

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE DOIS PÓRTICOS ROLANTES DO TIPO MANUAL POR MEIO DO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Walter Mota da Fonseca, waltmec@gmail.com¹

Anderson Júnior dos Santos, ndersonsantos@hotmail.com¹

Bárbara Cristina Mendanha Reis, babi_mreis@hotmail.com¹

Ayrton Hugo de Andrade e Santos, ayrtonhugo@yahoo.com.br²

Marcelo Araujo Camara, Marcelocamara@demec.ufmg.br¹

Sinval Pedroso da Silva, sinvalpedroso@yahoo.com.br¹

¹Programa de pós – graduação em engenharia mecânica da Universidade Federal De Minas Gerais , Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha - Belo Horizonte - MG - CEP 31270-901, Brasil

²Pontificia Universidade Católica De Minas Gerais, R. Rio Comprido, 4.580 - Contagem – MG – CEP 32010-025, Brasil

Resumo: *Pórticos rolantes do tipo manual são estruturas metálicas utilizadas, em sua maioria, na movimentação de cargas, em áreas internas ou externas. Os elementos estruturais dos pórticos são usualmente compostos por perfis tubulares em aço, o que torna um problema para o projetista devido às dificuldades de selecionar um modelo entre várias configurações. A fim de analisar o melhor comportamento estrutural, este trabalho apresenta simulações estruturais por elementos finitos entre duas configurações estruturais, principalmente as solicitações em componentes separados, visando à importância do conhecimento das tensões atuantes e demonstrando as possíveis regiões de maior vulnerabilidade por concentração de tensão utilizando o critério de Von Mises. A análise estrutural foi baseada no projeto de dois pórticos convencionais, normalmente utilizados na movimentação de componentes em oficinas de montagem, fabricados em viga I e tubos metálicos com capacidade nominal para duas toneladas. O modelo do pórtico com parede de tubo fina apresentou maior rigidez e melhor distribuição de tensões, facilitando o seu manuseio pelo operador. Existem vantagens e desvantagens de se utilizar a simulação na questão de projetos. Como vantagem, seria a rapidez nos resultados em função de testes físicos, e desvantagem, o grande número de informações de dados de entrada e computadores robustos.*

Palavras-chave: pórtico rolante, análise estrutural, método dos elementos finitos

1. INTRODUÇÃO

Pórticos rolantes são estruturas metálicas utilizadas, em sua maioria, na movimentação de cargas, em áreas internas ou externas, como exemplo galpões fechados. Estes equipamentos são requisitados para movimentar cargas nos sentidos vertical e horizontal, em locais predeterminados e em distâncias limitadas. A cada movimento de liberdade da carga está associado um mecanismo independente, que poderá ser motorizado ou manual, dependendo do esforço envolvido ou tempo necessário para a execução do trabalho. Dentre os vários tipos de pórticos existentes, esse trabalho apresenta a análise numérica sobre dois pórticos rolantes do tipo monoviga com base estrutural tubular.

Para analisar o comportamento estrutural destas estruturas, utilizou-se o *software* “SolidWorks Simulation”, onde foram determinadas as tensões atuantes por meio do Método por Elementos Finitos (MEF).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Classificação dos pórticos

Brasil (1970) afirma que existem no mercado basicamente três tipos de pórticos móveis, sendo eles semi-pórtico, monoviga e viga dupla.

Semi-pórtico é um equipamento composto por um misto de ponte rolante e pórtico rolante, ou seja, o equipamento apoia-se em uma de suas extremidades sobre trilhos em estrutura fixa (edificação) e a outra extremidade sobre rodas no solo. Este tipo de construção é apresentado na Fig. (1).

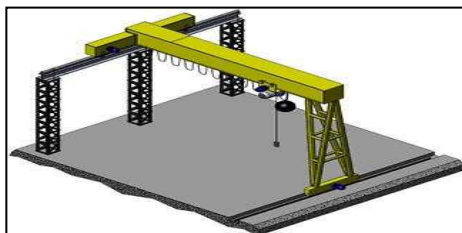


Figura 1. Esquema de estrutura do semi-pórtico de SGO Equipamentos (2015).

Os pórticos rolantes de construção viga simples são fabricados em vigas do tipo perfil laminados ou viga de seção em caixão soldado. A viga principal única é montada sobre quatro colunas metálicas do tipo perfil metálicas, tubos ou construção tipo caixão, apoiadas diretamente em rodízios ou em vigas de ligação inferior (cabeceiras), onde são instaladas as rodas de movimentação do pórtico. Dependendo da capacidade de manuseio das cargas essas rodas podem ser metálicas ou mesmo de borrachas, conforme apresentado na Fig. (2).



Figura 2. Esquema de estrutura do monoviga e dupla viga de SGO EQUIPAMENTOS (2015).

A principal aplicação deste tipo de pórtico é em local onde não é necessário o máximo de altura útil do gancho da talha e/ou menores dimensões de vão entre centros de rodas. Comparando com o tipo de pórtico de construção viga dupla, sua estrutura é mais leve e reduz-se o ganho da altura útil do gancho igual à altura de sua viga.

Os pórticos rolantes de construção viga duplas são fabricados com duas vigas principais paralelas soldadas do tipo de seção em caixão soldado ou de perfil laminado. As vigas principais são montadas sobre quatro colunas metálicas de construção tipo caixão, apoiadas em duas vigas de ligação inferior (cabeceiras), onde são instaladas as rodas metálicas de movimentação do pórtico.

3. METODOLOGIA

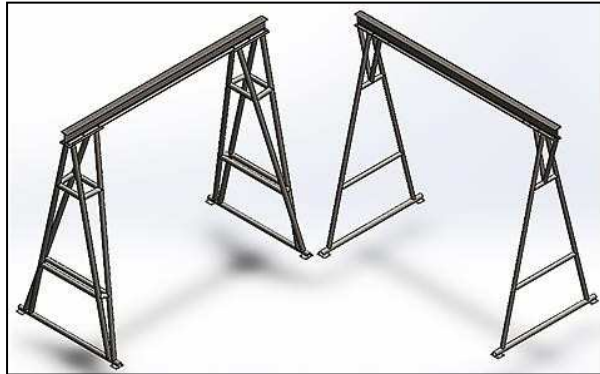
A seleção dos modelos de pórticos utilizados para realização da simulação numérica deste trabalho foi baseada em modelos simples com estrutura tubular e viga principal em perfil I, e de uso em trabalhos de montagem mecânica em geral, tratando-se de um sistema de baixo peso e acionamento manual.

A partir das dimensões originais retiradas dos equipamentos, fabricados em aço ASTM-A36, foram criados modelos dos componentes estruturais em CAD, Fig. (3) e Fig. (4), a fim de submetê-los a simulação de esforços mecânicos por meio do método dos elementos finitos (MEF). Tanto os materiais das colunas como o da viga são os mesmos, sendo que eles apresentam comportamentos mecânicos distintos.

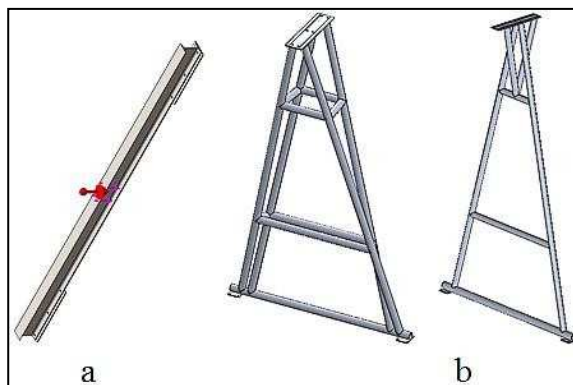


Figura 3. Pórticos de referência para o modelamento de Fonseca *et al.* (2015).

Para a verificação do comportamento mecânico da estrutura de cada modelo de pórtico, dividiu a modelagem CAD 3D em dois componentes estruturais. O carregamento prescrito em cada coluna foi baseado na capacidade nominal de içamento de 2000 kgf, somados as massas da viga e mecanismo de elevação da carga, 125 kgf, sendo esta soma dividida para cada coluna, 1062,5 kgf, ou seja, 10423,1 N.

**Figura 4. Modelamento dos pórticos gerados no CAD 3D.**

Para o carregamento prescrito na viga foi considerado a capacidade nominal somada ao peso do mecanismo de elevação da carga, 20061,4 N. Esse modelo foi adotado para as duas configurações de colunas. Com base nas normas ABNT NBR-8400 (1984) e ABNT NBR-8800 (2008), foram definidas diretrizes básicas para o cálculo dos elementos estruturais, assim como a classificação em grupo, conforme o tipo de serviço, a fim de serem determinados os dimensionamentos que foram levados em consideração no trabalho de modelamento e simulação. A Figura 5(a) mostra a viga principal e 5(b) as colunas de sustentação selecionados para a análise.

**Figura 5. Componentes dos pórticos: a) viga principal; b) colunas de sustentação.**

3.1 Condições de Contorno

Foi considerada a solicitação estática, de acordo com o grupo do equipamento, não sendo levado em consideração o coeficiente dinâmico (Ψ). O coeficiente de majoração (M_x) foi igual 1 (um), sobre o carregamento imposto a estrutura. As extremidades da viga principal são sustentadas por chapas de aço, de acordo com a configuração dos modelos reais, espessura de 8 mm, um carregamento ao centro do vão de apoio e outra situação de carregamento na extremidade. A seleção da viga principal foi baseada no cálculo do valor máximo de momento fletor e de módulo de resistência, sendo escolhido um modelo comercial com módulo de resistência de 122,8, de acordo com tabela de fabricante, modelo W150 X 18 e comprimento de 3,2 metros. Este modelo ficou semelhante à utilizada nos modelos reais em questão.

De acordo com a norma ABNT NBR-8400 (1984), a tensão admissível calculada será de $\sigma_{adm} = 166,67$ MPa. Para a simulação, foram impostas restrições nas superfícies de contato das chapas com cada extremidade de apoio, sendo uma das extremidades com deslocamento livre nos planos xy. Quatro pontos com dimensões dos contatos roda/superfície do carro troller, de acordo com especificações do fabricante do mecanismo, foram inseridos na superfície inclinada da mesa inferior da viga, simulando os quatro pontos de contato do mecanismo com a viga ao centro do vão livre.

Em relação às colunas de sustentação, foram respeitadas as seguintes dimensões: altura de 2714 mm (livre de rodízios) e distância entre chapas de apoio inferiores de 1414 mm.

Tendo sido estabelecidos às colunas (1) e (2), utilizou-se tubos de aço sem costura com as dimensões de seção transversal apresentadas na Tab. 1.

Foram criados planos de carregamentos distribuídos na superfície superior das chapas fixadas as colunas e restrições nos planos inferiores das bases de cada coluna, considerando o carregamento na posição central do vão da viga principal e em uma das extremidades, induzindo uma situação mais desfavorável para a coluna. A simulação foi realizada desconsiderando os rodízios, somente a estrutura das colunas e viga principal. A análise estrutural foi baseada no critério de Von Mises. A Tabela 2 mostra a propriedade do material utilizado na simulação dos elementos.

Tabela 1. Propriedades de dimensões transversais e de massa das colunas.

Propriedades	Coluna (1)	Coluna (2)
Diâmetro Externo (mm)	60,3	51,2
Espessura da Parede (mm)	3,6	3,75
Peso por Coluna (kgf)	85,7	51,16

Tabela 2. Propriedade do material utilizado para as simulações de Simulation SolidWorks (2012).

Material	Densidade (kg/m ³)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Limite de Escoamento (MPa)	Coefficiente de Poisson
Aço ASTM-A36	7850	200	250	0,26

A primeira etapa do trabalho consistiu em simular a viga principal separada das colunas, com o intuito de analisar com mais detalhes, o comportamento de tensões, deslocamento central e deformação. Diante disso, estabeleceu-se um refino de malha consistente ao longo do elemento. Para a viga, utilizou-se o tipo de malha sólida, padrão, tamanho 12,61 mm, total de 106354 nós e 55190 elementos.

A segunda e terceira etapas consistiu em simular as duas configurações de colunas separadas da viga principal, com o objetivo de comparar os comportamentos de esforços mecânicos entre os modelos. O modelo de malha sólida foi utilizado, apesar dos componentes serem em estrutura tubular de parede relativamente fina e grandes comprimentos. Para abas as colunas, utilizou tipo de malha padrão, tamanho 11,61 mm, total de 270560 nós e 138309 elementos. O detalhamento da malha é apresentada na Fig. (6).

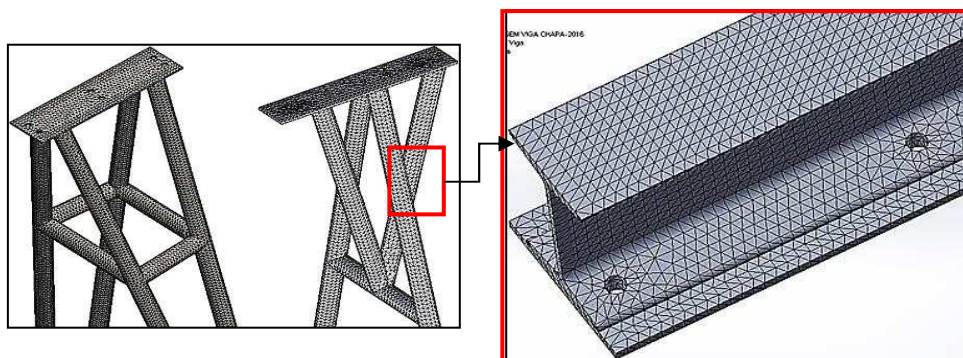


Figura 6. Detalhe da viga principal em malha.

4. RESULTADOS

Os resultados numéricos estão apresentados em relação ao estado plano de tensões e estado plano de deformações para cada componente estrutural fabricado em aço ASTM A-36.

4.1. Análise Estrutural – 1ª Etapa: Tensões

A Figura 7 exibe a simulação da viga principal. Observa-se que o componente apresenta tensões menores que o limite de escoamento (250 MPa) e menores também que a tensão admissível calculada (166,67 MPa). A máxima tensão no critério de Von Mises apresentada foi de 83,6 MPa e a máxima tensão de cisalhamento foi de aproximadamente 29,84 MPa.

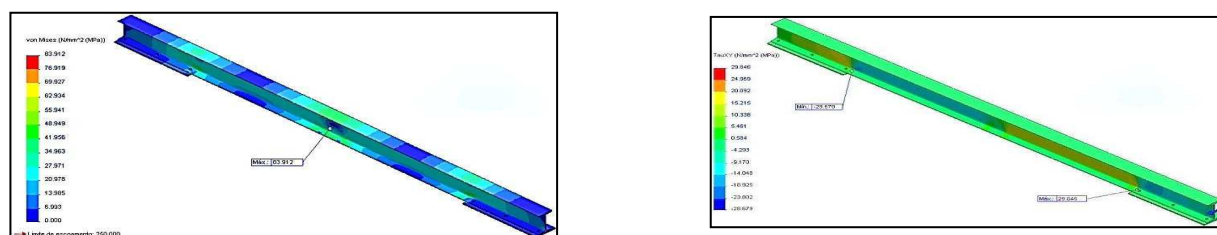


Figura 7. Simulação de tensões no componente da viga principal.

A máxima tensão pelo critério de Von Mises apresenta-se na região central da mesa inferior, Fig.8, devido aos grandes esforços de momento fletor e tensões de tração provenientes da pressão de contato roda/viga na parte superior da mesa nesta região. Na região da aresta da chapa de sustentação da viga, ocorreu concentração de tensão por apresentar grandes esforços por compressão e uma região pequena. O aumento do número de nós da malha intensifica o valor da tensão nestas regiões.

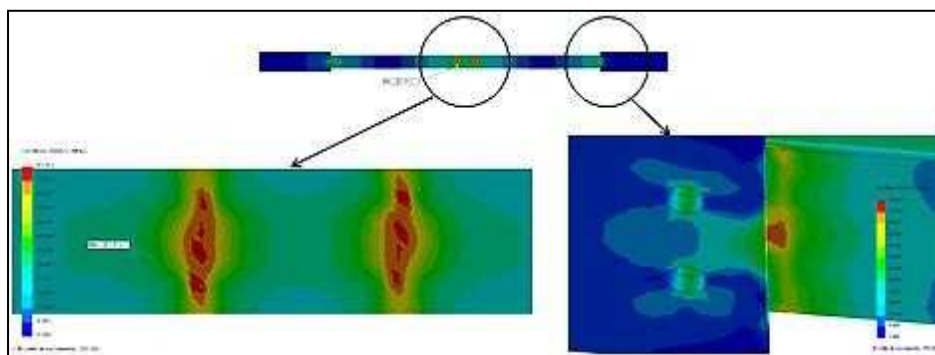


Figura 8. Detalhe da região de maior tensão e região de maior concentração de tensão.

A Figura 9 representa o detalhe da região de maior tensão de cisalhamento, aproximadamente 29,86 MPa. Estes esforços tendem cortar a extremidade de apoio da viga. Estas observações citadas até o presente momento trazem uma maior apreciação destas regiões analisadas no que refere à tendência de existência de falhas de projeto.

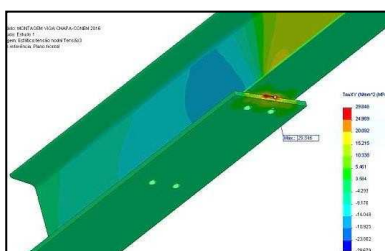


Figura 9. Detalhe da região de máxima tensão de cisalhamento

4.2 Análise Estrutural – 1ª Etapa: deformações

A Figura 10 exibe a deformação e a flecha máxima do componente viga principal. Pode-se observar que a maior deformação equivalente de aproximadamente $2,92 \times 10^{-4}$ mm/mm, ocorreu em uma pequena região citada anteriormente como concentradora de tensão. Na borda de apoio da viga com a chapa apresentou maior deformação. Esta região poderá, quando o projeto permite, ser reforçada com chapa de maior espessura, mas para esta configuração, atende bem aos requisitos. O deslocamento estático máximo (flecha) foi de 0,76 mm.

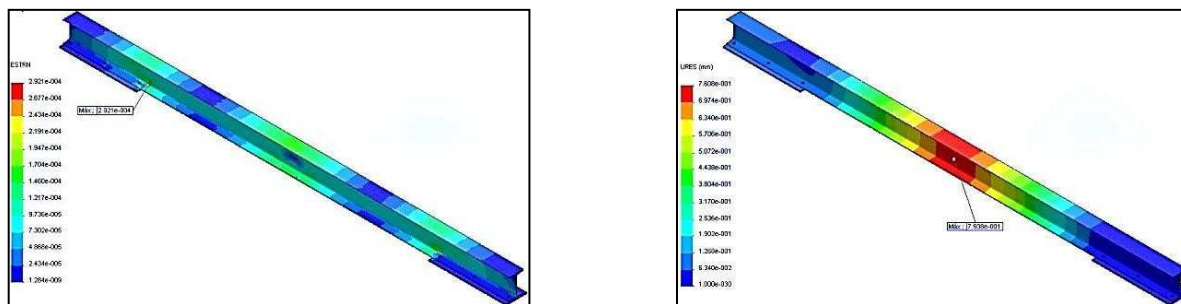


Figura 10. Simulação de deformação equivalente e deslocamento máximo.

4.3 Análise Estrutural – Carregamento no Centro do Vão da Viga – 2ª Etapa: tensões

A Figura 11 mostra os estados de tensões pelo critério de Von Mises nas duas configurações de coluna de sustentação para o mesmo material. A tensão máxima gerada na coluna (1) foi de aproximadamente 319,33 MPa, superior a tensão de escoamento do material, e a tensão máxima gerada na coluna (2) foi de 223 MPa. As duas configurações de coluna, segundo os resultados obtidos pela análise numérica do software, apresentaram valores de tensões acima do valor da tensão admissível calculada de 166,67 MPa.

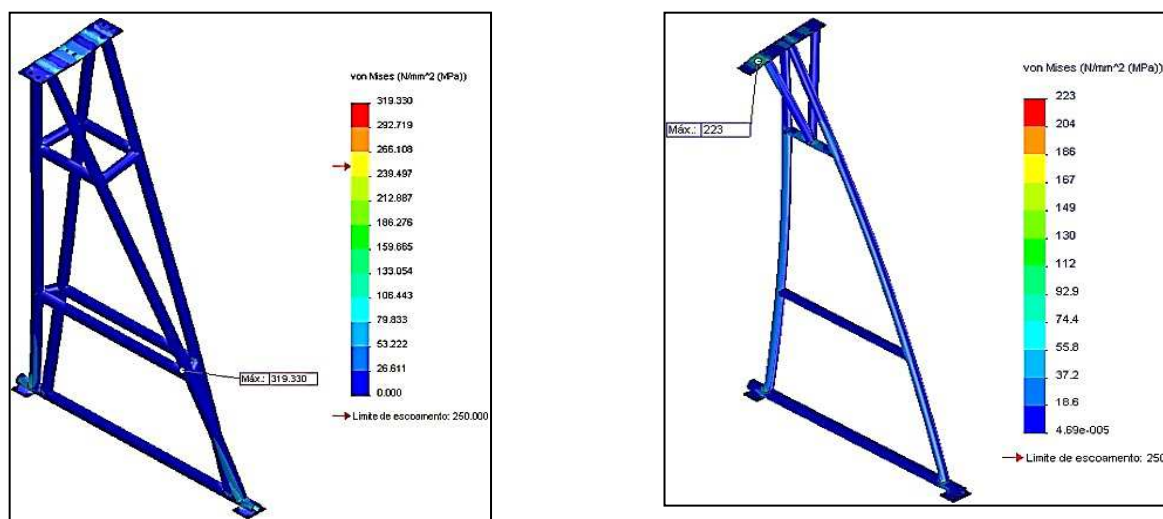


Figura 11. Simulação de tensão no componente coluna.

Observa-se que a coluna (1) apresenta tensão acima do limite de escoamento em uma região de ligação entre elementos inferiores. Arestas de contato dos tubos maiores com a chapa superior apresentou-se elevada tensão. Foi observada concentração de tensão ao longo dos cantos onde requerem fixação por processo de soldagem. Entretanto, na coluna (1), observa-se certa tendência de tensões constantes ao longo dos elementos tubulares. As Figuras 12 e 13 mostram em detalhes estas regiões.

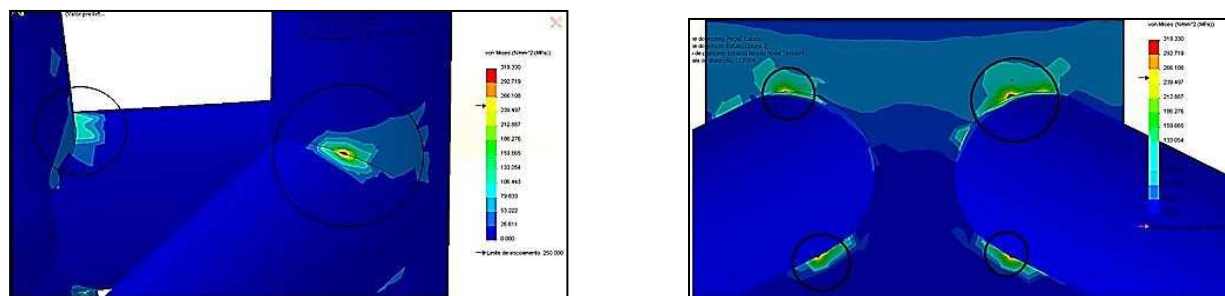


Figura 12. Detalhe das regiões de maior tensão da coluna (1).

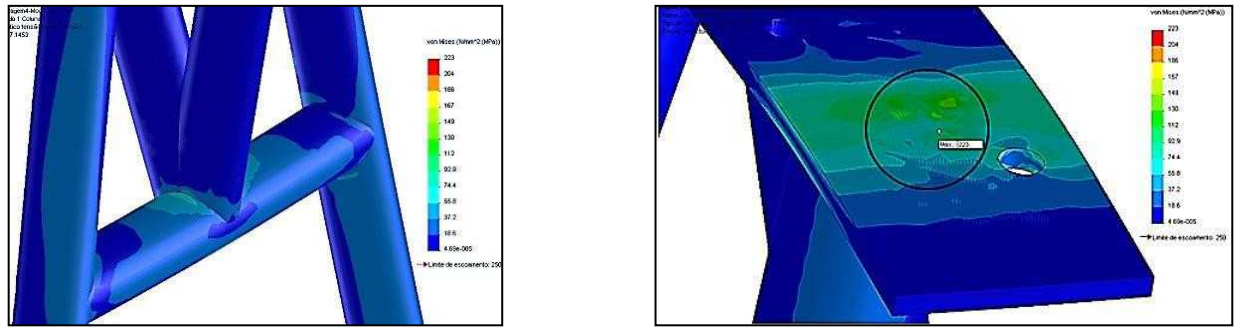


Figura 13. Detalhe das regiões de maior tensão da coluna (2).

A tensão máxima pelo critério de Von Mises para a coluna (2), 223 MPa, apresenta maior que a tensão admissível calculada e próxima do limite de escoamento do material em uma região da superfície de contato com a viga principal. Esta configuração de coluna recebeu maior espessura de parede nos tubos, apesar de ter diâmetro externo menor que a coluna (1). Observa-se que não houve grandes concentradores de tensão entre as ligações, como no caso da coluna (1), mas ao longo dos elementos tubulares, um maior fluxo de tensão é observado. A Figura 14 apresenta o gráfico de tensões para cada coluna, verificando tensões máximas ao limite de escoamento.

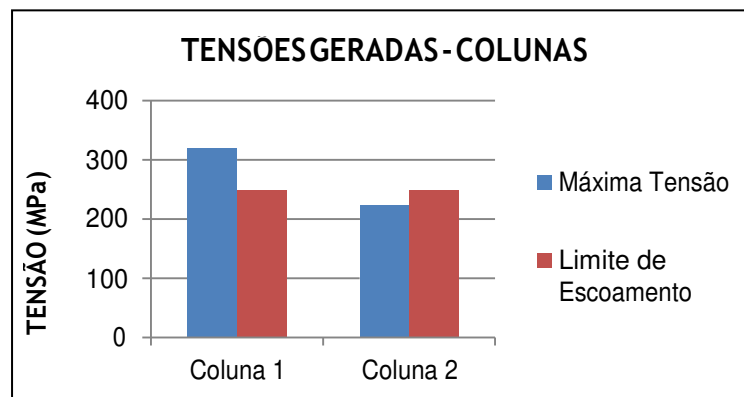


Figura 14. Gráfico comparativo das tensões geradas nos componentes colunas.

A Figura 15 e a Figura 16 mostram o estado de tensão de compressão e tração para as colunas (1) e coluna (2), respectivamente. A máxima tensão de tração e compressão da coluna (1) ocorreram na região inferior do tubo de base, sendo aproximadamente 184,78 MPa (tração) e 250 MPa (compressão). A máxima tensão de tração e compressão da coluna (2) ocorreram na região da chapa superior, sendo 228 MPa (tração) e 238 MPa (compressão).

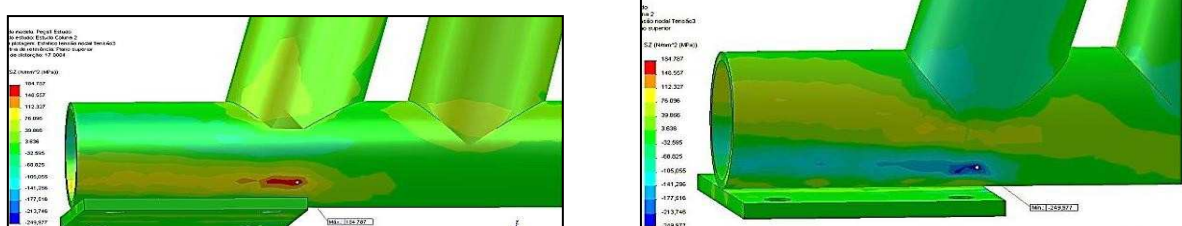


Figura 15. Simulações de tensão de tração e compressão para a coluna (1).

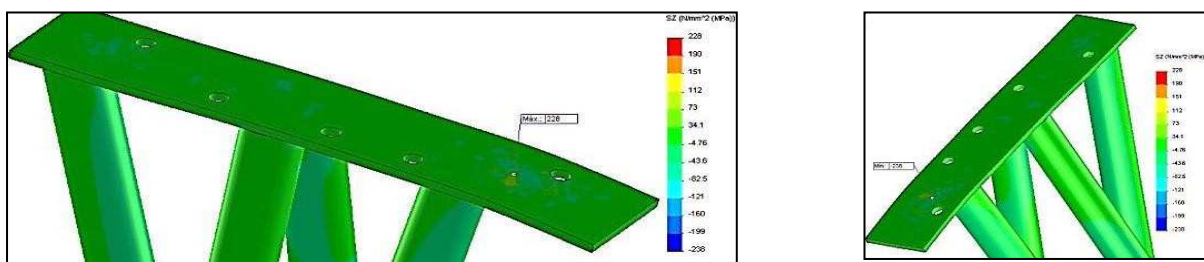


Figura 16. Simulações de tensão de tração e compressão para a coluna (2).

4.4 Análise Estrutural – 2ª Etapa: Deformações

A Figura 17 apresenta, em detalhe, os estados de deformações dos componentes colunas de sustentação, colunas(1) e (2), utilizando as mesmas propriedades do material da viga principal. O valor da máxima deformação equivalente da coluna (1) foi de aproximadamente $1,08 \times 10^{-3}$ mm/mm, e o valor máximo da deformação equivalente da coluna (2) foi de aproximadamente $7,63 \times 10^{-4}$ mm/mm.

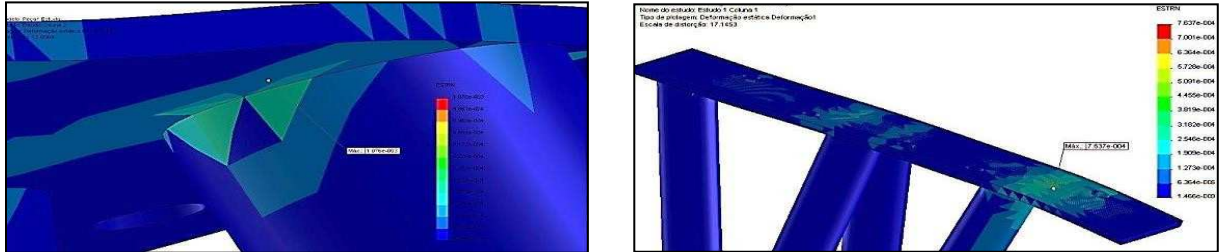


Figura 17. Simulação da deformação máxima do componente coluna (1) e (2).

Observa-se que para cada coluna existe uma região diferente de maior deformação, a coluna (1) a máxima deformação equivalente ocorreu entre a ligação dos tubos de sustentação e a chapa superior. Essa deformação foi máxima em uma região onde existe uma concentração de tensão. A deformação da coluna (2) ocorreu na superfície superior de contato com a viga principal.

4.5 Análise Estrutural – Carregamento na Extremidade da Viga – 3ª Etapa: tensões

A Figura 18 mostra os estados de tensões pelo critério de Von Mises nas duas configurações de coluna para o mesmo material. A tensão máxima gerada na coluna (1) foi de aproximadamente 777,53 MPa, muito superior a tensão de escoamento do material, e a tensão máxima gerada na coluna (2) foi de 507,86 MPa. Segundo os resultados obtidos pela análise numérica do *software*, os valores de tensões apresentaram-se acima da tensão admissível calculada.

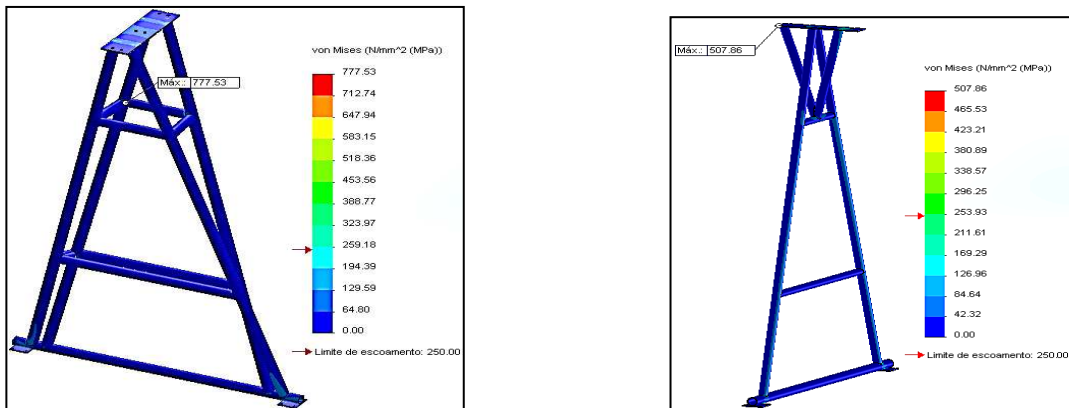


Figura 18. Simulação de tensão no componente coluna.

Observa-se que a coluna (1) apresenta tensão acima do limite de escoamento em uma região de ligação entre tubos de ligação superiores. Arestas de contato dos tubos maiores com a chapa superior apresenta elevada tensão. Concentração de tensão ao longo dos cantos onde requerem fixação por processo de soldagem apresenta-se com maior evidências por pontos. Entretanto, para o carregamento na condição mais desfavorável, observa-se certa tendência de tensões constantes ao longo dos elementos tubulares em ambas as colunas. As Figuras 19 e 20 mostram em detalhes estas regiões.

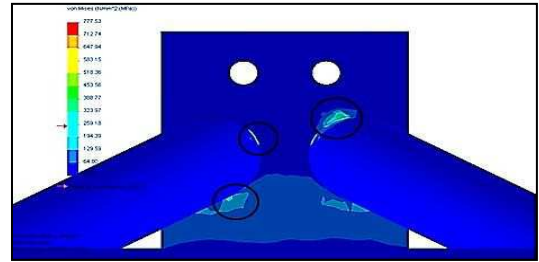
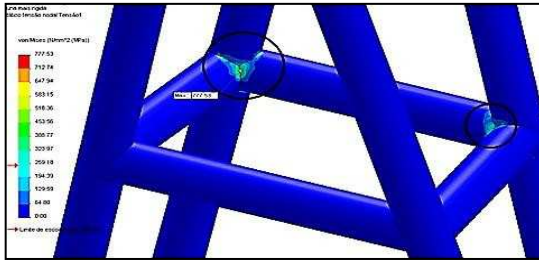


Figura 19. Detalhe das regiões de maior tensão da coluna (1).

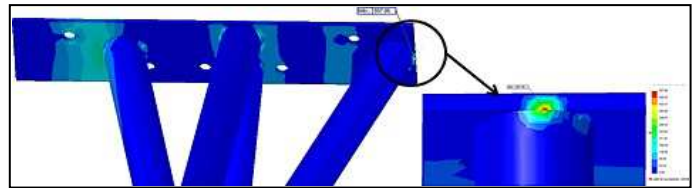
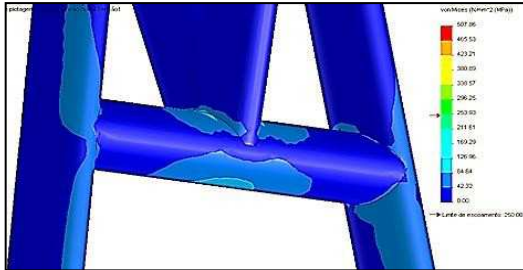


Figura 20. Detalhe das regiões de maior tensão da coluna (2).

A tensão máxima pelo critério de Von Mises para a coluna (2), 507,86 MPa, apresenta maior que a tensão admissível calculada e tensão de escoamento do material em uma região de interface entre a chapa superior e tubo ao lado posterior. As análises numéricas mostram que houve um menor fluxo de tensão na coluna (2) sob carregamento na posição mais crítica. Observa-se que houve pequenas regiões concentradoras de tensão entre cantos de arestas que receberam o processo por soldagem, como no caso da coluna (1), mas ao longo dos elementos tubulares, um maior fluxo de tensão é observado. Diante disso, é de grande importância uma maior atenção ao tratamento de malhas nessas pequenas regiões onde apresenta os maiores valores de tensões, na maioria dos casos, consideravelmente acima do limite de escoamento do aço utilizado.

5. CONCLUSÃO

Foram realizadas as análises por meio do método dos elementos finitos, MEF, separadamente de cada configuração geométrica das colunas de sustentação e a viga principal como um elemento constante. O interesse foi investigar de que maneira regiões pequenas iriam se comportar sendo que estas vão receber os processos de fabricação de fixação como soldagem, além de observar os esforços em cada modelo identificando vantagens e desvantagens para cada estrutura contribuindo para o trabalho de seleção do projetista mecânico. Se tratando de estruturas tubulares, as normas disponíveis não estabelecem um critério mais específico para cada configuração de fixação de elementos de geometria circular e paredes finas como nestes dois casos de coluna. Neste caso, como as geometrias de plano de fixação são muito variadas, esta análise permitiu identificar regiões de maior fragilidade, fornecendo pontos de partida em relação às tensões e deformações geradas pelo MEF. Em relação ao peso estrutural, a coluna de menor peso, coluna (2), apresentou menor tensão máxima, entretanto menor distribuição da tensão ao longo dos perfis tubulares. A coluna (1), apresentou máxima tensão acima do limite de escoamento do material utilizado, com tudo, obteve maior rigidez estrutural minimizando instabilidades. Concentradores de tensão foram evidenciados, principalmente na etapa de solicitação mais crítica para as colunas, além de demonstrar o comportamento de cada elemento das estruturas, pois utilização de elementos e pré-processamentos inadequados podem gerar resultados mal elaborados, o que coloca em risco a escolha do projeto.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o curso de Engenharia Mecânica da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – Unidade Contagem pelo apoio para execução deste trabalho.

7. REFERÊNCIAS

- Albuquerque, O. A. L., 1980. “Elementos de máquinas”, Ed. Guanabara Dois S.A, Rio de Janeiro.
- Alves Filho, A., 2006. “Elementos finitos: a base da tecnologia CAE: análise matricial”. 4. Ed , ISBN 8571947414.
- ABNT, 2008. “NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios”. São

Paulo.

ABNT, 1984, "NBR 8400: Cálculo de Equipamentos para Levantamento e Movimentação de Cargas". São

Paulo. Brasil, V. H., 1985, "Máquinas de Levantamento" Ed. Guanabara Dois S.A, Rio de Janeiro.

Dassault Systèmes Corp., 2012. "SolidWorks Education x64 Edition". Versão Estudantil 2012, EUA.

Fonseca, Walter Mota; Junior, Jadir Gomes Soares; Pereira, Rodrigo Camargo 2015, "Projeto e Construção Estrutural de um Pórtico Rolante do Tipo Manual". Belo Horizonte, Trabalho de Conclusão de Curso, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, 128p.

Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2004. "Ligações em estruturas metálicas"- Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 88p.

Rudenko, N, 1976 "Máquinas de Elevação e Transporte", Livros Técnicos e Científicos, Editora S.A, Rio de

Janeiro. Santos, A. P., 1977, "Estruturas metálicas: projeto e detalhes para fabricação". São Paulo: McGraw-Hill, 270p.

8. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso contido neste artigo.

COMPARATIVE STUDY BETWEEN TWO MANUAL TYPE SLAUGHTER PORTS BY FINITE ELEMENT METHOD

Walter Mota da Fonseca, waltmec@gmail.com¹

Anderson Júnior dos Santos, ndersonsantos@hotmail.com¹

Bárbara Cristina Mendanha Reis, babi_mreis@hotmail.com¹

Ayrton Hugo de Andrade e Santos, ayrtonhugo@yahoo.com.br²

Marcelo Araujo Camara, Marcelocamara@demec.ufmg.br¹

Sinval Pedroso da Silva, sinvalpedroso@yahoo.com.br¹

¹ University Federal of Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha - Belo Horizonte - MG - CEP 31270-901, Brasil

² Pontifical Catholic University of Minas Gerais, R. Rio Comprido, 4.580 - Contagem - MG - CEP 32010-025, Brasil

Abstract. Rolling gantries manual type are metal structures used mostly in cargo handling, indoors or outdoors. The structural elements of the gantry cranes are usually composed of tubular steel profiles, which become a problem for the designer because of the difficulties of selecting a model between various configurations. In order to analyze the best structural behavior, this work presents structural simulations finite element between two structural configurations, especially requests into separate components, in order to importance of knowledge of the acting tensions and demonstrating the possible areas of greatest vulnerability for stress concentration using Von Mises criterion. The structural analysis was based on the design of two conventional gantries, usually used in moving components in assembly workshops, manufactured in I-beam and metal pipes with a nominal capacity of two tons. The gantry model with thin tube wall was higher stiffness and better stress distribution, facilitating its handling by the operator. There are advantages and disadvantages to using the simulation on the issue of projects. As an advantage, it would be how quickly the results in terms of physical tests, and disadvantage, the large number of input data and information rugged computers

Keywords: moving gantry; structural analysis; finite element method.