

# A IMPORTÂNCIA DA UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE FTOOL EM COMPETIÇÕES DE PONTES DE MACARRÃO

Francisca Ires Vieira de Melo, Layane Silva de Amorim, Cláudio Rogério Cruz de  
Sousa, Leonardo Henrique Borges de Oliveira

Universidade Federal Rural do Semi-Árido – Pau dos Ferros – RN – Brasil  
Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros

[ires\\_vieira@hotmail.com](mailto:ires_vieira@hotmail.com), [layaneamorim@live.com](mailto:layaneamorim@live.com),  
[clawsio.cruz@ufersa.edu.br](mailto:clawsio.cruz@ufersa.edu.br), [leonardo.oliveira@ufersa.edu.br](mailto:leonardo.oliveira@ufersa.edu.br)

**Abstract** - This work aimed to show the importance of using Ftool software in structural analysis. To validate the importance, a comparative study was carried out on the structural behavior of the four models of truss bridges most used in the competitions of spaghetti pasta noodles of the Federal Rural University of the Semi-Arid - Multidisciplinary Center of Pau dos Ferros. Ftool v3.01 software was used to determine the efforts. The analysis was based on comparing the behavior of the four types of association for a free span ( $d$ ) of 1 m and heights ( $h$ ) of 15, 20, 30, 40 and 50 cm. It was concluded that the software is of fundamental utility for such analyzes, both in relation to the efficiency and reliability in the calculations, as well as in the time factor. So that from this it was possible to observe that the height variation has influence on the structural behavior of the trusses.

**Resumo** - Este trabalho teve como objetivo mostrar a importância da utilização do software Ftool em análises estruturais. Para validação da importância, realizou-se um estudo comparativo do comportamento estrutural dos quatro modelos de pontes treliçadas mais utilizados nas competições de pontes de macarrão tipo espaguete da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros. Para a determinação dos esforços, utilizou-se o software Ftool v3.01. A análise baseou-se em comparar o comportamento dos 4 tipos de associação para um vão livre ( $d$ ) de 1 m e alturas ( $h$ ) de 15, 20, 30, 40 e 50 cm. Concluiu-se que o software é de fundamental utilidade para tais análises, tanto em relação à eficiência e confiabilidade nos cálculos, como no fator tempo. De modo que a partir deste foi possível observar que a variação da altura tem influência no comportamento estrutural das treliças.

## 1. INTRODUÇÃO

A competição de pontes de macarrão tipo espaguete é um evento que ocorre em várias universidades brasileiras e do exterior, com o intuito de possibilitar aos participantes pôr seus conhecimentos adquiridos nas disciplinas de estática e resistência dos materiais em prática. O evento consiste na construção de uma ponte de macarrão na qual a que suportar maior carga antes do colapso consagra-se a campeã. (Ciência se faz na prática, 2015)

Durante a confecção da ponte o aluno vai se deparar com inúmeros modelos e diferentes tipos de associações. Além disso, o evento geralmente é realizado no período das últimas provas do semestre, o que faz o aluno na maioria das vezes escolher o modelo aleatoriamente por falta de tempo para realizar uma análise mais profunda do melhor modelo a ser implementado. Outro motivo de se fazer tal escolha aleatória é a falta de conhecimento em relação as ferramentas computacionais que facilitam as análises. Como solução para tal problema o trabalho busca mostrar a importância da utilização do software Ftool, onde atribui-se apenas o modelo estrutural e o mesmo já retorna com todos os esforços barra por barra, além de disponibilizar também o deslocamento máximo da estrutura, agilizando assim o processo de cálculo e análise, já que os alunos não dispõem de tempo suficiente para serem feitos analiticamente.

Para validação da importância foram comparados e analisados os quatro modelos de pontes mais utilizados nas competições de pontes de macarrão da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA. Tal comparação foi realizada em relação aos esforços normais atuantes nas barras quando as pontes estavam sob as mesmas condições de solicitações e ao variar o parâmetro altura ( $h$ ).

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Treliças

Uma treliça ideal é um sistema reticulado, cujas barras têm todas as extremidades rotuladas e cujas cargas estão aplicadas apenas e exatamente em seus nós. Sobre isso, Moliterno (2010) as define em seus aspectos de estrutura plana, isto é, como um sistema de barras situadas em um plano e articuladas umas às outras em suas extremidades. Elas podem ser classificadas por diferentes aspectos, tais como, lei de formação e estaticidade.

De acordo com Süsskind (1981) as treliças podem ser classificadas em três tipos de acordo com a lei de formação, que são elas: simples, compostas e complexas. No trabalho foram utilizadas apenas treliças simples, que para Machado (1999), a formação das treliças simples, pode-se partir de uma base, supostamente rígida, definindo-se a posição do nó inicial através de duas barras e estabelecendo os nós seguintes. Acrescentando sempre duas barras de cada vez ao sistema inicial, o sistema ganha um novo nó para cada duas novas barras.

Em relação a classificação quanto a estaticidade, Süsskind (1981) classifica as treliças em hipostática, isostática e hiperestática. Dependendo do número de incógnitas da estrutura e da quantidade de equações disponíveis para resolvê-las. Segundo Melo (2016) as treliças possuem uma quantidade de incógnitas igual ao número de barras somado ao número de reações de apoio. Adotando nomenclatura usual, a quantidade de

incógnitas é representada por  $r + b$ , em que  $r$  é o número de reações de apoio e  $b$  o número de barras que compõe a treliça. Já a quantidade de equações disponíveis é dada por  $2n$ , em que  $n$  é o número de nós da estrutura.

Trataremos neste trabalho apenas de treliças isostáticas, isto é, quando a seguinte equação for satisfeita  $r + b = 2n$ .

## 3.2 MÉTODOS DE RESOLUÇÃO

A partir dos métodos a seguir, torna-se possível a determinação dos esforços nas barras de uma treliça isostática.

### 3.2.1 Método equilíbrio dos nós

A resolução de treliças por esse método consiste em verificar o equilíbrio de cada nó isolado aplicando-se as equações de equilíbrio estático, onde cada nó necessita possuir apenas duas incógnitas a serem determinadas.

De acordo com Süsskind (1981) para a determinação dos esforços normais atuantes nas barras, é feita sucessivamente a análise do equilíbrio de cada um de seus nós, constituindo a análise de um sistema de forças aplicadas num ponto material.

### 3.4.2 Método de Ritter ou método das seções

É o método usado quando se deseja determinar o esforço de uma barra isolada qualquer de uma treliça sem ser necessário o conhecimento das demais.

Segundo Süsskind (1981) as demais observações devem ser feitas:

- a) Escolher seções que interceptem três barras não paralelas nem concorrentes no mesmo ponto;
- b) As seções devem ser contínuas, de modo a atravessar toda a treliça;
- c) Ao analisar os nós de cada barra, deve considerar que os esforços estão no sentido de tracioná-la.

## 3.3 SOFTWARE FTOOL

O Ftool (*Two-dimensional Frame Analysis Tool*) foi desenvolvido através de um projeto de pesquisa. É um software simples, que une em uma única interface recursos que se destinam ao ensino do comportamento estrutural de uma forma rápida, com cálculos precisos e confiáveis, e com uma visualização de resultados efetiva. Na Figura 1 é apresentada a interface do programa. O objetivo de uso da ferramenta é motivar o aluno para aprender o comportamento estrutural de treliças, já que é difícil motivar o aluno a aprender a teoria dos métodos de resolução para tais análises sem entender como o modelo analisado se comporta sendo analisado na prática. (FTOOL, [201-?])

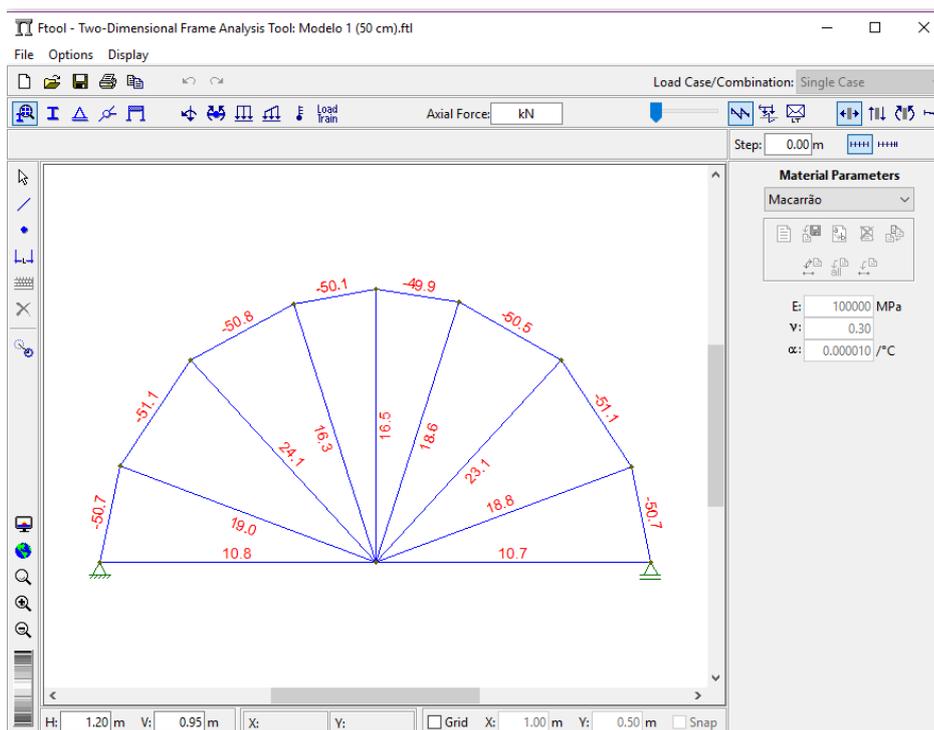


Figura 1: Interface do software Ftool.

### 3. METODOLOGIA

Para a análise estrutural buscou-se comparar os esforços de tração e compressão obtidos em cada elemento dos quatro modelos escolhidos, e apresentados na Figura 2, de modo a verificar a faixa compreendida entre os esforços máximos e mínimos para cada ponte. Para uma representação mais próxima do comportamento real, considerou-se as barras conectadas por nós rígidos, já que nas pontes de macarrão as barras são interligadas por colas que possuem a finalidade de enrijecer o nó. Após o desenho do modelo atribuiu-se as propriedades do material, como geometria da seção transversal e o módulo de elasticidade. Em seguida, aplicou-se os tipos de carregamentos ao qual a ponte será submetida.

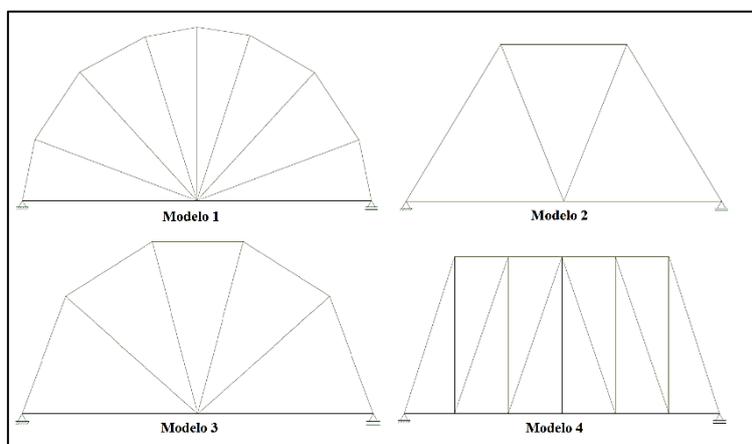
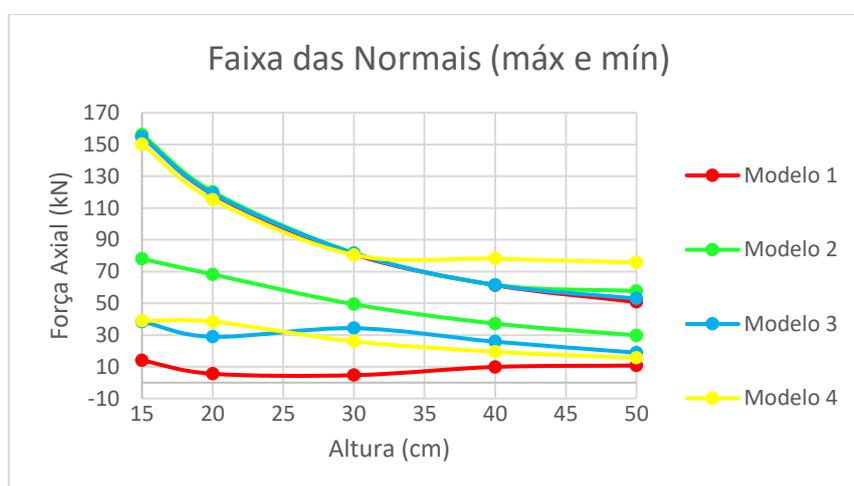


Figura 2: Modelos escolhidos.

Nos modelos analisados (Figura 2), atribuiu-se a todos propriedades geométricas e mecânicas iguais, isto é, o mesmo módulo de elasticidade ( $E$ ) e seção circular. Com relação ao carregamento solicitante, atribuiu-se uma força de  $100\text{ kN}$  na posição do nó localizado no centro da ponte, visto que na competição a carga é colocada no mesmo ponto. Após esse procedimento, calcularam-se as normais de cada barra da treliça e o deslocamento máximo para todos os modelos estudados.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

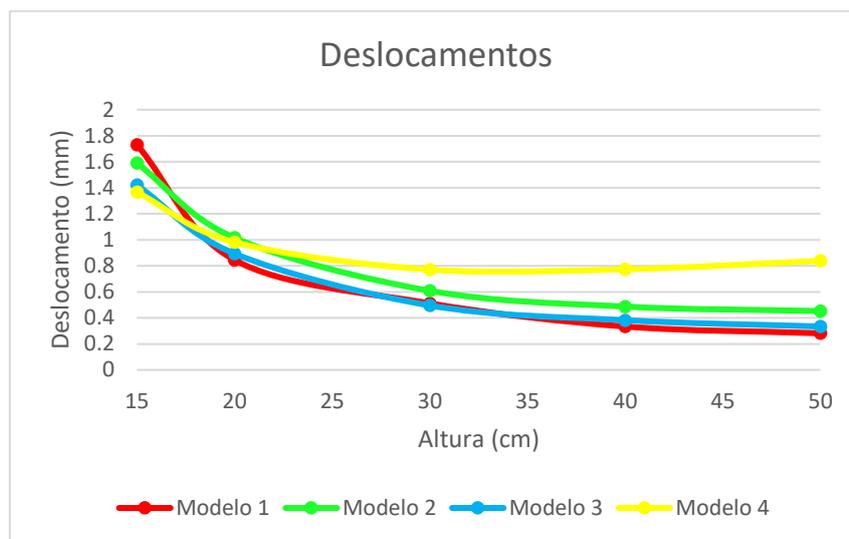
Na Figura 3, encontram-se os valores dos esforços máximos e mínimos de tração e compressão obtidos nas barras, em que para cada modelo atribuiu-se 1 metro de vão ( $L$ ) parâmetro usado em competições sobre a influência da distância ( $d$ ) entre os apoios e variou-se a altura ( $h$ ) de 15, 20, 30, 40 e 50 cm.



**Figura 3:** Esforços axiais nas barras.

Pode-se observar que os maiores esforços normais solicitantes apresentaram-se na menor altura aplicada ( $15\text{ cm}$ ), e para a altura de  $50\text{ cm}$  foram obtidas as menores variações para os modelos 1, 2 e 3. Com relação aos valores de compressão, os 4 modelos apresentaram um comportamento semelhante com pouca variação de valores, o maior valor observado foi de  $156,3\text{ kN}$ , apresentado na parte superior do modelo 2. Já os menores esforços das normais mínimas foram encontradas nos modelos 1 e 4, correspondentes as diagonais e a parte inferior, respectivamente.

A partir da análise da faixa de variação entre as normais máximas e mínimas obtida na Figura 3, notou-se que ao aumentar a altura, essa variação diminuiu, onde a menor variação foi verificada no modelo 2, para uma altura de  $50\text{ cm}$ . Essa menor variação implica dizer que os esforços solicitantes estão diretamente relacionados com a altura, onde para cada altura específica o deslocamento é diferente, como pode ser visto na Figura 4.



**Figura 4:** Deslocamentos obtidos.

Os deslocamentos obtidos foram semelhantes numericamente e diminuem em função da altura, onde quanto maior for a altura, menores os deslocamentos obtidos para os modelos 1, 2 e 3. Já para o modelo 4 isso ocorre até uma altura de 30 *cm*, após isso o deslocamento volta a aumentar. Os deslocamentos máximos e mínimos foram obtidos no modelo 1. Para os casos analisados, o modelo 3 obteve melhor desempenho em relação a menor variação dos esforços nas barras, e com relação ao menor deslocamento para uma altura de 50 *cm*, o modelo 1 obteve o melhor desempenho.

Essa variação de comportamento entre um modelo e outro está diretamente relacionada ao tipo de associação a qual é atribuída ao modelo. Como citado anteriormente o modelo 1 que é um tipo de associação em arco, apresentou os menores deslocamentos, o que ocorre devido distribuição uniforme da força aplicada diretamente no arco.

Todos os modelos analisados no software Ftool estão disponíveis para eventuais consultas em:

<<https://drive.google.com/drive/folders/0B7vaGeecyIdibFIVdzBraGphcjQ>>.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou a análise do desempenho estrutural de quatro modelos de pontes treliçadas de macarrão para cinco alturas diferentes, constituindo vinte modelos analisados. O software Ftool foi de fundamental importância, facilitando as análises de esforços nas estruturas de macarrão usadas em competições, uma vez que foi utilizado aplicando os conceitos fundamentais para realização do cálculo manual de cada esforço normal, levando um tempo significativo para serem executados, além de que os resultados obtidos na ferramenta é de extrema confiabilidade, tornando-se de suma importância a sua utilização para as competições, deixando o procedimento mais rápido, prático e eficiente.

Após as análises observou-se que para a escolha do melhor modelo é preciso fazer análises de acordo com o caso desejado, onde a altura é um dos principais parâmetros a ser observado, que a depender dela o deslocamento pode aumentar ou

diminuir, como ocorreu nos modelos estudados, em que para a altura de 50 *cm* foram observados os menores deslocamentos. Dessa forma o software auxilia na fase de escolha de quais parâmetros serão melhores para a associação escolhida, assim pode-se ter o conhecimento de qual altura vai atribuir um menor deslocamento da ponte. Constatando-se assim que a análise a partir do Ftool torna possível estudar vários modelos de modo prático e menos trabalhoso.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ciência se faz na pratica. Disponível em: <<https://www.cienciasefaznapratica.com/>>. Acesso em: 22 fev. 2017.
- FTOOL. Disponível em: <<http://www.alis-sol.com.br/ftool/>>. Acesso em: 23 fev. 2017>.
- MACHADO JÚNIOR, E.F. (1999). **Introdução à isostática**. Projeto REENG. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP.
- MELO, Francisca Ires Vieira de. **ESTUDO COMPARATIVO DA ASSOCIAÇÃO DE MEMBROS DE TRELIÇAS ISOSTÁTICAS**. 2016. 60 f. TCC (Graduação) – Curso de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros-RN, 2016.
- MOLITERNO, Antonio. **Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010.
- SÜSSEKIND, J.C. **Curso de Análise Estrutural: Estruturas Isostáticas**– Vol.1, 6ª ed. Editora Globo, Porto Alegre, 1981.