

# ANÁLISE DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE ESTRUTURAS METÁLICAS MAIS USUAIS EM EVENTOS TRANSITÓRIOS DA REGIÃO SUL DE SANTA CATARINA.

Gabriel Duarte Cardoso (1); Marcio Vito (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
(1) [gabrielcardoso@gmail.com](mailto:gabrielcardoso@gmail.com); (2) [marciovito@unesc.net](mailto:marciovito@unesc.net)

## RESUMO

As estruturas utilizadas em eventos transitórios muitas vezes não seguem uma metodologia de dimensionamento específico para seu uso, este fato ocorre em função da falta de normas específicas como também de softwares apropriados. Portanto este trabalho teve como objetivo analisar experimentalmente uma situação de carregamento real em uma estrutura mais usual em montagens de palcos, camarotes e arquibancadas para eventos, a fim de verificar sua resistência mecânica. Para avaliar a carga de uma estrutura modular usada em eventos, a análise foi realizada através de aplicações de cargas verticais nas estruturas metálicas, dividindo-se em quatro etapas: Inspeção, montagem, aplicação das cargas distribuída por metro quadrado e linear. Os ensaios foram realizados no laboratório experimental de estruturas, localizado no Parque científico e tecnológico IPARQUE, UNESC. O módulo da estrutura em ambos os testes demonstrou resistência que atende os requisitos da NBR 6120/1980 suportando a carga para a tipologia de estrutura para palco superou a carga mínima, contudo as deformações verticais foram superiores em algumas peças, às máximas permitidas pela NBR 8800/2008.

*Palavras-Chave: Palcos, Resistência mecânica, Aço A36, Avaliação experimental.*

## 1. INTRODUÇÃO

Eventos transitórios existem a séculos, conforme CESCA, C. G. G. (2008) desde os primeiros jogos olímpicos por volta do ano de 776 a.c., as lutas de gladiadores no Coliseu, os mercadores europeus com suas feiras ambulantes, todos com intuito de atrair multidões que vinham em busca de espetáculos, lazer e diversão. Com o passar dos anos foram-se aprimorando tais eventos e surgindo circos que em comitiva viajavam o país levando toda uma estrutura de arquibancadas, coberturas e palco (picadeiro). Ainda CESCA, C. G. G. (2008) “os tipos de eventos temporários atualmente cresceram sendo eles congressos, shows, festas de gastronomia, festivais de dança, desfiles de carnaval, entre outros, atraindo mais público, grandes

artistas e necessitando de uma estrutura de porte maior”. Sendo elas, palcos, camarotes, coberturas, camarins, salas, auditórios, arquibancadas e tudo mais que seja necessário para um evento se realizar engrandecendo ainda mais o seguimento.

Contudo a segurança do público tornou-se a maior preocupação para os órgãos fiscalizadores como o Corpo de Bombeiros Militar, Polícia Civil, CREA e o Estado em geral, pois em apenas alguns dias um simples terreno vazio torna-se uma grande arena de shows. “Incidentes em eventos mancham a imagem das empresas organizadoras de eventos, promotores e patrocinadoras. Não existe uma fórmula pronta para dimensionar a segurança de um evento. Cada evento exige um planejamento próprio” ABEOC BRASIL, (2013) Cartilha evento seguro. Porém para que tudo isso seja montado são exigidas documentações para serem apresentadas ao setor de fiscalização destes eventos em principal o Corpo de Bombeiros Militar. Estes seguem as instruções contidas na IN – 24/DAT/CBMSC. Dentre os documentos pedidos estão, Anotação de Responsabilidade Técnica (ART ou RRT) de inspeção e execução da montagem das estruturas, sendo elas metálicas de madeira ou de material misto, instalações elétricas, aterramento e projeto e instalação de Plano de Prevenção Contra Incêndio (PPCI). Praticamente todas as exigências são voltadas para a segurança contra incêndios ou blackout de energia.

Todo o evento de grande concentração de público a ser realizado no âmbito do Estado de Santa Catarina, que necessitar de Alvará de Funcionamento, deve possuir Responsável Técnico pela segurança contra incêndio e pânico, com registro no Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura, que deverá emitir a respectiva (ART.LEI Nº 15.124, 2010. CAP. IV – ART. 7)

Sendo garantida a resistência mecânica das estruturas apenas pela ART não sendo solicitadas, projeto de fabricação e especificações quanto à resistência real de cada estrutura.

Segundo a NBR 8800/2008 “Entende-se por projeto o conjunto de especificações, cálculos estruturais, desenhos de projeto de fabricação e de montagem dos elementos de aço”. (4. Generalidades – Item 4.1.2- pag. 10). Analisando as normas vigentes foi verificado que para arquibancadas e palcos deve considerar uma sobre carga de 4,0 kN/m<sup>2</sup> e 5,0 kN/m<sup>2</sup> respectivamente (NBR 6120/1980 tabela 2 – Valores

mínimos de cargas verticais). O presente estudo tem como objetivo analisar experimentalmente de maneira a simular uma situação de carregamento real na tipologia de estrutura mais usual para montagens de palcos, camarotes e arquibancadas de eventos na região Sul do Estado de Santa Catarina com intuito de verificar se a resistência mecânica de tais estruturas se encontram nos padrões exigidos pelas normas a fim de garantir a segurança dos usuários nos eventos.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

Foram realizados dois testes de carga para análise experimental de uma estrutura modular usual em eventos transitórios da Região Sul do Estado de Santa Catarina. Na fabricação da estrutura, o aço utilizado foi o ASTM A36 de acordo com especificação determinada pela própria empresa. O primeiro teste com carga distribuída por metro quadrado e o outro com carga em linha aplicada com a pórtico de reação com capacidade de aplicação de 500 kN.

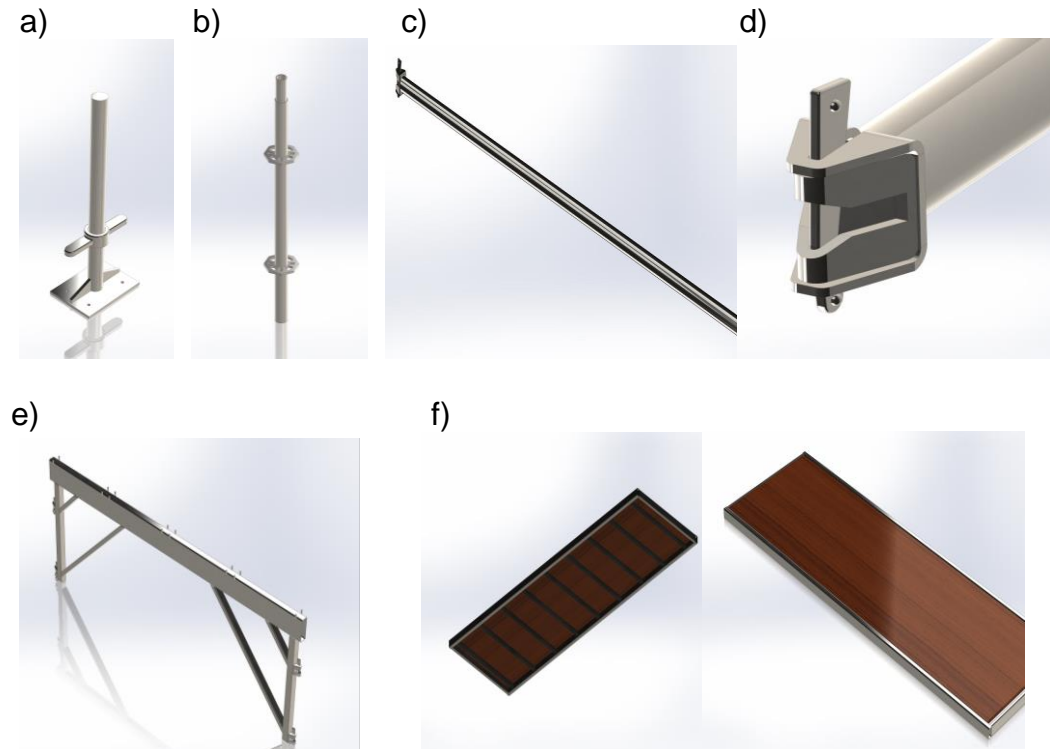
### **2.1 ANÁLISE EXPERIMENTAL**

Os experimentos foram realizados com a finalidade de simular as aplicações de cargas verticais em estruturas metálicas mais usuais em eventos, utilizando um modulo padrão fornecido por uma empresa do seguimento. Este desenvolvimento foi dividido em 4 etapas:

1. Inspeção das peças utilizadas;
2. Montagem do módulo fornecido;
3. Aplicação de carga distribuída uniforme em toda a área do modulo;
4. Analise experimental em pórtico de reação;

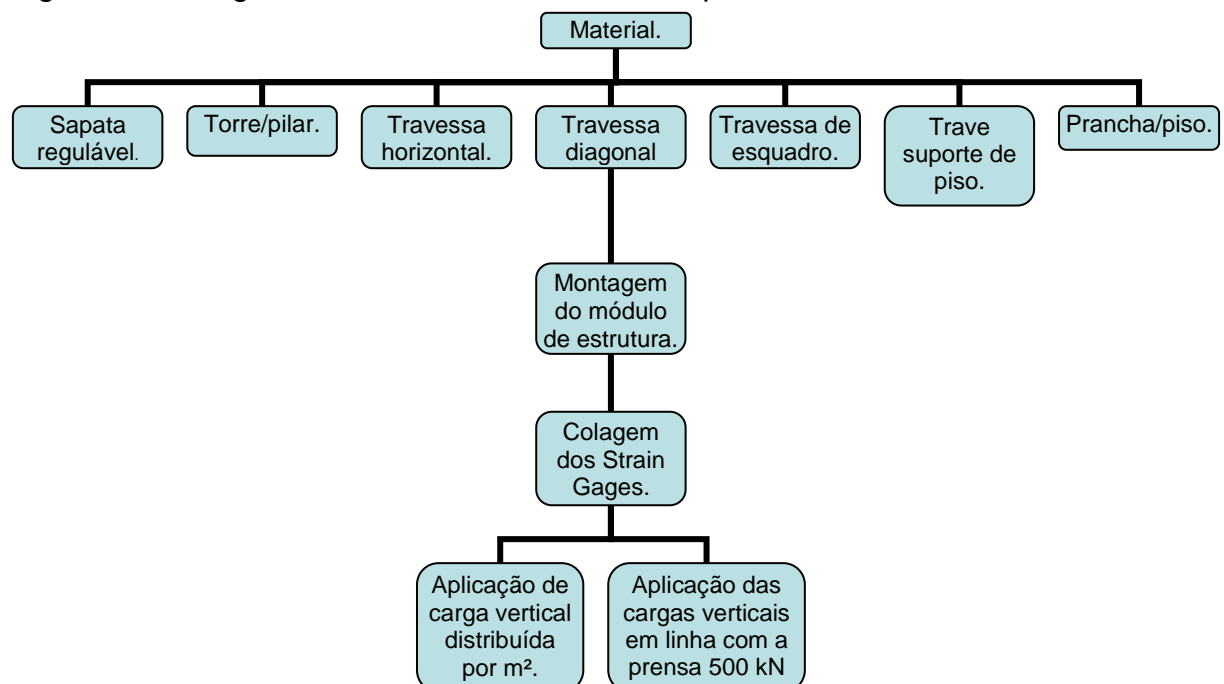
As características mecânicas dos materiais dos perfis laminados e dobrados serão obtidos através do certificado fornecido pela empresa que utilizou aço ASTM A36, as peças utilizadas na montagem do módulo são as relacionadas na figura 01. O fluxograma apresentado na figura 02 mostra as etapas de montagem e experimentação da estrutura.

Figura 01: a) sapata regulável; b) torre pilar; c) travessas (horizontal, diagonal, esquadro); d) detalhe ligação travessa com torre; e) trave suporte de piso; f) prancha/piso;



Fonte: o autor.

Figura 02: fluxograma do desenvolvimento do experimento.



Fonte: o autor.

Na etapa 1, a inspeção das peças foi realizada separadamente para verificação de sua característica física se a mesma não apresenta ranhuras ou trincas nas soldas que pudessem interferir nos resultados de resistência mecânica.

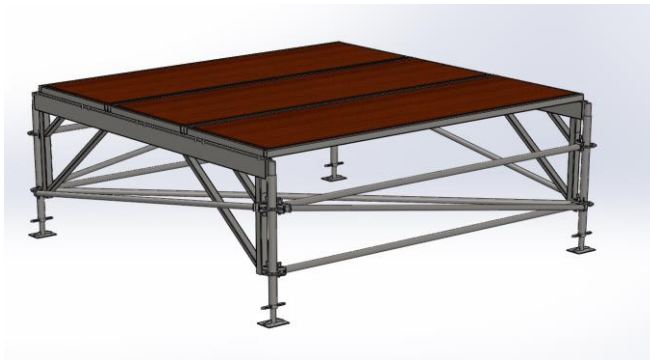
Na etapa 2, foram seguidas as recomendações de montagem do módulo, que a empresa de eventos nos forneceu. Este consiste em 04 sapatas reguláveis, 04 torres de 1,10 m de altura, 04 travessas horizontais de 2,40 m, 04 travessas diagonais 2,68 m, 01 travessa de esquadro de 3,40 m, 02 traves suportes para piso 2,50 m, 03 pranchas de piso de 0,80x2,50 m. Montando assim um módulo de 2,50x2,50x1,20 m (largura x comprimento x altura).

Na etapa 3 para aplicação da carga distribuída por metro quadrado foi confeccionada uma lona em formato cubico, mostrada na figura 05, com as medidas de 2,50x2,50x1,10 m (largura x comprimento x altura) onde foi preenchido com agua a fim de utiliza-la como carga pois a mesma é possível de fazer um controle levando em conta que seu peso especifico é 9,806 kN/m<sup>3</sup>. Utilizando as grades de proteção para confinamento da lona e que assim ela aplique uma carga uniformemente em cima da estrutura. Para o controle exato do volume (carga) aplicado em cima da estrutura foi instalado duas régua para conferir as alturas de agua adicionadas gradativamente, o que será comparado com a deformação das peças aferidas pelos *Strain Gages* –HBM - 10/120A LY11 (SG) para verificar a carga recebida por cada parte da estrutura. Nesta metodologia aplicou-se uma carga vertical de 7,845 kN/m<sup>2</sup> sendo assim, 57% maior que a carga mínima exigida por norma para este tipo de ocupação.

A etapa 4 consiste na aplicação de carga linear (kN/m) e coleta dos dados. Com o intuito de simular uma situação real onde ocorre uma concentração de público numa região próxima à frente do módulo não sendo mais distribuída uniformemente como a carga por metro quadrado. Para isso foi utilizado um pórtico de reação com uma bomba hidráulica capaz de aplicar até 500 kN. As cargas foram medidas através de uma célula de carga calibrada e os dados coletados com auxílio de um modulo de aquisição de dados Quantum – HBM - X MX840B. Os deslocamentos da trave de apoio dos pisos e prancha foram aferidos com um LVDT – HBM – WA100 posicionado na metade do vão teórico da trave, outro posicionado ao centro de uma das três pranchas de piso. Estes dados também serão coletados com o modulo de aquisição Quantum X MX840B.

A figura 03 apresenta o desenho construtivo do módulo a ser ensaiado, com as indicações das peças necessárias para a construção do mesmo, já ilustradas anteriormente na figura 01.

Figura 03: desenho do Modulo de estrutura.



Fonte: o autor.

Obedecendo a simetria foram escolhidas as peças de mais importância do módulo, sendo elas uma trave de suporte de piso (SG1), uma torre (SG2), uma prancha de piso (SG3), uma travessa lateral horizontal (SG4) e uma diagonal (SG5), colados nas peças mencionadas posicionados ao centro do vão teórico, os SG num total de cinco unidades. Estes sensores tem o intuito de verificar as deformações sofridas devido a aplicação das cargas atuantes em cada peça para que com estas deformações em conjunto com o modulo de elasticidade do aço obter a tensão e assim identificar quais estão sub ou superdimensionadas priorizando a segurança e economia. A figura 04 mostra a posição dos SG e a preparação para o início da prova de carga.

Figura 04: módulo com *Strain Gages* posicionados.



Fonte: o autor.

A carga aplicada foi introduzida por meio de bomba hidráulica proveniente de um caminhão pipa, aferiu-se seu volume com uma régua marcando a cada 10cm, sendo convertida para uma carga de  $0,98\text{kN/m}^2$  acrescentado. As peças do módulo foram aferidas de acordo com o acréscimo de carga a fim de conferir deslocamento e deformação com intuito de saber qual das peças está sendo mais solicitada. A figura 05 mostra a carga sendo acrescentada na estrutura e a posição do LVDT1 e do LVDT2 que medem o deslocamento vertical da prancha e da trave suporte, a fim de determinar a flecha máxima.

Figura 05: prova de carga com água ( $\text{kN/m}^2$ ).



Fonte: o autor.

Posterior a prova de carga com água, verificando que as peças do módulo não sofreram deformações plásticas visíveis, o mesmo foi montado sob o pórtico da prensa hidráulica para se chegar numa ruptura, onde seria o ponto de fragilidade da estrutura. Para este ensaio, precisou-se fazer alguns ajustes nas peças do módulo, como um recorte na prancha central para que a mesma fosse encaixada no pórtico e a retirada das sapatas reguláveis para poder atingir uma altura compatível com a disponível na prensa. A carga foi aplicada através de um perfil de aço tipo TR-32 para distribuir uma carga linear transversal às pranchas. A figura 06 apresenta o módulo no experimento com o pórtico de reação, neste foram verificadas as deformações e deslocamentos pelos cinco SG e pelo LVDT1 e LVDT2.

Figura 06: aplicação de carga linear (kN/m).

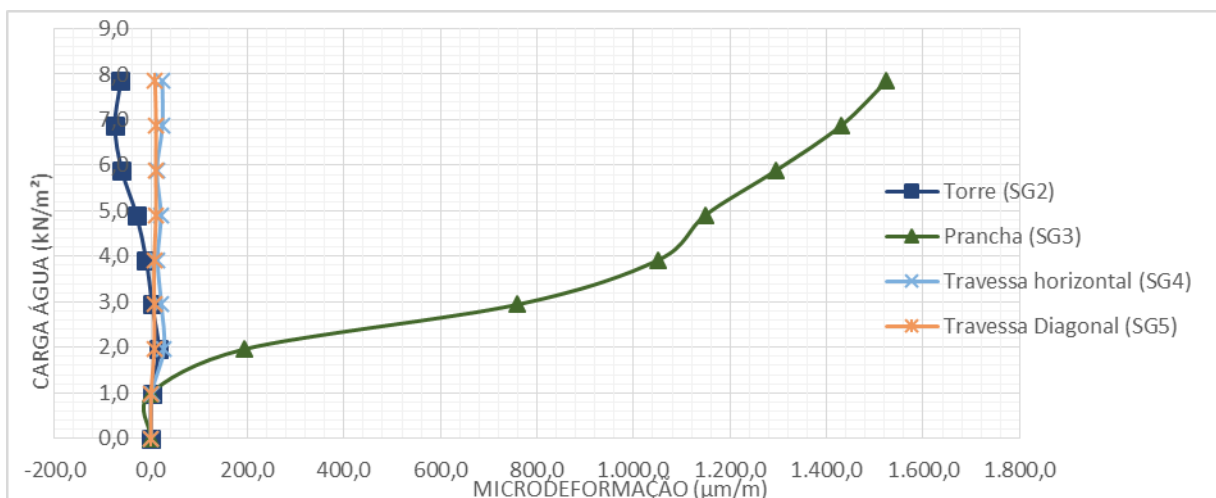


Fonte: O autor.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com os dados experimentais aferidos nos dois ensaios, pode-se comparar os resultados do ensaio com carga distribuída por metro quadrado, com os resultados do pórtico de reação que aplicou uma carga linear. No primeiro ensaio, descrito anteriormente na etapa 3, pode-se acompanhar o deslocamento da trave suporte do piso, que foi aferido pelo LVDT1, no centro da peça. Os SG2 ao SG5 que foram instalados nas peças anteriormente citadas. As micro deformações aferidas ao decorrer da aplicação de carga estão expostas no figura 07.

Figura 07: curva de carga (água) x micro deformação ( $\mu\text{m}/\text{m}$ ).

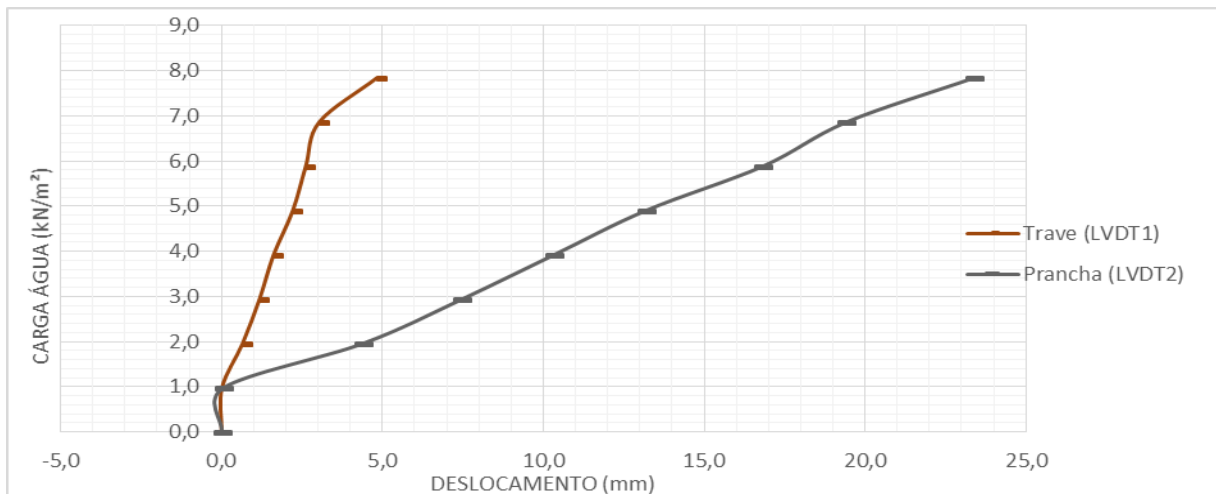


Fonte o autor.



A figura 08, mostra o deslocamento vertical da trave suporte e da prancha piso, de acordo com a aplicação de carga crescente. Pela NBR8800 o deslocamento vertical máximo é de  $L/350$  resultando em 7,14 mm para o vão em estudo.

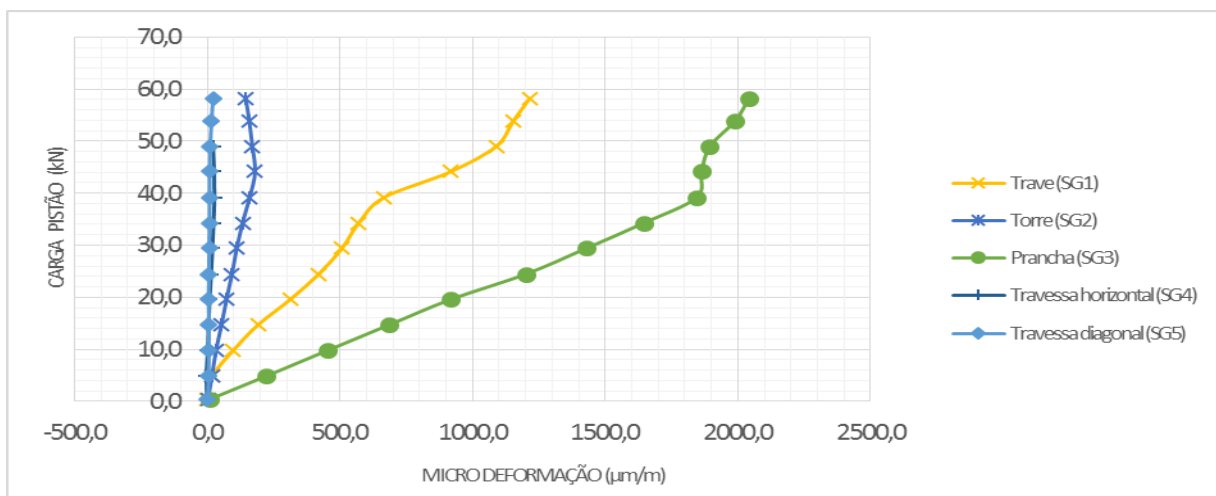
Figura 08: curva de carga (água) x deslocamento (mm).



Fonte: o autor.

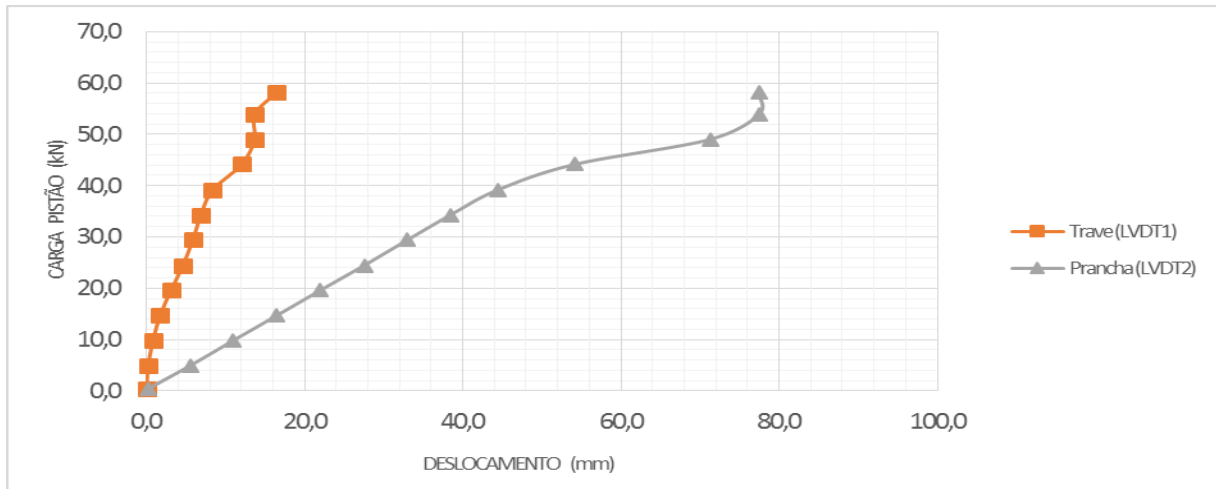
As figuras 09 e 10 apresentam os resultados de micro deformação e deslocamento, respectivamente, das mesmas peças do módulo de estrutura, porem estes resultados devidos à aplicação de carga pelo pórtico.

Figura 09: curva de carga (kN) x micro deformação ( $\mu\text{m}/\text{m}$ ).



Fonte: o autor.

Figura 10: curva de carga (kN) x deslocamento (mm).



Fonte: o autor.

Em ambos os ensaios o deslocamento vertical máximo da prancha ultrapassou o limite estabelecido pela NBR:8800, já o deslocamento da trave suporte, apenas ultrapassou o máximo permitido no teste do pórtico, que teve valores superiores de carga quando comparado com a água. Neste atingiu-se a tensão máxima de escoamento quando a prancha ultrapassou o regime elástico. Segundo DE SOUZA, A. S. “ao ser atingida uma tensão em que o material já não obedece mais a lei de Hooke, ou seja, a deformação não é mais proporcional à tensão, chega-se ao limite de proporcionalidade, início do regime plástico do material.” De acordo com ALVES FILHO, Avelino “uma flecha maior que a estabelecida pela norma implica no surgimento de não-linearidade geométrica, assim a análise estática linear passa a não ser satisfatória para representar o real estado de tensão do componente estrutural, ou seja ao passar na deformação máxima, componentes axiais estarão agindo mais intensamente e a linha neutra da peça não é mais coincidente com a linha de simetria.” Sabendo disso, utilizou-se o método bi-linear utilizando o modulo tangente da EUROCODE 3. A equação (1) foi utilizada para obter a deformação plástica.

$$\epsilon_p = \epsilon_{SG} - \epsilon_E \quad \text{equação (1)}$$

$$\epsilon_E = \frac{\sigma_y}{E}$$

Em que:

$\varepsilon_p$  é a deformação plástica ( $\mu\text{m}/\text{m}$ ).

$\varepsilon_{SG}$  é a deformação informada pelos Strain Gages ( $\mu\text{m}/\text{m}$ ).

$\varepsilon_E$  é a deformação máxima elástica do aço ( $\mu\text{m}/\text{m}$ ).

A equação (2) utilizada por MAGGI, Y. I. serviu para obter o Modulo Tangente e a equação (3) traçou as tensões máximas obtidas nos ensaios. A figura 11 demonstra a curva de tensão e micro deformação que foi traçada com os resultados da equação.

$$MT = \frac{(\sigma_u - \sigma_y)}{(60 \cdot \varepsilon_E - \varepsilon_E)} \quad \text{equação (2)}$$

$$\sigma = MT \cdot \varepsilon_p + \sigma_y \quad \text{equação (3)}$$

Em que:

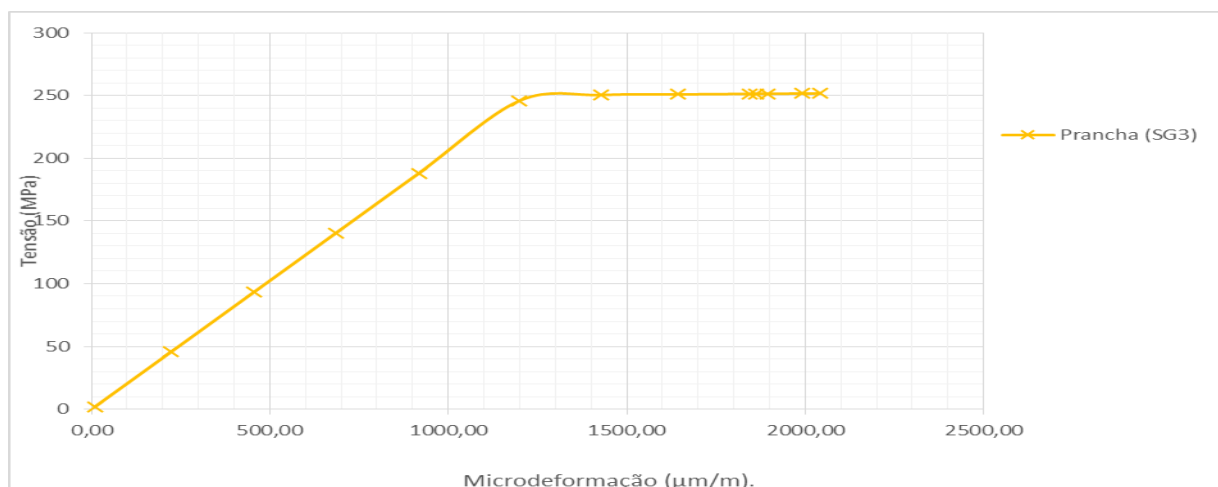
MT é o Modulo Tangente.

$\sigma_u$  é a tensão de ruptura do aço (MPa).

$\sigma_y$  é a tensão de escoamento do aço (MPa).

$\sigma$  é a tensão na peça no regime elasto-plastico (MPa).

Figura 11: curva tensão (Mpa) x micro deformação ( $\mu\text{m}/\text{m}$ ).



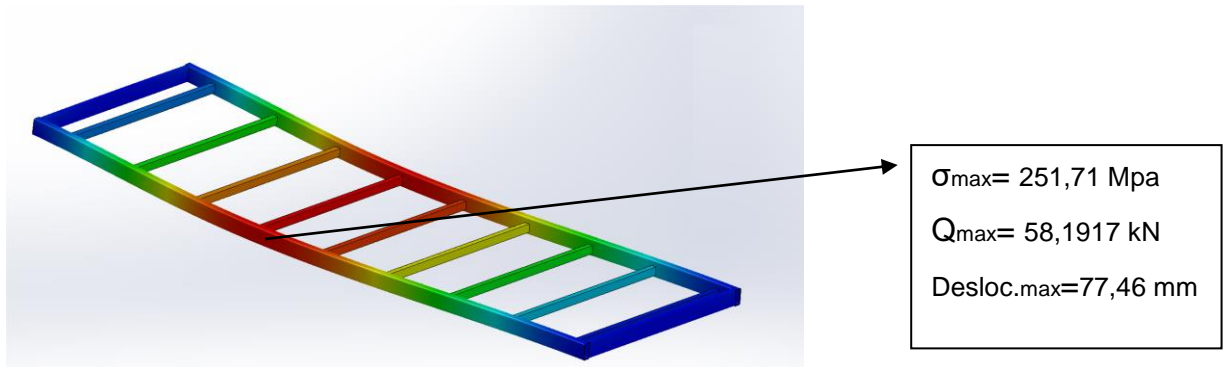
Fonte: o autor.

A prancha piso foi a única peça do módulo em que as tensões foram superiores às tensões de escoamento do aço.

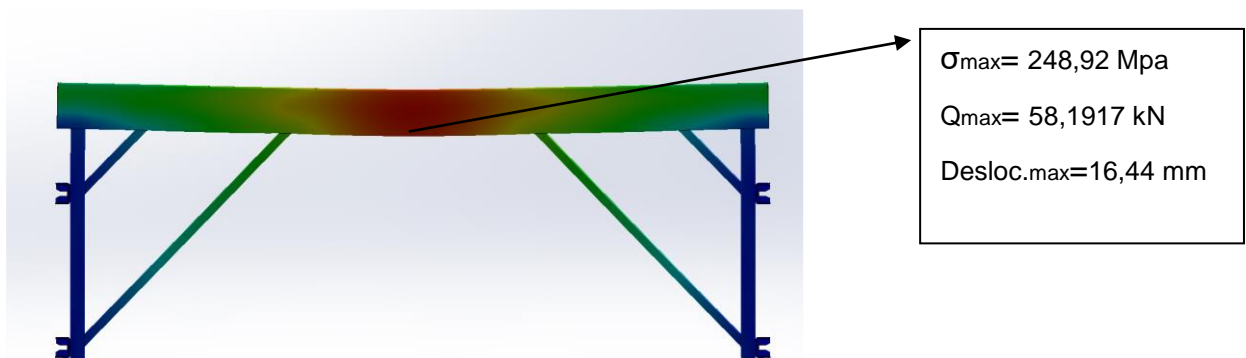
A figura 12 (a) e (b) representa respectivamente o gradiente de distribuição de tensões na prancha e na trave de acordo com os ensaios executados.

Figura 12: tensões principais na prancha e trave suporte.

a)



b)



Fonte: o autor.

#### 4. CONCLUSÕES

O comportamento do módulo da estrutura em ambos os testes demonstrou resistência mecânica que atende os requisitos da NBR 6120/1980 suportando a carga para a tipologia de estrutura para palco com o mínimo 5,0 kN/m<sup>2</sup> suportando valores superiores 57% acima deste mínimo. No entanto o deslocamento vertical máximo estabelecida pela NBR 8800/2008 foi ultrapassado, pela prancha piso, em valores de carga inferiores ao mínimo, próximo dos 3,0 kN/m<sup>2</sup>, mas sem atingir a tensão de escoamento antes de chegar a carga mínima, provando suportar a carga mesmo com deslocamentos excedentes. A tensão máxima dentro do limite de

escoamento da prancha foi atingida com uma carga aplicada pela prensa de 24,89 kN/m. A trave suporte do piso suportou todas as cargas aplicadas tanto da água quanto do pórtico sem sofrer deformações plásticas definitivas nem mesmo atingiu o limite de escoamento. Porém o deslocamento vertical máximo que não havia sido ultrapassado no ensaio com a água, no teste realizado no pórtico chegou ao máximo de 16,44 mm, 130% acima do permitido, na última carga aplicada de 58,1917 kN mas comportando-se dentro das limitações da norma até a carga de 35,60 kN. Todas as outras peças que foram aferidas pelos Strain Gages foram pouco solicitadas. As peças que não tinham sensores instalados, as mesmas não sofreram deformações plásticas, pois estas foram medidas antes e depois dos testes.

## 5. RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Recomenda-se que em estudos futuros sejam dimensionadas soluções para corrigir a deformação vertical das peças que ultrapassaram o limite de norma. Analisar as ligações entre as peças, que neste estudo não foram analisadas e podem ser estudadas e avaliadas mais detalhadamente, bem como as peças que foram pouco solicitadas, podendo ser redimensionadas.

## 6. REFERÊNCIAS

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SANTA CATARINA. **Exigências mínimas de segurança para estabelecimentos ou eventos de grande concentração pública.** LEI Nº 15.124. Florianópolis, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE EVENTOS. **Cartilha evento seguro edição Santa Catarina.** ABEOC. Florianópolis, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ações e segurança nas estruturas - Procedimento.** NBR 8681. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cargas para o cálculo de estruturas de edificações.** NBR 6120. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.** NBR 8800. Rio de

Janeiro, 2008.

ALVES FILHO, Avelino. **Elementos finitos: a base da tecnologia CAE**. 6. ed São Paulo: Érica, 2013.

CESCA, Cleuza G. Gimenes. **Organização de eventos: manual para planejamento e execução**. 9.ed. rev. e atual São Paulo: Summus, 2008.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR, DIRETORIA DE ATIVIDADES TÉCNICAS. **Normas de segurança contra incêndios – Eventos transitórios e praças desportivas**. IN 024/DAT/CBMSC. Florianópolis, 2014.

DE SOUZA A. S. **Ensaaios mecânicos de materiais metálicos, fundamentos teóricos e práticos**. São Paulo, 1982.

EUROPEAN STANDARD. **Design of steel structures – part 1-8: Design of joints**. Eurocode 3 EM 1993-1-8 (2005).

MAGGI, Y. I. **Análise do comportamento estrutural de ligações parafusadas viga-pilar com chapa de topo estendida**. 269 p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.