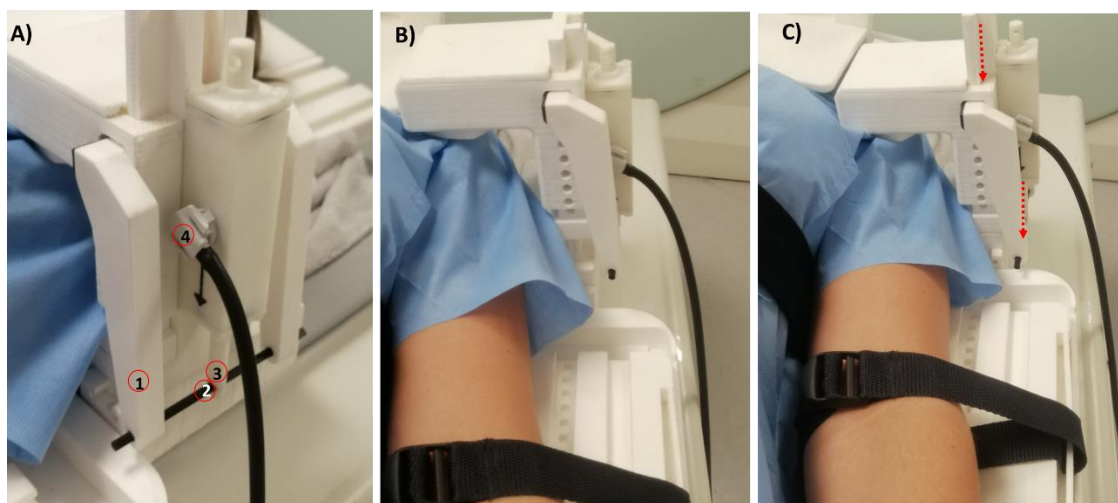
De seguida, é realizado o teste com pressão posteroanterior que tentará recriar o teste de gaveta anterior. O atuador é alinhado posteriormente com a cabeça umeral e é garantido que a clavícula se mantém imobilizada anteriormente para evitar que esta tenha um movimento solidário com o ombro durante a pressão posteroanterior. A peça de translação é ajustada à altura do ombro com pinos (#1), e esta é ligada ao êmbolo (#4) através de um conjunto



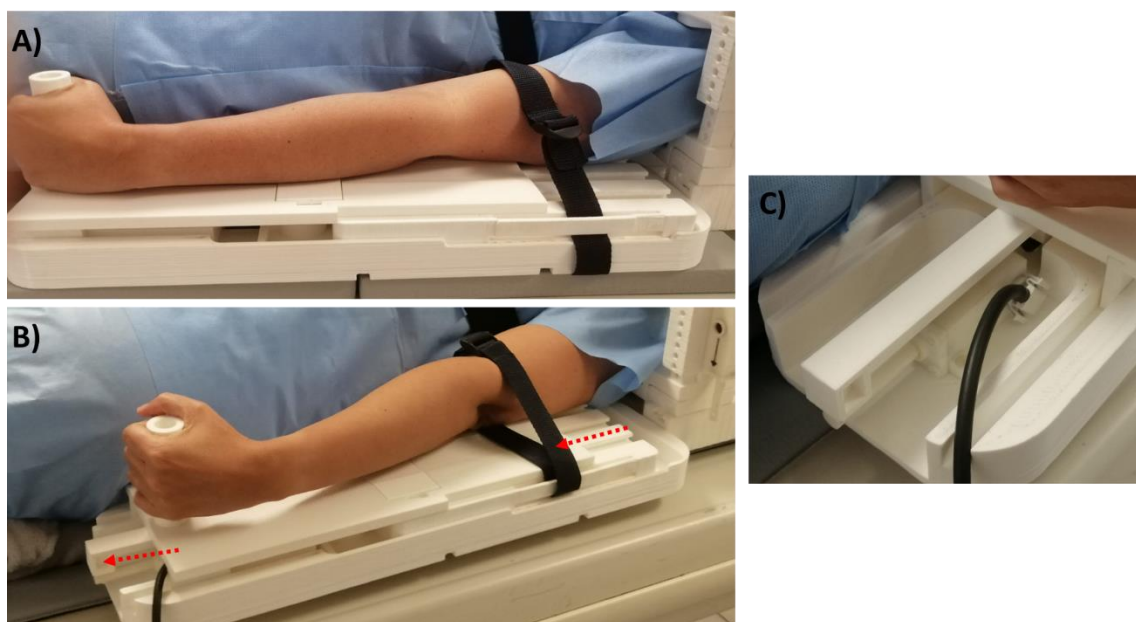
de peças conectoras (#2) e um veio (#3). É então aplicada uma pressão posteroanterior em que a pressão (ar) é introduzida progressivamente através de uma mangueira pneumática (#5) até o limite álgico do paciente ou até o curso máximo do êmbolo (35 mm). Para este teste apenas são adquiridas as sequências de imagem no plano axial.



Após a aquisição das imagens de ressonância magnética, o ar é removido do êmbolo, a componente modular do ombro é reposicionada na posição inicial e é removida a estabilização anterior da clavícula. De seguida, o atuador é trocado para uma posição anterior à cabeça umeral (#1-3) e é realizado o teste de pressão anteroposterior. Neste teste não é necessária uma nova imobilização já que a plataforma de suporte do tronco fará a imobilização posterior do torso e omoplata. A pressão (ar) é introduzida progressivamente através de uma mangueira pneumática (#4) até o limite álgico do paciente ou até o curso máximo do êmbolo (35 mm). Para este teste apenas são adquiridas as sequências de imagem no plano axial.



Após a aquisição das imagens de ressonância magnética, o ar é novamente removido dos êmbolos e a componente modular do ombro é reposicionada na posição inicial. Por último, assim que a cabeça umeral regresse à posição inicial é removido o atuador posterior e é realizado o teste de tração inferior. O paciente segura um joystick com a mão, o qual faz realizar uma força com direção distal, o que irá simular o teste de sulco. A pressão (ar) é introduzida progressivamente através de uma mangueira pneumática até o limite algico do participante ou até o curso máximo do êmbolo (35 mm). Para este teste apenas são adquiridas as sequências de imagem no plano coronal.



Assim que terminadas as aquisições de imagens do teste de sulco, o ar é removido e a componente modular do membro superior é reposicionada na posição inicial. O teste com o PSTD terminou e poderá ser aplicado no ombro contralateral. O exame bilateral permite comparar os valores de laxidez da glenoumeral instável com o lado contralateral (como controlo).

## Qual o protocolo de aquisição de imagem?

As imagens de ressonância magnética devem ser adquiridas com sequências de two-dimension fast spin echo (FSE) e ponderação em T1. A ponderação em T1 permite adquirir imagens com maior resolução das superfícies ósseas, o que será fundamental para as medições com o PSTD. O modo FSE reduz o tempo de aquisição de imagem dado que diminui o número de ecos em cada ciclo. Em cada uma das sequências (axial e coronal), as linhas orientadoras dos planos das imagens são alinhadas na sequência localizer estando perpendicular ao alinhamento da glenoide (no plano coronal) para as imagens axiais, e perpendicular ao alinhamento da glenoide (no plano coronal) e paralelo à diáfise do úmero (no plano sagital) para as imagens axiais. Abaixo estão descritas as características específicas da aquisição de imagens:

### (1) Repouso

- Sequência axial: tempo de repetição / tempo de eco (TR/TE) = 543/mínimo ms, campo de visão (FOV) = 18.0, matriz = 224 x 224, espessura do corte = 3 mm, espaçamento entre cortes (GAP) = 0.1 mm, número de excitações (NEX) = 2.00, comprimento do eco (ETL) = 3, largura da banda (BW) = 22.73 kHz, o que resulta num total de 14 cortes;
- Sequência coronal: tempo de repetição / tempo de eco (TR/TE) = 476/mínimo ms, campo de visão (FOV) = 17.0, matriz = 224 x 224, espessura do corte = 3.5 mm, espaçamento entre cortes (GAP) = 0.1 mm, número de excitações (NEX) = 2.00, comprimento do eco (ETL) = 3, largura da banda (BW) = 25.0 kHz, o que resulta num total de 12 cortes;

**(2) Gaveta anterior**

- Sequência axial: tempo de repetição / tempo de eco (TR/TE) = 543/mínimo ms, campo de visão (FOV) = 18.0, matriz = 224 x 224, espessura do corte = 3 mm, espaçamento entre cortes (GAP) = 0.1 mm, número de excitações (NEX) = 2.00, comprimento do eco (ETL) = 3, largura da banda (BW) = 22.73 kHz, o que resulta num total de 14 cortes;

**(3) Gaveta posterior**

- Sequência axial: tempo de repetição / tempo de eco (TR/TE) = 543/mínimo ms, campo de visão (FOV) = 18.0, matriz = 224 x 224, espessura do corte = 3 mm, espaçamento entre cortes (GAP) = 0.1 mm, número de excitações (NEX) = 2.00, comprimento do eco (ETL) = 3, largura da banda (BW) = 22.73 kHz, o que resulta num total de 14 cortes;

**(4) Teste do sulco**

- Sequência coronal: tempo de repetição / tempo de eco (TR/TE) = 476/mínimo ms, campo de visão (FOV) = 17.0, matriz = 224 x 224, espessura do corte = 3.5 mm, espaçamento entre cortes (GAP) = 0.1 mm, número de excitações (NEX) = 2.00, comprimento do eco (ETL) = 3, largura da banda (BW) = 25.0 kHz, o que resulta num total de 12 cortes;

Cada sequência de aquisição demora cerca de 1 a 2 minutos, num total aproximado de 30 minutos de exame para cada ombro.



## Como fazer as medições de laxidez?

As medidas de laxidez d articulação glenoumeral visam medir o movimento que ocorre aquando a cargas externas (teste da gaveta anterior/posterior e teste de sulco). Para calcular o movimento durante estes testes, é preciso recolher as mesmas medidas com o ombro na posição de repouso e após a aplicação de carga externa.

Para o teste da gaveta anterior e posterior medição da posição sagital da cabeça umeral em relação à glenoide (AHT e PHT, respetivamente) e para o teste de tração inferior temos a medição da posição axial da cabeça umeral em relação à glenoide (IHT).

Uma vez que se tratam de imagens de ressonância magnética, em que se apresentam numa sequência de imagens (ao contrário da radiografia que apresenta apenas uma imagem), é sempre preciso primeiro definir qual o slide a escolher para fazer as medições. Abaixo explicamos como escolher o slide e como se efetuam as medições para cada uma das medidas mencionadas acima.

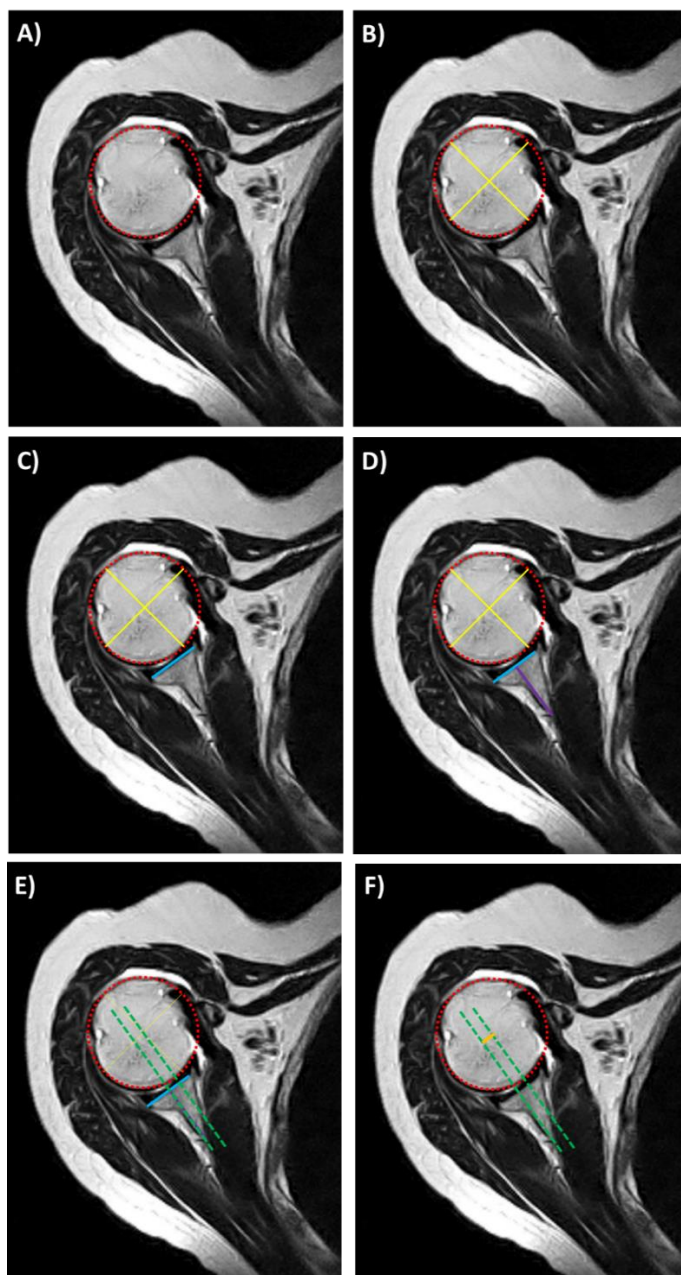
***Posição da cabeça umeral em relação ao à glenoide (AHT)***

Para a medição da AHT, são selecionadas as imagens axiais do ombro em repouso e após pressão PA. Para a escolha do slide de medição, vai-se procurar o slide onde melhor se consegue visualizar em simultâneo o corte transversal da cabeça umeral (#1) e a superfície articular da glenoide com o prolongamento longitudinal do seu corpo (#2). Se existir mais que um slide com esta condição, vai-se procurar o slide com maior diâmetro medio-lateral da cabeça umeral (usualmente onde se visualiza bem a inserção umeral do tendão do músculo grande peitoral).



Para a medição da AHT, começa-se por desenhar um círculo em que a porção superior do círculo coincida com a face medial e lateral da cabeça umeral (A). São desenhadas duas linhas perpendiculares para encontrar o centro do círculo (B). De seguida, é desenhada uma linha paralela a face articular da glenoide (C) e outra linha é desenhada perpendicular e a partir do centro desta primeira linha, ao longo da extensão do corpo da glenoide (D). Após desenhados os pontos de referência de posição da cabeça umeral e glenoide, é primeiramente desenhada uma linha sobreposta à linha longitudinal da glenoide e outra paralela a esta que atravesse o centro do círculo da cabeça umeral (E). Por fim, é medida a distância (em milímetros) entre estas duas linhas (num eixo perpendicular a estas) que estabelece a distância da posição do centro da

cabeça umeral em relação à linha média longitudinal da glenoide (F). Quando a cabeça umeral se encontra anteriormente à glenoide, então os valores são positivos; caso contrário, os valores são negativos. Para calcular o deslocamento PA da cabeça umeral sobre a glenoide, é calculada a diferença entre a AHT na posição final (após pressão) e a posição inicial de repouso. Quanto maior o valor (positivo), maior o deslocamento (anterior) da cabeça umeral sobre a glenoide.



***Posição da cabeça umeral em relação ao à glenoide (PHT)***

Para a medição da PHT, são selecionadas as imagens axiais do ombro em repouso e após pressão AP. A escolha do slide de medição e os procedimentos de medição serão os mesmos que descritos para AHT. No entanto, o raciocínio de determinação dos valores positivos/negativos será inverso ao determinado na medida AHT. Então, quando a cabeça umeral se encontra posteriormente à glenoide (ao invés de anteriormente na AHT), então os valores são positivos; caso contrário, os valores são negativos. Para calcular o deslocamento AP da cabeça umeral sobre a glenoide, é calculada a diferença entre a PHT na posição final (após pressão) e a posição inicial de repouso. Quanto maior o valor (positivo), maior o deslocamento (posterior) da cabeça umeral sobre a glenoide.

***Posição da cabeça umeral em relação ao à glenoide (IHT)***

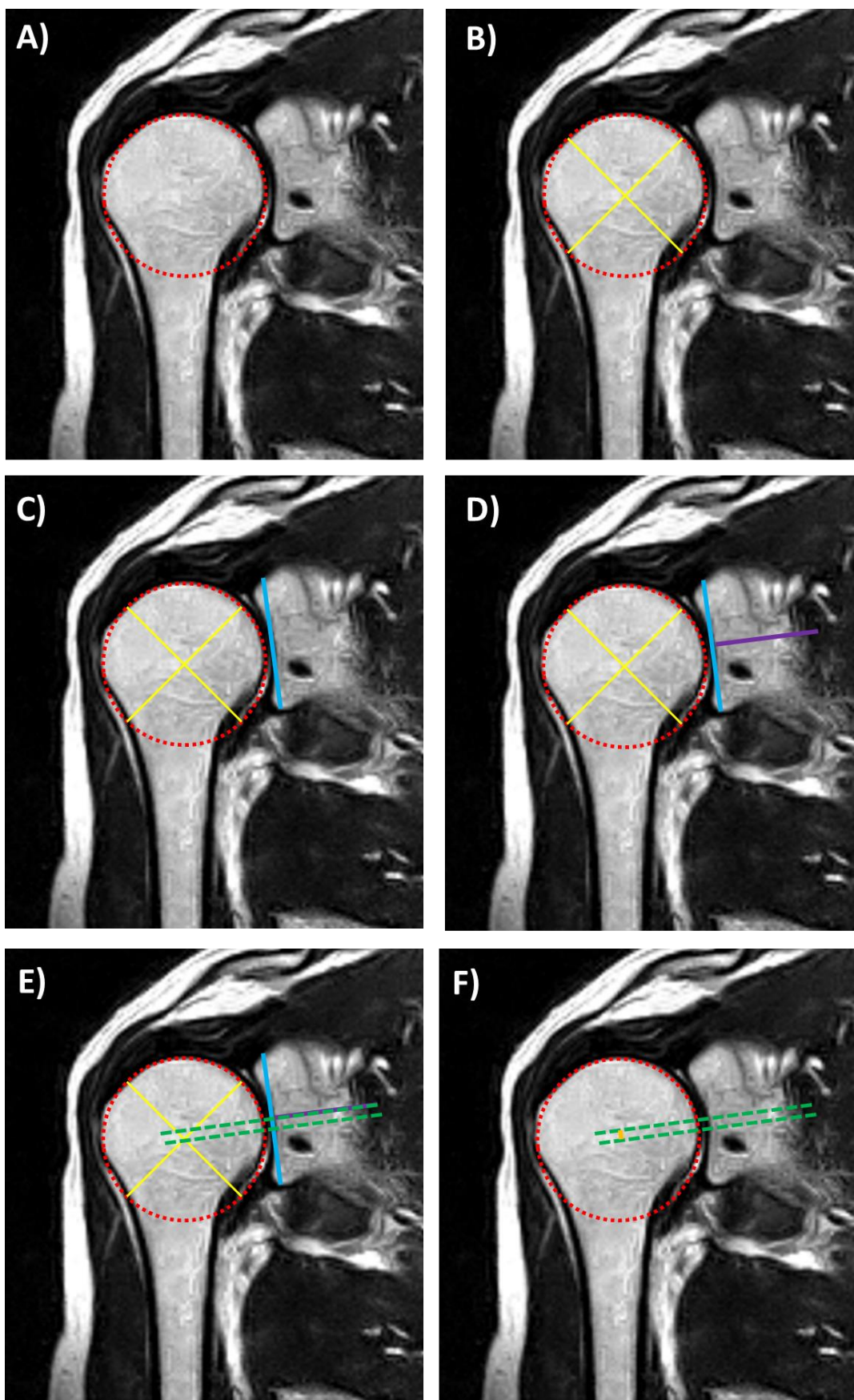
Para a medição da IHT, são selecionadas as imagens coronais do ombro em repouso e após tração inferior. Para a escolha do slide de medição, vai-se procurar o slide onde melhor se consegue visualizar em simultâneo o corte coronal da cabeça umeral (#1) com o seu prolongamento para a diáfise do úmero (#2) e superfície articular da glenoide (#3). Se existir mais que um slide com esta condição, vai-se procurar o slide com maior distância medio-lateral da cabeça umeral (usualmente onde se visualiza bem a grande tuberosidade da cabeça umeral).



Para a medição da IHT, os procedimentos são semelhantes a AHT e PHT. Começa-se por desenhar um círculo em que a porção superior do círculo coincida com a face superior, medial e lateral da cabeça umeral (A). São desenhadas duas linhas perpendiculares para encontrar o centro do círculo (B). De seguida, é desenhada uma linha paralela a face articular da glenoide (C) e outra linha é desenhada perpendicular e a partir do centro desta primeira linha, ao longo da extensão do corpo da glenoide (D). Após desenhados os pontos de referência de posição da cabeça umeral e glenoide, é primeiramente desenhada uma linha sobreposta à linha longitudinal da glenoide e outra paralela a esta que atravesse o centro do círculo da cabeça umeral (E). Por fim, é medida a distância (em milímetros) entre estas duas linhas (num eixo perpendicular a estas) que estabelece a distância da posição do centro da cabeça umeral em relação à linha média longitudinal da glenoide (F). Quando a cabeça umeral se encontra inferiormente à glenoide, então os valores são positivos; caso contrário, os valores são negativos.

Para calcular o deslocamento inferior da cabeça umeral sobre a glenoide, é calculada a diferença entre a IHT na posição final (após tração inferior) e a posição inicial de repouso. Quanto maior o valor (positivo), maior o deslocamento (inferior) da cabeça umeral sobre a glenoide.

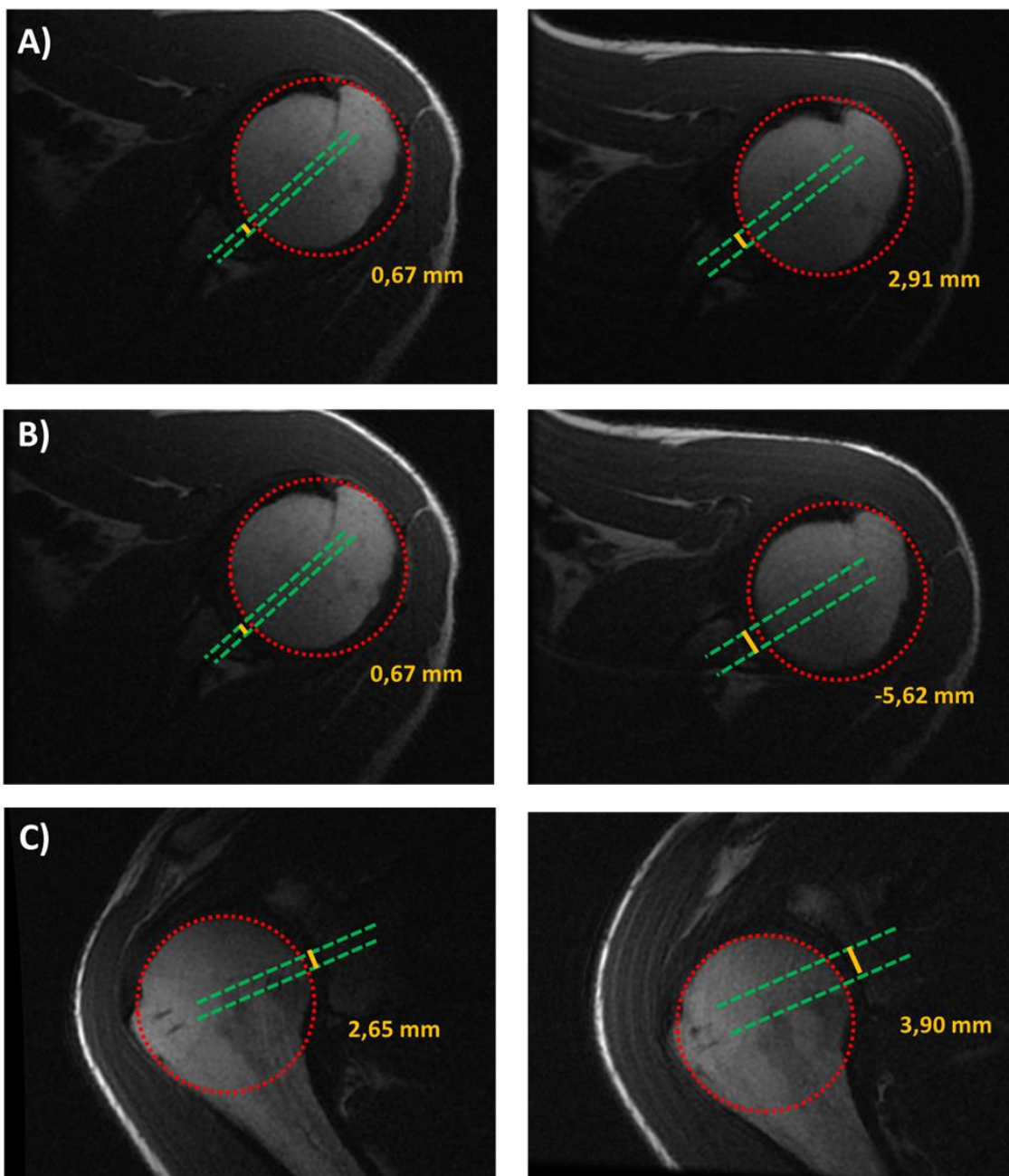




## Como interpretar os resultados?

Para interpretar os resultados de laxidez do tornozelo com o PATD devemos considerar os valores absolutos dos deslocamentos posteroanterior e de abertura lateral. Devemos usar as medidas de deslocamento posteroanterior (AHT), anteroposterior (PHT) e inferior (IHT). Quando associado a eventos de luxação do ombro, pode-se ser mais específico e escolher a medida com a mesma direção que a luxação prévia. Dado que a maioria das luxações são anteriores, a medida AHT será a amplamente mais utilizada. Em casos de instabilidade multidirecional, todas as três medidas devem ser consideradas.

Quando possível, os resultados devem ser comparados contra o ombro contralateral para dar uma melhor percepção do aumento/diminuição da laxidez. Abaixo apresentamos um exemplo ilustrativo comparação de medições de PSTD de um ombro esquerdo com instabilidade multidirecional moderada. A figura mostra o estado em repouso e após pressão, da esquerda para a direita: (A) AHT em repouso e após pressão PA, com uma diferença PA - SP AHT de 2,24 mm; (B) PHT em repouso e após pressão AP, com uma diferença AP - SP PHT de -5,62 mm; (C) IHT em repouso e após tração inferior, com uma diferença INF - SP IHT de 1,25 mm.



## Quais as aplicabilidades do PSTD?

O PSTD tem muitas aplicabilidades de avaliação, diagnóstico e seguimento de tratamento de instabilidade do ombro:

- Avaliação da laxidez articular da glenoumeral comparando com valores de referência da população;
- Avaliação da laxidez articular da glenoumeral com instabilidade unilateral comparando a glenoumeral contralateral;
- Fornecer mais informação e complementar o tradicional exame clínico e imagiológico com a avaliação da competência ligamentar da glenoumeral;
- Correlacionar o estado das estruturas anatómicas (por exemplo, rutura ligamentar) com a capacidade funcional da glenoumeral em restringir os movimentos;
- Adquirir um diagnóstico mais preciso e confiável e assim refinar as indicações do tratamento;
- Avaliar a estabilidade da glenoumeral após fisioterapia e perceber se o ombro é candidato para intervenção cirúrgica ou estratégias de prevenção secundária;
- Avaliar a estabilidade da glenoumeral após intervenção cirúrgica e perceber se a estabilidade foi reestabelecida, ou se poderá necessitar de mais fisioterapia pós-operatória ou até mesmo uma nova intervenção cirúrgica.

## Referências bibliográficas

1. Goodman AD, Etzel C, Raducha JE, *et al.* Shoulder and elbow injuries in soccer goalkeepers versus field players in the National Collegiate Athletic Association, 2009-2010 through 2013-2014. *Phys Sportsmed.* 2018;46(3):304-311.
2. Goodman AD, Raducha JE, DeFroda SF, *et al.* Shoulder and elbow injuries in NCAA football players, 2009-2010 through 2013-2014. *Phys Sportsmed.* 2019;47(3):323-328.
3. Goodman AD, Twomey-Kozak J, DeFroda SF, *et al.* Epidemiology of shoulder and elbow injuries in National Collegiate Athletic Association wrestlers, 2009-2010 through 2013-2014. *Phys Sportsmed.* 2018;46(3):361-366.
4. Carrazzone OL, Tamaoki MJ, Ambra LF, *et al.* Prevalence of lesions associated with traumatic recurrent shoulder dislocation. *Rev Bras Ortop.* 2011;46(3):281-287.
5. Cameron ML, Kocher MS, Briggs KK, *et al.* The prevalence of glenohumeral osteoarthritis in unstable shoulders. *Am J Sports Med.* 2003;31(1):53-55.
6. Eshoj H, Ingwersen KG, Larsen CM, *et al.* Intertester reliability of clinical shoulder instability and laxity tests in subjects with and without self-reported shoulder problems. *BMJ Open.* 2018;8(3):e018472.
7. Gomes E, Andrade R, Valente C, *et al.* Inconsistency in shoulder arthrometers for measuring glenohumeral joint laxity: a systematic review. *Bioengineering.* 2023;10(7):799.



## Agradecimentos e Financiamento

Este guia resulta de um projeto em consórcio entre a Clínica Espregueira - FIFA Medical Centre of Excellence (Saúde Atlântica - Gestão hospitalar S.A), e os parceiros Universidade do Minho (representada pelos grupos 3B's - Biomateriais, Biodegradáveis e Biomiméticos, e CMEMS - Centro de Sistemas Micro Electromecânicos) e a empresa Pro2B (Consultoria e Gestão de Projetos, LDA).



Universidade do Minho  
Research Institute on Biomaterials,  
Biodegradables and Biomimetics

Este trabalho foi financiado pelo projeto “**DILATO - Dispositivo Inovador de medição de Laxidez Articular do Tornozelo e Ombro**” (referência 47289) cofinanciado pelo Programa Operacional Regional do Norte (NORTE 2020), através do Portugal 2020 e do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER).

Cofinanciado por:



UNIÃO EUROPEIA  
Fundo Europeu  
de Desenvolvimento Regional

Cofinanciado por:



UNIÃO EUROPEIA  
Fundo Europeu  
de Desenvolvimento Regional