

MODELAGEM PARAMÉTRICA PARA PONTES EM TRELIÇA E OTIMIZAÇÃO ESTRUTURAL

Palavras-Chave: OTIMIZAÇÃO ESTRUTURAL, MODELAGEM PARAMÉTRICA, PONTE
TRELIÇADA

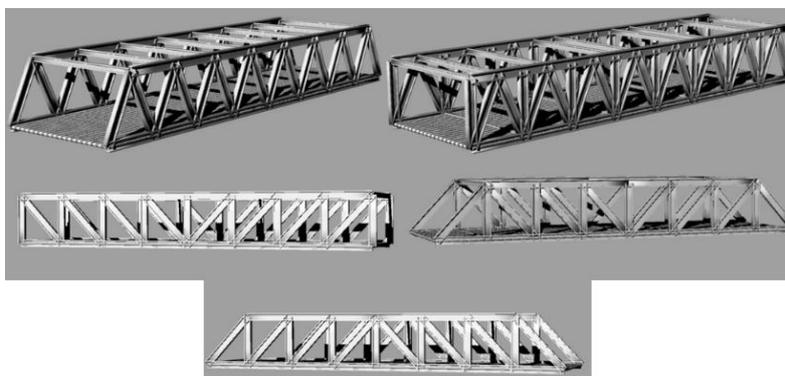
Autores(as):

YASMIN ESMAHAN FARES – FECFAU

Prof. Dr. THOMAZ EDUARDO TEIXEIRA BUTTIGNOL – FECFAU

INTRODUÇÃO:

A pesquisa foi baseada na realização de uma modelagem paramétrica de pontes treliçadas, e, a partir disso, foi construída uma programação de análise e otimização estrutural. Dessa forma, foi construída uma estrutura base de uma ponte no software Rhino/Grasshopper que é adaptável aos diversos tipos de treliças, para, então, serem analisadas as treliças mais apropriadas que consigam otimizar a estrutura, suportando uma maior quantidade de carga com o menor vão possível. As treliças podem ser definidas como um sistema de barras rígidas coplanares interligadas entre si por meio de extremidades rotuladas, formando um sistema estável. Teoricamente, as barras de uma treliça simples são sujeitas somente a esforços normais de tração ou compressão, sendo essas barras elementos retos indeformáveis, unidos por nós (articulações) em suas extremidades. As treliças mais comuns, que foram utilizadas na análise do estudo, são as treliças dos tipos Warren, Pratt e Howe, cujas



renderizações realizadas pelos softwares Rhinoceros e Grasshopper estão representadas na Figura 1.

Figura 1: Renderizações das Pontes com treliça do tipo Warren, Warren-V, Pratt e Howe, respectivamente. Pontes modeladas e renderizadas a partir dos softwares Rhinoceros e Grasshopper

Visando a análise e otimização destas pontes, portanto, a utilização do programa Rhino/Grasshopper se tornou imprescindível dentro do projeto de pesquisa, pois, a partir do programa utilizado, foi possível realizar uma análise visual tridimensional em tempo real da estrutura da ponte - com o uso do plugin Karamba 3D - para, então, poderem ser analisadas as diferentes situações do deslocamento e utilização média da ponte, a partir da variação de seu vão. Seguindo essa análise, então foi possível definir qual das treliças estudadas era a mais eficiente e que gera uma maior otimização à estrutura - concluindo, então, qual é a treliça que suporta um maior deslocamento e utilização com o maior vão possível.

METODOLOGIA:

A metodologia do projeto de pesquisa realizado foi baseada na criação de um modelo virtual 3D paramétrico realizado no programa Rhino/Grasshopper, analisando-o através do plugin de análise estrutural Karamba3D. Para o desenvolvimento da estrutura da ponte, foi utilizado a seguinte programação de modelagem paramétrica, representada pela Figura 2:

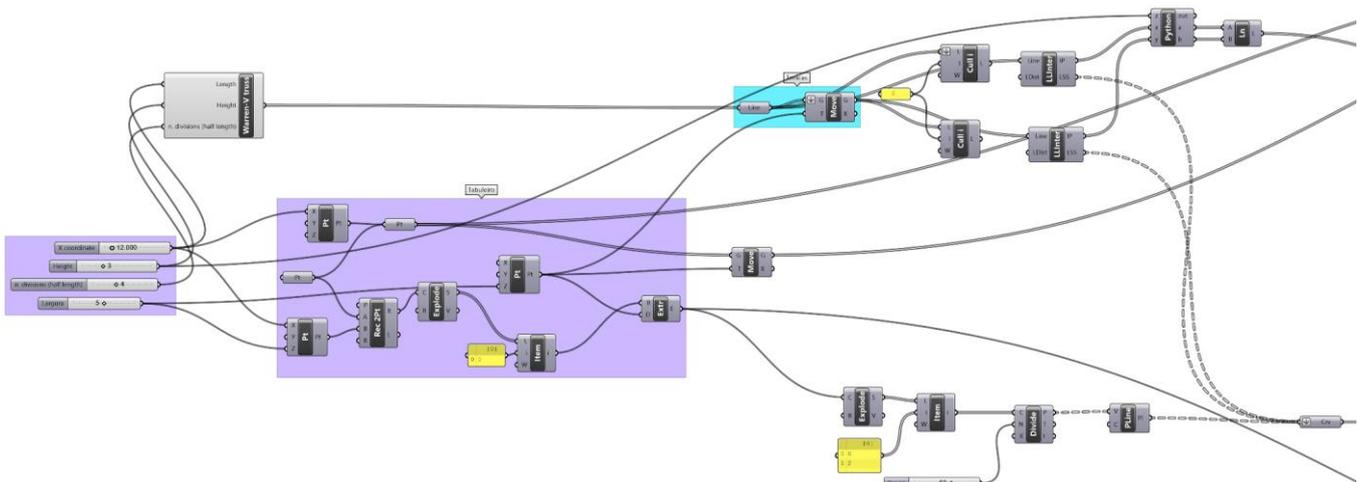
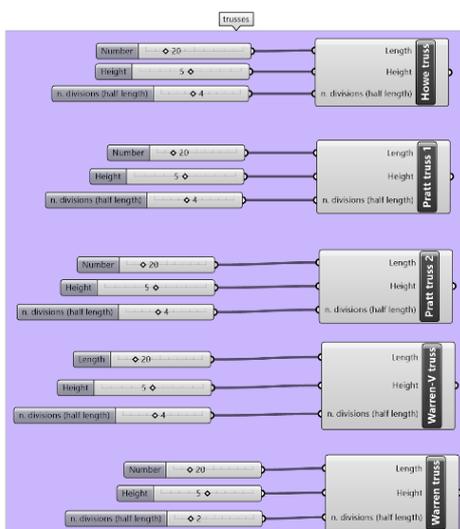


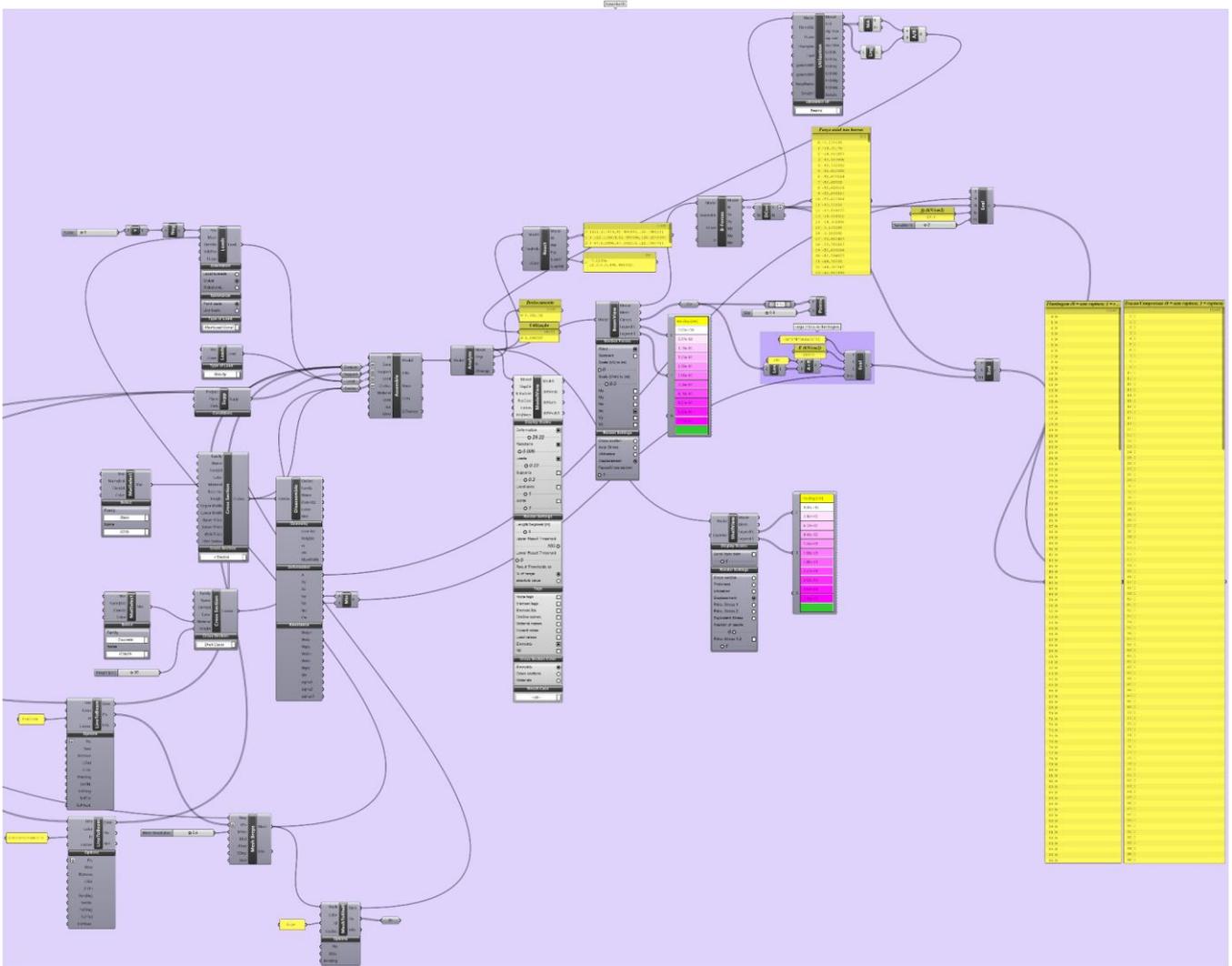
Figura 2: Bloco algorítmico feito através do Grasshopper da geração da geometria da modelagem paramétrica das pontes em treliça, mostradas na figura 1, geradas no Rhinoceros. Na imagem em específico, está demonstrada a programação utilizando a treliça Warren-V.



A programação é composta por elementos do software Grasshopper que compõem diversas partes da ponte: a treliça (nesse caso, a do tipo Warren-V), o contraventamento, os apoios, o eixo longitudinal e o grid que forma o tabuleiro da ponte. A partir dessa programação de base da ponte, foi-se modificando apenas tipo de treliça (representadas na Figura 3), que já estava pré-programada no software, para analisar suas comparações.

Figura 3 - Treliças utilizadas para a construção e análise do modelo paramétricos. As treliças dependem dos seguintes parâmetros: altura, comprimento e número de divisões das treliças.

Em seguimento a isso, então, foi desenvolvido um programa de análise estrutural utilizando o plugin Karamba3D (Figura 4), que possibilita a entrada de diversas informações da ponte, como o seu material e a força aplicada sobre ela. A partir disso, o programa informa qual é o deslocamento e a utilização média da ponte, além de mostrar o número de barras da ponte e se quebram - ou não - por



flexão/compressão ou flambagem.

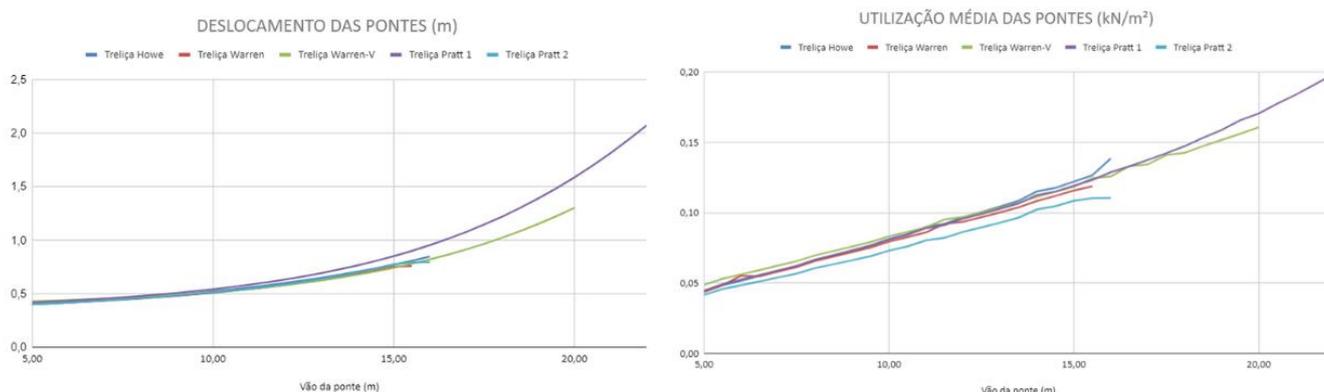
Figura 4: Programa de análise estrutural da ponte, realizado a partir do software Grasshopper através do Plugin Karamba3D. O programa, além de informar os valores de deslocamento e utilização média da ponte, também mostra se houve quebra, e, se sim, quais barras sofreram - seja por flexão/compressão ou flambagem.

Então, para a análise ser realizada, foi definida uma altura da ponte de 3 metros, largura de 5 metros, um número de 4 divisões de treliças e um carregamento fixo de 5 kN/m². A partir disso, foi feita uma variação do vão da ponte, iniciando com 5 metros e variando de 0,5 a 0,5 metros, analisando os valores de deslocamento e utilização média a partir de cada treliça, além de observar quando há a quebra da ponte. No momento de quebra, então, a análise termina, e os dados coletados a partir do programa são utilizados para o desenvolvimento de dois gráficos para cada treliça: o primeiro, do deslocamento em função do vão definido; e o segundo, da utilização média em função do vão - os dois

com fim quando há a quebra da ponte. A partir do gráfico gerado, então, é observada a ponte que possui o maior vão até sua quebra, e esta é definida como a mais eficiente e otimizada estruturalmente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A partir, então, da análise descrita na metodologia, foram gerados os gráficos do deslocamento da ponte em função de seu vão e utilização média da ponte em função de seu vão (Figura 5). Ambos os gráficos demonstram a comparação dos resultados com as diferentes treliças utilizadas para a construção da ponte, tendo seu fim no momento de quebra da estrutura. Os resultados da análise indicaram que a ponte mais eficiente é a que utiliza a treliça do tipo Pratt 1, suportando o maior vão até a ocorrência de quebra estrutural (vão de quebra de 22m), com o deslocamento de 2,08m e utilização média de 0,18 kN/m². Analisando as outras treliças, no entanto, é possível observar que a ponte com a treliça Howe apresenta quebra com o vão de 16m; a treliça Warren, com o vão de 15,10 metros; Warren-V, com o vão de 20 metros - que também apresenta um grande desempenho; Pratt 2, com o vão de 15,25 metros. Os devidos valores de deslocamento e utilização média no momento de quebra



de cada ponte treliçada foram descritos na Tabela 1.

Figura 5: Gráfico de deslocamento e utilização média das pontes em função da variação de seu vão, respectivamente. No gráfico, são utilizadas as treliças Howe, Warren, Warren-V, Pratt 1 e Pratt 2. Ao observar o gráfico, é possível notar que a ponte que consegue alcançar um maior vão antes da ruptura é a que utiliza a treliça Pratt 2, seguida da treliça Warren-V.

Tabela 1: Tabela com as informações do vão (m), deslocamento (m) e utilização média (kN/m²) de cada treliça, ao ser realizada a análise estrutural da ponte. Tais valores foram fornecidos pelo programa desenvolvido através do plugin Karamba 3D.

CONCLUSÕES:

Em conclusão, a pesquisa de modelagem paramétrica e otimização estrutural realizada demonstrou a eficácia da utilização do método abordado, a partir dos softwares Rhinoceros e Grasshopper, juntamente com o

Treliça	Vão de quebra (m)	Deslocamento (m)	Utilização média (kN/m ²)
Howe	16,00	0,849075	0,138670
Warren	15,10	0,762052	0,118844
Warren-V	20,00	1,30427	0,160729
Pratt 1	22,00	2,0767000	0,198088
Pratt 2	15,25	0,7981940	0,1104940

plugin Karamba 3D. Os resultados indicaram que a ponte que utiliza da treliça Pratt 1 é a melhor opção para se trabalhar com uma estrutura com a otimização de material para a ponte, com um desempenho maior em termos de deslocamento e utilização média.

Como observado, a metodologia empregue permitiu uma visualização tridimensional das estruturas, tornando mais prático o processo de identificação das treliças mais adequadas para os fins de otimização. O uso do Karamba 3D foi fundamental para a obtenção de dados precisos sobre deslocamento e utilização média das pontes a partir da variação de seus vãos, bem como para a identificação dos pontos de quebra das diferentes treliças. A treliça Pratt 1 se destacou, com um vão de quebra de 22 metros, com uma maior capacidade de manter sua integridade estrutural, em comparação às outras. Também é interessante citar o alto desempenho da treliça Warren-V, que possui um vão de quebra de 20 metros, e pode se tornar uma alternativa viável ao se trabalhar com um vão menor.

BIBLIOGRAFIA

- DA SILVA, F.T. **“Modelo paramétrico de pórticos em concreto armado com dimensionamento otimizado: uma proposta de ferramenta de projeto para as fases iniciais de concepção estrutural”**, ResearchGate. URL: <https://www.researchgate.net/publication/322436940>.
- GOMES, M.I.S. **“Estudo e Análise de Treliças”**. Instituto Politécnico de Lisboa; Instituto Superior Engenharia Lisboa - Área Departamental de Engenharia Civil. URL: https://www.researchgate.net/profile/Maria-Idalia-Gomes/publication/301298120_Estudo_e_Analise_de_Trelicas/links/5710e65608ae846f4ef05472/Estudo-e-Analise-de-Trelicas.pdf
- FARIAS, R. B. DE; JESUS, V. L. B. DE; OLIVEIRA, A. L. DE. **“Uma maquete da estrutura em treliças simples triangulares para o ensino de estática”**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 42, p. e20200133, 24 ago. 2020. URL: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/HwQtxmv5ZZDFpZnF6G7LJDd/>.