

## CRIAÇÃO DE UM MODELO COMPUTACIONAL DE UM EXEMPLAR DE ÁRVORE URBANA DA ESPÉCIE *CAESALPINIA PLUVIOSA*

LIVIA FELIPE ARAÚJO<sup>1</sup>, WILLIAM MARTINS VICENTE<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduanda, Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI/UNICAMP), [l178004@dac.unicamp.br](mailto:l178004@dac.unicamp.br)

<sup>2</sup> Professor assistente, Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI/UNICAMP), [wmv10854@unicamp.br](mailto:wmv10854@unicamp.br)

Apresentado no  
LII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2023  
18 a 21 de outubro de 2023 – Ribeirão Preto - SP, Brasil

**RESUMO:** A arborização urbana desempenha um papel importante na melhoria da qualidade de vida nas cidades, e a escolha adequada das espécies é fundamental para garantir o sucesso de um bom planejamento, a fim de evitar possíveis acidentes e danos aos elementos urbanos causados por adversidades climáticas. Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo desenvolver um modelo computacional visando a análise do risco de queda de um exemplar de árvore urbana considerando os parâmetros da espécie *Caesalpinia pluviosa*, conhecida como sibipiruna, para a sua confecção. Utiliza-se o software *Ansys Workbench* para a construção do modelo computacional. O modelo computacional considera a propriedade ortotrópica da madeira para cada parte da árvore (raiz, fuste e galhos). Para isso, foram considerados os três módulos de elasticidade, cisalhamento e coeficientes de Poisson, com relação às cargas atuantes no modelo, além das cargas gravitacionais referentes ao peso da própria árvore, o modelo foi submetido a cargas de vento regulares. O resultado visa fornecer informações sobre a interação desta espécie com o ambiente urbano, o que facilita uma melhor compreensão das limitações que a cercam, além de permitir a comparação dos resultados com outros modelos para copa simpodial.

**PALAVRAS-CHAVE:** Arborização urbana, Risco de queda de árvores, Propriedades mecânicas.

## CREATION OF A COMPUTATIONAL MODEL OF AN URBAN TREE OF THE SPECIES *CAESALPINIA PLUVIOSA*

**ABSTRACT:** Urban afforestation plays an important role in improving the quality of life in cities, and the appropriate choice of species is crucial to ensure the success of good planning, in order to avoid possible accidents and damage to urban elements caused by climatic adversities. In this context, the present study aims to develop a computational model for analyzing the risk of a tree specimen falling in an urban area, considering the parameters of the *Caesalpinia pluviosa* species, known as sibipiruna, for its construction. The software *Ansys Workbench* is used to build the computational model. The computational model considers the orthotropic property of wood for each part of the tree (root, stem, and branches).

For this purpose, the three elasticity modules, shear, and Poisson's ratios were considered, in relation to the loads acting on the model, in addition to the gravitational loads related to the weight of the tree itself. The model was subjected to regular wind loads. The result aims to provide information about the interaction of this species with the urban environment, which facilitates a better understanding of the limitations that surround it, as well as allowing the comparison of the results with other models for sympodial canopy.

**KEYWORDS:** Urban afforestation, Risk of falling trees, Mechanical properties.

**INTRODUÇÃO:** A análise do risco de quedas de árvores é imprescindível na composição e implantação da arborização urbana. A compreensão e avaliação desses riscos são cruciais para mitigar os perigos associados às quedas de árvores, uma vez que, com as adversidades das mudanças climáticas, a recorrência de acidentes à população e aos elementos urbanos cresce cada vez mais. Com o avanço da tecnologia computacional, técnicas e metodologias de análise têm sido desenvolvidas e aprimoradas para identificar árvores em potencial estado de instabilidade, a fim de adotar medidas preventivas adequadas. Assim, cientistas vêm estudando formas de utilizar modelos numéricos que possam ser empregados como ferramentas eficientes para estimar a distribuição de deformações e tensões ao longo do fuste de árvores sujeitas a cargas gravitacionais e de vento (Gaffrey e Kniemeyer, 2002); em avaliações dos efeitos das características arquitetônicas da raiz e das propriedades do solo na distribuição de tensões no sistema radicular de árvores (Tesari e Mattheck, 2003) e também na análise de ruptura de árvores (Rahardjo et al., 2014). Desta forma, o presente projeto foi elaborado com o intuito de propor um modelo computacional de um exemplar de árvore urbana da espécie *Caesalpinia pluviosa*, com o auxílio do software Ansys Workbench. O modelo implica na comparação com um modelo real e na compreensão de forma aproximada do comportamento de diferentes partes da árvore (raiz, galho e fuste) diante da aplicação de cargas gravitacionais e de vento.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O projeto instituiu a criação de um modelo numérico computacional por meio do Método dos Elementos Finitos (MEF) no software Ansys Workbench, que represente de forma realista o comportamento mecânico de uma árvore urbana de um exemplar da espécie *Caesalpinia pluviosa*, popularmente conhecido como sibipiruna, com o qual foi realizada análise linear estática do comportamento de um indivíduo arbóreo. O exemplar está localizado dentro do Ciclo Básico da Unicamp/Campinas. Para uma simulação do comportamento mecânico de uma estrutura foi necessário considerar três aspectos fundamentais: a geometria da estrutura (no caso a árvore elegida para ser simulada), as propriedades mecânicas do material (madeira) e as cargas atuantes. As características geométricas do exemplar foram obtidas anteriormente em projetos do Grupo de Pesquisas do Laboratório de Ensaio Não destrutivos (LabEND) da Faculdade de Engenharia Agrícola (Feagri/Unicamp) que estão apresentados na Tabela 1.

TABELA 1. Parâmetros geométricos do exemplar de Sibipiruna (*Caesalpinia pluviosa*) considerado no modelo, com base nos estudos do LabEND.

DAP	38,51 cm
Circunferência	121 cm
Raiz exposta	Sim
Condição de contorno	Gramado

Altura total (intervalo em metros)	15
Inclinação (valor em graus)	2°
Diâmetro da copa (intervalo em metros)	14,3
Diâmetro do canteiro	-
Localização	Lat: 22,818149 S; Lon: 47,069125 W
Tipo de Copa	Simpodial - Horizontal elíptica

O software considerou a madeira do modelo como ortotrópica e os valores também foram obtidos em projetos anteriores do grupo de pesquisas e estão apresentados na Tabela 2. Em um mesmo modelo também é possível utilizar diferentes materiais com diferentes propriedades mecânicas. Portanto, para cada parte da árvore (raiz, fuste e galhos) foi utilizado propriedades mecânicas diferentes. Nos modelos foram utilizados três módulos de elasticidade - longitudinal (EL), radial (ER) e tangencial (ET), três módulos de cisalhamento nos planos (GRT, GLT e GLR) e três coeficientes de Poisson (valores máximos) nos planos ( $\nu_{LR}$ ,  $\nu_{LT}$  e  $\nu_{RT}$ ).

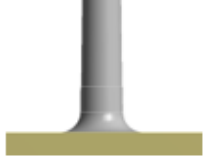
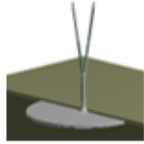
TABELA 2. Parâmetros elásticos da madeira do fuste, galhos e raiz da árvore da espécie Sibipiruna (*Cenostigma pluviosum*) na condição saturada.

<b>SIBIPIRUNA</b>			
<b>Densidade</b>	1274	1199	692
	<b>Raiz</b>	<b>Fuste</b>	<b>Galho</b>
$E_L E_L$ [Mpa]	18518	12730	8564
$E_R E_R$ [Mpa]	1851	1829	950
$E_T E_T$ [Mpa]	1065	1095	431
$G_{RT} G_{RT}$ [Mpa]	523	431	261
$G_{LT} G_{LT}$ [Mpa]	1183	991	506
$G_{LR} G_{LR}$ [Mpa]	1805	1451	803
$\nu_{LR}$	0,49	0,50	0,67
$\nu_{LT}$	0,74	0,72	0,67
$\nu_{RT}$	0,65	0,67	0,71

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** O projeto em questão ainda está em fase de desenvolvimento. Contudo, o modelo computacional proposto demonstra um grande potencial de contribuição, uma vez que, o intuito é aprimorar a compreensão sobre os riscos de quedas de árvores e desenvolver estratégias eficazes de manejo e preservação, visando a redução dos acidentes e danos associados. Ao longo da pesquisa estão sendo coletados e analisados dados sobre modelo computacional de árvores já criados que serão usados como comparativo para o modelo proposto. Desta forma, Ruy (2020) desenvolveu uma série de modelos, com diferentes níveis de complexidade em termos de geometria e de simulação (elementos vigas e modelo 3D), além de considerar dois tipos de copa: Monopodial e Simpodial. Os Modelos 01

e 02, apresentados na Tabela 03, são os que tiveram melhores resultados na proposta de validação proposta pela autora (Ruy, 2020). Em suma, o modelo que está sendo desenvolvido no presente projeto deverá ser utilizado na comparação de resultados com os modelos propostos por Ruy (2020) para copa simpodial.

TABELA 3. Descrição dos modelos desenvolvidos por Ruy (2020).

Modelo	Características	Tipo de Arquitetura Simpodial
Modelo 01	Modelo 3D. O fuste foi considerado um cone. O engastamento foi feito por meio de uma semiesfera criada na base do fuste. Nessa etapa foi simulado o encurvamento do fuste na região de encontro com a raiz, mecanismo que permite reproduzir melhor a distribuição real das tensões.	
Modelo 02	Modelo 3D criado considerando forma de engastamento proposto por Rahardjo <i>et al</i> (2014). Para a arquitetura Monopodial foram inseridos galhos, distribuídos de maneira simétrica ao longo do fuste. Para a arquitetura simpodial foi inserido mais um par de galhos.	

Através da análise desses dados, é esperado que seja possível identificar padrões e correlações que possam indicar a probabilidade de queda em determinadas condições. É importante ressaltar que a pesquisa demanda tempo e um conjunto abrangente de dados para produzir resultados confiáveis e aplicáveis.

**CONCLUSÕES:** O modelo computacional proposto inicialmente demonstrou ser condizente para simular árvores com diferentes características dendrológicas, além de proporcionar a utilização de parâmetros elásticos que levam em conta a ortotropia da madeira e a inserção de diferentes parâmetros elásticos para a raiz, fuste e galhos. Apesar das limitações inerentes à modelagem de uma estrutura complexa como a de uma árvore, o modelo proposto se mostrou capaz de representar o comportamento estrutural e poderá ser usado para prever deslocamentos horizontais, tensões normais e de cisalhamento. O modelo computacional proposto deverá ainda ser aprimorado, com a consideração de uma geometria mais complexa e mais próxima do modelo real, além de um refinamento da malha de elementos finitos utilizada, o que possibilitará resultados cada vez mais precisos e realistas.

#### REFERÊNCIAS:

- Martínez, P. C.; Díaz, M. I. I., 2016. El riesgo del Arbolado Urbano - Contexto, concepto y evaluación. Ediciones Mundi Prensa, Madrid, Espanha.
- Milne, R.; Blackburn, P., 1989. The elasticity and vertical distribution of stress within stems of *Picea sitchensis*. *Tree Physiology*, 5, 195-205.
- Ruy, M. 2020. Modelagem do comportamento biomecânico de árvores. Tese de doutorado. Faculdade de Engenharia Agrícola/Unicamp, Campinas.
- Timoshenko, S. P., 1956. *Theory of elastic stability*. McGraw-Hill, New York.
- Wessolly, L.; Erb, M., 1998. *Handbuch der Baumstatik und Baumkontrolle*.