

6.

Referências bibliográficas

AGUILERA, J. R. **Estudo de dispositivos para avaliação de vibrações e análise modal experimental de cabos de linhas de transmissão**, Departamento de Engenharia Civil, 2005, 78 p. Trabalho de Conclusão de Curso.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190, Projeto de Estruturas de Madeira**. Rio de Janeiro, 107 p, 1997.

AZZINI, A., SANTOS, R.L., PETTINELLI JÚNIOR, A., **Bambu: Material alternativo para construções rurais**. Campinas, SP, Instituto Agrônomo de Campinas, Boletim Técnico, n. 171, p. 1-18, 1997.

BROWN, J.L. **Bamboo house passes seismic test**. The magazine of American society of civil engineer, Civil Engineering News, Volume 74 Number II, 2004

CRUZ, M. L. **Caracterização Física e Mecânicas de Colmos Inteiros do Bambu da Espécie *Phyllostachys aurea*: Comportamento à Flambagem**. Rio de Janeiro, 2003, 114 p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil. PUC-Rio.

CULZONI, R. A. M. **Características dos Bambus e sua Utilização como Material Alternativo no Concreto**, Rio de Janeiro, 1986, 134 p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil. PUC-Rio.

GHAVAMI, K. **Bambu, um material alternativo na Engenharia**. Revista de Engenharia. Construção Civil. Pesquisa Engenho. Editora Técnica Ltda, São Paulo No. 492. p. 23-27, 1992.

GHAVAMI, K.; VENANCIO FILHO, F.; RODRIGUES Jr., S.; PASQUETTI, E. **Experimental analysis of damping property of bamboo**, NOCMAT/3 –

Vietnam International Conference on Non-Conventional Materials and Technologies, p. 325-330, 2003.

GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. **Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie *Guadua angustifolia***, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, n.1, p. 107-114, 2005.

INTERNATIONAL NETWORK ON BAMBOO AND RATAN. **INBAR: International Model Building Code for Bamboo**, 1999. ISO/ TC 165 N 315.

IRVINE, M. **Structural Dynamics, For the Practising Engineer**. London: Allen & Unwin, 1986.

HIDALGO LOPEZ, O. **Bamboo, The gift of the gods**. Oscar Hidalgo Lopez editor, 553 p., 2003.

LOFRANO, M. **Técnicas de Estimativa de FRFS Angulares em Análise Modal Experimental com Aplicações a Estruturas do Tipo Viga**, São Carlos, 2003, 152 p. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

PAZ, M. **Structural Dynamics, Theory and Computation**. Second Edition, New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1985.

RESENDE, F.M. **Influência das Fibras de Aço, Polipropileno e Sisal no Amortecimento de Concretos de Resistência Normal e de Alto Desempenho**, Rio de Janeiro, 2003, 98 p. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio.

ROEHL, J.L. P. **Dinâmica das Estruturas - Análise no tempo**, Notas de aula do Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Volume 1, 141 p.

SOEIRO, N. S. **Análise Modal Experimental**, Notas de Aula do Mestrado. Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará, 61 p., 2001.

XAVIER, L.M. **Caracterização Química, Física e Mecânica do *Phyllostachys aurea* e sua Resistência ao Ataque de Térmitas, Preservado com Ácido Bórico e Tanino Condensável**. Seropédica, Rio de Janeiro, 2004, 44 p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Ciências Ambientais e Florestais. UFRRJ.

Apêndice A

**ANÁLISE MODAL DE UMA VIGA EM BALANÇO COM SEÇÃO TRANSVERSAL
RETANGULAR DE BAMBU**

ORIGIN := 1

MATERIAL: BAMBU

kN := 100kgf

ton := 10³kg

UNIDADES: m,ton, kN, kN/m²,m⁴

DADOS:

Dimensões e propriedades geométricas da viga

h := 0.005m ,Diâmetro externo do tubo

b := 0.038m ,Espessura da parede do tubo

A := b · h

A = 1.9 × 10⁻⁴ m² ,Área da seção transversal

L := 0.53m ,Comprimento da viga

Momento de Inércia à flexão(J)

$$J := \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$J = 3.958 \times 10^{-10} m^4$$

Propriedades físicas e mecânicas de acordo com a espécie a ser analisada

Espécie:	(Dendrocalamus-v1)	(Áurea-v2)	(Guadua-v3)
Módulo de elasticidade(E):	$E_{v1} := 7.19 \cdot 10^6 \frac{kN}{m^2}$	$E_{v2} := 10.84 \cdot 10^6 \frac{kN}{m^2}$	$E_{v3} := 11.54 \cdot 10^6 \frac{kN}{m^2}$
Peso específico(ρ):	$\rho_{v1} := 740 \frac{kg}{m^3}$	$\rho_{v2} := 808 \frac{kg}{m^3}$	$\rho_{v3} := 740 \frac{kg}{m^3}$
Coefficiente de Poisson(ν):	$\nu_{v1} := 0.24$	$\nu_{v2} := 0.34$	$\nu_{v3} := 0.23$
Massa total da viga(M _t):	$M_{tv1} := A \cdot L \cdot \rho_{v1}$	$M_{tv2} := A \cdot L \cdot \rho_{v2}$	$M_{tv3} := A \cdot L \cdot \rho_{v3}$
	$M_{tv1} = 7.452 \times 10^{-5} ton$	$M_{tv2} = 8.137 \times 10^{-5} ton$	$M_{tv3} = 7.452 \times 10^{-5} ton$

Massa distribuída da viga(m): $m_{v1} := A \cdot \rho_{v1}$ $m_{v2} := A \cdot \rho_{v2}$ $m_{v3} := A \cdot \rho_{v3}$
 $m_{v1} = 1.406 \times 10^{-4} \frac{\text{ton}}{\text{m}}$ $m_{v2} = 1.535 \times 10^{-4} \frac{\text{ton}}{\text{m}}$ $m_{v3} = 1.406 \times 10^{-4} \frac{\text{ton}}{\text{m}}$

Coefficiente de rigidez da viga em balanço(k): $k_{v1} := \frac{3 \cdot E_{v1} \cdot J}{L^3}$ $k_{v2} := \frac{3 \cdot E_{v2} \cdot J}{L^3}$ $k_{v3} := \frac{3 \cdot E_{v3} \cdot J}{L^3}$
 $k_{v1} = 0.057 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ $k_{v2} = 0.086 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ $k_{v3} = 0.092 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Obtenção das primeiras 4 frequências naturais e modos de vibração da viga em balanço do problema através das eqs. da teoria de vibrações transversais em vigas

As frequências naturais são obtidas através da equação: $\omega_n = C_n \sqrt{\frac{E \cdot J}{m \cdot L^4}}$ **ORIGIN := 1**

Os modos de vibração são obtidos através de equação:

$$\phi_n(x) = C_n \cdot (\sin(a_n \cdot x) - \sinh(a_n \cdot x) - \sigma_n (\cos(a_n \cdot x) - \cosh(a_n \cdot x)))$$

onde: $\sigma_n = \frac{\sin(a_n \cdot L) + \sinh(a_n \cdot L)}{\cos(a_n \cdot L) + \cosh(a_n \cdot L)}$ $C_n = (a_n \cdot L)^2 \Rightarrow C_n = (q)^2$

$$q := \begin{pmatrix} 1.875104 \\ 4.694091 \\ 7.854757 \\ 10.995541 \end{pmatrix} \quad C := q^2 \quad C = \begin{pmatrix} 3.516 \\ 22.034 \\ 61.697 \\ 120.902 \end{pmatrix}$$

$$a := \left(\frac{1}{L}\right) \sqrt{C} \quad a = \begin{pmatrix} 3.538 \\ 8.857 \\ 14.82 \\ 20.746 \end{pmatrix} \frac{1}{\text{m}}$$

$n := 1..4$

DENDROCALAMUS-V1

$$\omega_{v1n} := C_n \sqrt{\frac{E_{v1} \cdot J}{m_{v1} \cdot L^4}} \quad \omega_{v1n} = \begin{matrix} 55.768 \\ 349.494 \\ 978.593 \\ 1.918 \cdot 10^3 \end{matrix} \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$fv_{1n} := \frac{\omega_{v1n}}{2 \cdot \pi} \quad fv_{1n} = \begin{matrix} 8.876 \\ 55.624 \\ 155.748 \\ 305.204 \end{matrix} \text{Hz}$$

$$\sigma v_{1n} := \frac{\sin(a_n \cdot L) + \sinh(a_n \cdot L)}{\cos(a_n \cdot L) + \cosh(a_n \cdot L)}$$

$$\sigma v_{1n} =$$

1.362221
0.981868
1.000776
0.999966

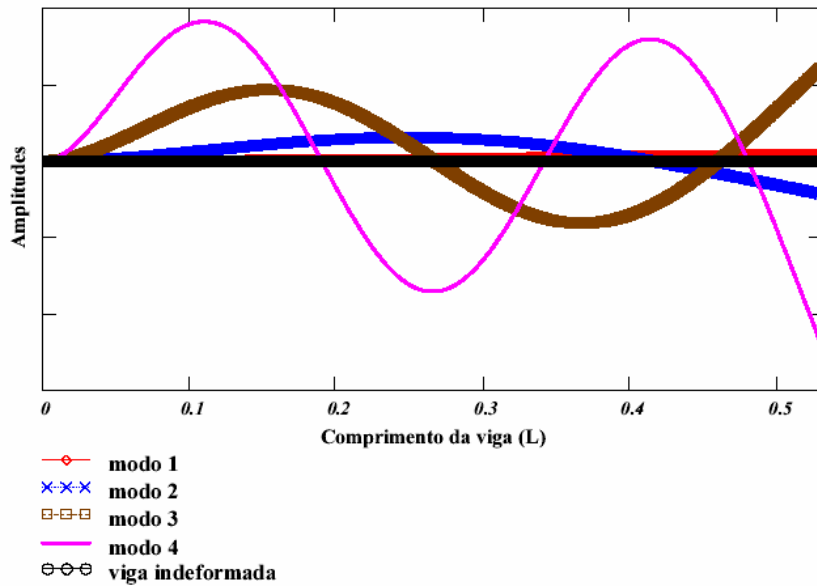
$$\phi v_{11}(x) := C_1 \cdot [\sin(a_1 \cdot x) - \sinh(a_1 \cdot x) - \sigma v_{11} \cdot (\cos(a_1 \cdot x) - \cosh(a_1 \cdot x))]]$$

$$\phi v_{12}(x) := C_2 \cdot [\sin(a_2 \cdot x) - \sinh(a_2 \cdot x) - \sigma v_{12} \cdot (\cos(a_2 \cdot x) - \cosh(a_2 \cdot x))]]$$

$$\phi v_{13}(x) := C_3 \cdot [\sin(a_3 \cdot x) - \sinh(a_3 \cdot x) - \sigma v_{13} \cdot (\cos(a_3 \cdot x) - \cosh(a_3 \cdot x))]]$$

$$\phi v_{14}(x) := C_4 \cdot [\sin(a_4 \cdot x) - \sinh(a_4 \cdot x) - \sigma v_{14} \cdot (\cos(a_4 \cdot x) - \cosh(a_4 \cdot x))]]$$

$$IND(x) := 0$$



PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0310942/CA

AUREA-V2

$$\omega v_{2n} := C_n \cdot \sqrt{\frac{E_{v2} \cdot J}{m_{v2} \cdot L^4}}$$

$$\omega v_{2n} =$$

65.531
410.677
1.15·10 ³
2.253·10 ³

$$\frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$fv_{2n} := \frac{\omega v_{2n}}{2 \cdot \pi}$$

$$fv_{2n} =$$

10.43
65.361
183.013
358.633

$$\text{Hz}$$

GUADUA-V3

$$\omega_{v3n} = C_n \cdot \sqrt{\frac{E_{v3} \cdot J}{m_{v3} \cdot L^4}}$$

$$\omega_{v3n} =$$

70.652
442.77
1.24·10 ³
2.429·10 ³

$\frac{\text{rad}}{\text{s}}$

$$fv_{3n} := \frac{\omega_{v3n}}{2 \cdot \pi}$$

$$fv_{3n} =$$

11.245
70.469
197.315
386.659

Hz

Apêndice B

```

/FILE,ANALISE MODAL VIGA RETANGULAR DE BAMBU (Dendrocalamus),,
!/CONFIG,NRES,50000
/TITLE,AN_MODAL-VIGA EM BALANÇO DE BAMBU
/REPLOT
!
KEYW,PR_SET,1
KEYW,PR_STRUC,1

! VIGA EM BALANÇO DE BAMBU
/PREP7
! DADOS DA VIGA:unidades utilizadas: m,kN,kN/m^2,m^4
b=0.038      !Base da viga
h=0.005      !Altura da viga
A=b*h        !Área da seção transversal
L=0.53       !Comprimento da viga
I = (b*h**3)/(12) !Momento de Inércia à flexão
E=7.19E+6    !Módulo de elasticidade da viga(Dendrocalamus)
nu=0.24      !Coeficiente de Poison
ro=0.74      !Peso específico (ton/m^3)

! DEF.DO TIPO DE ANÁLISE
ANTYPE, MODAL
MODOPT,SUBSP,5,,5 !OPÇÃO DE ANÁLISE MODAL: SUBSPACE ITERATION
MXPAND,1        !MODO EXPANDIDO
! DEF. DO ELEMENTOS FINITOS P/ MODELAR A VIGA
ET,1,BEAM3
IET,2,MASS21 !ELE. DE MASSA DISCRETA
! DEF. DAS CTES REAIS DOS ELEMENTOS
R,1, A,I,h
IR,2,0,1,0
!DEF. DAS PROPRIEDADES DO ELEM.
MP,EX,1,E        !Módulo de elasticidade
MP,NUXY,1,nu     !Coeficiente de Poison
MP,DENS,1,ro     !Peso específico (ton/m^3)

! *****DEFINIÇÃO DA GEOMETRIA DO PROBLEMA*****
!DEF. DOS NÓS DA VIGA
N,1
N,10,L
! CONECTIVIDADE DOS NÓS
TYPE,1
REAL,1

```



```

MAT,1
FILL
E,1,2
EGEN,9,1,1
EPlot
FINISH
!obtenção da Solução
/SOLU
!DEF. DAS CONDIÇÕES DE CONTORNO(RESTRIÇÕES NODAIS)
D,1,ALL !nÓ 1 restringido em todas as direções
FINISH
/SOLU
SOLVE
*GET,fo1,MODE,1,FREQ
*GET,fo2,MODE,2,FREQ
*GET,fo3,MODE,3,FREQ
*GET,fo4,MODE,4,FREQ
*GET,fo5,MODE,5,FREQ
*DIM,LABEL,CHAR,1,5
*DIM,VALUE,,1,10
LABEL(1,1) ='Freqs,'
LABEL(1,2) ='(Hz)
*VFILL,VALUE(1,1),DATA,fo1
*VFILL,VALUE(1,2),DATA,fo2
*VFILL,VALUE(1,3),DATA,fo3
*VFILL,VALUE(1,4),DATA,fo4
*VFILL,VALUE(1,5),DATA,fo5
/COM
/OUT,Freqs_V1_Dendrocalamus,vrt
/COM,*****RESULTADOS DO EX01-ANALISE MODAL*****
/COM,***** FRQS NATURAIS DE VIBRACAO DA VIGA*****
/COM,
/COM,          |MODO1|  |MODO2|  |MODO3|  |MODO4|  |MODO5|
/COM,
*VWRITE,LABEL(1,1),LABEL(1,2),VALUE(1,1),VALUE(1,2),VALUE(1,3),VALUE(1,4),VALU
E(1,5)
(1X,A8,A8,' ',F10.3,' ',F10.3,' ',1F10.3,' ',1F10.3,' ',1F10.3)
/COM,*****FIM*****
/OUT
FINISH
*LIST,Freqs_V1_Dendrocalamus,vrt

```

```

/FILE,ANALISE MODAL VIGA RETANGULAR DE BAMBU (Aurea),,
!/CONFIG,NRES,50000
/TITLE,AN_MODAL-VIGA EM BALANÇO DE BAMBU
/REPLOT
!
KEYW,PR_SET,1
KEYW,PR_STRUC,1

! VIGA EM BALANÇO DE BAMBU
/PREP7
! DADOS DA VIGA:unidades utilizadas: m,kN,kN/m^2,m^4
b=0.038      !Base da viga
h=0.005      !Altura da viga
A=b*h        !Área da seção transversal
L=0.53       !Comprimento da viga
I = (b*h**3)/(12) !Momento de Inércia à flexão
E=10.84E+6   !Módulo de elasticidade da viga(Aurea)
nu=0.34      !Coeficiente de Poison
ro=0.808     !Peso específico (ton/m^3)

! DEF.DO TIPO DE ANÁLISE
ANTYPE, MODAL
MODOPT,SUBSP,5,,,5 !OPÇÃO DE ANÁLISE MODAL: SUBSPACE ITERATION
MXPAND,1        !MODO EXPANDIDO
! DEF. DO ELEMENTOS FINITOS P/ MODELAR A VIGA
ET,1,BEAM3
IET,2,MASS21 !ELE. DE MASSA DISCRETA
! DEF. DAS CTES REAIS DOS ELEMENTOS
R,1, A,I,h
IR,2,0,1,0
!DEF. DAS PROPRIEDADES DO ELEM.
MP,EX,1,E        !Módulo de elasticidade
MP,NUXY,1,nu     !Coeficiente de Poison
MP,DENS,1,ro     !Peso específico (ton/m^3)
! *****DEFINIÇÃO DA GEOMETRIA DO PROBLEMA*****
!DEF. DOS NÓS DA VIGA
N,1
N,10,L
! CONECTIVIDADE DOS NÓS
TYPE,1
REAL,1
MAT,1
FILL
E,1,2
EGEN,9,1,1

```

```

EPlot
Finish
!obtenção da Solução
/SOLU
!DEF. DAS CONDIÇÕES DE CONTORNO(RESTRIÇÕES NODAIS)
D,1,ALL !nó 1 restringido em todas as direções
Finish
/SOLU
SOLVE
*GET,fo1,MODE,1,FREQ
*GET,fo2,MODE,2,FREQ
*GET,fo3,MODE,3,FREQ
*GET,fo4,MODE,4,FREQ
*GET,fo5,MODE,5,FREQ
*DIM,LABEL,CHAR,1,5
*DIM,VALUE,,1,10
LABEL(1,1)='Freqs,'
LABEL(1,2)='(Hz)'
*VFILL,VALUE(1,1),DATA,fo1
*VFILL,VALUE(1,2),DATA,fo2
*VFILL,VALUE(1,3),DATA,fo3
*VFILL,VALUE(1,4),DATA,fo4
*VFILL,VALUE(1,5),DATA,fo5
/COM
/OUT,Freqs_V2_Aurea,vrt
/COM,*****RESULTADOS DO EX01-ANALISE MODAL*****
/COM,*****FRQS NATURAIS DE VIBRACAO DA VIGA*****
/COM,
/COM,          |MODO1|  |MODO2|  |MODO3|  |MODO4|  |MODO5|
/COM,
*VWRITE,LABEL(1,1),LABEL(1,2),VALUE(1,1),VALUE(1,2),VALUE(1,3),VALUE(1,4),VALU
E(1,5)
(1X,A8,A8,' ',F10.3,' ',F10.3,' ',1F10.3,' ',1F10.3,' ',1F10.3)
/COM,*****FIM*****
/OUT
Finish
*LIST,Freqs_V2_Aurea,vrt

```

```

/FILE,ANALISE MODAL VIGA RETANGULAR DE BAMBU (Guadua),,
!/CONFIG,NRES,50000
/TITLE,AN_MODAL-VIGA EM BALANÇO DE BAMBU
/REPLOT
!
KEYW,PR_SET,1
KEYW,PR_STRUC,1

! VIGA EM BALANÇO DE BAMBU
/PREP7
! DADOS DA VIGA:unidades utilizadas: m,kN,kN/m^2,m^4
b=0.038      !Base da viga
h=0.005      !Altura da viga
A=b*h        !Área da seção transversal
L=0.53       !Comprimento da viga
I = (b*h**3)/(12) !Momento de Inércia à flexão
E=11.54E+6   !Módulo de elasticidade da viga(Guadua)
nu=0.23      !Coeficiente de Poison
ro=0.74      !Peso específico (ton/m^3)

! DEF.DO TIPO DE ANÁLISE
ANTYPE, MODAL
MODOPT,SUBSP,5,,5 !OPÇÃO DE ANÁLISE MODAL: SUBSPACE INTERATION
MXPAND,1        !MODO EXPANDIDO
! DEF. DO ELEMENTOS FINITOS P/ MODELAR A VIGA
ET,1,BEAM3
IET,2,MASS21 !ELE. DE MASSA DISCRETA
! DEF. DAS CTES REAIS DOS ELEMENTOS
R,1, A,I,h
IR,2,0,1,0
!DEF. DAS PROPRIEDADES DO ELEM.
MP,EX,1,E      !Módulo de elasticidade
MP,NUXY,1,nu   !Coeficiente de Poison
MP,DENS,1,ro   !Peso específico (ton/m^3)
! *****DEFINIÇÃO DA GEOMETRIA DO PROBLEMA*****
!DEF. DOS NÓS DA VIGA
N,1
N,10,L
! CONECTIVIDADE DOS NÓS
TYPE,1
REAL,1
MAT,1
FILL
E,1,2
EGEN,9,1,1

```

```

EPlot
Finish
!obtenção da Solução
/SOLU
!DEF. DAS CONDIÇÕES DE CONTORNO(RESTRIÇÕES NODAIS)
D,1,ALL !nó 1 restringido em todas as direções
Finish
/SOLU
SOLVE
*GET,fo1,MODE,1,FREQ
*GET,fo2,MODE,2,FREQ
*GET,fo3,MODE,3,FREQ
*GET,fo4,MODE,4,FREQ
*GET,fo5,MODE,5,FREQ
*DIM,LABEL,CHAR,1,5
*DIM,VALUE,,1,10
LABEL(1,1)='Freqs,'
LABEL(1,2)='(Hz)'
*VFILL,VALUE(1,1),DATA,fo1
*VFILL,VALUE(1,2),DATA,fo2
*VFILL,VALUE(1,3),DATA,fo3
*VFILL,VALUE(1,4),DATA,fo4
*VFILL,VALUE(1,5),DATA,fo5
/COM
/OUT,Freqs_V3_Guadua,vrt
/COM,*****RESULTADOS DO EX01-ANALISE MODAL*****
/COM,*****FRQS NATURAIS DE VIBRACAO DA VIGA*****
/COM,
/COM,          |MODO1| |MODO2| |MODO3| |MODO4| |MODO5|
/COM,
*VWRITE,LABEL(1,1),LABEL(1,2),VALUE(1,1),VALUE(1,2),VALUE(1,3),VALUE(1,4),VALU
E(1,5)
(1X,A8,A8,' ',F10.3,' ',F10.3,' ',1F10.3,' ',1F10.3,' ',1F10.3)
/COM,*****FIM*****
/OUT
Finish
*LIST,Freqs_V3_Guadua,vrt

```