

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Estudo Biomecânico da cavidade pélvica da Mulher

Monografia de Preparação para a
Dissertação

Ana Rita Silva

27-01-2012

ÍNDICE

1. Introdução.....	3
2. Anatomia da Pelve Feminina	5
2.1. Órgãos da Cavidade Pélvica	5
2.2. Pavimento pélvico e Estruturas de Suporte	7
2.2.1. Músculos do pavimento pélvico (MPP)	7
2.2.2. Tecidos Conjuntivos: Fásia e Ligamentos Pélvicos.....	9
2.3. Suporte dos Órgãos Pélvicos	11
2.3.1. Útero e Vagina.....	11
2.3.2. Bexiga	11
2.3.3. Uretra	12
2.3.4. Reto e Ânus.....	12
3. Desordens da Pavimento Pélvico	13
3.1. Prolapso dos órgãos pélvicos	13
3.1.1. Características fisiopatológicas	13
3.2. Incontinência Urinária	14
3.2.1. Características fisiopatológicas	14
3.3. Incontinência Fecal.....	15
3.3.1. Características fisiopatológicas	15
3.4. Epidemiologia	16
3.5. Técnicas de Diagnóstico.....	17
3.5.1. Exames físicos	17
3.5.2. Testes urodinâmicos.....	17
3.5.3. Imagiologia	18
3.6. Tratamentos	18
3.6.1. Tratamentos Conservativos	18
3.6.2. Tratamentos Cirúrgicos	19
4. Biomecânica da Cavidade Pélvica.....	21
4.1. Dinâmica do Pavimento Pélvico.....	21
4.1.1. Abertura e fecho da Uretra	21
4.1.2. Abertura e fecho Anorretal.....	22
4.1.3. Comportamento do Pavimento Pélvico durante a manobra de Valssalva	23
4.2. Propriedades Morfológicas e mecânicas dos tecidos pélvicos	24
5. Simulação e Modelação da Cavidade Pélvica da Mulher.....	26
5.1. Modelação – Método do Elementos Finitos	26
5.2. Simulação – Abaqus.....	27
5.3. Modelos implementados e Simulações realizadas no estudo da Cavidade Pélvica da Mulher.....	27
6. Conclusão.....	30
7. Bibliografia.....	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática da pelve óssea (Adaptado de [6]).....	5
Figura 2 – Vista sagital dos órgãos da cavidade pélvica feminina. (Adaptado de [6])....	7
Figura 3 - Diafragma pélvico feminino - vista inferior (esquerda) e vista superior (direita). (Adaptado de [6])	8
Figura 4 – Representação esquemática dos níveis do tecido conetivo pélvico: vista sagital dos ligamentos e fâscias da pelve, mostrando a relação das mesmas com os órgãos e os ossos pélvicos [2].	10
Figura 5 – Resultados obtidos na utilização de slings no tratamento de incontinência urinária.[26] a) representa como é colocada a <i>sling</i> [12].	20
Figura 6 – Representação esquemática de implantação de um esfíncter anal artificial [26].	20
Figura 7 – Representação esquemática da abertura e fecho uretral. (Legenda: PCM – músculo pubococcígeo; LP – músculo levantador do ânus; LMA – músculo transverso profundo; PUL – ligamentos pubouretrais; H- posição “Hammock”; C- cavidade uretral; O- abertura) [2].	21
Figura 8 – Representação esquemática das situações dos três estados de configuração uretral: fechada durante relaxamento (a); fechada durante esforço (b) e aberta durante micção (c). As linhas a tracejado representam a posição final da bexiga em cada uma das situações e as estruturas amareladas representam estruturas ósseas (sínfise púbica e sacro) [2].	22
Figura 9 - Representação esquemática do processo de abertura e fecho do ânus. (Legenda: PCM – músculo pubococcígeo; LP – músculo levantador do ânus; LMA – músculo transverso profundo; PUL – ligamentos pubouretrais; RVF – fâscia retovaginal; EAS – esfíncter anal externo; PRM – músculo puborretal). [29]	23
Figura 10 – Representação esquemática para ilustração da rotação da uretra e bexiga em relação à sínfise púbica [21].	23
Figura 11 – Malha de elementos finitos para um problema bidimensional.	26
Figura 12 . Conjunto de pontos obtidos em Janda et al [34] (direita); Malha de elementos finitos obtido em Parente et al (esquerda).	29
Figura 13 – Modelo obtido segundo Noakes et al. [47]	29

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito da unidade curricular de Preparação para a Dissertação. Esta monografia tem como objetivos a revisão da literatura e levantamento do estado de arte na área da biomecânica da cavidade pélvica da mulher. Para além disso, pretende-se que todos os tópicos relevantes para a Dissertação sejam aqui explicitamente demonstrados e explicados.

A disfunção na cavidade pélvica da mulher é um termo aplicado quando se trata de algumas condições patológicas: incontinência urinária (IU), incontinência fecal (IF), prolapso genital, entre outras. Apesar da incerteza da origem do desenvolvimento destas disfunções, acredita-se que grande parte destas provém da danificação dos tecidos conjuntivos e músculos do pavimento pélvico. O tratamento cirúrgico adotado destas disfunções utiliza fitas biológicas ou poliméricas ou redes para reconstrução de ligamentos ou do tecido conjuntivo. Estima-se que 11 % das mulheres recorrem a uma intervenção cirúrgica para o tratamento de disfunções da cavidade pélvica, e que cerca de metade necessita de uma nova intervenção passado alguns anos [1]. No entanto, sabe-se é mais provável recorrer a uma segunda cirurgia quando se trata do prolapso genital, uma vez que na intervenção é tecnicamente mais difícil de repor tensão correta dos tecidos (aspeto crucial para evitar outras disfunções pélvicas). O custo das intervenções, especificamente, para o tratamento de incontinência urinária, ultrapassa os 10 biliões de dólares nos EUA, e para o prolapso genital ronda os 1000 milhões (custos cirúrgicos) [2]. Para além disso, dado que o pico de incidência deste tipo de disfunção se situa em mulheres com idades compreendidas entre os 45 e 69 anos, prevê-se um aumento dos custos em consequência das atuais mudanças no contexto demográfico. Por estas mesmas mudanças, é necessário priorizar a investigação neste tipo de patologia [1-3].

Atualmente decorrem estudos multidisciplinares apropriados da complexidade que envolve a saúde pública da mulher. As principais áreas de estudo englobem ciências básicas e epidemiologia da cavidade pélvica da mulher (Uroginecologia e Obstetrícia); biomecânica e anatomia funcional das estruturas de interesse, incluindo, músculos, tendões, nervos, tecido conjuntivo, uretra, vagina e reto, com abordagem experimental e de simulação computadorizada; e imagiologia médica com recurso a técnicas de processamento e análise de imagens.

A compreensão de princípios biomecânicos e anatómicos do pavimento pélvico pode melhorar bastante a prevenção das patologias enunciadas. Assim, a modelação geométrica das estruturas pélvicas permite a descrição destes órgãos em termos de comportamento biomecânico. A partir de modelo geométrico, é possível aplicar uma importante ferramenta de análise matemática – O Método dos Elementos Finitos (MEF). Este permite dividir o modelo em pequenos elementos finitos, escritos por equações diferenciais, através de um *software* específico de MEF [4]. Esta ferramenta possibilita a simulação dos movimentos dos órgãos do pavimento pélvico e dos músculos e das respetivas deformações associadas a forças mecânicas envolvidas. Isto tudo contribui para um melhor conhecimento dos mecanismos relacionados com as disfunções da cavidade pélvica da mulher, especialmente, para o estudo da incontinência urinária quando ocorre a manobra de Valssalva (fenómeno em que se exala o ar mantendo a boca e o nariz tapado) ou mesmo na situação de tosse. Para além disso, a representação geométrica dos componentes da cavidade pélvica e a sua

relação espacial permite uma representação anatômica não-invasiva das disfunções, caso existam, e a preparação mais detalhada e controlada das cirurgias. É necessário ter em atenção os efeitos e longo prazo das intervenções e dos respetivos materiais utilizados. Os clínicos têm de decidir que tipo de técnica, material ou fita devem utilizar sendo que todos têm vantagens e riscos associados. Por isso, a análise biomecânica dos tecidos e a sua representação matemática permite prever em que medida é que o reforço de uma estrutura da cavidade pélvica pode ser prejudicial para outra também danificada [2, 4].

Os objetivos da dissertação passam por desenvolver um modelo tridimensional representativos da cavidade pélvica da mulher e, de seguida, aplicar o Método dos Elementos Finitos recorrendo ao *software* ABAQUS. Para além disso, pretende-se proceder a estudos de simulação para avaliar a importância das propriedades mecânicas dos tecidos moles envolvidos no modelo e analisar os esforços desenvolvidos pelo sistema muscular do pavimento pélvico na presença da manobra de Valssalva. Tendo em conta os objetivos, propõe-se a seguinte calendarização:

- Revisão bibliográfica: 2 semanas;
- Desenvolvimento de modelo tridimensional: 1 mês e 2 semanas;
- Aplicação do MEF e obtenção de resultados: 2 meses;
- Escrita da dissertação: 1 mês

2. ANATOMIA DA PELVE FEMININA

A compreensão adequada das disfunções pélvicas requer o conhecimento dos processos patofisiológicos envolvidos. Para isso é importante entender a anatomia pélvica e as funções de cada estrutura presente.

A cavidade pélvica é definida por todos os ossos, órgãos, músculos e ligamentos que contribuem para a funcionalidade pélvica. O sistema esquelético tem o papel de proteção dos órgãos internos, transmissão do peso, proveniente do tronco e dos membros superiores, para os membros inferiores, e de suporte para fixação de músculos do tronco e pernas [5]. A cavidade pélvica é limitada anteriormente pela púbis, lateralmente pelos ossos da bacia (ílio e ísquio) e posteriormente pelo sacro, que se articula inferiormente com o cóccix. (Figura 1). A pelve possui uma base maior e outra menor, continuação mais estreita da base maior. Na pelve maior encontram-se as vísceras abdominais, e a pelve menor é fechada pelo pavimento pélvico e é o local de alojamento da bexiga, vagina e do reto.

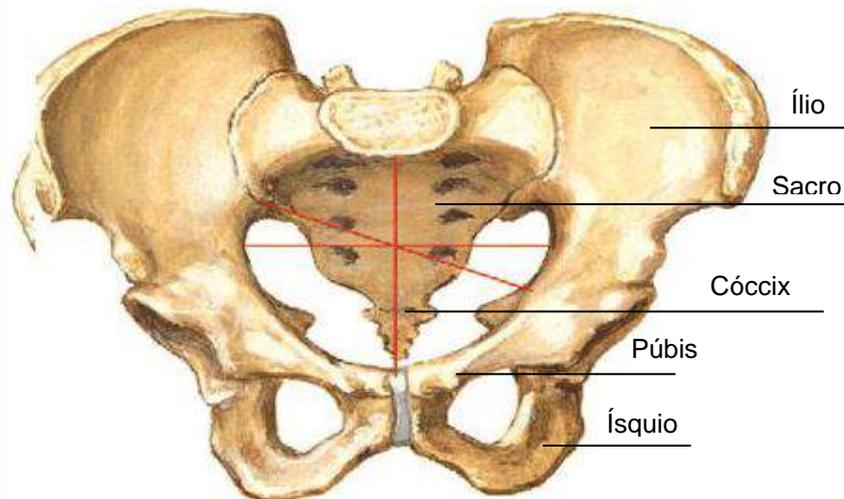


Figura 1 – Representação esquemática da pelve óssea (Adaptado de [6]).

A pelve óssea possui diferentes locais de inserção para ligamentos, músculos e fáscias. O ligamento sacroespinhoso tem uma forma triangular e estende-se desde a espinha isquiática à borda lateral do sacro e cóccix e, anteriormente, ao ligamento sacrotuberoso. Superiormente e inferiormente situam-se, respetivamente, o forame isquiático maior e menor [5].

A organização estrutural dos órgãos internos da cavidade pélvica é providenciada pela ação simultânea da fáscia (tecido conetivo), dos ligamentos e dos músculos, sendo que a integridade destes é imprescindível para o funcionamento apropriado dos órgãos [2].

2.1. ÓRGÃOS DA CAVIDADE PÉLVICA

Bexiga

A bexiga encontra-se na parte inferior abdominal, anteriormente à púbis. Pode ser dividida anatomicamente em três partes: a cúpula, o corpo e a base. A primeira é a

parte mais superior e encontra-se revestida exteriormente pelo peritoneu; o corpo vesical, maior porção, recebe a urina proveniente dos ureteres de cada rim e a base vesical que forma uma espécie de funil, o colo/pescoço vesical, que aflui para um único orifício uretral (ligação com a uretra). As paredes vesicais possuem uma camada muscular, o músculo detrusor, onde a disposição das fibras musculares permitem a capacidade de distensão de forma concêntrica (de cima para baixo). Outra estrutura muscular presente na bexiga é o trígono vesical, uma área triangular que tem como vértices os dois ureteres e o orifício uretral [7, 8].

Uretra

A uretra é um órgão tubular que se estende desde o orifício uretral até ao hiato urinário, orifício de excreção de urina. A uretra feminina é mais curta que a masculina e segue um trajeto reto descendente para o exterior, possuindo diferentes estruturas musculares associadas. A camada interna da uretra é constituída por tecido muscular liso, e a mais externa por músculo estriado (esfíncter externo), cujas fibras se dispõem circularmente em torno da uretra, sendo que formam uma bainha mais espessa no terço médio da uretra. A configuração circular implica a contração do esfíncter permitindo pelo controlo voluntário da continência urinária [7, 8].

Vagina

A vagina é um canal músculo-membranoso, com cerca de 8-10 cm de comprimento e com diâmetro de cerca de 4 cm, apesar de este ser bastante variável. Estende-se desde o colo uterino até ao orifício, onde contacta com o exterior, localizado no vestíbulo da vulva, entre os pequenos lábios. Assume uma disposição oblíqua entre o reto e a bexiga, dirigindo-se de cima para baixo e de trás para a frente. A parede anterior da vagina relaciona-se com a bexiga através do trígono vesical, do qual está separada pelo septo vesico-vaginal, e a parede posterior relaciona-se com o reto, mas separados pelo septo reto-vaginal. No interior vaginal encontra-se uma superfície irregular e uma camada mucosa, com pequenas glândulas responsáveis pela libertação de secreções de lubrificação do canal. Inferiormente à camada mucosa, apresentam-se uma camada de tecido muscular com fibras musculares entrelaçadas entre si e cobertas por grande quantidade de tecido conjuntivo [9].

Recto

O recto atravessa a pélvis e desce relaciona-se com o exterior através do ânus. Tem um diâmetro muito variável, sendo que a parte superior é a mais dilatada para armazenamento do material fecal até ao momento de excreção. Na parte mais superior, encontra-se o canal anal onde se apresentam importantes estruturas musculares que regulam a defecação: o esfíncter anal interno e externo [9].

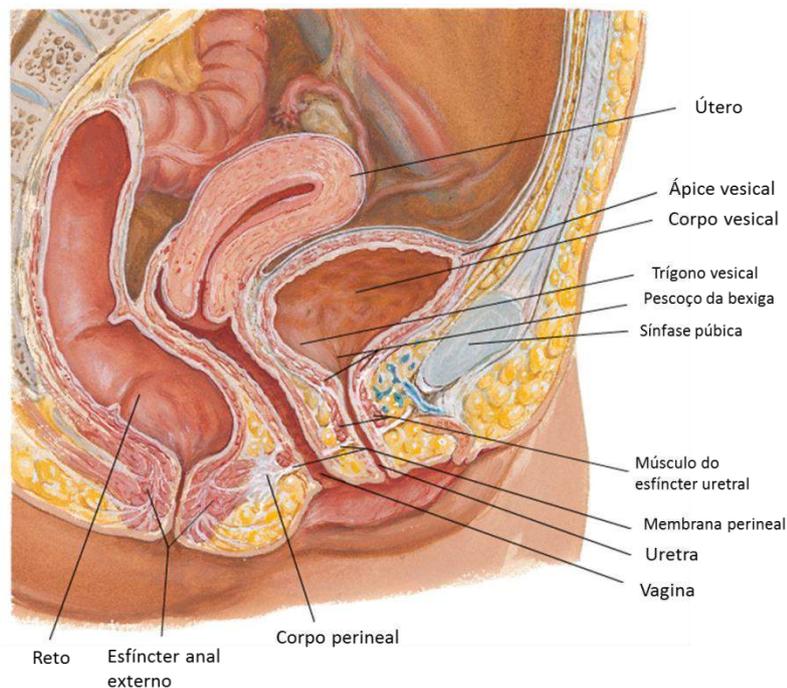


Figura 2 – Vista sagital dos órgãos da cavidade pélvica feminina. (Adaptado de [6])

2.2. PAVIMENTO PÉLVICO E ESTRUTURAS DE SUPORTE

Atualmente entende-se por pavimento pélvico como um complexo conjunto de estruturas (músculos, ligamentos e fáscias) que suportam tanto as vísceras pélvicas como as abdominais. Situa-se no limite inferior da cavidade pélvica e no limite superior do períneo e estende-se desde a púbis ao cóccix.

O pavimento pélvico é atravessado por três orifícios – à frente pela uretra e vagina e ao centro pelo reto. Deste modo, a contração do complexo tem a propriedade de auxiliar a continência urinária e fecal e na função sexual. Além disso, o pavimento pélvico sustenta os órgãos pélvicos e abdominais ao empurrar os órgãos em direção contrária à própria força da gravidade ou a uma pressão intra-abdominal que possa surgir. Assim, os órgãos internos mantêm as suas posições normais.

2.2.1. MÚSCULOS DO PAVIMENTO PÉLVICO (MPP)

O pavimento pélvico está dividido em dois tipos de estruturas musculares: o diafragma pélvico e a membrana perineal (diafragma urogenital). O primeiro complexo representa o sistema muscular que cobre inferiormente a pélvis, entendendo-se da púbis ao cóccix e, lateralmente, entre as paredes do pavimento pélvico; a membrana perineal é a camada mais superficial e distal do pavimento pélvico e é responsável pela ação voluntária da continência.

Diafragma Pélvico

O diafragma pélvico é constituído pelo músculo estriado levantador do ânus e coccígeo, assim como as fáscias que os revestem posteriormente. O músculo

levantador do ânus (LA), componente mais importante do pavimento pélvico, apresenta uma simetria bilateral e é dividida em três estruturas com diferentes locais de inserção e, por isso, diferentes funções – puborrectal, pubococcígeo e o iliococcígeo. O músculo não cobre totalmente a pelve dada a existência de uma abertura oval por onde passam a vagina, a uretra e o canal anal. As duas primeiras estruturas do LA têm origem na púbis e arco tendíneo e formam uma banda em forma de U envolvendo o recto, mas com diferentes regiões de inserção: cóccix (pubococcígeo) e púbis (puborrectal). Estes dois formam um eficiente anel muscular que suporta os órgãos pélvicos em posição normal. Para além disso, promovem a resistência destes ao aumento da pressão intra-abdominal e assumem uma importante função na continência fecal e urinária ao direcionar o complexo ano-rectal e a uretra para a púbis, por contração muscular, permitindo a oclusão destas estruturas. O músculo iliococcígeo é relativamente estreito e pouco desenvolvido, apresentando-se como uma “placa” horizontal que ocupa uma possível abertura entre as paredes pélvicas laterais [2, 5, 7, 8].

O músculo coccígeo situa-se no mesmo plano, mas superiormente ao levantador do ânus, e surge da espinha isquiática e insere-se na extremidade inferior do sacro e na parte superior do cóccix. Este músculo intervém na flexão do cóccix, empurrando para a frente após a defecação ou o parto, e apoia o músculo levantador do ânus na sustentação das vísceras pélvicas [7].

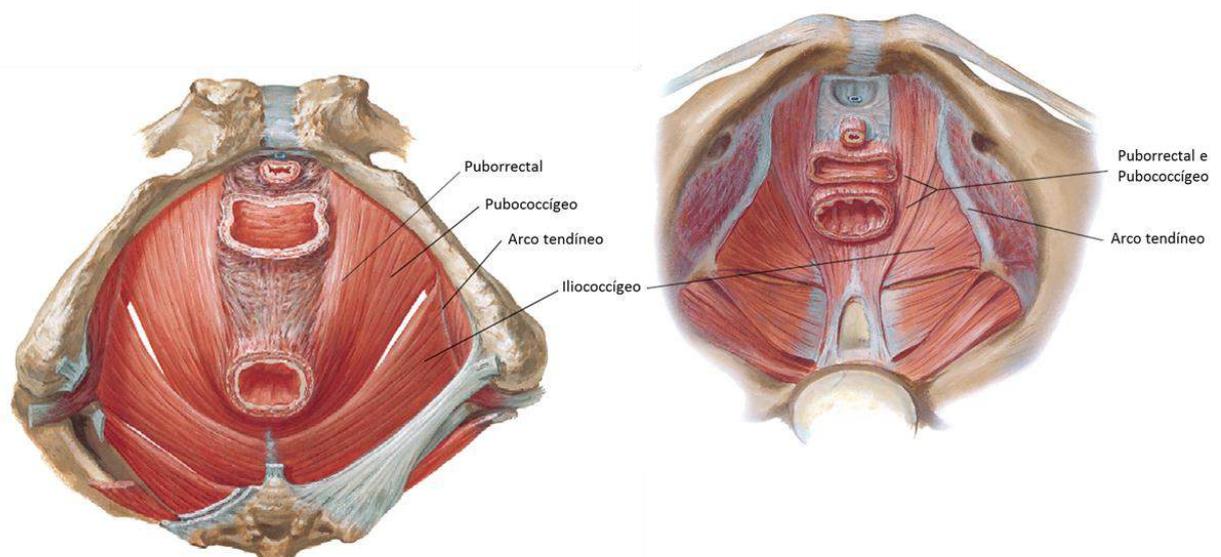


Figura 3 - Diafragma pélvico feminino - vista inferior (esquerda) e vista superior (direita). (Adaptado de [6])

Membrana Perineal

A membrana perineal representa um complexo muscular inferior ao diafragma pélvico. É constituída inferiormente pela camada superficial do músculo isquiocavernoso e bulbocavernoso e, superiormente, pelo músculo transverso do períneo. A membrana funciona como ponte entre a cavidade existente entre a púbis e

a corpo perineal, permitindo o preenchimento da abertura urogenital. Para além disso, a membrana perineal está envolvida na sustentação da região mais distal da vagina e da uretra através da fixação destas à pelve óssea. Comporta-se como um esfíncter destas mesmas regiões contribuindo para a continência [5, 7]. (Figura 2)

Corpo Perineal

O corpo perineal inclui a pele e os tecidos que se localizam inferiormente ao esfíncter anal externo e à entrada vaginal. É suportado pelo músculo transverso do períneo pelas regiões inferiores do bulbo cavernoso. O corpo perineal é a única estrutura pélvica superficial que não se posiciona na direção sagital ou oblíqua. Por isso, é capaz de suportar sobre si todas as estruturas que se posicionam no plano sagital, como a vagina e o reto [9]. (Figura 2)

2.2.2. TECIDOS CONJUNTIVOS: FÁSCIA E LIGAMENTOS PÉLVICOS

Os tecidos conjuntivos do pavimento pélvico são responsáveis pela estabilidade do mesmo e, geralmente, são componentes fibrosos constituídos por colagénio, elastina, fibroblastos, células de músculo liso e estruturas vasculares. O papel da fáscia e dos ligamentos é o fortalecimento e suporte dos órgãos, onde os ligamentos servem como pontos de ligação entre os ossos e os músculos. Por sua vez, estes conferem estabilidade aos órgãos para que estes suportem as constantes alterações de forças presentes. A ocorrência de fenómenos como a gravidez, parto e envelhecimento compromete as características funcionais dos constituintes dos tecidos conjuntivos e, por isso, maior o risco de desenvolvimento de disfunções pélvicas [2, 8].

De acordo com [2], os tecidos conjuntivos pélvicos estão classificados em três níveis de suporte, por ordem crescente de superficialidade das estruturas (Figura 4). Os níveis representam, respetivamente, o suporte apical, medial-vaginal e distal vaginal. Apesar dos tecidos conjuntivos da cavidade pélvica serem contínuos, a divisão destes em regiões é benéfica para a correlação entre os sintomas e características fisiológicas das disfunções pélvicas. Assim, falhas no primeiro nível de suporte podem resultar num prolapso uterino, o segundo no prolapso genital anterior e o terceiro no prolapso genital posterior [10].

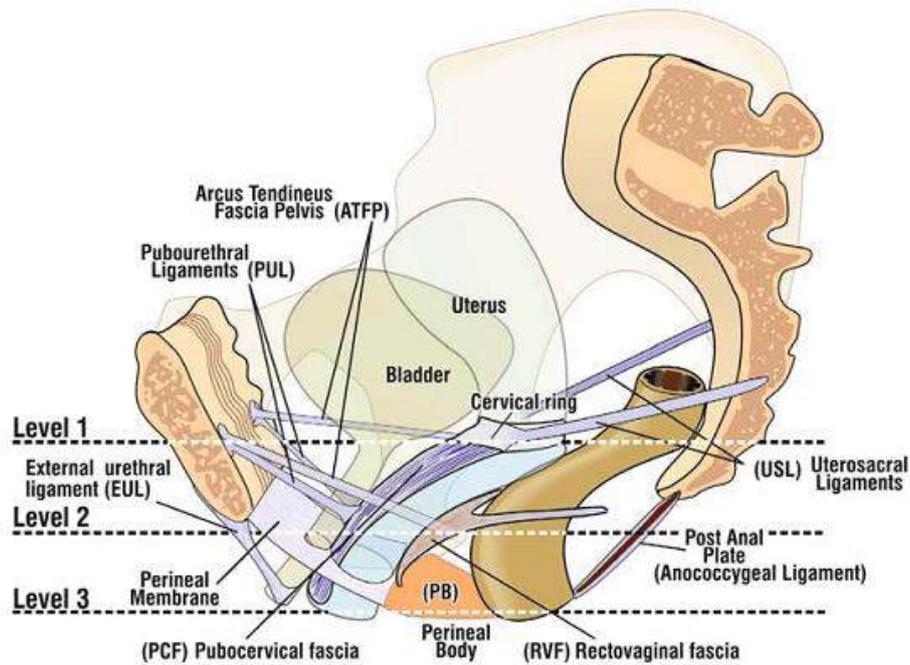


Figura 4 – Representação esquemática dos níveis do tecido conectivo pélvico: vista sagital dos ligamentos e fâscias da pelve, mostrando a relação das mesmas com os órgãos e os ossos pélvicos [2].

Fáscia Endopélvica

A fáscia endopélvica é uma camada fibromuscular expansível que envolve o diafragma e as vísceras pélvicas, possuindo uma componente visceral e outra perietal. A componente visceral encontra-se inferiormente ao peritoneu e, por fixação à bexiga, vagina, útero e ao reto, fornece suporte às vísceras pélvicas. Por outro lado, a componente perietal tem variações estruturais, em função da região pélvica, podendo apresentar porções de condensação fibrosa – ligamentos e septo – que possibilitam a fixação do pavimento pélvico e o envolvimento da vascularização sanguínea e neuronal [10, 11]. A fáscia endopélvica é constituída por diferentes componentes – colagénio, elastina e músculo liso, cujas diferenças das respetivas propriedades podem explicar os fenómenos patofisiológicos das disfunções pélvicas.

O colagénio, um material inelástico, é o componente que atribui resistência à fáscia endopélvica. Estão essencialmente presentes em fibras do Tipo I e III, sendo que as primeiras são as mais abundantes e as segundas contribuem essencialmente para as propriedades elásticas. A elastina, tal como o nome indica, é a constituinte que mais potencia as propriedades elásticas dos tecidos conjuntivos. A deformação longitudinal da elastina pode ir até 70 %, muito superior à do colagénio, apenas 4%. No entanto, o rearranjo das fibras nos tecidos não é longitudinal mas multi-direcional. Assim, quando estão sujeitas a cargas, a deformação das fibras de elastina e de colagénio é maior antes da rutura. As células de músculo liso participam ativamente ao manter o tónus muscular e respondem, rapidamente, a diferenças de tensões. São inervadas pelo sistema nervoso autónomo, o que faz com que tenham uma contractilidade involuntária, intervindo no suporte ao movimento das vísceras pélvicas [12].

A fásia endopélvica é responsável pela localização anatômica das vísceras pélvicas através das condensações ligamentosas, dos septos e da definição de regiões pélvicas, por exemplo, da região vesicovaginal e retovaginal [10].

Ligamentos Pélvicos

Os ligamentos são estruturas resultantes de condensações da fásia endopélvica, compostos por nervos, vasos sanguíneos e músculo liso. A sua composição indica que são estruturas contrácteis e por isso têm um papel importante no suporte dos órgãos pélvicos. Segundo [2], existem ligamentos que se destacam (Tabela 1) porque participam ativamente no suporte visceral pélvico e que a falta de integridade destes pode induzir condições patológicas de algumas disfunções pélvicas.

Tabela 1 – Ligamentos do pavimento pélvico envolvidos no suporte das vísceras pélvicas, agrupados segundo localização no nível de suporte [13].

Nível de suporte	Ligamentos	Estruturas suportadas
1	Uterosacral Cardinal	Vagina e útero
2	Pubovesical	Bexiga
3	Pubouretral Anococcígeo	Uretra Anûs

2.3. SUPORTE DOS ÓRGÃOS PÉLVICOS

2.3.1. ÚTERO E VAGINA

O suporte vaginal e uterino pode ser entendido por divisão em três níveis de suporte. O primeiro, mais superior, é constituído pelo paramétrio. O paramétrio participa no suporte lateral das vísceras e, para além disso, auxilia a sustentação do útero na sua posição retrovertida. Para além disso, o paracolpium é responsável pela suspensão do ápice vaginal a partir das paredes pélvicas laterais [10, 11].

O segundo nível localiza-se no colo do útero e os principais intervenientes são os ligamentos cardinal e uterosacral. Ambos envolvem o colo uretino, formando um anel peri-cervical, por fixação à base da bexiga. Os ligamentos atuam em conjunto e formam um complexo de suspensão do útero e de suporte do ápice vaginal. O complexo tem descendentes inferiores, a fásia pubocervical e retovaginal, com pontos de ancoragem nas paredes laterais. A fásia pubocervical é responsável pela suspensão antero-medial da vagina (fixação na fásia pélvica do arco tendíneo) e a fásia retovaginal participa no suporte posterior da vagina (fixação no corpo perineal) [10-12].

O terceiro nível, mais inferior, consiste no suporte lateral da vagina através da intervenção da porção medial do músculo levantador do ânus e de todo o tecido conjuntivo aficado ao mesmo [11].

2.3.2. BEXIGA

O suporte da bexiga é providenciado por alguns ligamentos e as respetivas ligações com as estruturas envolventes. Em particular, o ligamento pubovesical

estende-se desde o músculo detrusor da bexiga até à fáscia pélvica do arco tendíneo e ao osso púbico. Relaciona-se com o ligamento pubouretral, sendo que o suporte do colo da bexiga é feito pela interação entre o puborectal, a vagina e a uretra proximal. O suporte posteroinferior do trígono vesical é fornecido pelos ligamentos laterais da própria bexiga e por fixação ao colo uterino e parede vaginal anterior. A base da bexiga pousa sobre a fáscia pubocervical (componente da fáscia endopélvica), suspensa na fáscia do arco tendíneo [11].

2.3.3. URETRA

O suporte uretral é feito por ligação dos tecidos circundantes aos ossos pélvicos. Os tecidos conjuntivos responsáveis são os ligamentos pubouretrais, contínuos dos tecidos da membrana perineal. É um tipo de suporte mais dinâmico que estático, sendo que a posição anatómica da uretra é definida pela interação entre os ossos e o músculo levantador do ânus. Em situações de relaxamento, a uretra proximal situa-se superiormente aos locais de inserção dos ligamentos pubouretrais, sendo que as restantes porções da uretra são controladas por contração do músculo levantador do ânus (relaxamento deste provoca descida uretral) [10, 11, 14].

A camada de suporte uretral tem duas componentes de fixação – fáscia e músculo. A componente fascial liga os tecidos periuretrais e a parede anterior da vagina à fáscia do arco tendíneo. A componente muscular articula, as mesmas estruturas periuretrais, com o limite medial do levantador do ânus, permitindo que este se mantenha em repouso para que o colo vesical se mantenha em posição [10, 14].

2.3.4. RETO E ÂNUS

O reto é um órgão rodeado de gordura e suportado por tecidos conjuntivos circundantes, nomeadamente, a fáscia anorectal. Lateralmente, o suporte é feito por ligamentos laterais do reto, resultantes de condensações da fáscia endopélvia. O suporte anterior é providenciado pela fáscia retovaginal e o posterior pela fixação da fáscia presacral ao sacro [11].

O ânus tem inúmeras estruturas que lhe estão afixadas. O suporte anterior resulta da intervenção do corpo perineal e de estruturas presentes no septo anovaginal. O suporte lateral é da responsabilidade do levantador do ânus (músculo pubovisceral) e do músculo superficial transversal do períneo. O suporte posterior é feito pela fixação do ligamento anococcígeo ao cóccix. Para além disso, a rede fibroelástica que circunda e envolve o esfíncter anal também participa na sustentação do ânus [11].

3. DESORDENS DA PAVIMENTO PÉLVICO

A lesão nas estruturas que constituem o pavimento pélvico, nomeadamente, se a ligação entre elas for fraca, há uma maior propensão da mulher para sofrer diferentes condições sintomáticas de patologias pélvicas, por exemplo, incontinência urinária e fecal, prolapso de distintos órgãos pélvicos e até disfunções sexuais.

3.1. PROLAPSO DOS ÓRGÃOS PÉLVICOS

Entende-se por prolapso a descida parcial ou total dos órgãos pélvicos através da vagina ou por debaixo dela. Deve-se à ausência ou fragilidade dos mecanismos de suporte que fixam os órgãos pélvicos à pélvis. Existem vários tipos de prolapso que podem ser especificados de acordo com a estrutura que decaí (Tabela 2) ou pelo grau de descida (Tabela 3) [11].

Tabela 2 – Terminologia do prolapso dos órgãos pélvicos em função das estruturas anatómicas prolapsadas [15].

Terminologia	Descrição
Uretrocelo	Parede anterior baixa da vagina
Cistocele	Bexiga pressiona o septo anterior da vagina, formando uma proeminência no interior
Rectocele	Reto pressiona o septo posterior da vagina e forma uma proeminência no seu interior
Enterocelo	Afeta a parte superior do septo vaginal posterior, proporcionando a formação de uma hérnia constituída por uma porção de intestino
Prolapso uterino	Descida do útero
Prolapso rectal	Saída parcial ou total do recto pelo ânus

Tabela 3 – Classificação do prolapso de acordo com o grau de descida das estruturas [15].

Grau	Descrição
Grau I	Descida entre a sua posição anatómica normal e a altura das espinhas isquiáticas
Grau II	Descida entre as espinhas isquiáticas e o hímen
Grau III	Descida para fora do nível do hímen
Grau IV	Prolapso total , para fora do plano vulvar

3.1.1. CARACTERÍSTICAS FISIOPATOLÓGICAS

A rutura ou disfunção do músculo levantador do ânus e dos ligamentos do tecido conjuntivo pode levar à instabilidade de suporte dos órgãos pélvicos e, por isso, a um eventual prolapso. Em condições não-patológicas, o pubococcígeo, iliococcígeo e os ligamentos pubouretrais apresentam-se contraídos, em situação de repouso, para que o hiato urogenital se mantenha fechado, proporcionando uma placa de sustentação estável das vísceras pélvicas. Uma diminuição do tónus muscular do levantador do ânus resulta na abertura do hiato urogenital e na consequente alteração da disposição anatómica das estruturas.

O prolapso da parede anterior da vagina está associado à desinserção da fáschia vesicovaginal do anel perivesical e à fragilidade da ancoragem lateral do arco tendíneo. Para além disso, sabe-se que, em condições de posição ortostática, uma porção da vagina está horizontalmente repousada sobre o diafragma pélvico e a restante mantém-se em posição por ação dos ligamentos cardinais e sacrouterinos.

Por isso, qualquer disfunção destes ligamentos pode resultar no enterocelo. Também os ligamentos sacroureterinos, cardinais e da fáschia endopélvica, que formam anel pericervical, são responsáveis pela fixação do septo vaginal em torno do colo uterino. A instabilidade de fixação e a fragilidade dos tecidos conjuntivos responsáveis pelo suporte da parte distal da parede vaginal, da membrana perineal e do corpo perineal podem resultar no prolapso da parede posterior da vagina (rectocelo) [16] [17].

3.2. INCONTINÊNCIA URINÁRIA

A incontinência urinária é uma disfunção que se manifesta por qualquer perda involuntária de urina. Existem vários tipos de incontinência urinária – incontinência urinária de esforço (IUE), incontinência urinária por urgência (IUU) e incontinência urinária mista (IUM) [15].

A IUE está associada a perdas involuntárias quando há um aumento da pressão intra-abdominal, na execução de diversas atividades como tossir e atividades físicas, ocorrendo o aumento da pressão intra-vesical em relação à pressão uretral. A IUU é definida como a vontade forte e inadiável de urinar e, quando não é possível, pode ocorrer uma perda involuntária de urina. Pode estar associada a causas neurológicas, mas também a alterações de contração do detrusor. Por último, a IUM provém da combinação dos sintomas da IUE e da IUU [2, 15].

3.2.1. CARACTERÍSTICAS FISIOPATOLÓGICAS

Em condições de continência urinária, sem patologia do trato urinário, os fatores fisiológicos envolvidos englobam mecanismos de controlo central e periférico. Os mecanismos de controlo central são responsáveis pelo processamento das informações resultantes da inervação somática e autónoma do trato urinário, provenientes do córtex central, tronco e medula espinal. Por outro lado, os mecanismos de controlo periférico incluem a uretra e a bexiga, bem como todos os músculos, fáschias e ligamentos do pavimento pélvico. O termo de continência urinária resulta da integridade da inter-relação entre os dois mecanismos, sendo que as condições patológicas verificam-se quando a funcionalidade de um dos mecanismos, ou dos dois, é comprometida.

Existem várias teorias para explicação das condições fisiopatológicas da IU. Cada teoria tem os seus pontos fortes e fracos [16]:

- **Alterações no eixo uretrovesical:** um deslocamento da uretra e da junção uretrovesical, em função sínfise púbica, interfere na transmissão de pressão entre a bexiga e a uretra, o que faz com não haja um aumento de pressão, suficiente para o fecho do esfíncter;
- **Disfunção intrínseca do esfíncter urinário:** segundo esta teoria a incontinência advém da anormalidade no mecanismo esfíncteriano, caracterizada pela abertura do colo vesical ou pelo relaxe da uretra proximal durante situações de esforço;
- **Teoria de Hammock:** esta teoria indica que a uretra é suportada por uma camada composta pela fáschia endopélvica e a parede vaginal anterior. Esta camada é fixada lateralmente pela fáschia do arco tendíneo e pelo músculo levantador do ânus, sendo que qualquer défice nestas estruturas resulta numa transmissão inadequada de pressão ao colo vesical e à uretra proximal;

- **Teoria Integral:** segundo [2], a incontinência por esforço ou urgência resultam da falta de elasticidade da parte vaginal anterior, que conduz a ativação dos recetores de estiramento do colo vesical e uretra proximal. Isto leva a um reflexo de micção inapropriado resultando na superatividade do músculo detrusor e numa dissipação das pressões de fecho uretral.

3.3. INCONTINÊNCIA FECAL

A incontinência fecal (IF) caracteriza-se pela incapacidade de controlar a libertação de gases ou fezes e é classificada de acordo com os sintomas- incontinência fecal passiva (IFP), incontinência fecal de urgência (IFU) e incontinência fecal mista (IFM).

A IFP relaciona-se com uma disfunção do esfíncter anal interno e, por outro lado, a disfunção do esfíncter anal externo é responsável pela IFU. A IFM ocorre quando se verifica-se condições sintomáticas características tanto da IFP como da IFU [15].

3.3.1. CARACTERÍSTICAS FISIOPATOLÓGICAS

Na Tabela 4 estão apresentadas as causas mais comuns de incontinência fecal, sendo que as mais comuns são desordens nos esfíncteres anais e neuropatias do nervo pudendo.

Tabela 4 – Causas da continência fecal (% estimada) [11].

Anormalidades nos esfíncteres (80 – 90%)
Neuropatia (20-35%)
Problema congénital
Compliance inadequada (<5%)
Sensação inadequada (<5%)
Alteração da consistência das fezes
Retenção anormal das fezes
Condições idiopáticas

Na maioria dos casos de IF existem uma lesão do esfíncter anal. Enquanto jovem, a mulher consegue compensar a fraqueza muscular durante muitos anos mas mais tarde os músculos que sustentam a vagina e ânus enfraquecem podendo levar à incontinência. O músculo puborretal é responsável por manter o ângulo entre o reto e o ânus ao permanecer parcialmente contraído. É enervado pelo nervo pudendo e é voluntariamente contraído para restringir o reto e prevenir quaisquer perdas fecais.

O reto apresenta duas características importantes na continência fecal: a *compliance* e a sensação retal. Previamente à evacuação, o reto permanece relaxado para armazenar as fezes e uma diminuta *compliance* contribui para a incontinência através da rapidez do trânsito intestinal, sem que haja tempo suficiente para evitar a defecação por contração dos músculos do pavimento pélvico. Por outro lado, uma *compliance* muito superior, diminui a percepção de preenchimento do reto, dilatando o esfíncter anal interno e, conseqüentemente, posterior libertação das fezes. A segunda característica é a habilidade de perceber a distensão retal, que é responsabilidade nervosa [16, 18]. A lesão dos nervos, que são responsáveis pela atividade do esfíncter e pela sensibilidade retal, representa também uma causa comum, que pode suceder

durante o parto, esforços frequentes, prolongados e intensos de evacuação ou por doenças do foro neurológico.

A perda de elasticidade do reto e a redução da sua capacidade condicionam a acumulação de fezes, ficando cheio mais depressa. Assim, surge uma sensação retal intensa para evacuar que pode não ser controlada [16, 18].

3.4. EPIDEMIOLOGIA

A epidemiologia das disfunções pélvicas permite estudar a incidência, prevalência de acordo com a população, espaço e tempo. Em 2004, Hunskaar *et al* [19] preocuparam-se em estudar a evolução da epidemiologia da incontinência urinária e fecal e do prolapso genital, por comparação entre estudos de diferentes autores realizados até à data:

- **Incontinência urinária (IU)**
 - A prevalência da IU na população geral é relativamente comum em todos os países e, na maioria dos estudos, ronda os 25% e 45%;
 - Em 2000, verificou-se que a percentagem de casos aumenta até à idade dos 50 anos (30%), mantendo-se idêntica até aos 70 anos. A partir desta idade, verifica-se outra vez outro aumento na incidência;
 - Existem certas populações com maior número de casos de IU, como é o exemplo da Dinamarca (72% no ano 2000) e Reino Unido (69%, em 1999);
 - Nas mulheres caucasianas a incidência é maior, comparativamente com população negra, hispânica e asiática. Em 2000, revelaram que as mulheres americanas de origem africana possuem um maior volume uretral, uma maior pressão de fecho da uretra e uma maior mobilidade vesical;
 - O tipo de IU mais frequente é a incontinência urinária de esforço;
 - A prevalência de IU durante a gravidez é cerca de 28%;
 - A IU é mais frequente em mulheres que estão em fase pós-menopausa do que as que estão em pré-menopausa;
 - Um índice de massa corporal muito elevado, superior a 40, corresponde a 4 e 2 vezes mais probabilidade de desenvolver, respetivamente, incontinência urinária de esforço e incontinência urinária de urgência.

- **Incontinência fecal (IF)**
 - A prevalência da IF na população adulta situa-se entre os 11-15%;
 - As mulheres apresentam uma maior predisposição para desenvolverem incontinência fecal (cerca de 60% dos casos);
 - Os principais fatores de riscos são a disfunção do nervo pudendo e do esfíncter anal após um grande trauma obstétrico (parto vaginal).

- **Prolapso genital (POP)**
 - O prolapso ocorre com maior frequência no compartimento anterior, seguido do compartimento posterior e por fim no compartimento apical;
 - Existe um risco de 11,1% das mulheres necessitarem de um procedimento cirúrgico para tratamento do POP;
 - A incidência é superior para as mulheres caucasianas em relação às africanas ou asiáticas;

- Existe um aumento do risco associada ao POP com o acréscimo da idade e da paridade da mulher;
- A obesidade nas mulheres pode aumentar em 1,5 vezes o risco de ocorrência de prolapso uterino;
- As mulheres que já foram submetidas a uma histerectomia têm um risco acrescido para desenvolvimento de POP. Estudos revelam que, se o procedimento for feito para tratamento de POP, a ocorrência de outro tipo de POP é cerca de 12% contra 1,8 % de uma histerectomia para tratamento de outras patologias.

3.5. TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO

A descrição das estruturas funcionais e da anatomia do pavimento pélvico permitem a gestão e a escolha da técnica cirúrgica adequada e também a monitorização pós-cirurgia e os efeitos do tratamento aplicado. O avanço das técnicas tem revolucionado a gestão de tratamento dos pacientes com disfunções pélvicas. [11]

3.5.1. Exames físicos

A examinação clínica inicial inclui uma série de exames físicos para possível identificação de indicadores de incontinência ou prolapso. Estes exames incluem investigação neurológica e pélvica. O exame neurológico permite avaliar a função motora e sensorial, e o exame pélvico deve incluir [13]:

- Inspeção sobre atrofia dos lábios e vagina, pois pode indicar um défice de estrogénio;
- Examinação bimanual é importante para se ter acesso aos locais que provocam dor;
- Procedimento do exame retal para avaliar a integridade do músculo levantador do ânus;
- Observação de perdas involuntárias de urina;
- Avaliação do tipo de prolapso genital;
- Examinação uretral por palpação da vagina anterior e uretra para investigar sobre a atrofia ou a presença de estruturas duras;

3.5.2. Testes urodinâmicos

A urodinâmica permite o estudo e definição da função vesical e uretral. Existem vários testes que podem ser realizados: urofluxometria, cistometria, estudos pressão/fluxo, eletromiografia do esfíncter uretral; vídeo-urodinâmica; testes de pressão vazamento de Valssalva e profilometria da pressão uretral. [12]

Por exemplo, para detetar a pressão de vazamento de Valssalva, o preenchimento da bexiga deve ser igual a 300mL durante o teste e o paciente é imposto a realizar a manobra de Valssalva enquanto a pressão abdominal é medida por meio de um cateter retal. A pressão determinada quando ocorre vazamento de urina é indicativa do tipo de sintoma associado à incontinência [12]:

- Se for superior a 100cmH₂O, a incontinência deve-se a uma redução de suporte do colo vesical;

- Se for inferior a 60cmH₂O, existe uma anormalidade do esfíncter uretral interno.

Assim, os testes urodinâmicos existentes permitem fornecer indicações sobre [12]:

- Hiperatividade do músculo detrusor e sua função durante a micção;
- Competência uretral para retenção urinária;
- Obstrução do colo vesical.

3.5.3. Imagiologia

As técnicas imagiológicas são bastante recomendadas em situações mais complicadas, sendo que permitem uma melhor acessibilidade à anatomia e função de todas as estruturas pélvicas.

A evolução das técnicas de imagem de ressonância magnética permitiu chegar à imagiologia de ressonância magnética dinâmica. Esta permite observar o movimento das estruturas do pavimento pélvico, providenciando informações essenciais que refletem patologias ao nível dos músculos e ligamentos. Normalmente o exame de diagnóstico divide-se em três fases: aperto dos músculos anais e elevação do pavimento pélvico para aceder à contração do músculo puborretal; simulação de evacuação para examinar disfunções retais e prolapso dos órgãos e execução da manobra de Vassalava para deteção de enterocelos e cistocelos [11]. Em 2002, Constantinou *et al* [20] recorreram à ressonância magnética dinâmica para investigar sobre o movimento das estruturas do pavimento pélvico em situações de esforço. Concluíram que, em resultado de uma contração voluntária, o deslocamento da bexiga, uretra e da vagina é maior nas mulheres mais novas. Em mulheres de maior idade, a falta de movimento pode resultar de uma diminuição da força muscular, de fatores neuronais ou por preenchimento de espaços com gordura.

A técnica de ultrassonografia também é utilizada para adquirir informações do pavimento pélvico. Por aplicação do transdutor sobre a sínfase púbica obtém-se uma imagem que inclui a uretra, colo vesical, vagina, colo uterino e o canal anal. Para o estudo a função retal, recorre-se à endosonografia anal que permite diagnosticar disfunções dos esfíncteres interno e externo. Este tipo de sonografia utiliza transdutores de elevada resolução e permite uma visualização de 360° dos tecidos perianais [21]. Por exemplo, em 2004, Morkved *et al* [22] investigaram, através de ultrassom perineal, sobre a funcionalidade dos músculos do pavimento pélvico em mulheres continentemente e incontinentemente, por medição da pressão de aperto vaginal e da espessura dos músculos superficiais (membrana perineal). A pressão de aperto vaginal foi superior nas mulheres saudáveis e a espessura muscular, nomeadamente, no músculo levantador do ânus, é inferior para mulheres continentemente.

A técnica de radiografia convencional não é muito utilizada uma vez que as informações que fornece são insuficientes para diferenciar os tipos de tecidos pélvicos como gordura, músculo e estruturas de suporte [23].

3.6. TRATAMENTOS

3.6.1. TRATAMENTOS CONSERVATIVOS

Atualmente existem alguns tratamentos que não incluem nenhuma intervenção cirúrgica e que devem ser realizados, pelo menos alguns deles, antes de se proceder a uma cirurgia [16] [18]:

- Educação dos pacientes para um melhor entendimento das patologias;
- Intervenções no estilo de vida dos pacientes;
- Dieta alimentar;
- Tratamentos farmacológicos para incontinência urinária e fecal que atuam sobre processos de controlo nervoso, na contração muscular e, no caso da incontinência fecal, na consistência das fezes;
- No caso do prolapso genital, recorrem-se a pessários, que são dispositivos que se colocam na vagina para restabelecer as estruturas prolapsadas para a sua posição anatômica inicial;
- Exercícios de treino dos músculos do pavimento pélvico por contração repetitiva para melhorar o tónus muscular. A contração voluntária é feita por elevação e fecho conjunto dos orifícios anal, vaginal e uretral;
- Biofeedback - consiste na utilização de uma sonda ligada a um computador que permite o controlo da atividade fisiológica dos músculos pélvicos, nomeadamente, da contração voluntária dos esfíncteres. Inclui treinos de sensibilidade, força e coordenação [17, 24].

3.6.2. TRATAMENTOS CIRÚRGICOS

Se as medidas de acção dos tratamentos não conservativos não resolverem a disfuncionalidade, recorre-se a tratamentos cirúrgicos. A cirurgia reconstrutiva compreende diferentes técnicas que permitem resolver situações em que o tecido danificado é facilmente identificado. Estima-se que a necessidade de, durante a vida, se recorrer a uma cirurgia ginecológica seja cerca de 11%. A identificação da estrutura responsável pela disfunção não é um processo simples sendo que, em 50% dos casos é necessário recorrer a uma segunda cirurgia [1]. Existem mais de 200 tipos de diferentes procedimentos cirúrgicos para tratamentos de disfunções pélvicas. As técnicas mais invasivas envolvem maiores incisões cirúrgicas e uma maior incidência de disfunções pós-cirúrgicas (7-35%). Por exemplo, em procedimentos cirúrgicos muito próximas da bexiga (reparação de um rectocelo) verifica-se um risco de 13% de se verificar anormalidades na retenção urinária [18]. Para evitar as complicações após intervenção cirúrgica, existem várias técnicas minimamente invasivas que são vastamente utilizadas:

Redes

A utilização de redes é muito frequente para tratamento do prolapso genital, mas também pode ser utilizadas para prevenir a incontinência urinária. Estas redes possibilitam o suporte permanente dos tecidos pélvicos que estejam enfraquecidos. A fixação destas próteses sintéticas é feita pelo encapsulamento de colagénio em resposta a sinais imunológicos do organismo. Em próteses não-absorvíveis, os ligamentos e fâscias formadas pelo colagénio vão ser continuamente renovadas pelo sistema imunológico, o que permite que se mantenha a qualidade dos tecidos novos [25].

A implantação de materiais sintéticos exige um conhecimento profundo das propriedades, como a porosidade e o tamanho dos poros, para que se evite possíveis complicações. Atualmente, os materiais mais usados são de polipropileno, polietileno, poliéster e politetrafluoroetileno (PTFE). As redes de polipropileno são as mais

utilizadas na correção do prolapso genital, e têm uma eficácia entre os 70%-100% [25].

Slings

Existem procedimentos cirúrgicos que envolvem a colocação de *slings* (como fitas adesivas) em torno da uretra, que depois são fixadas à parede abdominal. Isto permite a elevação da uretra para a sua posição anatómica normal e que se mantenha a pressão necessária para a retenção urinária. Existem *slings* de vários materiais: podem ser autólogos, de origem animal ou cadavérica e sintéticos. As complicações mais frequentes associadas a este tipo de intervenção são infecções urinárias e distúrbios intestinais. A Figura 5 representa alguns tipos de materiais utilizados e a respetiva eficácia [26].

Type of sling	Author, year (ref.)	Sling material	n	Mean follow-up, months (range)	% success
Autologous	Mason, 1996 (95)	Rectus	63	12 (3–27)	94
	Zaragoza, 1996 (23)	Rectus	60	25 (11–34)	100
	Barbalias, 1997 (96)	Rectus	32	32 (30–38)	66
	Hassouna, 1999 (98)	Rectus	82	41 (6–96)	89
	Kreder, 1996 (24)	Rectus/FL	27	22 (9–32)	96
	Haab, 1997 (81)	Rectus/FL	37	48 (24–60)	73
	Wright, 1998 (99)	Rectus/FL	33	16 (15–28)	94
	Richter, 2001 (100)	Rectus/FL	57	42 (0.5–134)	84
	Govier, 1997 (101)	FL	30	14 (3–33)	70
	Synthetic	Barbalias, 1997 (97)	PTFE	24	30
Staskin, 1997 (102)		PTFE	122	24	88
Yamada, 2001 (103)		PTFE	72	67 (50–75)	78
Morgan, 1985 (104)		Marlex	208	>60	77
Rezapour, 2001 (40)		TVT	49	48	86
Allograft	Wright, 1998 (99)	Cad FL	59	10	98
	Ruiz, 2000 (105)	Cad FL	105	18	93

FL, Fascia lata; PTFE, polytetrafluoroethylene; TVT, transvaginal tape.

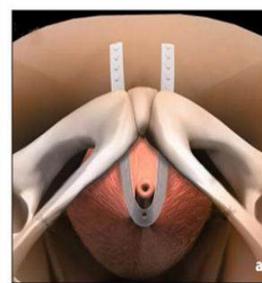


Figura 5 – Resultados obtidos na utilização de slings no tratamento de incontinência urinária.[26] a) representa como é colocada a *sling* [12].

Esfínteres artificiais

Se a causa de incontinência urinária ou fecal for resultado da disfuncionalidade dos esfínteres pode-se recorrer à utilização de esfínteres artificiais. Este tipo de dispositivo fornece uma pressão pré-determinada que mantém os esfínteres fechados [18]. Em 2011, Vayleux *et al* [27] estudaram a eficácia e os fatores de riscos de falha e complicações associados à utilização de um esfíncter urinário artificial, verificando que 74% das mulheres apresentavam condições de continência, e que a percentagem de insucesso da técnica foi de 24%, essencialmente para mulheres com idade superior a 70 anos ou que já tinha, recorrido a uma intervenção de reparação cirúrgica. Noutro estudo de 2010, que decorreu numa instituição, sobre a implantação de esfínteres anais artificiais (Figura 6), Michot *et al* [28] obtiveram 72% de sucesso de implantação e a principal causa de falha de dispositivo foi a ocorrência de eventos infeção.

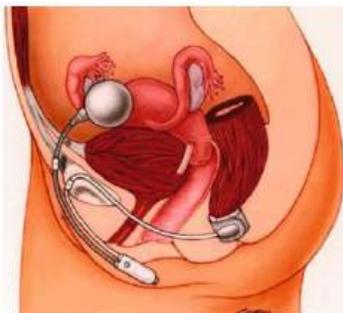


Figura 6 – Representação esquemática de implantação de um esfíncter anal artificial [26].

4. BIOMECÂNICA DA CAVIDADE PÉLVICA

A biomecânica é a área de estudo que se preocupa em explicar a estrutura e função dos sistemas biológicos, por exemplo, de estruturas anatómicas, quando estes estão sujeitos a um conjunto de forças internas e externas. A evolução do conhecimento na área da biomecânica da cavidade pélvica da mulher tem permitido uma melhor compreensão das funções dos tecidos, das condições patológicas e na melhoria dos tratamentos terapêuticos atualmente usados.

4.1. DINÂMICA DO PAVIMENTO PÉLVICO

Tal como já foi referido, os músculos do pavimento pélvico são formados por fibras com um papel essencial no suporte das estruturas intra-abdominais e na manutenção da forma dos órgãos pélvicos e da função dos orifícios. A ação coordenada dos músculos permite a adaptação dos órgãos, por movimentos posteriores e anteriores, a um aumento da pressão intra-abdominal. Para além disso, possibilita o controlo da abertura e fecho da uretra e ânus [2].

4.1.1. ABERTURA E FECHO DA URETRA

A abertura e fecho da uretra é determinada pela contração e relaxamento do músculo pubococcígeo. A contração deste e dos ligamentos pubouretrais, possibilita a sustentação da uretra e permitem que o músculo levantador do ânus e o músculo transverso profundo exerçam uma força extensiva que mantém a uretra proximal fechada. Durante o relaxamento, o músculo levantador e o proximal transverso mantêm, durante o esforço, a força de atuação o que permite a abertura do orifício [2]. (Figura 7)

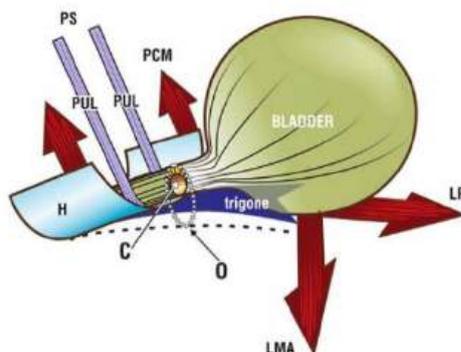


Figura 7 – Representação esquemática da abertura e fecho uretral. (Legenda: PCM – músculo pubococcígeo; LP – músculo levantador do ânus; LMA – músculo transverso profundo; PUL – ligamentos pubouretrais; H- posição “Hammock”; C- cavidade uretral; O- abertura) [2].

A uretra possui três estados de configuração [2]:

- **Fechada durante relaxamento:** a contração muscular e a elasticidade vaginal permitem manter a uretra fechada. A vaginal distal é sujeita a tensões provenientes da parte anterior do músculo pubococcígeo, proximal do músculo levantador do ânus e longitudinal do músculo transverso profundo. (esquema A, Figura 8)

- **Fechada durante esforço:** a parte distal da vaginal a uretra movimentam-se posteriormente por ação do músculo pubococcígeo. A força do músculo transverso profundo atua diretamente contra os ligamentos uterosacrais e a força do pubococcígeo e do levantador do ânus atuam contra os ligamentos pubouretrais. Em resultado, a vagina transmite forças musculares suficientes para fechar a uretra proximal e o colo vesical. (esquema B, Figura 8)
- **Aberta durante a micção:** os recetores do reflexo de micção determinam a inexistência da força exercida pelo pubococcígeo, permitindo que a força do levantador do ânus e do transverso profundo abram o trato urinário.

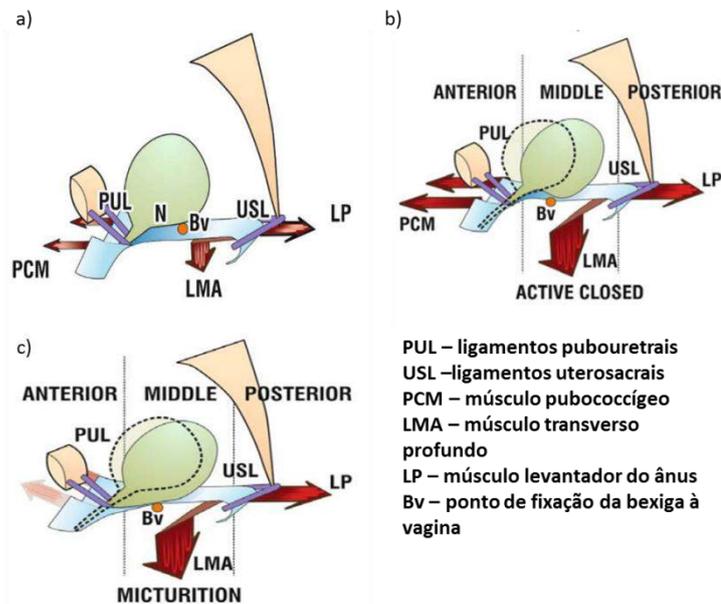


Figura 8 – Representação esquemática das situações dos três estados de configuração uretral: fechada durante relaxamento (a); fechada durante esforço (b) e aberta durante micção (c). As linhas a tracejado representam a posição final da bexiga em cada uma das situações e as estruturas amareladas representam estruturas ósseas (sínfise púbica e sacro) [2].

4.1.2. ABERTURA E FECHO ANORRETAL

Em 2008, Petros *et al* [29] concluíram que, nas mulheres a existência de forças direcionais são responsáveis pela evacuação e continência fecal. No processo de abertura e fecho retal estão envolvidas quatro forças direcionais resultantes da ação do músculo puborretal, dos ligamentos pubouretrais, dos ligamentos uterosacrais e do músculo levantador do ânus. No processo de defecação apenas três forças estão envolvidas: levantador do ânus, músculo transverso profundo e pubococcígeo. Durante o fecho, o levantador do ânus empurra anteriormente o reto na direção do ânus. Depois de estendido, o músculo transverso exerce uma força na direção inferior, originando um ângulo ano-rectal que define o fecho anal. Durante a evacuação, ou seja, abertura do orifício, o músculo puborretal mantém-se relaxado, e as três forças existentes definem a abertura do ângulo anorretal permitindo a contração do reto para evacuação [29]. (Figura 9)

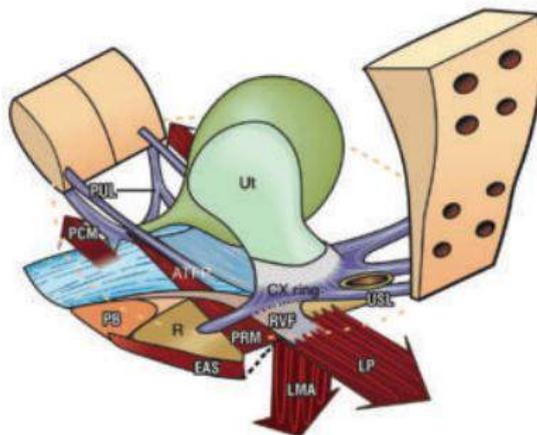


Figura 9 - Representação esquemática do processo de abertura e fecho do ânus. (Legenda: PCM – músculo pubococcígeo; LP – músculo levantador do ânus; LMA – músculo transverso profundo; PUL – ligamentos pubouretrais; RVF – fáscia retovaginal; EAS – esfíncter anal externo; PRM – músculo puborretal). [29]

4.1.3. COMPORTAMENTO DO PAVIMENTO PÉLVICO DURANTE A MANOBRA DE VALSSALVA

A manobra de Valssalva consiste num aumento da pressão intra-abdominal enquanto os músculos do pavimento pélvico permanecem relaxados. O aumento conduz a uma descida do pavimento pélvico, ao alargamento do hiato anogenital, à distensão do ligamento anococcígeo e ao movimento posterior dos órgãos pélvicos. Na porção anterior há uma rotação da uretra e bexiga em relação à sínfise púbica (Figura 10) e, na porção intermédia, a vagina e o útero movem-se posteriormente. Durante a descida genital, a vagina ocupa uma posição superior e o útero posiciona-se verticalmente ao longo do eixo longitudinal da vagina, podendo descer com a vagina ou para o exterior do pavimento pélvico (prolapso). Posteriormente pode surgir uma proeminência na parede vaginal resultante do movimento da parede anterior retal. Durante a evacuação, se o músculo puborretal não permanecer relaxado durante a manobra, o reto pode ser comprimido, entre o ligamento anococcígeo e o útero ou o peritoneu, levando à obstrução da saída das fezes [10, 21].

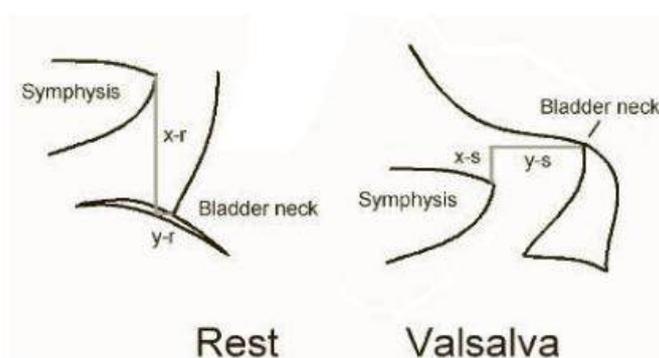


Figura 10 – Representação esquemática para ilustração da rotação da uretra e bexiga em relação à sínfise púbica [21].

4.2. PROPRIEDADES MORFOLÓGICAS E MECÂNICAS DOS TECIDOS PÉLVICOS

Atualmente, o estudo de condições fisiopatológicas das disfunções pélvicas passa também importa-se com as características morfológicas e mecânicas dos tecidos responsáveis pelo suporte pélvico e dos respectivos constituintes (colagénio e elastina, por exemplo) [12].

Ulmsten *et al* [30], em 1987, investigaram sobre alterações bioquímicas dos tecidos conjuntivos entre mulheres continentas e mulheres que sofriam de IUE. Como resultado, verificou-se que as mulheres que sofriam de disfunção por IUE tinham menos 40% de colagénio nos tecidos.

Em 1990, Sayer *et al* [31] examinaram mulheres com duas condições patológicas - prolapso do colo vesical e IUE – e mostraram que estas apresentavam uma alteração nas ligações entre as cadeias de colagénio na fáscia pubocervical quando comparadas com mulheres que apresentam apenas IUE.

Em 1994, Falconer *et al* [32] realizaram biópsias a amostras da pele de mulheres em pós-menopausa e verificaram que os fibroblastos em mulheres com incontinência urinária produziam menos 30% de colagénio, suportando a hipótese de que a IUE deve-se à alteração do metabolismo dos tecidos conjuntivos.

FitzGerald *et al* [33], 2000, verificaram que entre mulheres continentas e incontinentes não existem alterações no diâmetro das fibras de colagénio, apesar de se encontrar diferenças morfológicas nas fibras entre situações de continência e incontinência.

Em 2003, Janda *et al* [34] procederam à identificação de parâmetros morfológicos das estruturas do pavimento pélvico num cadáver referente a uma mulher de 72 anos. Através do recurso a marcos de referência numa análise na própria amostra e em imagem de ressonância magnética nuclear, determinaram-se informações sobre o tamanho e orientação das fibras musculares de 22 estruturas do diafragma pélvico. Cosson *et al* [35] estudaram a força dos ligamentos pélvicos em amostras de cadáveres com diferentes condições de armazenamento. Dos ligamentos extraídos obtiveram-se valores de força entre 20N e 200N, sendo que o mais forte foi o ligamento prevertebral (180-200N). O ligamento sacroespinhoso e o arco tendíneo da fáscia pélvica apresentaram os menores valores de força entre os 20-30N.

Em 2011, Martins *et al* [36] investigaram sobre o comportamento mecânico uniaxial da bexiga feminina. Nos testes realizados, o tecido da bexiga apresentou um módulo de elasticidade médio de 1,9 MPa e uma tensão máxima média de 0.9 MPa. Uma análise univariada permitiu inferir que o módulo de elasticidade é superior para mulheres com idade inferior a 50 anos, no entanto não se verificou nenhuma alteração da tensão máxima com a idade. Para além disso, não se encontraram nenhuma alteração nos parâmetros em análise segundo o índice de massa corporal ou para condições pré e pós-menopausa.

No início de 2012, Rubod *et al* [37] explicaram características biomecânicas da vagina, bexiga e reto a partir de amostras de cadáveres sem historial clínico de prolapso genital. Conseguiram comprovar que os tecidos apresentam uma relação não linear entre tensão e deformação, assumindo um comportamento visco-hiperelástico. Quando sujeitos a elevados estados de deformação, a vagina apresentou uma maior rigidez e menor extensibilidade do que o reto, que por sua vez, apresentou maior

rigidez que a bexiga, que apresenta um comportamento mecânico anisotrópico. A deformação máxima atingida antes da rutura dos tecidos da vagina, reto e bexiga foram, respetivamente, 20%, 30% e 80%.

5. SIMULAÇÃO E MODELAÇÃO DA CAVIDADE PÉLVICA DA MULHER

A utilização de modelos numéricos precisos da cavidade pélvica da mulher vão, futuramente, permitir a planificação cirúrgica reconstrutiva pélvica por simulação das estruturas pélvicas e das respetivas funções. Isto permite o acesso ao tratamento mais controlado e robusto, diminuindo a necessidade de se recorrer, mais tarde, a novas cirurgias. Para a obtenção de modelos numéricos precisos e fiáveis é necessário que se obtenha uma descrição geométrica da anatomia da cavidade pélvica, assim como do comportamento dinâmico e mecânico das estruturas [4].

A construção de modelos de elementos finitos para estudo da cavidade pélvica vai possibilitar um aumento a qualidade dos modelos geométricos atualmente obtidos por ressonância magnética bidimensional e tridimensional [4]. A simulação de modelos de maior precisão vai fornecer ferramentas para simular, da forma mais realística, as estruturas pélvicas e os efeitos patológicos das disfunções. Atualmente, existem diversos *software* de simulação de modelos geométricos, sendo que o ABAQUS é uma das plataformas computacionais usadas.

A modelação geométrica, com base no método dos elementos finitos, e a simulação, no ABAQUS, possibilitam a obtenção de estados de deformação e tensão resultantes de forças envolvidas no suporte pélvico quando há movimento das estruturas induzido, por exemplo, pelo aumento da pressão intra-abdominal.

5.1. MODELAÇÃO – MÉTODO DO ELEMENTOS FINITOS

O modelo numérico de um complexo estrutural como a cavidade pélvica deve conter toda a informação necessária para a descrição das características relevantes desse elemento. O mais apropriado para a resolução de problemas de otimização é a decomposição do complexo em vários sub-problemas.

O método dos elementos finitos permite a resolução de problemas de engenharia, como é o caso da análise de tensões, através da simulação num computador. No MEF, um sistema é dividido em áreas planas, de geometria simples (triangular, tetraédrica, cúbica, etc), em função do tipo e dimensão do problema (uni, bi ou tri-dimensional). Os elementos estão ligados entre si por pontos designados por nós. O conjunto dos nós com os elementos forma uma malha de elementos finitos [38]. (Figura 11)

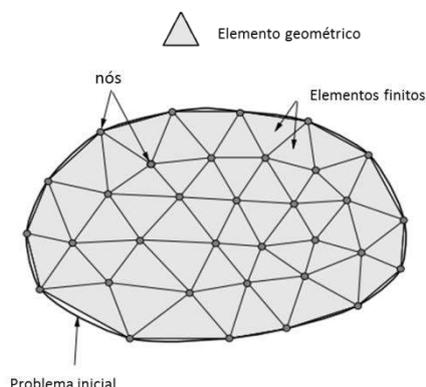


Figura 11 – Malha de elementos finitos para um problema bidimensional.

A formulação de MEF pode-se basear em diferentes métodos – método de deslocamentos, equilíbrio ou mistos. O método dos deslocamentos apresenta uma

maior simplicidade e associa-se a alguns conceitos - graus de liberdade, força, matriz de rigidez, condições fronteira [39].

O ponto forte da modelação de elementos finitos é a versatilidade. Pode ser aplicado em vários tipos de problemas (mecânicos, térmicos, elétricos, químicos, etc), uma vez que o sistema pode ter forma, forças e condições fronteira arbitrárias e o modelo pode misturar elementos de diferentes materiais, formas e propriedades. Para a obtenção de um resultado razoável, após a análise, é necessário um elevado conjunto de nós e, por isso, a utilização de ferramentas computacionais é essencial. Geralmente, a precisão da solução melhora com o aumento do número de elementos em que o sistema é dividido, no entanto, o tempo da resolução computacional aumenta [39].

A análise de MEF, nomeadamente uma análise de estados de deformação e tensão, envolve diferentes fases:

- Divisão da estrutura em elementos finitos por geração da malha;
- Formulação das propriedades dos elementos – na análise de estados de tensão, inclui a determinação das forças nodais associadas com a deformação dos elementos;
- Assemblagem dos elementos para obtenção do modelo de elementos finitos da estrutura;
- Aplicação das forças determinadas aos respetivos nós;
- Especificação das condições de suporte da estrutura – envolve a definição das condições fronteira por indicação dos graus de liberdade nodais;
- Resolução de equações lineares algébricas para determinação dos deslocamentos nodais;
- Cálculo das deformações nodais e os deslocamentos dos elementos por interpolação. A partir da deformação, determinação das tensões envolvidas.

5.2. SIMULAÇÃO – ABAQUS

O ABAQUS é um *software* de análise de modelos de elementos finitos. Fornece ferramentas de pré-processamento e pós-processamento para a análise de modelos. Possui um vasto conjunto de produtos - ABAQUS/CAE, ABAQUS/STANDARD, ABAQUS/EXPLICIT e ABAQUS/CFD.

O ABAQUS/CAE é um produto com um conjunto de ferramenta que fornece um número completo de opções de visualização que permite ao utilizador interpretar e compreender muito melhor os resultados de análises feitas. Para além disso, permite a importação de modelos em formato CAD e a respetiva análise e simulação numa interface gráfica com elevado grau de usabilidade [40].

5.3. MODELOS IMPLEMENTADOS E SIMULAÇÕES REALIZADAS NO ESTUDO DA CAVIDADE PÉLVICA DA MULHER

O modelo de Hill [41] reconheceu que a elasticidade dos tendões afeta a força gerada pelos músculos. Segundo Hill, o músculo-esquelético é constituído por três elementos – dois elementos elásticos (tendões e tecidos conetivos) e um contráctil (complexo actina-miosina). O elemento contráctil assume um comportamento ativo em série com um elemento elástico, e ambos estão em paralelo com o outro elemento

elástico. O elemento contráctil, quando está ativo, é responsável pela geração da força muscular.

Em 1998, Martins *et al* [42] desenvolveram um modelo numérico do comportamento ativo e passivo do músculo-esquelético para simulações de deformações, no espaço tridimensional. O modelo apresentado é uma generalização do modelo desenvolvido para o tecido cardíaco de Humphrey *et al* [43], mas compatível com um modelo unidimensional da atividade do músculo-esquelético.

Em 2005, d'Aulignac *et al* [44] procederam à simulação do músculo levantador do ânus com base no método dos elementos finitos. Para isso, utilizaram os pontos geométricos obtidos em [34] para modelação do músculo levantador do ânus. A partir do conjunto de pontos, os contornos do músculo foram definidos por interpolação de *spline*. Posteriormente, as curvas de contorno foram projetadas numa superfície NURBS (*Non-uniform rational B-spline*) através do *software Rhino*, obtendo-se o modelo geométrico do músculo levantador do ânus. As características relevantes do modelo são a incompressibilidade dos tecidos e a direção das fibras musculares. Manteve-se o modelo de Humphrey *et al* [43], e foi introduzido o comportamento ativo do músculo-esquelético. Em ABAQUS, foram aplicadas forças e contração muscular para a simulação do músculo levantador do ânus, onde se assumiu que os nós ligados aos ossos, ligamentos e ao cóccix estavam restritos em translação mas livres na rotação.

Em 2006, Martins *et al* [45] descreveram um modelo de elementos finitos para os músculos esqueléticos que incorpora todas as características dos três elementos típicos descritos no modelo de Hill. O modelo apresentado baseia-se nos estudos já descritos anteriormente, e teve como o objetivo a adaptação bi e tri-dimensional da análise unidimensional de deformação do modelo de Hill. Foram realizadas simulações com este modelo para o músculo levantador do ânus, tal como d'Aulignac *et al* realizaram, mas este foi sujeito a uma pressão interna e estimulação neurológica. Em 2009 [46], o mesmo modelo foi simulado para avaliar a influência das propriedades mecânicas do material no comportamento biomecânico do pavimento pélvico durante o parto.

Parente *et al* [4] estudaram a deformação do pavimento pélvico da mulher. Obtiveram-se as superfícies NURBS, tal como fizeram d'Aulignac *et al*. O modelo obtido inclui elementos do tipo casca e uma malha tri-dimensional com elementos hexaedros de 8 nós. Procederam à simulação da passagem do feto pela vagina, e para isso, além das malhas do feto e das estruturas esqueléticas, adicionaram novas malhas: uma que representa a ligações entre os músculos do pavimento pélvico e o cóccix, e outra que representa estruturas do tecido conjuntivo. Concluiu-se que através do modelo é possível perceber como é que ocorrências obstétricas podem influenciar a disfunção no músculo levantador do ânus.

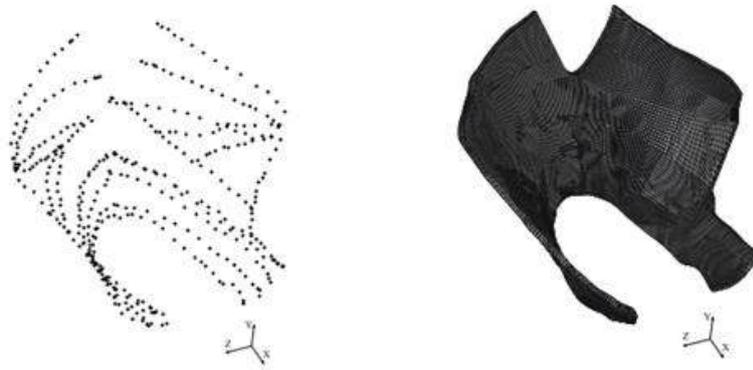


Figura 12 . Conjunto de pontos obtidos em Janda et al [34] (direita); Malha de elementos finitos obtido em Parente et al (esquerda).

Noakes *et al* [47], 2008, utilizaram um modelo anatomicamente realístico do pavimento pélvico e das estruturas relacionadas com o canal anal para avaliar a mecânica da continência fecal. Os dados para construção do modelo geométrico foram obtidos através de imagens de ressonância magnética de uma mulher de 32 anos, saudável e nulípara. O modelo final apresentava as estruturas na Figura 13. As simulações realizadas foram feitas aplicando uma deformação associada à manobra de Valssalva, e os deslocamentos obtidos para o músculo levantador do ânus foram comparados com os obtidos através de ressonância magnética dinâmica.

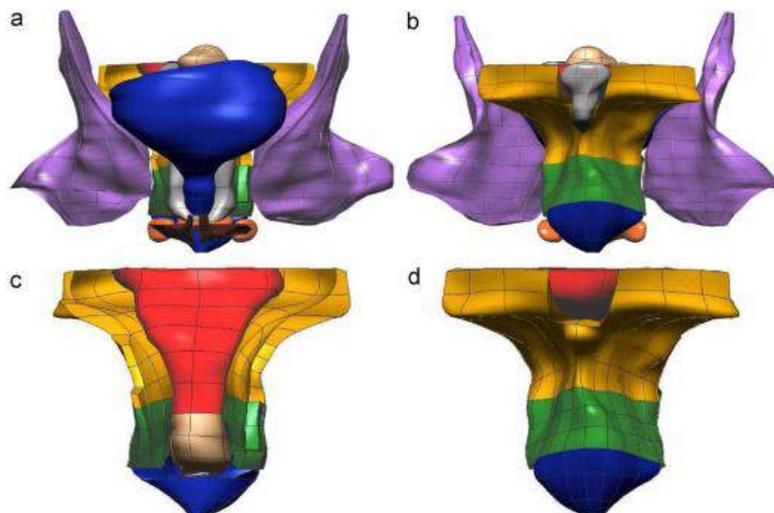


Figura 13 – Modelo obtido segundo Noakes et al. [47]

Em 2011, Roza *et al* [48] procederam à análise da contração do músculo puborrectal e pubococcígeo com base num modelo de elementos finitos obtido através de imagens de ressonância magnética. As condições de simulação incluíam uma pressão abdominal e restrições de movimentos nas regiões de articulação com o cóccix, arco tendíneo e fáschia do obturador

6. CONCLUSÃO

A cavidade pélvica da mulher é um sistema bastante complexo, constituído por estruturas ósseas e musculares, órgãos e por tecidos conjuntivos. Para fornecer o suporte e a organização estrutural e funcional adequada, todos os componentes interagem e articulam entre si. Em certas situações, como por exemplo, fenómenos obstétricos, a estabilidade do sistema pode ser comprometida, podendo originar condições suficientes para o desenvolvimento de uma disfunção pélvica.

Atualmente existem diversos estudos e teorias que explicam as condições fisiopatológicas das disfunções da cavidade pélvica da mulher. No entanto, todas as teorias têm os seus pontos fortes e fracos, existindo uma preocupação em validar os conceitos por elas definidos. Assim, é necessário um progresso na investigação do estudo da dinâmica das estruturas pélvicas, nomeadamente, as que são responsáveis pelos mecanismos de continência urinária e fecal, aquando da existência de uma pressão proveniente de um esforço (manobra de Valsalva).

As propriedades morfológicas e mecânicas dos tecidos pélvicos são características necessárias para que os modelos implementados se aproximem da realidade. Atualmente, as informações já obtidas são diminutas uma vez que a maioria advém de parâmetros determinados a partir de amostras cadavéricas.

A simulação de modelos da cavidade pélvica da mulher, com base no método dos elementos finitos, permite o acesso às estruturas pélvicas e análise das tensões e deformações a que estas estão sujeitas quando há envolvimento de forças. As simulações permitem uma melhor compreensão de disfunções pélvicas e também do que acontece com os tecidos, nomeadamente durante o parto. No entanto, dada a complexidade da cavidade pélvica da mulher, a maioria dos modelos e simulações já implementadas revelam resultados insuficientes, porque não detalham todos os músculos e estruturas do pavimento pélvico.

Com o progresso da investigação, espera-se que o diagnóstico das disfunções não se baseie nos sintomas mas na danificação dos tecidos. Por isso, estudos futuros, na área da biomecânica, devem-se preocupar em melhorar a precisão da definição das disfunções pélvicas através de simulações, o que poderá revolucionar a gestão dos pacientes relativamente à prevenção e ao tipo de tratamento mais adequado.

7. BIBLIOGRAFIA

1. Denman, M.A., et al., *Reoperation 10 years after surgically managed pelvic organ prolapse and urinary incontinence*. Am J Obstet Gynecol, 2008. **198**(5): p. 555 e1-5.
2. Petros, P., *The female pelvic floor: function, dysfunction and management according to the integral theory*2007: Springer.
3. Kenton, K. and E.R. Mueller, *The global burden of female pelvic floor disorders*. BJU International, 2006. **98**: p. 1-5.
4. Parente, M., et al., *Finite element studies of the deformation of the pelvic floor*. Ann N Y Acad Sci, 2007. **1101**: p. 316-34.
5. Corton, M.M., *Anatomy of the pelvis: How the pelvis is built for support*. Clinical Obstetrics and Gynecology, 2005. **48**(3): p. 611-626.
6. Netter, F.H., *Atlas of human anatomy*2006: Saunders/Elsevier.
7. Herschorn, S., *Female pelvic floor anatomy: the pelvic floor, supporting structures, and pelvic organs*. Rev Urol, 2004. **6 Suppl 5**: p. S2-S10.
8. Ashton-Miller, J.A. and J.O.L. Delancey, *Functional anatomy of the female pelvic floor*. Reproductive Biomechanics, 2007. **1101**: p. 266-296.
9. Pernoll, M.L. and R.C. Benson, *Benson & Pernoll's handbook of obstetrics & gynecology*2001: McGraw-Hill.
10. Baessler, K., et al., *Pelvic floor re-education: principles and practice*2008: Springer.
11. Stoker, J., et al., *Imaging Pelvic Floor Disorders*2008: Springer.
12. Santoro, G.A., P. Wiczorek, and C.I. Bartram, *Pelvic Floor Disorders: Imaging and Multidisciplinary Approach to Management*2010: Springer Verlag.
13. Davila, G.W., G.M. Ghoniem, and S.D. Wexner, *Pelvic floor dysfunction: a multidisciplinary approach*2006: Springer.
14. Cardozo, L. and D. Staskin, *Textbook of female urology and urogynaecology*2001: Isis Medical Media.
15. Lacima, G. and M. Espuna, *Patología del suelo pélvico*. Gastroenterol Hepatol, 2008. **31**(9): p. 587-95.
16. Chapple, C.R., K. Bo, and A.R.B. Smith, *Multidisciplinary Management of Female Pelvic Floor Disorders*2006: Churchill Livingstone.
17. Culligan, P.J. and R.P. Goldberg, *Urogynecology in Primary Care*2006: Springer.
18. Drutz, H.P., S. Herschorn, and N.E. Diamant, *Female Pelvic Medicine and Reconstructive Pelvic Surgery*2006: Springer.
19. Hunskaar S, B.K., Clark A, Lapitan MC, Nelson R, Sillén U, Thom D. , *Epidemiology of Urinary (UI) and Faecal (FI) Incontinence and Pelvic Organ Prolapse (POP)*. Health Publication Ltd, 2005. **1**: p. 255-312.
20. Constantinou, C.E., et al., *Determining the displacement of the pelvic floor and pelvic organs during voluntary contractions using magnetic resonance imaging in younger and older women*. BJU International, 2002. **90**(4): p. 408-414.
21. Dietz, H.P., L.P.J. Hoyte, and A.B. Steensma, *Atlas of Pelvic Floor Ultrasound*2007: Springer.
22. Morkved, S., et al., *Pelvic floor muscle strength and thickness in continent and incontinent nulliparous pregnant women*. Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunct, 2004. **15**(6): p. 384-9; discussion 390.
23. Smith, C.A., Witherow, R. O'N., *The assessment of female pelvic floor dysfunction*. BJU International, 2000. **85**(5): p. 8.
24. Norton, C. and M.A. Kamm, *Anal sphincter biofeedback and pelvic floor exercises for faecal incontinence in adults--a systematic review*. Aliment Pharmacol Ther, 2001. **15**(8): p. 1147-54.
25. Theobald, P.V., C.W. Zimmerman, and G.W. Davila, *Vaginal Prolapse Surgery: New Techniques*2011: Springer.

26. Zimmern, P.E., *Vaginal Surgery for Incontinence and Prolapse*2006: Springer.
27. Vayleux, B., et al., *Female urinary incontinence and artificial urinary sphincter: study of efficacy and risk factors for failure and complications*. Eur Urol, 2011. **59**(6): p. 1048-53.
28. Michot, F., et al., *Artificial anal sphincter for severe fecal incontinence implanted by a transvaginal approach: experience with 32 patients treated at one institution*. Dis Colon Rectum, 2010. **53**(8): p. 1155-60.
29. Petros, P., Swash, M., *Experimental Study No. 1: Directional muscle forces activate ano-rectal continence and defecation in the female*. Pelviperineology, 2008. **27**: p. 94-97.
30. Ulmsten, U., et al., *Different biochemical composition of connective tissue in continent and stress incontinent women*. Acta Obstet Gynecol Scand, 1987. **66**(5): p. 455-7.
31. TR Sayer, J.D., GL Hosker, *A study of paraurethral connective tissue in women with stress incontinence of urine*. Neurourology and Urodynamics, 1990. **9**.
32. Falconer, C., et al., *Decreased collagen synthesis in stress-incontinent women*. Obstet Gynecol, 1994. **84**(4): p. 583-6.
33. FitzGerald, M.P., et al., *Urethral collagen morphologic characteristics among women with genuine stress incontinence*. Am J Obstet Gynecol, 2000. **182**(6): p. 1565-1572.
34. Janda, Š., F.C.T. van der Helm, and S.B. de Blok, *Measuring morphological parameters of the pelvic floor for finite element modelling purposes*. Journal of Biomechanics, 2003. **36**(6): p. 749-757.
35. Cosson, M., et al., *A study of pelvic ligament strength*. Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol, 2003. **109**(1): p. 80-7.
36. Martins, P.A., et al., *Uniaxial mechanical behavior of the human female bladder*. Int Urogynecol J, 2011. **22**(8): p. 991-5.
37. Rubod, C., et al., *Biomechanical Properties of Human Pelvic Organs*. Urology, 2012.
38. Oomens, C., M. Brekelmans, and F. Baaijens, *Biomechanics: Concepts and Computation*2010: Cambridge University Press.
39. Cook, R.D., *Concepts and applications of finite element analysis*2001: Wiley.
40. 10-01-2012]; Available from: http://www.simulia.com/products/abaqus_cae.html.
41. Fung, Y., *Biomechanics: mechanical properties of living tissues*1993: Springer-Verlag.
42. Martins, J.A.C., et al., *A numerical model of passive and active behavior of skeletal muscles*. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 1998. **151**(3-4): p. 419-433.
43. Humphrey, J.D. and F.C. Yin, *On constitutive relations and finite deformations of passive cardiac tissue: I. A pseudostrain-energy function*. J Biomech Eng, 1987. **109**(4): p. 298-304.
44. d'Aulignac, D., et al., *A shell finite element model of the pelvic floor muscles*. Comput Methods Biomech Biomed Engin, 2005. **8**(5): p. 339-47.
45. Martins, J.A.C., M.P.M. Pato, and E.B. Pires, *A finite element model of skeletal muscles*. Virtual and Physical Prototyping, 2006. **1**(3): p. 159-170.
46. Parente, M.P., et al., *The influence of the material properties on the biomechanical behavior of the pelvic floor muscles during vaginal delivery*. J Biomech, 2009. **42**(9): p. 1301-6.
47. Noakes, K.F., et al., *Subject specific finite elasticity simulations of the pelvic floor*. J Biomech, 2008. **41**(14): p. 3060-5.
48. Roza, T., Araújo, M., Mascarenhas, T., Loureiro, J., Parente, M., Natal, R., *Analysis of the contraction of the pubovisceral muscle based on a computational model*. Portuguese Journal of Sport Sciences, 2011. **11**: p. 797-800.