

Ponte treliçada de palitos de picolé

Popsicle stick truss bridge

Lucas Alves Lamberti¹ , Carla Fernanda Perius¹ ,
Cleiton Ânderson Trindade de Carvalho¹ , Pedro Cesar Miranda e Silva¹ 

¹ Universidade Federal de Santa Maria, Cachoeira do Sul, RS, Brasil

RESUMO

Neste trabalho foi projetado um modelo de ponte treliça de palitos de picolé com base em modelos já previamente reportados pela literatura e pelas normas técnicas. Para a construção da ponte treliça, foram utilizados palitos de picolé de madeira e cola multiuso. O projeto foi dividido em diferentes etapas, incluindo o projeto estrutural, cálculos de resistência e estabilidade, montagem do protótipo e teste de carga. Utilizou-se software FTOOL para auxiliar na etapa de obtenção dos esforços internos das barras. Os palitos foram colados uns aos outros, formando a estrutura em formato de treliça. Por fim, a ponte foi submetida a testes de carga para verificar sua resistência e estabilidade. Foram aplicadas cargas progressivamente maiores até a ruptura. A ruptura ocorreu com 160 kgf, 20% inferior ao que era previsto, no entanto, o desempenho da ponte de palitos foi bastante satisfatório.

Palavras chave: Treliça; FTOOL; Dimensionamento; Ponte

ABSTRACT

This work involved the design of a truss bridge model using popsicle sticks based on models previously reported in the literature and technical standards. Wooden popsicle sticks and multipurpose glue were employed for the construction of the truss bridge. The project was divided into several stages, including structural design, strength and stability calculations, model assembly, and load testing. The FTOOL software was utilized to assist in obtaining internal forces in the bars. The sticks were glued together to form the truss-shaped structure. Finally, the bridge underwent load tests to assess its strength and stability. Progressive loads were applied until failure occurred at 160 kgf, 20% lower than the predicted value. Nevertheless, the performance of the popsicle stick bridge was deemed quite satisfactory.

Keywords: Truss; FTOOL; Sizing; Bridge



INTRODUÇÃO

As construções das pontes tem sido necessárias para a comunicação territorial entre regiões, pois permite a travessia de rios, canais, vias e vales. As pontes são projetadas tendo em vista as perspectivas técnicas, econômicas e de segurança, e sua evolução é importante para o desenvolvimento da infraestrutura, minimização dos impactos ambientais e otimização de recursos humanos [1]. Os modelos de pontes definidos em projeto podem ser de diferentes tipos, entre eles destacam-se as pontes suspensas, estaiadas, cantilévers e treliçadas. Da mesma forma, os materiais utilizados na sua estrutura são variados, como pedras, madeiras, ferro, concreto e aço.

A madeira é um material de construção civil bastante empregado pela facilidade de manuseio, por suas características físicas e mecânicas e pela disponibilidade renovável [2]. No Brasil, diversas espécies exóticas são largamente cultivadas para utilização na indústria de serrados, laminados, chapas, resinas, papel e celulose. O gênero *Pinus* engloba mais de 100 espécies, entre elas estão o *Pinus elliotti* e *Pinus taeda*, espécies não nativas muito cultivadas no sul do país devido a suas características, como cor clara, baixa densidade, fibras longas, tolerância a diferentes solos e valor ornamental [3].

Para projetar estruturas, incluindo as de madeiras, é preciso dimensionar os elementos para resistir às ações atuantes na construção, ou seja, determinar as medidas mínimas das peças que compõem a estrutura. Caso o material utilizado não suporte este esforço e ocorra a ruptura, diz-se que o estado limite último foi atingido. A maneira como ocorre a dissipação das forças é dependente da forma como a estrutura é concebida: posições, número de elementos, ângulos, vínculos entre as peças, entre outros. Esta estruturação afeta o tipo de esforço interno que ocorre em cada peça, tal como esforço normal (tração ou compressão), cisalhamento, momento fletor e momento torsor [4].

Com isso, quando se deseja dimensionar qualquer tipo de estrutura, deve-se atender alguns requisitos, visando-se ter uma obra segura e econômica. Esses requisitos estão interligados com o tipo de estrutura que será projetada e executada.



Um dos principais tipos de estruturas utilizadas nas diferentes construções é a treliça. Muito utilizada em projetos de pontes, edifícios, torres de transmissão e coberturas, consegue prover, por vezes, soluções tanto eficazes quanto econômicas em diversas situações [5]. Pelo fato de serem bastante resistentes e terem um peso proporcionalmente pequeno, elas são também usadas para vencer longas distâncias.

Uma treliça é formada por diversos elementos lineares, denominados hastes ou barras, dispostas em triângulos interconectados através de nós. Embora, na prática, as barras da treliça sejam unidas por meio de conexões parafusadas, rebitadas ou soldadas, considera-se que são unidas por meio de pinos; dessa forma, não há transmissão de momento fletor através dos nós.

Outra questão importante para as treliças apresentarem bom desempenho é que as cargas aplicadas na estrutura devem estar nos nós, não nos elementos de barras que a compõe. Quando estas condições são atendidas, as barras da treliça recebem apenas esforço normal, ou seja, apenas tração ou compressão. Dos vários tipos de treliças existentes, conforme organização das barras e nós, pode-se destacar a Howe, a Pratt e a Warren, que apresentam os nomes dos engenheiros que as popularizaram [2], [6], [7].

O presente trabalho teve como objetivo elaborar, dimensionar e confeccionar uma ponte treliçada de palitos de picolé, projetada para um vão-livre de 50 cm, com a finalidade de realizar teste de carga para verificar a eficiência da estrutura, além de permitir a comparação do dimensionamento, através de cálculos estruturais, frente ao resultado real do teste de carga realizado.

METODOLOGIA

A metodologia foi subdividida nas etapas de execução do trabalho: projeto da ponte, com a determinação do tipo de estrutura, escala e materiais utilizados; cálculos dos esforços internos, a partir do software FTOOL; dimensionamento dos elementos da ponte, a partir dos cálculos de tensões; montagem da estrutura da



ponte; teste de carga e análises, a partir da carga máxima suportada pela estrutura, peso próprio da ponte após construção e relação carga/peso próprio.

Projeto da ponte

Primeiramente, foi definida a tipologia da ponte, baseando-se em modelos de revistas científicas e projetos reais (Figura 1). O modelo treliçado é largamente utilizado, pois, ao aplicar os esforços nos nós, ocorre distribuição das forças pelas barras da treliça, sem a ocorrência de momento fletor. A ausência de momentos fletores nas barras permite reduzir significativamente as seções transversais das barras. Desta forma, optou-se por um formato treliçado chamado de Viga Warren (Figura 2).

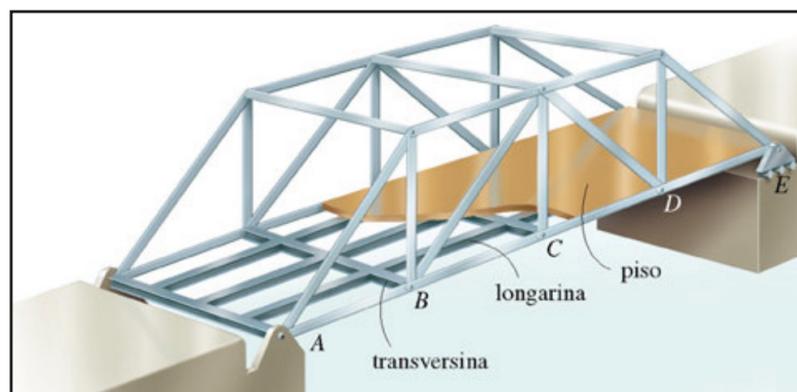


Figura 1 – Ponte composta de treliça espacial [4]

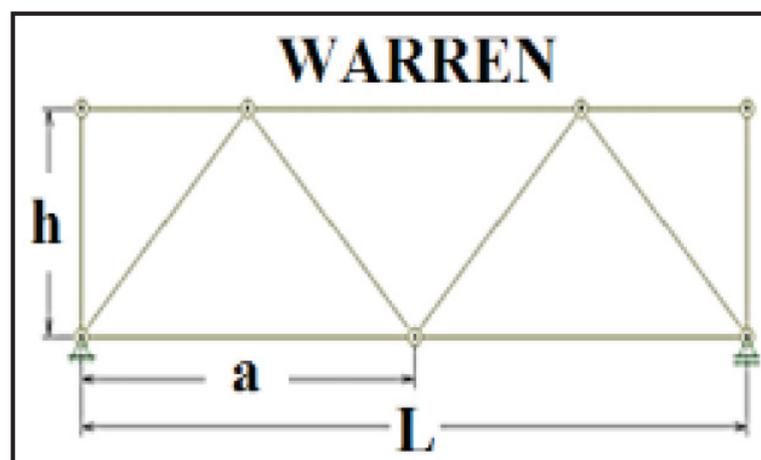


Figura 2 – Treliça plana de padrão Warren [7]



Considerando o modelo de uma ponte treliçada na escala 1:50, foram especificadas as dimensões: largura de 8 centímetros, altura (h) de 10 centímetros e comprimento total da ponte (L) de 60 centímetros. A base de cada triângulo (a) foi de 10 centímetros. Para facilitar a identificação das barras, os nós foram nomeados de A a M.

As barras foram construídas a partir de palitos de picolé. Segundo o fabricante, a madeira utilizada para a confecção dos palitos de picolé é do tipo pinus, oriunda de reflorestamento. Os palitos apresentam as dimensões de 12 cm de comprimento, 0,8 cm de largura e 0,2 cm de espessura. O *Pinus elliottii* apresenta resistência à compressão paralela às fibras de 31,5 MPa, resistência à tração na flexão de 69,9 MPa e módulo de elasticidade de 8846 MPa [8].

A cola utilizada para a união dos palitos de picolé foi o adesivo multiuso instantâneo Almasuper Ultrarrapido®, bastante utilizado por ter baixo odor e alta resistência. Além de seu efetivo funcionamento em madeiras, a cola utilizada é ideal para a adesão de metais, couros, borrachas, plásticos, PVC e outros. É recomendado eliminar a sujeira das peças, as quais se deseja colar, secar as superfícies e aplicar a cola em uma das partes. Logo em seguida, fazer a união das peças, mantendo sob pressão durante alguns segundos.

Cálculos dos esforços internos

A determinação dos esforços internos torna-se etapa necessária para posterior dimensionamento das seções transversais das barras. Através do software FTOOL 4.0, foram obtidos os esforços de tração e compressão de cada barra. Visto que o software realiza análise bidimensional, foi feita a análise para uma face lateral da ponte, tratando-se de uma treliça plana. O software apresenta os esforços internos a partir do lançamento de cargas na estrutura, então, em um primeiro momento, foi posto 1 kN no centro da treliça. O carregamento de 1 kN equivale a aproximadamente 100 kgf em uma lateral da ponte, ou seja, 200 kgf aplicada na ponte completa (Figura 3).

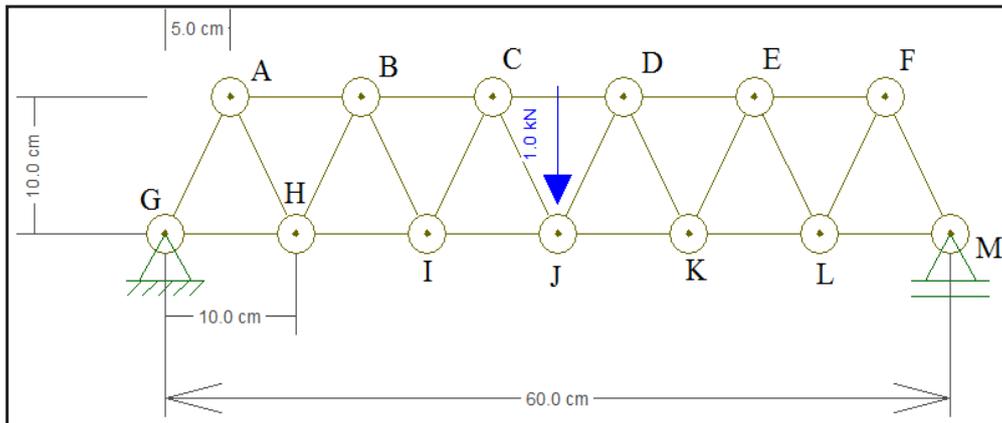


Figura 3 – Treliça plana no software FTOOL

Conforme este carregamento é alterado, os esforços de tração e compressão em cada barra são modificados. Foram simulados os carregamentos de 100 kgf, 150 kgf, 200 kgf e 300 kgf, com as respectivas cargas no software FTOOL: 0,5 kN, 0,75 kN, 1 kN e 1,5 kN.

Dimensionamento dos elementos da ponte

O dimensionamento das barras da ponte de palitos foi realizado através das equações de tensão normal para tração (Equação 1) e compressão (Equação 2). As tensões não devem exceder as tensões limites do *Pinus elliottii* (aprestadas anteriormente, no item 2.1.), desta forma, definiu-se a área mínima (A) da seção transversal das barras.

$$\sigma_t = \frac{F_t}{A} \leq \sigma_{t \text{ lim}} \tag{1}$$

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A} \leq \sigma_{c \text{ lim}} \tag{2}$$

Onde σ_t e σ_c são as tensões de tração e compressão em Pascal, respectivamente; F_t e F_c são as forças internas de tração e compressão em Newtons, respectivamente; A representa a área da seção transversal em m^2 , e $\sigma_{t \text{ lim}}$ e $\sigma_{c \text{ lim}}$ são as tensões limites de tração e compressão em Pascal.



Considerando as dimensões dos palitos, o número de palitos necessários para a construção de uma barra é calculado pela equação 3.

$$n = \left\lceil \frac{A}{0,008 * 0,002} \right\rceil \quad (3)$$

Como se trata de um número de barras, a resposta do dimensionamento deve ser número inteiro, como descrito na equação 3. Não foram consideradas questões de flambagem para o dimensionamento.

Montagem

As barras das treliças foram construídas com a união de 'n' palitos colados longitudinalmente, conforme resultados encontrados na etapa anterior, de dimensionamento. Para facilitar o processo de montagem, adotou-se a maior seção transversal (maior número inteiro 'n') para todas as barras. As ligações entre barras, chamadas de nós, também foram feitas com a cola multiuso. Os nós tornam-se levemente rígidos, no entanto, evita-se assim realizar furos próximos às pontas das barras, que poderiam resultar em ruptura.

Após a montagem das duas treliças planas laterais, fez-se a união com barras transversais. As barras foram colocadas na parte superior e inferior das treliças, para impedir o deslocamento lateral após a colocação da carga.

Teste de carga e análise

A ponte de palitos foi simplesmente apoiada sobre superfícies afastadas 50 cm entre si. Desta forma, cada lado da ponte teve apoio de 5 cm. No centro da estrutura foi colocado um fio rígido de cobre de 6 mm², passando pelo nó central da ponte através das duas treliças planas (Figura 4). No fio rígido foi colocada a carga, acrescentando 20 kgf gradualmente até a ruptura.

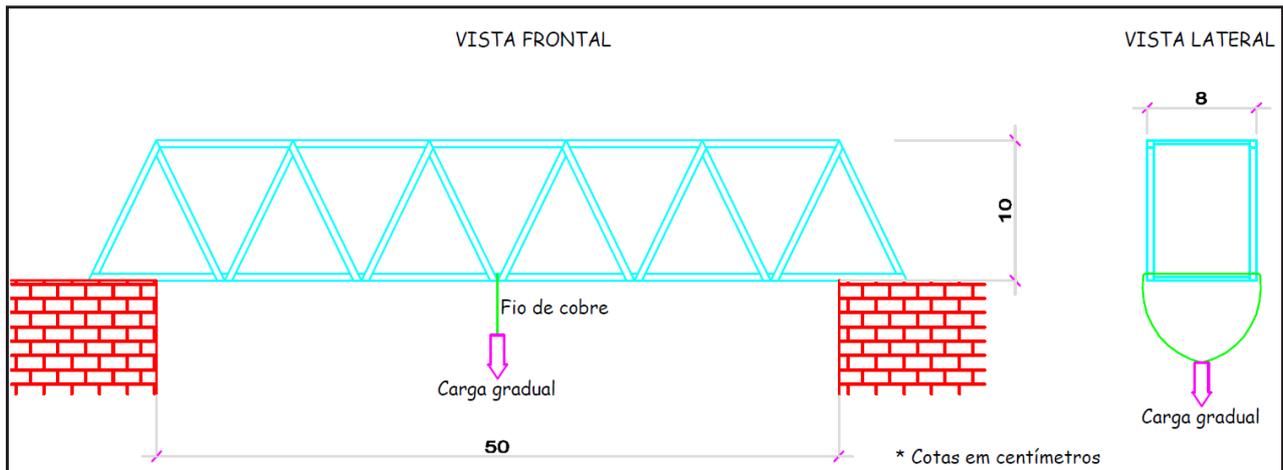


Figura 4 – Esquema do teste de carga da ponte

A análise da eficiência da ponte envolveu a carga máxima suportada pela estrutura, peso próprio da ponte após a construção e a relação carga/peso próprio. A previsibilidade da carga máxima e da ruptura torna-se importante para compreender a aplicação dos conceitos básicos de resistência dos materiais, apesar de se tratar de uma análise simplificada, sem a consideração de efeitos de flambagem, flexão composta, entre outros.

RESULTADOS

Projeto e dimensionamento

A Tabela 1 apresenta os esforços internos e número de barras necessárias em cada barra, conforme a carga aplicada. Como a ponte é simétrica, diversas barras foram agrupadas em uma mesma linha, pois apresentaram os mesmos resultados. As cargas internas positivas representam tração e as cargas internas negativas representam compressão.

**Tabela 1 – Funções e seus valores**

Carga (kgf):	100		150		200		300	
	Carga interna (kN)	Número de palitos						
AB e EF	-0,2	[0,40] = 1	-0,4	[0,79] = 1	-0,5	[0,99] = 1	-0,8	[1,59] = 2
BC e DE	-0,5	[0,99] = 1	-0,8	[1,59] = 2	-1,0	[1,98] = 2	-1,5	[2,98] = 3
CD	-0,8	[1,59] = 2	-1,2	[2,38] = 3	-1,5	[2,98] = 3	-2,3	[4,56] = 5
GH e LM	0,1	[0,09] = 1	0,2	[0,18] = 1	0,3	[0,27] = 1	0,4	[0,36] = 1
HI e KL	0,4	[0,36] = 1	0,6	[0,54] = 1	0,7	[0,63] = 1	1,1	[0,98] = 1
IJ e JK	0,6	[0,54] = 1	1,0	[0,89] = 1	1,2	[1,07] = 2	1,9	[1,70] = 2
AG, BH, CI, DK, EL, FM	-0,3	[0,6] = 1	-0,4	[0,79] = 1	-0,6	[1,19] = 2	-0,8	[1,59] = 2
AH, BI, CJ, DJ, EK, FL	0,3	[0,27] = 1	0,4	[0,36] = 1	0,6	[0,54] = 1	0,8	[0,72] = 1

Observa-se que a barra mais solicitada é a CD (barra superior central), com esforço de compressão, para todas as cargas aplicadas. Para uma carga de 100 kgf na ponte, a barra CD apresentou compressão de 0,8 kN, o que exige 1,59 palitos colados, conforme dimensionamento. De maneira prática, a barra seria construída com 2 palitos de largura.

Quando simulado carregamento de 150 kgf na ponte, a barra CD exigiu 2,38 palitos de espessura, logo, seria construída com 3 palitos. Para suportar um carregamento de 200 kgf, a barra CD precisaria ter 2,98 palitos. Ou seja, realizando a construção da ponte com 3 palitos de espessura, o dimensionamento aponta que a ponte romperia com aproximadamente 200 kgf.

Por fim, para suportar uma carga de 300 kgf, seriam necessários 4,56 palitos de espessura na barra CD. Como mencionado na metodologia, pretende-se definir apenas uma espessura para todas as barras para padronizar a construção. As demais barras, por terem uma carga interna inferior à barra CD, teriam sua resistência garantida.



Diante destes valores, para a montagem da estrutura foi especificado um número de 3 palitos para todas as barras da ponte. Conforme o dimensionamento, percebe-se que a ponte de palitos romperia com uma carga aproximada de 200 kgf.

Montagem

Para a construção do protótipo da ponte, foram utilizados 138 palitos de madeira de picolé e, devido à falta de uniformidade dos mesmos, foram minuciosamente selecionados, principalmente para a construção das barras que seriam mais solicitadas. O processo de montagem durou aproximadamente seis horas. A cola multiuso mostrou-se adequada, com secagem extremamente rápida. Foram utilizados prendedores de roupa para manter certa pressão entre os palitos colados. A ponte finalizada (Figura 5) apresentou peso de 180 gramas.



Figura 5 – Ponte montada

Teste de carga e análise

A preparação do teste se deu com o posicionamento da ponte em bases de blocos de concreto afastadas 50 cm. O fio de cobre foi inserido através das treliças e a carga foi colocada progressivamente. A ponte rompeu com 160 kgf de carga, o que significa 0,8 kN em cada treliça plana. A partir de 100 kgf, a estrutura apresentou um deslocamento lateral crescente. A ruptura não ocorreu na barra superior central, chamada de barra CD, diferentemente do que era esperado. As barras que romperam foram BC (barra superior posicionada ao lado de CD) e BH (barra inclinada) (Figura 6).

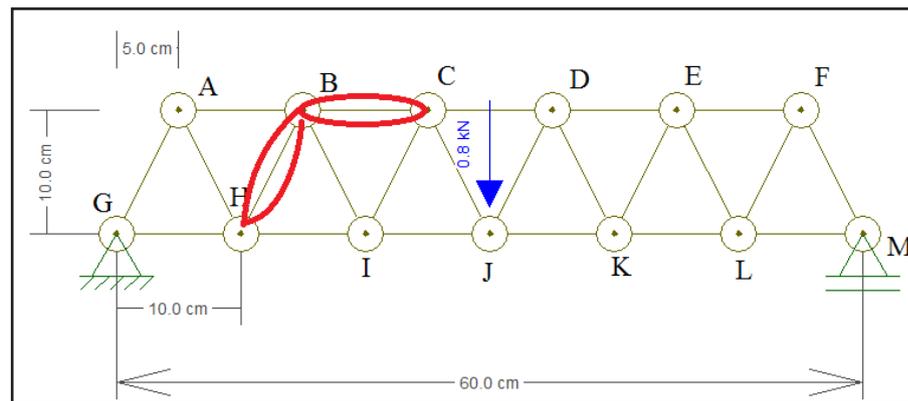


Figura 6 – Barras da ponte que romperam

Segundo o levantamento dos esforços internos, apresentado na Tabela 1, as barras BC e BH também sofreram esforço de compressão. A barra BC teve o segundo maior esforço de compressão, perdendo apenas para a barra CD, discutida anteriormente. As barras da parte inferior da ponte, IJ e JK, tiveram um esforço interno maior, no entanto, o esforço de tração. O *Pinus elliottii*, assim como diversas outras espécies de madeiras, apresenta resistência à compressão paralela às fibras inferior à resistência à tração [8].

Já a barra BH teve um esforço interno de compressão menor. Os nós próximos, mais rígidos que ligações rotuladas, podem ter transferido momento fletor para a barra, causando a ruptura por flexão. Este, juntamente com questões de flambagem e deslocamento lateral, pode ter causado a ruptura com uma carga (160 kgf) 20% inferior ao que foi previsto (200 kgf). Ainda assim, a ponte resistiu a uma carga de quase 900 vezes maior que seu peso próprio.

CONCLUSÃO

O presente trabalho permitiu aplicar alguns conceitos de resistência dos materiais em um projeto de ponte de palitos de picolé, realizar um dimensionamento e observar o desempenho da ponte em um teste de carga real. Foram utilizados 138 palitos de picolé, fabricados com *Pinus elliottii*, e uma cola adesiva multiuso instantânea para unir os palitos. Ao final da montagem, a ponte treliçada apresentou peso próprio de 180 gramas.



Na etapa de dimensionamento, foram especificados três palitos por barra, prevendo um carregamento máximo de 200 kgf. Algumas questões não foram levadas em consideração nos cálculos, tais como fatores de segurança, umidade do ambiente, flambagem, entre outros.

No teste de carga, a ponte suportou 160 kgf de carga concentrada aplicada no centro do vão de 50 centímetros. Apesar da diferença entre valor calculado e valor suportado no teste, os resultados foram satisfatórios, pois se constatou que a previsibilidade de um protótipo é bastante complexa, mas extremamente necessária para analisar o desempenho da estrutura em escala real.

REFERÊNCIAS

- [1] Scolaro, T. P., Pereira, L. E., & Trombetta, J. (2020). Comparativo de impacto ambiental de sistemas construtivos de superestruturas de pontes. *Mix Sustentavel*, 6(3), 107-116. Recuperado de <https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/3910> doi: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2020.v6.n3.107-116>
- [2] Pfeil, W., & Pfeil, M. (2021). *Estruturas de madeira* (6a ed.). Rio de Janeiro: LTC.
- [3] Olmedo, G. M.; Hornink, B., Arenhardt, B., Nunes, A. J., Oliveira, C. de, Amaral, I. S. do, Santos, M. R. dos, Fontana, C., & Oliveira, J. M. de. (2023). Growth dynamic and climate signals on abandoned plantation of *Pinus elliottii* in Southern Brazil: A dendrochronological contribution. *Dendrochronologia*, 82, 126-136. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1125786523000863?via%3Dihub>. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2023.126136>
- [4] Hibbeler, R. C. (2009). *Resistencia dos materiais* (7a ed). São Paulo: Pearson Prentice Hall.
- [5] Beer, F. P., & Johnston, E. R. (2012). *Mecânica Vetorial para Engenheiros - Dinâmica* (9a ed.). Porto Alegre: AMGH.
- [6] Cazella, P. H. S., Pedreiro, M. R. M., Silva, G. P., Rodrigues, F. R., & Souza, M. V. (2020). Análise da Distribuição de Esforços em Relação à Variação da Distância Entre Banzos de uma Trelíça. *Brazilian Journal of Development*, 6(11), 91070-91082. Recuperado de <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/20347>. doi: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n11-496>
- [7] Tullio, F. B. M. (Org.). (2019). *Engenharia de construção civil e urbana*. Atena Editora. Recuperado de <https://atenaeditora.com.br/catalogo/ebook/engenharia-de-construcao-civil-e-urbana>
- [8] Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). (2024). *Informações Sobre Madeira*. São Paulo: IPT. Recuperado de <https://madeiras.ipt.br/>.



Sobre os autores:

Lucas Alves Lamberti

Possui graduação, mestrado e doutorado em Engenharia Civil na Universidade Federal de Santa Maria.
E-mail: lucas.lamberti@ufsm.br - <https://orcid.org/0000-0002-5004-5288>

Carla Fernanda Perius

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Maria - UFSM (2014). Mestre em Engenharia Civil e Doutora em Engenharia Civil.
E-mail: carla.perius@ufsm.br - <https://orcid.org/0000-0001-6336-6286>

Cleiton Ânderson Trindade de Carvalho

Graduação em andamento em Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Brasil.
E-mail: cleiton.trindade@acad.ufsm.br - <https://orcid.org/0000-0002-4754-0720>

Pedro Cesar Miranda e Silva

Graduação em andamento em Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Brasil.
E-mail: pedro_cms@hotmail.com - <https://orcid.org/0009-0003-8762-8334>

Como citar este artigo

Lamberti, L. A., Perius, C. F., Carvalho, C. Â. T. de, & Silva, P. C. M. (2025). Ponte treliçada de palitos de picolé. *JESTA*, Cachoeira do Sul, (3) e86766, Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/JESTA/article/view/86766/version/77302>.