

03-011

### DESIGN, CONSTRUCTION AND VALIDATION OF A CANE TO PREVENT FALLS

Carvalho, Daniela<sup>(1)</sup>; Rodrigues De Seabra, Eurico Augusto<sup>(1)</sup>; Santos, Cristina<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Universidade do Minho

The present article depicts whole work relates with the development of the mechanical project for the conception and design of an innovative cane, whose functionality goes by having the functionality of reducing the probability of the user himself falling.

A great percentage of falls exists when the cane is used, in spite of its main objective to be to give support to the user. The cane is a common and plenty object known by the people and it should have a function more relevance in the life of these, that is, to prevent the falls better. With the existence of several technology types it is incomprehensible to verify that the human gait aids more available on the market do not provide more safety.

It was verified that the user when is in unbalance support more weight in the cane, for consequence, the user may fall due to the support lack. For not happen that, it was concluded by the authors that the best solution would be to fasten the base of the cane to the floor when the user felt in unbalance. Like this, in this work, it was conceived a prototype that fix to the floor through vacuum suckers.

**Keywords:** *Cane; Technical Aids; Human Gait; Mechanical Design*

### PROJETO, CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO DE UMA BENGALA ANTIQUEDA

O presente artigo relata todo o trabalho de desenvolvimento do projeto mecânico que foi realizado para a conceção, projeto, construção e validação de uma bengala inovadora, cuja funcionalidade passa por ter a funcionalidade de diminuir a probabilidade de ocorrência de quedas do utilizador.

Existe uma grande percentagem de quedas quando a bengala é utilizada, apesar do seu objetivo principal ser dar suporte ao utilizador. A bengala é um objeto comum e bastante conhecido pelas pessoas e devia ter uma função mais impactante na vida destas, isto é, prevenir melhor as quedas dos que a usam. Com a existência de vários tipos de tecnologia é um bocado incompreensível verificar que estes auxiliares de marcha não evoluírem para um equipamento que pudesse providenciar mais segurança.

Verificou-se que o utilizador quando está em desequilíbrio apoia-se em demasia na bengala fazendo-a cair, por consequência, dá-se a queda do utilizador devido à falta de apoio. Para não acontecer essa ausência de suporte, concluiu-se que a melhor solução seria fixar a base da bengala ao solo quando o utilizador se sentisse em desequilíbrio. Assim, no âmbito deste trabalho que neste artigo se relata, foi concebido um protótipo que se fixa ao solo por meio de ventosas.

**Palabras clave:** *Bengala; Ajuda Técnica; Marcha Humana; Projeto Mecânico*

Correspondencia: Eurico Seabra; eseabra@dem.uminho.pt



©2018 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## 1. Introdução

Quando se faz uma pesquisa sobre bengalas é-se deparado com estudos e documentos que indicam que, apesar de a bengala ser um objeto de ajuda à locomoção, existe ainda assim uma grande percentagem de quedas quando esta é utilizada, sendo que, as ocorrências destes acidentes podem originar consequências graves na saúde do humano.

Daí concluiu-se a necessidade de conceber e projetar uma bengala que pudesse evitar essas quedas e assim tornar-se num objeto mais confiável pelo utilizador.

## 2. Auxiliares de marcha

O uso incorreto dos auxiliares de marcha origina um grande número de quedas e por isso pretende-se analisar os equipamentos que permitem acontecer estes acidentes e averiguar se existem produtos inovadores que pretendem evitá-los.

Existe uma grande gama de equipamentos sendo os mais comuns as bengalas e os andarilhos. Como ilustra a figura 1, dentro da componente bengalas existem as de um apoio (a), com mais de um apoio (b) e com rodas (c).

**Figura 1: Tipos de bengala: (a) bengala de um apoio; (b) bengala com mais de um apoio; (c) bengala com rodas (Raktem, 2017; Hatem, 2017)**



As bengalas com um apoio são ideais para pacientes com artrose do quadril e joelho (Hatem, 2017). Numa fase de recuperação pós-operatória é necessário que o paciente, sempre que a utilize, tenha apoio de terceiros. As bengalas de quatro apoios aumentam a base de suporte permitindo assim uma maior estabilidade. Têm também a vantagem de se manterem em pé quando largadas. Uma das suas grandes desvantagens é a necessidade de apoiar os quatro apoios ao mesmo tempo no solo, para não criar nenhum momento e assim ser evitado o desequilíbrio (Bateni e Maki, 2005; Faruqi e Jaeblyon, 2010).

Conforme apresentado na figura 2, no tipo de auxiliar de marcha, designado por andarilho, existem: sem rodas (a), com rodas dianteiras (b) e com quatro rodas (c).

O andarilho sem rodas é o mais estável, porém pode criar dificuldade para aqueles que não têm força nos membros superiores (Bradley e Hernandez, 2011; Hatem, 2017). Como resposta a esse problema existem os andarilhos com rodas dianteiras, que por sua vez oferecem menor estabilidade se não for usado corretamente. Por último tem-se o andarilho com quatro rodas que são para pacientes mais ativos que não necessitam do dispositivo para apoiar o peso (Salminen *et al*, 2009).

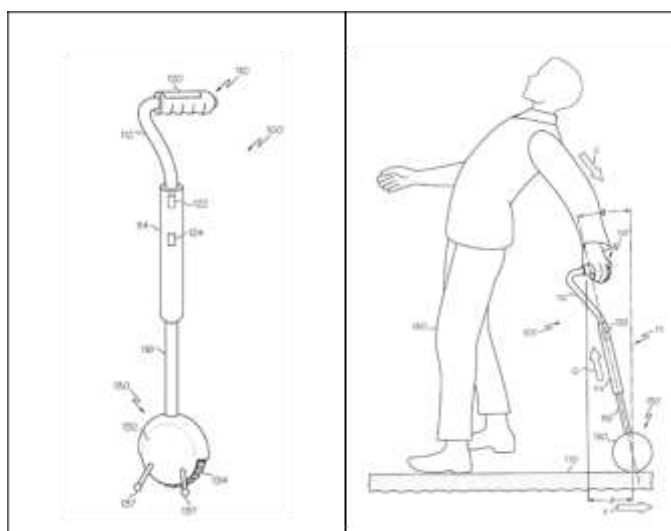
Nenhum dos dispositivos referidos anteriormente oferecem realmente a componente antiqueda.

**Figura 2: Vários tipos de andarilhos: (a) andarilho sem rodas; (b) andarilho com rodas dianteiras; (c) andarilho com 4 rodas (Hatem, 2017)**



Na pesquisa das patentes verificou-se muitas ideias fora do comum. Um desses exemplos está representado na figura 3, que foi retirada de uma patente (Ota *et al*, 2013). Esta sugere uma bengala mecânica que coloca o mastro sempre na vertical com o objetivo de acompanhar os utilizadores na sua locomoção e mantê-los sempre na posição correta.

**Figura 3: Patente americana 8,418,705 B2 (Ota *et al*, 2013)**



Esta bengala tem o mesmo funcionamento que um pêndulo invertido em que os principais componentes são uma roda omnidirecional, um sensor que controla a orientação da bengala, um controlador e um motor na roda. O benefício deste equipamento, em comparação com os que possuem rodas, é que este acompanha o utilizador ao contrário dos outros que podem fugir do controlo do mesmo.

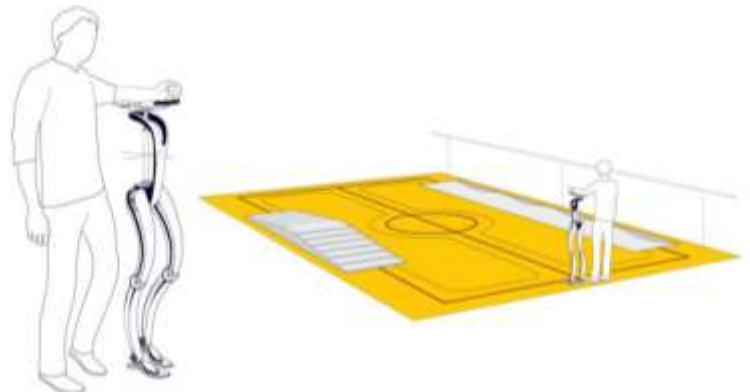
Outro produto inovador está apresentado na figura 4, que representa o projeto de uma bengala criada por Markus Kurkowski (YankoDesign, 2017). Com este equipamento o utilizador é encorajado a caminhar corretamente uma vez que a bengala imita a locomoção de um humano. Esta ideia conceptual não é muito específica quanto aos componentes utilizados, foi apenas registada pelo conceito de imitar a marcha de um humano.

Em nenhuma patente ou dispositivo existente no mercado estão descritos auxiliares de marcha que impeçam a queda do utilizador.

Foi observado que no momento da queda tanto o utilizador como o dispositivo que este utiliza, bengala ou andarilho, ambos caem no solo ao mesmo tempo. Por isso a solução de

colocar ventosas como meio de fixação do dispositivo ao solo, parece de facto uma boa solução para prevenir a queda do utilizador. Na pesquisa das patentes e dos dispositivos existentes no mercado confirmou-se que não existe este tipo de produtos a utilizar ventosas, portanto a utilização destas daria sem dúvida asas a um produto inovador.

**Figura 4: Ilustração do sistema do Designer Markus Kurkowski (YankoDesign, 2017)**



### 3. Projeto conceptual da bengala anti quedas

Existem algumas opções possíveis para o sistema anti queda que se podem dividir nos que usam ou não a tecnologia de vácuo. As possíveis soluções usando a tecnologia de vácuo são as ventosas com efeito de Venturi, a cúpula com um motor elétrico ligado a uma turbina centrífuga e utilização de ventosas com reservatórios de vácuo. As soluções restantes que não usam vácuo são: a transformação da bengala em tripé, e o uso de cola removível. Estas soluções apresentam lacunas e/ou características indesejáveis, as quais são de seguida explicadas.

A tecnologia das ventosas com efeito de Venturi é a mais aplicada na indústria quando se exigem elevados níveis de força. Esta opção requer um sistema de elevadas dimensões, pois são necessários vários componentes, incluindo um compressor para fornecer ar comprimido a um tubo de secções variáveis.

As ventosas com reservatórios de vácuo têm a vantagem de não precisarem de um motor a funcionar continuamente, e de a evacuação de ar das cúpulas ser instantânea. Porém é necessário monitorizar constantemente o nível de vácuo dos reservatórios pois à mínima fuga o sistema deixa de funcionar.

Quanto à cúpula com um motor elétrico ligado a uma turbina centrífuga, seria necessário um sistema de grande volume, uma vez que, para se gerar o vácuo necessário para este projeto, seria necessária uma turbina de grandes dimensões e consequentemente um motor com um binário suficiente para rodá-la.

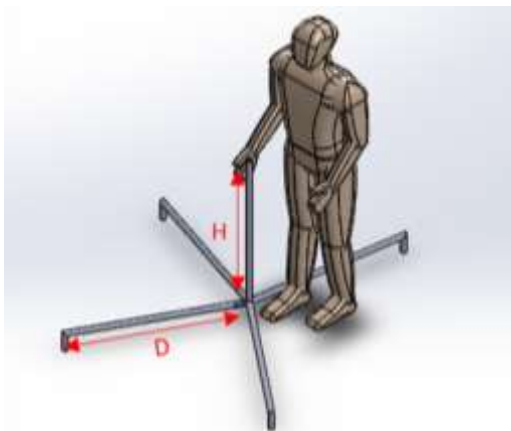
A bengala que se transforma em tripé ou quadrupede não é desejável, porque para oferecer a componente anti queda, as suas “pernas” teriam de ter pelo menos um metro (D) considerando que o mastro também possui o mesmo valor (H), figura 5.

Quanto à cola removível seria uma opção inválida no que toca ao tempo de atuação, já que envolve processos de solidificação da cola líquida para ligar a ponta da bengala ao solo.

Uma outra solução possível para efetuar uma bengala anti queda consiste na utilização de um motor diafragma ligado ao reservatório e às ventosas. Esta opção complementa o uso dos reservatórios, que como já foi referido, o seu principal problema seria em monitorizar o nível de vácuo do sistema. Como solução pode-se proceder à ligação dos reservatórios a um motor de pequenas dimensões que evacue constantemente o ar. O motor diafragma trabalha a corrente contínua e funciona permanentemente, enquanto a bengala estiver a ser utilizada, no seu veio rotativo está acoplado uma biela que produz um movimento linear e

por sua vez faz movimentar uma membrana que imita o funcionamento de um diafragma, figura 6.

**Figura 5: Quadrúpede (D "pernas" e H "mastro" ambos medem um metro)**



**Figura 6: Motor de diafragma (Sparkfun, 2017)**



Quando a membrana é puxada para baixo o ar entra na câmara, quando é empurrada para cima o ar é expelido para a atmosfera. Ligando o reservatório ao orifício que permite a entrada de ar na câmara (seta amarela da figura 6), consegue-se gerar vácuo nos reservatórios (Dultmeier, 2017). Na tabela 1 são apresentadas as características do motor selecionado para a aplicação.

**Tabela 1: Características do motor diafragma (Sparkfun, 2017)**

Peso	Tensão	Fluxo volumétrico	Alcance de vácuo	Potência
20 gf	12 V	12 LPM	16 Hg = -55 kPa	12 W

O sistema de bengala antequeda fica mais compacto e mais leve utilizando um motor incorporado, do que recorrendo a reservatórios de vácuo, pois seria necessário estes possuírem grandes dimensões para que a bengala pudesse ser reutilizada sem ter que recorrer constantemente a uma bomba de vácuo externa à bengala.

### 3.1 Seleção do tipo de ventosas

Uma vez que não existe muitos dados sobre o desgaste e sobre a utilização vertical das ventosas escolheu-se as que são denominadas por "Trabalhos pesados", fig.28. Mesmo assim foi realizado um estudo sobre as várias possibilidades no mercado, sabendo que as ventosas podem-se diferenciar pela morfologia e material.

Em relação ao material, a tabela 2 enumera os materiais e as características das ventosas disponíveis no catálogo da empresa SMC.

**Tabela 2: Tabela do material das ventosas. O – Pouca ou nenhuma influência / o – Pode ser usada dependendo das situações / X – Não é adequado (SMC, 2017a)**

	Dureza HS( $\pm 5^\circ$ )	Intervalo de temperatura ( $^\circ\text{C}$ )	Resistência à abrasão	À prova de água
NBR	50°	0 a 120	O	o
Borracha de silicone	50°	-30 a 250	X	o
Borracha de uretano	60°	0 a 60	O	X
Borracha de fluor	60°	0 a 250	o	O
EPR	50°	-20 a 150	o	O

Para efetuar a escolha do material serão analisadas todas as características delineadas na tabela tendo em conta a sua aplicabilidade na bengala:

- Como a bengala é para ser usada dentro de um hospital a temperatura vai ser sempre acima dos 0 graus, por isso a temperatura não é um fator importante;
- A característica mais importante que as ventosas devem ter é a resistência à abrasão, no qual a borracha NBR e a borracha de uretano são os que satisfazem melhor a esses requisitos.
- Entre os dois materiais mencionados em cima o “desempate” será pelo facto de a borracha de uretano não ser à prova de água enquanto que a NBR pode ser, dependendo das condições.

Pelas razões acima descritas, e pelo facto de já terem sido executados ensaios experimentais com as de NBR, escolheu-se esse mesmo material.

As ventosas não se distinguem somente pelo tipo de material, também se diferenciam pela morfologia. A figura 7 apresenta a gama de ventosas que a empresa SMC comercializa.

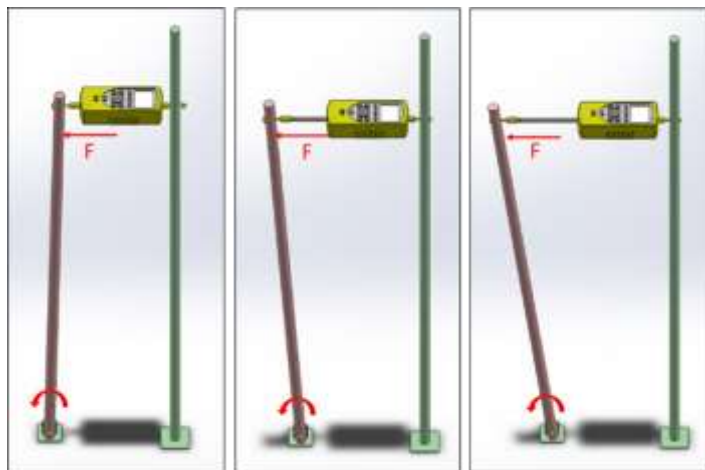
**Figura 7: Ventosas com diferentes morfologias (SMC, 2017b)**



### 3.2 Dimensionamento e disposição das ventosas.

Conforme apresentado na figura 8, de forma a estimar a força que as ventosas da bengala teriam de aguentar em caso de queda, foi realizado um simples ensaio que consiste num varão, em cuja extremidade existe um eixo de rotação. Acoplado ao varão, no qual simulou-se uma situação de queda, foi aplicado um dinamómetro para registar os valores de força a suportar pelo sistema antiqueda (ventosas).

**Figura 8: Simulação em SolidWorks® em que F representa a força realizada pelo utilizador ao apoiar-se no mastro**



Peso do utilizador [kgf]	Força dinamómetro [kgf]
90	15
70	11
52	8

Neste ensaio os utilizadores apoiaram-se totalmente na bengala. Ainda assim, por questões de segurança assumiu-se que a força máxima de apoio, F, seria igual a 20 kgf.

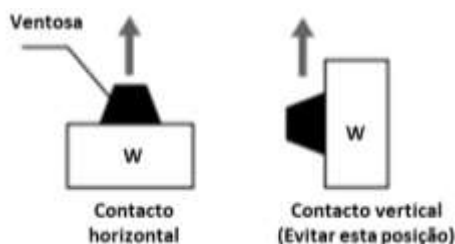
A figura 9 representa a relação entre a área das ventosas e a pressão de vácuo do sistema que gera as respetivas forças de fixação/levantamento.

**Figura 9: Força de levantamento teórico (SMC, 2017a)**

Força de levantamento teórica = P X S X 0.1		N					
Diâmetro ventosa(mm)		ø40	ø50	ø63	ø80	ø100	ø125
Área de absorção cm <sup>2</sup>		12.6	19.6	31.2	50.3	78.5	122.7
Pressão de vácuo kPa	-85	107	167	264.9	427	667.3	1042.6
	-80	101	157	249.3	401.9	628	981.3
	-75	94.5	147	233.7	378.8	588.8	920
	-70	88.2	137	218.1	351.7	549.5	858.6
	-65	81.9	127	202.5	326.6	510.3	797.3
	-60	75.6	118	187	301.4	471	736
	-55	69.3	108	171.4	276.3	431.8	674.6
	-50	63.0	98.0	155.8	251.2	392.5	613.3
	-45	56.7	88.2	140.2	226.1	353.3	552
-40	50.4	78.4	124.6	201	314	490.7	

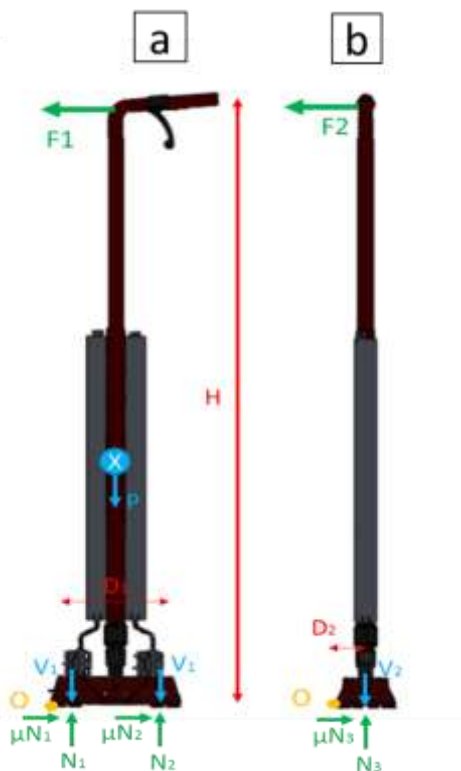
Há que ter em conta que as forças de levantamento apresentadas na figura 9 são os valores em que as ventosas são usadas em condições normais, ou seja, em “contacto horizontal” conforme apresentado na figura 10.

**Figura 10: Contacto horizontal e vertical de ventosas (SMC, 2017a)**



Porém as ventosas são utilizadas de uma forma pouco peculiar uma vez que, simulando uma situação de queda, a força aplicada é longitudinal à superfície de contacto, “Contacto vertical”. Usando os valores teóricos de força das ventosas, figura 9, de seguida na figura 11 é apresentado o diagrama de forças, em duas direções (a) e (b), da bengala adjacente ao tipo de esforço que atrás foi descrito.

**Figura 11: Esquema das forças aplicadas na bengala, em que  $F_1$  e  $F_2$  representam a força,  $P$  o peso da bengala,  $V_1$  e  $V_2$  a força de vácuo,  $N_1$  e  $N_2$  a reação normal,  $\mu F_1$  e  $\mu F_2$  as forças de atrito entre a borracha das ventosas e o chão,  $D_1$  e  $D_2$  as distâncias entre os centros de rotação e as forças de vácuo e por fim  $H$  a altura da bengala (Pereira, 2017)**



Tendo o diagrama de forças delineado calcula-se de seguida a força de vácuo requerida para que a bengala suporte o peso do utilizador na queda.

Na 1ª situação (a) tem-se o seguinte somatório de forças:

Na direção vertical,

$$N_1 + N_2 = V_1 \quad (1)$$

Na direção horizontal,

$$\mu N_1 + \mu N_2 = F_1 \quad (2)$$

Na direção  $z$ , o momento em relação ao ponto  $O$  é:

$$HF_1 = V_1 \cdot D_1 \quad (3)$$

Além das 3 equações, assumindo que a estrutura é rígida, tem-se:

$$N_2 = N_1 / 2 \quad (4)$$



Tendo já as principais equações, sabe-se que, para bengala não cair tem de se verificar a seguinte situação:

$$HF_1 \leq V_1 \cdot D_1 \quad (5)$$

O mesmo acontece no caso (b) em que se tem que verificar as seguintes equação:

$$HF_2 \leq V_2 \cdot D_2 \quad (6)$$

Os valores conhecidos são  $F_1= 200$  N,  $F_2= 100$  N,  $D_1=0,100$  m,  $D_2=0,03$ ,  $H=1$  m. Substituindo os valores pela equação (5) tem-se  $V_1 = 2000$  N, como são duas ventosas então, para a bengala não cair, cada ventosa precisa de aguentar uma força de 1000 N. Tendo em conta que o sistema encontra-se a uma pressão de vácuo igual a -55 kPa e tendo em conta a tabela 3 seriam necessárias três ventosas de diâmetro 125 mm para aguentar pelo menos 20 kgf, sendo que cada uma aguenta 674,6 N. Para o caso (b),  $V_2 = 6666$  N, o que claramente é um valor muito alto e, portanto, seria necessário acrescentar uma ventosa ao lado para que o valor  $D_2$  fosse mais alto.

Tendo conhecimento desta força resta seleccionar o diâmetro e o número de ventosas a serem usadas neste projeto. Tendo em conta que se pretende fazer uma bengala que não seja muito grande vai-se ter como referência as dimensões da bengala "Pirâmide" comercializada pela empresa OrthosXXI, figura 12.

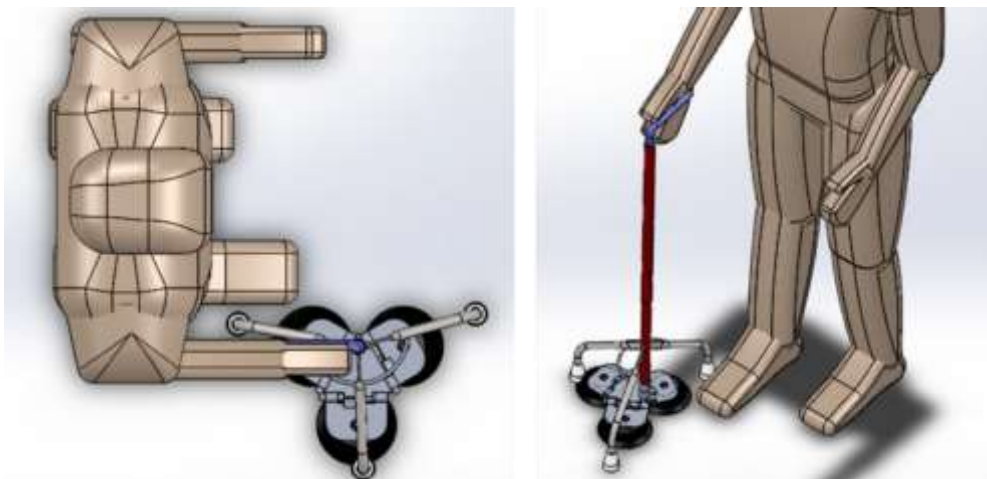
**Figura 12: Bengala "Pirâmide" concebida no software SolidWorks®, RD1, RD2, RD3 são as distâncias entre as três ponteiros da bengala (OrthosXXI, 2017)**



A área superficial do produto, representado na figura 12, é igual a 0,096 m<sup>2</sup>. Tendo como referência esta dimensão vai ser projetada a base do protótipo, para que a área superficial seja menor que a da bengala "Pirâmide"

Atendendo à figura 9, as ventosas de 125 mm de diâmetro suportam uma força igual a 674,6 N considerando uma pressão de vácuo igual a -55 kPa. Neste caso  $D_1$  tem que ser maior que 125 mm e menor que 181 mm. Considerando  $D_1$  igual a 181 mm,  $H$  igual a 1 m e  $F_1$  igual a 200 N então  $V_1$  igual a 1105 N. Como duas ventosas suportam 1349,2 N então pode-se encurtar a distância  $D_1$  para 148 mm. Este caso acontece se a força for aplicada na direção A (figura 10) na direção B já não aguenta, por isso, foi decidido acrescentar uma ventosa de lado, para que a direção da força possa variar. A figura 13 apresenta o projeto conceptual da bengala protótipo em contraste com a bengala "Pirâmide".

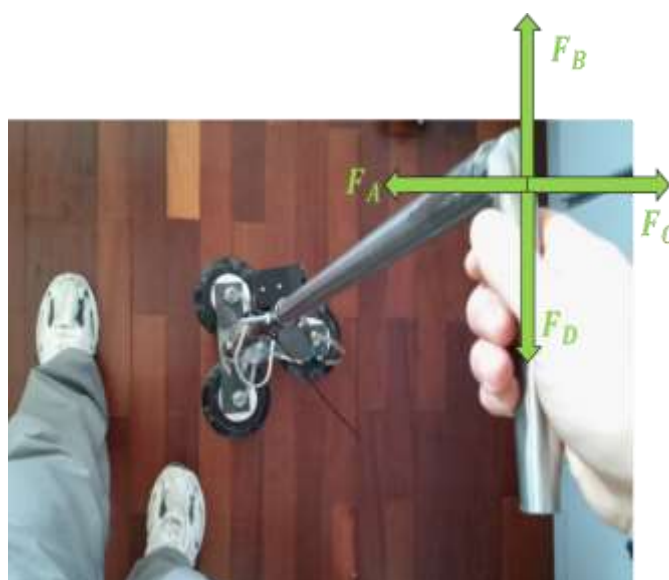
**Figura 13: Comparação entre bengala “Pirâmide” e protótipo**



#### 4. Protótipo e ensaios experimentais

Como já foi referido, a empresa SMC fornece informação das forças teóricas de cada ventosa quando a força aplicada é na vertical, porém não se encontraram estudos na situação mais crítica das ventosas estarem sujeitas a momentos, como é o caso. Para tal, foram executados ensaios experimentais para determinar as forças que estas aguentam quando sujeitas a momentos. Assim, foram implementadas três ventosas de diâmetro de 250 mm numa base que serve de estrutura delas e do mastro. A figura 13 ilustra o protótipo da bengala antiqueda concebido e construído, onde foi possível realizar o ensaio de fixação das ventosas com aplicação de forças em vários sentidos. A superfície utilizada no teste foi um “parquet” de madeira, que é uma superfície lisa mas que apresenta descontinuidades. A tabela 3 apresenta os valores de força de fixação, medidos com um dinamómetro, nas quatro direções ensaiadas.

**Figura 13: Protótipo e direções de forças de teste do sistema de fixação por ventosas**



**Tabela 3: Dados retirados do teste do sistema de fixação**

$F_A$	$F_B$	$F_C$	$F_D$
~ 14,5 kgf	~ 14,5 kgf	~ 17 kgf	~ 14,5 kgf

É de notar que foi tido o cuidado nos ensaios de aplicar uma força constante, isto é sem variações significativas de velocidade, porém não foi quantificado, uma vez que não foi medida a aceleração, com recurso a um acelerómetro, por exemplo.

Analisando os valores de força listados na tabela 3, pode-se concluir, que estão próximos do valor de força de fixação estimado na simulação em SolidWorks®, apresentada anteriormente na figura 8, para uma situação de queda que obteve um valor 20 kgf a suportar pelas ventosas.

## 5. Conclusões e trabalhos futuros

Relativamente ao protótipo desenvolvido, pode-se considerar que a ideia de usar vácuo como meio de fixação da base de uma bengala ao solo, com o objetivo de evitar a queda do utilizador, é inovadora e possível.

O protótipo da bengala antiqueda construído e testado conseguiu suportar a força que um utilizador normalmente faz quando se encontra em risco de cair, porém, será necessário realizar no futuro mais testes de validação com todos os sistemas a funcionarem simultaneamente, nomeadamente, o sistema de proteção das ventosas.

É de referir que a força de fixação das ventosas depende da superfície em que operam, por isso só se aconselha a utilização desta bengala antiqueda em espaços interiores com superfícies lisas, regulares e secas.

Um fator negativo em relação à bengala concebida, é o facto de esta ser muito mais dispendiosa comparada com as existentes no mercado sem a funcionalidade de antiqueda. Outra situação desfavorável está no facto de ser exigido ao utilizador o cumprimento das regras de funcionamento da bengala para que esta cumpra o seu propósito, por exemplo, tem-se que ter em atenção qual o piso em que esta vai ser utilizada.

Mais um fator que se tem de estimar devidamente com testes sistemáticos em vários pisos, relaciona-se com o processo de desgaste das ventosas, que terão que ser substituídas periodicamente antes de perderem a sua eficiência de fixação ao solo.

Em relação às melhorias a implementar futuramente na bengala podem-se enumerar vários pontos. Toda a estrutura da bengala deve ser alterada de modo a reduzir o seu peso, por exemplo ser utilizado o alumínio. Também será necessário implementar um sistema fiável de proteção às ventosas; bem como, era desejável aumentar a distância entre as ventosas, para esta ser mais fiável e segura para o utilizador. Outra melhoria que permitiria um maior conforto a nível de segurança, seria incorporar no sistema um manómetro nos reservatórios que monitoriza-se o seu nível de vácuo. Por último, outros testes de validação terão que ser realizados, para melhorar a interação do utilizador com a bengala.

Em modo de conclusão, pode-se dizer, que este produto é inovador e concebível, apesar de ainda existirem algumas restrições nesta fase de desenvolvimento, que impedem que funcione com a fiabilidade e segurança exigidas para este tipo de auxiliares de marcha humana.

## 6. Referências

- Bateni, H., Maki B.E. (2005). Assistive devices for balance and mobility: benefits, demands, and adverse consequences. *Arch Phys Med Rehabil.* 2005; 86(1): 134-145.
- Bradley. S.M., Hernandez, C.R. (2011). Geriatric Assistive Devices. *American Family Physician.* 84 (4).
- Dultmeier (2017). Diaphragm Pumps How They Work. <https://www.dultmeier.com/technical-library/how-does-a-diaphragm-pump-work.php>. Acedido em 10 Agosto 2017.

- Faruqi, S.R., Jaebon, T. (2010). Ambulatory assistive devices in orthopaedics: uses and modifications. *J Am Acad Orthop Surg.*, 18(1), 41-50.
- Hatem, D.M. (2017). Begalas, Muletas e Andadores – Tipos e Usos. Available: <http://www.quadrilcirurgia.com.br/bengalas-e-muletas.html>. Acedido em 18 Outubro 2017.
- OrthosXXI (2017). Pirâmide Quad Aro Mov P6. <http://www.orthosxxi.com/product/piramide-quad-arov-p6-anz-chpbase-prt>. Acedido em 15 de Outubro de 2017.
- Ota, Y., Ryumae, M., Keiichi, S., Sano, S. (2013). US Patente 8,418,705 B2.
- Pereira, T. A. R. (2017). Projeto e desenvolvimento de uma bengala antiqueda,” Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal.
- Raktem, G.P. (2017). Rakuten Global Market, <https://global.rakuten.com/en/store/fujix/item/1066758/>. Acedido em 1 de Novembro de 2017.
- Salminen, A.L., Brandt, A., Samuelsson, K., Töytäri, O., Malmivaara, A. (2009). Mobility devices to promote activity and participation: a systematic review. *J Rehabil Med.*;41(9): 697-706.
- SMC (2017a). Vacuum Pads For Heavy Duty Material Handling. [https://content2.smcetech.com/pdf/ZPT\\_ZPX\\_H\\_EU.pdf](https://content2.smcetech.com/pdf/ZPT_ZPX_H_EU.pdf). Acedido em 30 outubro de 2017.
- SMC (2017b). Vacuum Products - Vacuum Pads -Vacuum Pads Only. [https://www.smc.eu/portal\\_ssl/WebContent/digital\\_catalog\\_2/jsp/view\\_subclasses.jsp?dc\\_product\\_id=138687](https://www.smc.eu/portal_ssl/WebContent/digital_catalog_2/jsp/view_subclasses.jsp?dc_product_id=138687). Acedido em 9 de Outubro de 2017.
- Sparkfun (2017). <https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/Other/spec%20sheet.jpeg>, acedido em 1 outubro de 2017.
- YankoDesign (2017). Alternative Mobility for Rehabilitation <http://www.yankodesign.com/2011/12/20/alternative-mobility-for-rehabilitation/>. Acedido em 18 Outubro 2017.