

**NOTA TÉCNICA:****COMPARATIVO DE CARGAS VERTICAIS SOBRE MOLAS HELICOIDAIS E PLANAS E SUA APLICAÇÃO EM SEMEADORAS-ADUBADORAS**

Edson Lambrecht, Mauro Fernando Ferreira, Fabricio Ardais Medeiros & Ângelo Vieira dos Reis

1 - Engenheiro Agrícola, Doutorando do PPGSPAF da UFPEL/Pelotas-RS, edsonlambrecht@gmail.com

2 - Engenheiro Agrícola, Professor Adjunto da UFPEL/Pelotas-RS, maurof@ufpel.edu.br.

3 - Engenheiro Agrícola, Professor Adjunto da UFPEL/Pelotas-RS, medeiros.ardais@gmail.com.

4 - Engenheiro Agrícola, Professor Associado III da UFPEL/Pelotas-RS, areis@ufpel.edu.br

Palavras-chave:linha de adubação
mecanismos sulcadores
mola plana
semeadoras**RESUMO**

Nas semeadoras-adubadoras existentes no mercado nacional, são utilizadas molas helicoidais, e estas têm a função de exercer carga sobre as linhas de adubação e semeadura e constituem sistemas complexos e robustos. O presente trabalho estudou o comportamento de molas tipo helicoidal de compressão e mola plana sob pressão pela atuação de cargas verticais, e teve como objetivo analisar a possibilidade de substituir um conjunto de três molas helicoidais concêntricas em paralelo por uma mola plana sem comprometer o funcionamento e desempenho do mecanismo que as compõem. Empregaram-se métodos de cálculo tradicionais e medições em laboratório que foram comparadas e discutidas. Para as três molas helicoidais concêntricas em paralelo obteve-se um esforço total máximo de compressão de 3.157 N, isso para um deslocamento de 200 mm, e para mola plana obteve-se um esforço total máximo de 2.672 N. Os resultados demonstraram ser possível substituir as molas helicoidais por uma mola plana, constituindo um sistema mais simples e pesado, e principalmente com menos partes constituintes.

Keywords:fertilizing line
flat spring
furrower mechanisms
seeder**COMPARATIVE STUDY OF VERTICAL LOADS ON COIL AND LEAF SPRINGS AND THEIR APPLICATION FOR SEEDERS****ABSTRACT**

Existing planters in the domestic market use coil springs to apply loads on the sowing rows. These are complex and robust systems. The objective of this research was to study the behavior of leaf springs under pressure and compression coil springs using vertical loads, and to analyze the possibility of replacing a set of three parallel concentric coil springs for a leaf spring without compromising the function and performance of the whole mechanism. The study was based on calculation methods and measurements, which were later compared and discussed. The three parallel concentric coils yielded a maximum total stress of 3.157 N in compression, for a displacement of 200 mm. The leaf spring yielded a maximum shear stress of 2.672 N. The results proved possible to replace the coil springs by a single leaf spring, providing a system which is simpler, lighter, and mostly with less parts.

INTRODUÇÃO

Ao se projetar mecanismos de máquinas agrícolas é necessário o conhecimento das características geométricas, estruturais e mecânicas dos materiais que o compõem para que o produto desenvolvido apresente confiabilidade e segurança (LAMBRECHT et al., 2015).

Define-se mola como um elemento de máquina que se caracteriza pela possibilidade de apresentar deformações relativamente grandes, sem que o limite de elasticidade do material seja ultrapassado. Podem ser classificadas quanto à forma em planas, helicoidais, quadradas, entre outras, e quanto ao esforço no elemento em compressão, tração, torção, ou ainda armazenar energia potencial (BUDYNAS e NISBETT, 2011).

Segundo NORTON (2013), as molas helicoidais de compressão são as mais comuns e possuem um intervalo amplo de carga e deflexão, fio redondo ou retangular, diâmetro e passo constante. Podem ser associadas tanto em paralelo ou em série onde a mais usada é a primeira e geralmente com uma montagem concêntrica.

O uso de molas é importante nas máquinas agrícolas e no caso de semeadoras-adubadoras proporcionam uma carga razoavelmente uniforme aos mecanismos responsáveis pela abertura e fechamento dos sulcos em função de alterações no relevo e na consistência do solo, sendo amplamente utilizadas as helicoidais as quais, na grande maioria, são complexas e robustas.

Considerando que as molas têm o objetivo de aplicar cargas sobre os mecanismos rompedores do solo, há a necessidade de se conhecer o valor necessário para que estes sistemas atuem de forma efetiva. Em trabalho de avaliação de desgaste de ponteiros sulcadoras em semeadoras-adubadoras, em solo Planossolo, ESPÍRITO SANTO et al. (2010) obtiveram valores da força vertical entre 990 N e 1.101 N para ponteira nova e com 46% de desgaste. Para reduzir o desgaste da ponteira sulcadora das hastes de semeadora-adubadora utilizando soldagem de revestimento, FERREIRA (2008) encontrou valores de força vertical máxima de 432 N. Trabalhando com seis diferentes tipos e

configurações geométricas de ponteiros sulcadoras, TRÖGER et al. (2012) encontraram forças verticais de 477 N até 845 N.

A maioria das semeadoras-adubadoras utiliza nas linhas de semeadura e adubação um sistema denominado de pantográfico ou mecanismo de quatro barras, ligadas por meio de pinos ou deslizadores, as quais, além de exercer pressão sobre os elementos sulcadores, por intermédio da carga das molas helicoidais, tem a finalidade de estabilizar a atuação dos órgãos ativos (LAMBRECHT, 2016).

Estudos realizados por NIEMCZEWSKI et al. (2014), MEDEIROS et al. (2015) e LAMBRECHT et al. (2015) indicaram a necessidade de se simplificar as estruturas dos equipamentos agrícolas, buscando a diminuição de componentes e consequentemente de sua massa.

Assim, acredita-se que a substituição do sistema de molas helicoidais e seus componentes por um sistema pantográfico com uma mola plana simplificaria o sistema, haveria diminuição de componentes, diminuição de regulagens e consequentemente diminuição de massa e volume estrutural do sistema.

Esse trabalho teve o objetivo de testar as forças verticais de um conjunto de três molas helicoidais concêntricas em paralelo e de uma mola plana exercendo carga por meio de um mecanismo pantográfico, e de avaliar se a substituição das molas helicoidais por uma mola plana proporcionaria a mesma força e exerceria a carga necessária para que os elementos rompedores do solo tenham o mesmo desempenho.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado em três etapas denominadas de análise 1, 2 e 3, onde na primeira utilizaram-se somente equações para se determinar as forças verticais proporcionadas por três molas helicoidais concêntricas em paralelo (denominadas de MH1, MH2 e MH3 – Figura 1), molas estas com diâmetros internos de 44, 31 e 19 mm respectivamente (Tabela 1).

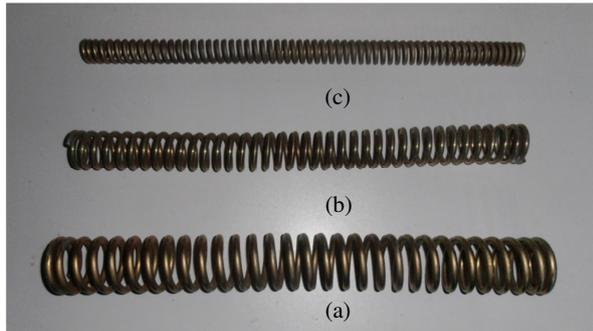


Figura 1. Mola helicoidal de compressão MH1 (a), MH2 (b) e MH3 (c).

Os cálculos para as molas helicoidais foram obtidos por meio da Tabela 1, demonstrada nos resultados. Foram primeiramente coletados os dados dimensionais das molas, calculados os fatores de correção (K_w) conforme Equação 1. Posteriormente foi calculada a rigidez da mola (k_s) em $\text{kg} \cdot \text{mm}^{-1}$, conforme Equação 2, a tensão máxima ($\tau_{\text{máx}}$) em $\text{kgf} \cdot \text{mm}^{-2}$ (Equação 3), obtendo os esforços de compressão máximo (ECM) (Equação 4) em Newton (N) para a deformação máxima (y) em mm e total de esforço de compressão (TEC) (Equação 5) em Newton (NORTON, 2013).

$$k_w = \frac{4 \times \frac{D}{d} - 1}{4 \times \frac{D}{d} - 4} + \frac{0,615}{\frac{D}{d}} \quad (1)$$

$$k_s = \frac{G \times d^4}{8 \times D^3 \times N_e} \quad (2)$$

$$\tau_{\text{máx}} = k_w \times \frac{8 \times F \times D}{\pi \times d^3} \quad (3)$$

$$\text{ECM} = (p-d) \times N_e \times k_s \times 9,81 \quad (4)$$

$$\text{TEC} = \sum \text{ECM} \quad (5)$$

em que,

k_w = Fator de correção;

D = Diâmetro médio (mm);

d = Diâmetro do arame da mola (mm);

p = Passo (mm);

G = Módulo de elasticidade torcional, valor utilizado $8.085 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$;

K_s = Rigidez da mola - R ($\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$);

N_e = Número de espiras ativas;

$\tau_{\text{máx}}$ = Tensão máxima ($\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$);

ECM = Esforço de compressão máximo (N);

TEC = Total de esforço de compressão (N).

Na análise 2 foram medidas as forças verticais nas molas helicoidais por meio do ensaio de compressão diretamente nesses elementos.

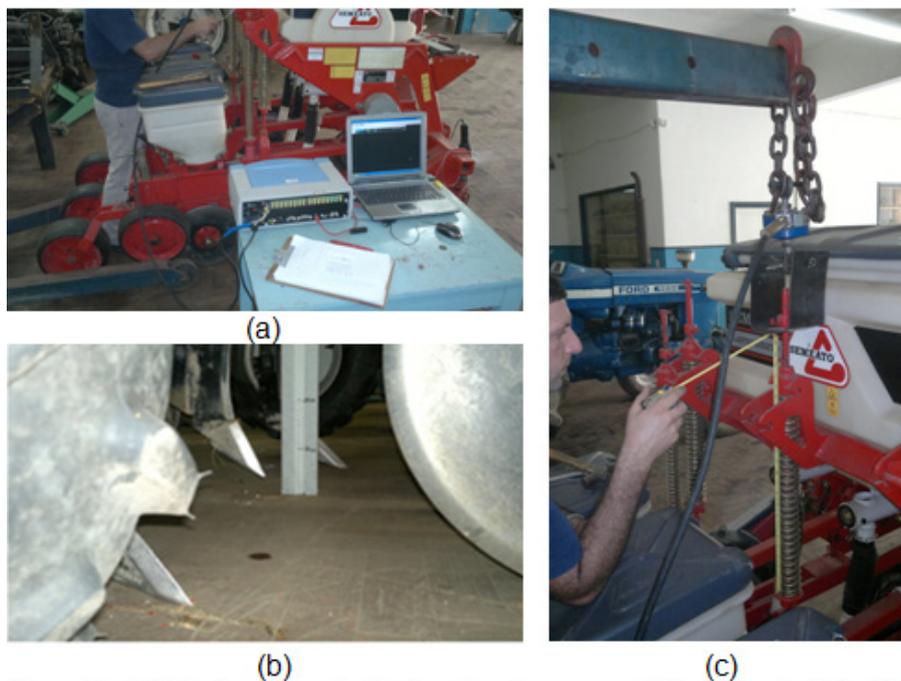


Figura 2. Equipamento AqDados e microcomputador portátil (a), régua graduada (b) e célula de carga (c).

Contou-se com quatro tratamentos, os quais foram as deformações da mola por compressão vertical, sendo eles de 50, 100, 150 e 200 mm, com 5 repetições por tratamento. A variável resposta foi a média da carga máxima de compressão. Para isso se utilizou de uma linha de semeadura e adubação de uma semeadora-adubadora marca Semeato, modelo PH3 com três linhas. Foi utilizada a linha central para obter equilíbrio e estabilidade nos resultados medidos por uma célula de carga da marca Alfa, com capacidade para 2.000 N e sensibilidade de 1,796 mV/V e os dados ajustados e digitalizados em um condicionador de sinais da marca Lynx Tecnologia Eletrônica, *software* AqDados versão 7.02 e armazenados em microcomputador portátil (Figura 2). Com o auxílio de uma trena graduada em mm procedeu-se à medição do deslocamento vertical das molas.

Na análise 3, para as molas planas, foram utilizadas quatro modelos existentes no mercado, sendo uma para cabine de caminhões Ford nas dimensões transversais 39 mm x 6 mm e com comprimento total de 835 mm (MP1), mola traseira do caminhão Ford com dimensões de 45 mm x 8 mm, com comprimento de 1.160 mm (MP2) e

outra do caminhão Ford F-600 com 63,5 mm x 7,94 mm e comprimento de 1.302 mm (MP3), e a última do caminhão GM D-60 nas dimensões 63,5 mm x 11,11 mm e comprimento de 1.280 mm (MP4).

Os materiais das molas consideradas foram de aço ABNT 1070 com limite de resistência de 710 MPa, tensão de escoamento de 390 MPa e dureza na escala H Brinell de 2,079 GPa. Em uma análise preliminar à análise 3, constatou-se que apenas a mola MP3 atendia os requisitos para a função desejada.

Na análise 3 foram utilizados os mesmos equipamentos de aquisição e armazenamento de dados, da mesma forma como na análise das molas helicoidais. Para tal foi construído um sistema de engate, constituído de um apoio para dar sustentação a mola plana, e este acoplado no engate do terceiro ponto da semeadora-adubadora, para que houvesse similaridade de condições nas aplicações das cargas e limitou-se o deslocamento até a posição horizontal das molas (Figura 3).

O experimento da análise 3 empregou três distâncias em relação ao ponto de apoio, nos quais foram medidos os deslocamentos da mola por compressão vertical. As distâncias consideram os

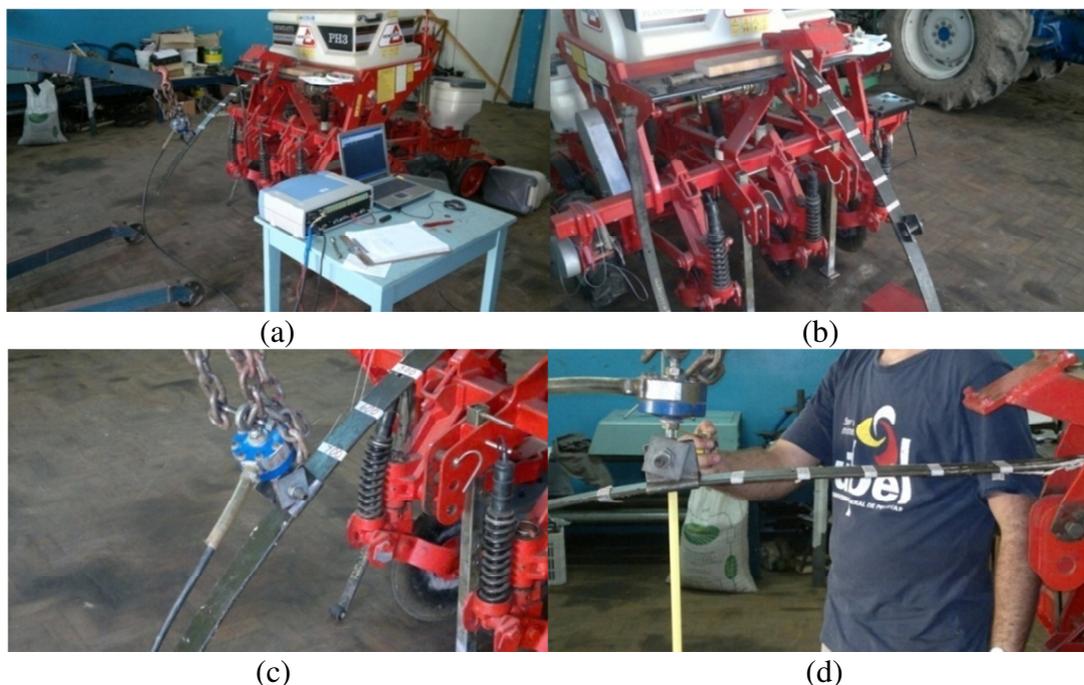


Figura 3. Sistema utilizado para aquisição e armazenamento de dados (a), sistema de engate e acoplamento a semeadora (b), célula de carga (c) e medição da deformação das molas planas (d).

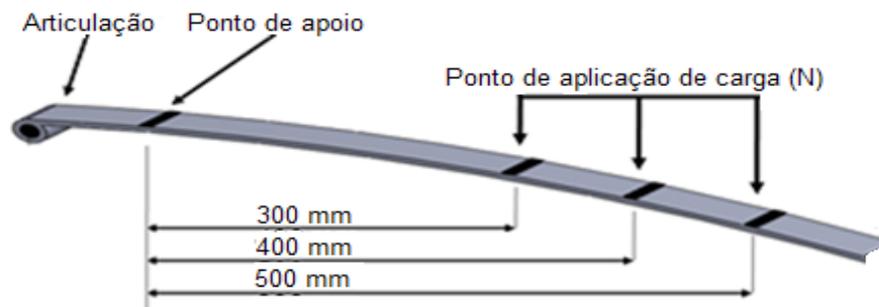


Figura 4. Detalhamento da fixação e aplicações de carga.

pontos de cargas aplicadas em relação ao ponto de apoio, sendo elas de 300, 400 e 500 mm (Figura 4) com 5 repetições para cada distância considerada. Estas distâncias foram escolhidas de forma a obter os carregamentos verticais necessários tendo em vista as restrições dimensionais presentes nos chassis das semeadoras.

Foi utilizado o programa Assistat versão 7.7 Beta da Universidade Federal de Campina Grande, onde os resultados das forças verticais aplicadas para as diferentes distâncias foram comparados pela Análise de Variância (ANOVA). As médias foram comparadas empregando-se o teste de Tukey ao nível de significância de 1%. O delineamento experimental adotado no experimento 2 e 3 foi do tipo inteiramente casualizado, com dois fatores experimentais: deslocamento, comum para ambas as molas (50 mm, 100 mm, 150 mm e 200 mm) e tipo de molas, resultando em um fatorial 2 x 4, totalizando 8 tratamentos com cinco repetições por tratamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise 1 realizada empregando-se as Equações 01, 02, 03, 04 e 05, após levantamento das características geométricas e dos materiais empregados na confecção das molas helicoidais MH1, MH2 e MH3 as forças resultantes de compressão totalizou 3.227 N (Tabela 1). Os valores dos esforços de compressão das três molas somente podem ser somados para a mesma deformação destas, que neste trabalho foi calculado em 212,1 mm. Esta análise foi feita para servir de parâmetro para a execução das análises seguintes.

Para a análise 2, das molas helicoidais concêntricas em paralelo foram medidos os esforços de compressão e os valores médios estão apresentados na Figura 5. Verificou-se que a carga máxima de compressão foi de 3.158 N com deformação de 200 mm.

A análise de regressão resultou na seguinte equação $y = 934,33x - 610,46$, com coeficiente de correlação $r = 1$, demonstrando correlação positiva entre os fatores, e coeficiente de determinação $R^2 = 0,9991$, demonstrando que a reta de regressão é um ótimo modelo para prever o comportamento da mola conforme aumenta a carga aplicada.

Para a análise 3 utilizando-se a mola MP3 aplicou-se as cargas em relação ao ponto de apoio e obtiveram-se os valores de 2.672 N, 2.206 N e 1.955 N para as distâncias de 300, 400 e 500 mm, respectivamente. Considerou-se a horizontalidade como posição de carga máxima para a mola plana e isso se deu quando esta se deslocou 370 mm, fato obtido com a carga aplicada a 300 mm do ponto de apoio (Figura 6).

A análise de regressão resultou: para a distância de 300 mm na seguinte equação $y = 934,33x - 610,46$, com coeficiente de correlação $r = 0,991532$ e coeficiente de determinação $R^2 = 0,9831$, para a distância de 400 mm a equação $y = 7,2765x - 383,83$, com coeficiente de correlação $r = 0,971567$ e coeficiente de determinação $R^2 = 0,9439$ e para a distância de 500 mm a equação $y = 6,3395x - 395,61$, com coeficiente de correlação $r = 0,992818$ e coeficiente de determinação $R^2 = 0,9857$. Para todas as distâncias os coeficientes de correlação obtiveram correlação positiva entre os fatores e que as retas de regressão são um ótimo modelo

Tabela 1. Dimensões e cálculo dos esforços das molas helicoidais (MH = mola helicoidal), para os fatores de correção (K_w), rigidez da mola (K_s), tensão máxima (τ_{\max}), esforços de compressão máximo de cada mola (ECM), deformação máxima (y) e total de esforço de compressão (TEC)

	Diâmetro espira - d (mm)	Diâmetro externo - de (mm)	Diâmetro interno - di (mm)	Número de espiras (n)	Passo - p (mm)	Deslocamento máximo - y (mm)	Comprim. Total - L (mm)
MH1	7,0	58,0	44,0	27	16,8	265,7	465,2
MH2	5,5	42,0	31,0	37	12,1	242,4	454,2
MH3	4,0	27,0	19,0	59	7,6	212,1	454,1

	Diâmetro médio - D (mm)	Relação entre diâmetros c =D/d	Fator de correção k_w	Rigidez da mola K_s (N.mm ⁻¹)	τ_{\max} (N.mm ⁻²)	Esforço de compressão máximo - ECM (N)	Total de esforço de compressão TEC (N)
MH1	51,0	7,29	1,20	0,68	642,1	1.409	3.227
MH2	36,5	6,64	1,23	0,51	731,9	1.069	
MH3	23,0	5,75	1,26	0,36	867,6	749	

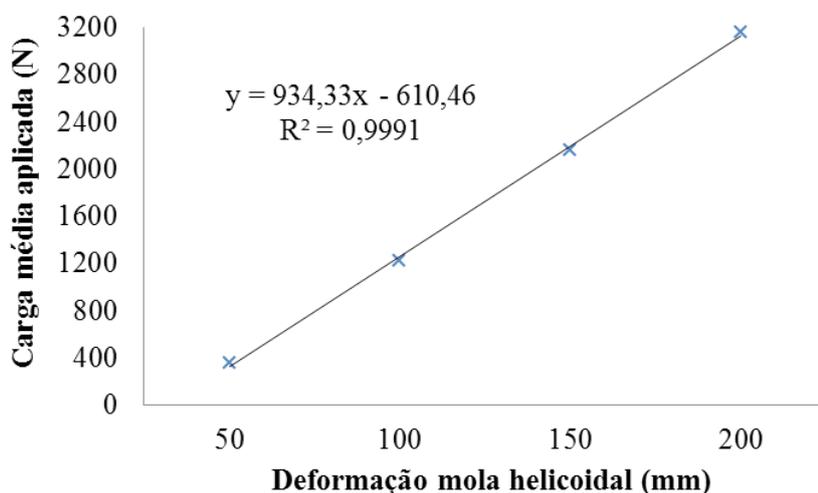


Figura 5. Carga aplicada e deformação das três molas helicoidais concêntricas na análise 2.

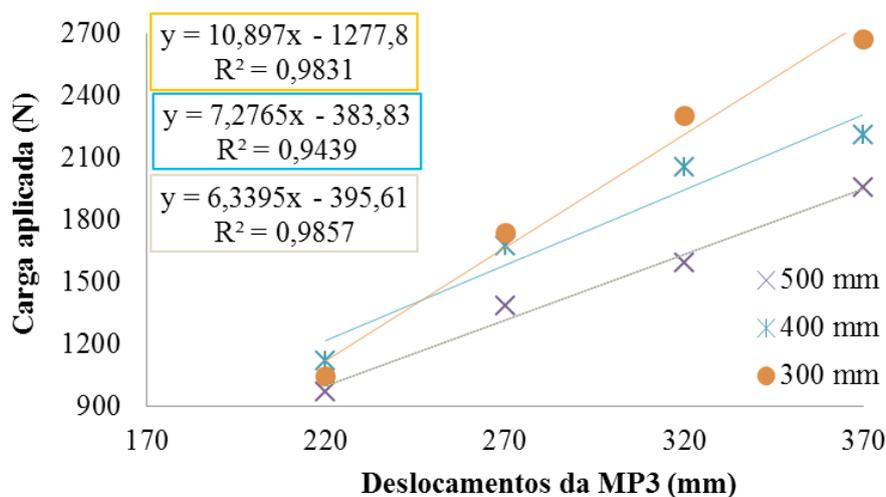


Figura 6. Esforços máximos obtidos com a mola plana (MP3) análise 3, para as distâncias de 300, 400 e 500 mm mensuradas a partir do ponto de apoio.

Tabela 2. Cargas verticais médias (N) aplicadas para cada intervalo de deslocamento de 50 mm das molas helicoidais e plana com 300 mm de distância ao ponto de apoio

Tipo de mola	Deslocamento (mm)				
	50	100	150	200	Média
M. Helicoidal	355dB	1.226cB	2.162bA	3.157aA	1.725B
M. plana	1.043dA	1.734cA	2.299bA	2.672aB	1.937A
Médias	699d	1.480c	2.230b	2.915a	

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna e letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre si, ao nível de 1% de significância pelo teste de Tukey ($p < 0,01$).

para prever o comportamento da mola conforme aumenta a carga aplicada.

Para a análise entre molas helicoidais e molas planas, utilizou-se a mola plana com cargas a 300 mm do ponto de apoio por ser esta a que necessita de maiores cargas aplicada para seu deslocamento. Conforme análise de variância foi constatada diferença significativa a 1% de probabilidade entre os deslocamentos obtidos para os dois modelos de molas (Tabela 2). Para ambas as molas, conforme se aumenta a carga vertical aplicada, aumentam os deslocamentos, como já era de se esperar. No entanto, a mola plana necessita uma maior carga para o mesmo deslocamento em relação às molas helicoidais. Verificou-se que ao ultrapassar o limite estipulado de deslocamento de 200 mm, as molas helicoidais requerem valores de carga vertical maiores que a mola plana. Isso ocorre porque os deslocamentos das molas helicoidais estão nos seus limites de compressão. Assim, o conjunto exerce carga comportando-se como um elemento rígido.

A carga máxima de compressão aplicada nas molas da semeadora PH3 foi de 3.157 N (análise 2), valor este obtido com deslocamento de 200 mm das molas helicoidais concêntricas em paralelo. Do mesmo modo, a mola plana solicitou uma carga de 2.672 N (análise 3), este valor foi 2,4 vezes superior ao encontrado em pesquisas de campo que avaliaram a força vertical medida em sulcadores de mesmo modelo (ESPÍRITO SANTO *et al.*, 2010), FERREIRA, 2008 e TRÖGER *et al.*, 2012).

CONCLUSÕES

- Os valores de carga vertical exercidos pela mola plana foram comparáveis com aqueles obtidos com as molas helicoidais existentes

em semeadora comercial. Portanto, concluiu-se ser possível ser utilizada uma mola plana para a execução desta função, ou seja, a mola plana pode substituir as molas helicoidais para exercer carga em uma linha de adubação sem prejuízo de sua função.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. **Elementos de máquinas de Shigley**. 8 ed. Porto Alegre: Bookman Ltda, 2011. 1084p.

ESPÍRITO SANTO, A. C.; REIS, A.V.; MACHADO, A. L. T. ; BATISTA, V. J. ; OLDONI, A. Desenvolvimento de um dispositivo para medição de esforços em hastes de semeadoras de plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.2, p.288-298, 2010.

FERREIRA, M. F. **Influência da soldagem de revestimento na vida útil de ponteiros sulcadoras de semeadoras adubadoras**. 2008. 141f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008.

LAMBRECHT, E.; FERREIRA, M.F.; MEDEIROS, F.A.; & dos REIS, Â.V. Relação de equilíbrio entre tratores e semeadoras adubadoras de baixa potência: determinação da estabilidade longitudinal em função das características dimensionais e ponderais. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.23, n.4, p.355, 2015.

LAMBRECHT, E. **Desenvolvimento de linha de adubação para semeadoras-adubadoras destinadas à agricultura familiar com transferência de peso por meio de mola plana**.

Pelotas, 2016. 164f.: il. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016.

MEDEIROS, F.A.; REIS, Â.V.dos; MACHADO, A.L.T. ; MACHADO, R.L.T.; STEFANELLO, G. Use of walking tractor powered rotary tiller in no-tillage system. **Revista Ciência Agronômica** (UFC. Online), Fortaleza, v.46, n.1, p.54-63, 2015.

NIEMCZEWSKI, B.K.; REIS, Â.V.dos; MACHADO, R.L.T.; MACHADO, A.L.T.. Validação de um modelo de cálculo por elementos

finitos do chassi de uma semeadora de quatro linhas. **Engenharia Agrícola** [online], Jaboticabal, v.34, n.1, p.161-170. 2014.

NORTON, R.L. **Projeto de máquinas: uma abordagem integrada**. 4. ed. São Paulo: Bookman, 2013. 1030p.

TROGER, H.C.H.; REIS, A.V.; MACHADO, A.L.T.; MACHADO, R.L.T. Analyzing the efforts in furrow openers used in low power planters. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.6, p.1133-1143, 2012.