

PROJETO, CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO DE UMA CÉLULA DE CARGA PARA MEDIÇÃO DE ESFORÇOS EM FERRAMENTAS DE PREPARO DE SOLO

Me. Fabio Goedel

Professor do curso de Engenharia Mecânica da Universidade de Passo Fundo

goedel@upf.br

Renan Machado da Silva

Engenheiro Mecânico formado pela Universidade de Passo Fundo

renanmachado@terra.com.br

Henrique Martelli

Acadêmico do curso de Engenharia Mecânica da Universidade de Passo Fundo

henriquemrtll@gmail.com

RESUMO. Neste artigo apresenta-se o projeto, a construção e a validação de uma célula de carga do tipo anel octogonal duplo estendido, a fim utilizá-la no levantamento de cargas em ferramentas de preparo de solo usadas em plantadeiras e subsoladores. Para isso foram utilizados softwares comerciais de desenho auxiliado por computador, simulação por elementos finitos e técnicas de extensometria para a obtenção de dados experimentais das células de carga.

Palavras-chaves: Célula de carga. Elementos Finitos. Extensometria.

1. INTRODUÇÃO

Com a crescente demanda de alimentos, puxada pelo crescimento da população mundial, faz-se necessário à criação de máquinas agrícolas robustas e otimizadas para o melhor rendimento na produção destes alimentos. Quando se projeta um equipamento de plantio, tem-se a necessidade de conhecer alguns dados de projeto, tais como esforços de tração e momento atuantes nos componentes, a fim de projetá-los para manter sua integridade. Os esforços atuantes em ferramentas de preparo de solo são

esforços de tração, verticais devido ao peso próprio da estrutura e momentos, os quais podem ser medidos com uma célula de carga do tipo anel octogonal duplo estendido, tal como se projetou nesse trabalho.

O uso de células de carga como transdutores de medição de força abrange hoje uma vasta gama de aplicações: desde as balanças comerciais até na automatização e controle de processos industriais. O princípio de funcionamento das células de carga se baseia nas técnicas de extensometria e aquisição de dados, que basicamente está relacionado com a medição da variação de tensão do arranjo elétrico implantado na célula devido à deformação causada por esforço aplicado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Cook e Rabinowicz (1963) utilizaram a teoria da energia de deformação para determinar os nós em um anel simplificado, sendo assim foi possível determinar três tipos de esforços atuantes na estrutura de um anel conforme mostra a Fig 1, sendo que o nó é um ponto onde não existe contribuição à deformação devido a outras componentes de força. Cook e Rabnowicz ainda ressaltam que se o anel octogonal for estendido, permite

maior estabilidade, apresentado assim deformação de um anel circular estendido.

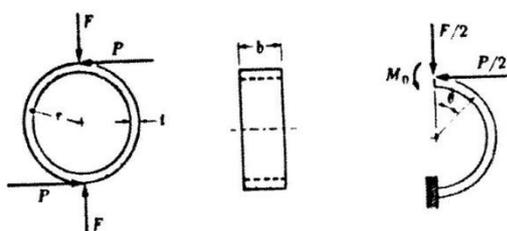


Figura 1 - Anel simplificado de Cook e Rabinowicz.

Godwin (1975) relata que o sistema de forças atuantes em ferramentas de preparo de solo são compostas por forças verticais, forças horizontais e um momento associados aos planos destas forças.

3. DADOS DE PROJETO

Para a construção do transdutor, devido à necessidade de ser compacto e ter alta resistência, foi escolhido o aço SAE 4140 que teve três amostras ensaiadas (ver Fig. 2) para levantamento das propriedades mecânicas, onde apresentou 800 MPa de limite de escoamento, propriedade principal para o dimensionamento da célula, visto que este equipamento trabalha somente no regime elástico do material.



Figura 2 - Corpos de prova de SAE 4140.

Na Figura 3 estão apresentados os três tipos de esforços (sendo F_v a força vertical,

F_h a força horizontal e M o momento) que a célula de carga projetada irá medir.

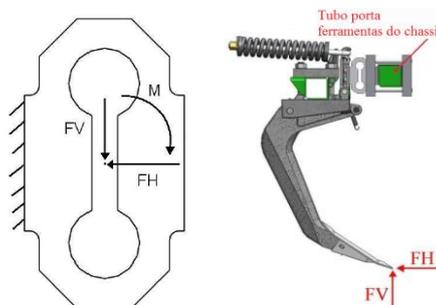


Figura 3 - Direção das forças resultantes.

Conforme pode ser visto na Fig. 3, a capacidade nominal da célula é F_H de 5313,7 N, F_V de 2125,3 N e um momento M de 3073 N.m. Esses valores de cargas foram determinados a partir dos dados de uma medição anterior realizada no cabeçalho de uma semeadora, através da qual se calculou o esforço horizontal F_H devido ao plantio por linha, sendo que a força vertical F_V foi considerada como 40% de F_H , conforme Godwin (1975). O momento surge devido à distância de aplicação das forças F_V e F_H em relação à posição da célula de carga. Para o projeto da célula foi adotado um coeficiente de segurança de 1.5, podendo-se então definir as dimensões (ver Fig. 4) da célula através das equações propostas por Godwin (1975), as quais estão apresentadas com maiores detalhes no trabalho do mesmo.

A fim de verificar a integridade da célula de carga e garantir que não ocorram deformações permanentes na estrutura, realizou-se antes da construção, uma simulação numérica pelo método dos elementos finitos no software comercial ANSYS, aplicando-se os esforços acima citados. Nesta análise verificaram-se além da tensão solicitante (a qual não pode ser maior

que o limite de escoamento do material), também os valores de deformação no local de colagem dos strain gages, para uso na calibração numérica da célula. Na Fig. 5 apresenta-se a distribuição de tensão de von Mises na estrutura.

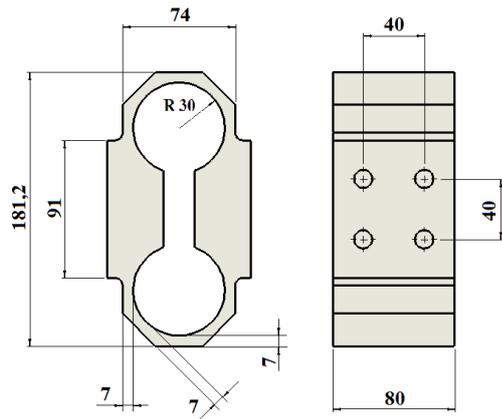


Figura 4 - Dimensões da Célula de carga.

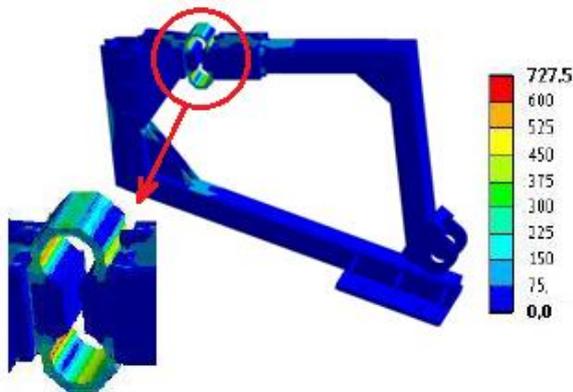


Figura 5 - Modelo de calibração em CAE.

4. ENSAIO EXPERIMENTAL

Após efetuada a análise estrutural com MEF, a célula de carga foi fabricada, instrumentada com sensores strain gages, dispostos em 3 pontes completas Fig. 6, e posteriormente feita a calibração prática com as mesmas forças aplicadas nas simulações

pele software de elementos finitos, ilustradas na Fig 7.



Figura 6 - Strain gages colados.



Figura 7 - Calibração prática.

Após calibração foi feito o teste prático para validar o transdutor, e com um módulo de aquisição de dados, foram coletados dados na com a máquina trabalhando Fig. 8.



Figura 8 - Montagem para medição a campo.

5. RESULTADOS

Na Tabela 1 são apresentados os resultados comparando a calibração numérica via MEF e a prática (Fig. 7), na qual se verifica uma boa concordância nos resultados.

Na Figura 9 apresentam-se os gráficos das medições a campo efetuadas com a máquina plantando em terreno plano a 8 km/h, que posteriormente podem ser utilizadas como dados de entradas para as análises estruturais da plantadora. Também foram efetuadas medições com 6 e 8km/h.

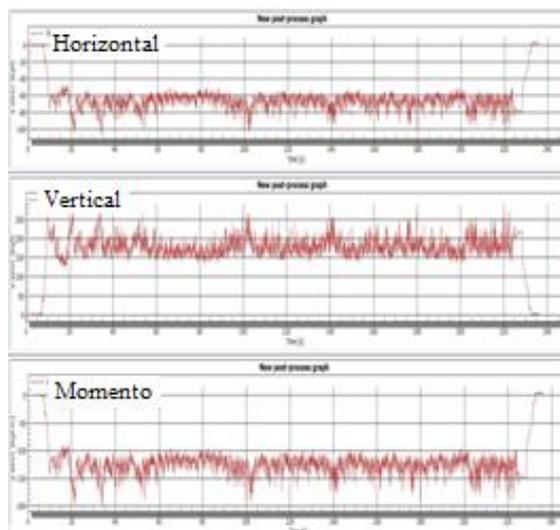


Figura 9 - Resultados das medições a campo

Tabela 1 - Valores de calibração teórico x prático.

Força resultante aplicada (kgf)	Força vertical (kgf)		
	Teórica	Prática	
		Célula 1	Célula 2
40	37,1	36	37,3
145,5	135,9	134,8	135,9
240	222,8	222,1	223,3
345	320	319,7	320,8
450	417,8	418	418,3
Força resultante aplicada (kgf)	Força horizontal (kgf)		
	Teórica	Prática	
		Célula 1	Célula 2
40	14,8	15,1	14,7
145,5	54,03	54,8	53,8
240	89,1	89,3	89,2
345	128,2	129	128,7
450	167,1	168,7	167,5
Força resultante aplicada (kgf)	Momento resultante (kgf.m)		
	Teórica	Prática	
		Célula 1	Célula 2
40	27,9	27,5	27,7
145,5	101,3	100,8	101,1
240	167,1	166,3	165,8
345	240	238	238,3
450	313,8	311,5	312,6

6. CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos em laboratório e a campo, percebe-se que a validação do transdutor se mostra satisfatória desde a calibração, em função da diferença aceitável entre valores teóricos e experimentais. A célula de carga construída apresentou uma boa repetibilidade e linearidade nas medições que foram realizadas, tornando-se uma ferramenta de grande interesse para levantamento de esforços em ferramentas de preparo de solo e validação de condições de contorno para análises estruturais.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] COOK N.H.; RABINOWICZ E.: **Physical Measurement and Analysis**. New York 1963.
- [2] GODWIN, R.G. “An Extend Octogonal Ring Transducer use in Tillage Studies” Journal of Agricultural Engineering, 1975.
- [3] GODWIN, R.G.; KHAN, J.; KILGOUR, J.; BLACKMORE, B.S. “Design and Calibration of a Biaxial Extended Octogonal Ring Transducer System for the Measurement of Tractor-Implement Forces”, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2007.