

## Referências Bibliográficas

ALLEN, H. G.; BULSON, P. S. **Background to Buckling**. London: McGraw-Hill, 2001.

BAZANT, Z. P.; CEDOLIN, L. **Stability of Structures: Elastic, Inelastic, Fracture, and Damage Theories**. New York : Oxford University Press, 1991.

BERGAMINI, A.; BIONDINI, F. **Finite strip modeling for optimal design of prestressed folded plate structures**. Engineering Structures 26: p. 1043-1054, 2004.

BRUSH, D. O.; ALMROTH, B. O. **Buckling of Bars, Plates, and Shells**. New York: McGraw-Hill, 1975.

BUILDING A CARDBOARD SCHOOL - **Images of the building as work progresses**. Disponível em:

<<http://www.cardboardschool.co.uk/content/index1.htm>>. Acesso em: 26 jun. 2005.

CHIA, C. **Nonlinear Analysis of Plates**. New York: McGraw-Hill, 1980.

GALAMBOS, T. V. **Guide to stability design criteria for metal structures**. 4. ed. New York: J. Wiley, 1988. 786p.

GILDEA G. **Folded Plates and Shells**. Disponível em:

<<http://www.ul.ie/~gaughran/Gildea/page10.htm>>. Acesso em 26 jun. 2005.

GOTSULYAK, E. A.; TOTOEV, Y. Z.; PRUSOV, D. E. **The influence of ribs stiffness and shape imperfections on stability of a ribbed folded plate structure**. Computers & Structures 74: p. 629-637, 2000.

HIBBIT, KARLSSON & SORENSEN. **ABAQUS Standard User's Manual: Version 6.3**, 2001.

INOUE, H. **Sistemas diafragma com painéis de chapa fina, aplicados a edificações estruturadas em aço**. 104 p. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2004.

LAI, Y.; WU, Z.; ZHU, Y.; SUN, A. **Geometrical non-linear analysis of a simply-supported cross V-shaped folded plate roof**. *Thin-Walled Structures* 37: p. 259-275, 2000.

LAI, Y.; YU, W. **Analytical solution for forced vibration of a simply-supported V-shaped folded plate roof**. *Thin-Walled Structures* 40: p. 215-223, 2002.

LAKSHMY, T. K.; BHAVIKATTI, S. S. **Optimum design of trough type folded plate roofs**. *Computers & Structures* 57: p. 125-130, 1995.

LEE, S.; WOOH, S.; YHIM, S. **Dynamic behavior of folded composite plates analyzed by the third order plate theory**. *International Journal of Solids and Structures* 41: p. 1879-1892, 2004.

MARK KETCHUM'S - **Concrete Shell Photo Gallery**. Disponível em: <http://www.ketchum.org/shellpix.html>. Acesso em: 26 jun. 2005.

NAGAHAMA, K. **Análise de estabilidade local em perfis de seção aberta em aço e em resina reforçada com fibra de vidro**. 160 p. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2003.

ÖZAKÇA, M.; TAYSI, N.; KOLCU, F. **Buckling optimization of variable thickness prismatic folded plates**. *Thin-Walled Structures* 41: p. 711-730, 2003.

PÉREZ, S. V. S. **Análise experimental da instabilidade distorcional em perfis de paredes finas e seção aberta, sob forças de compressão excêntrica**. 152 p. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2003.

REIS, A.; CAMOTIM, D. **Estabilidade Estrutural**. Lisboa: McGraw-Hill, 2001.

SAMANTA, A.; MUKHOPADHYAY, M. **Finite element static and dynamic analyses of folded plates**. Engineering Structures 21: p. 277-287, 1999.

TAN, D. **Analysis of self-weight induced collapse of long-deep**. Computers & Structures 78: p. 649-659, 2000.

TIMOSHENKO, S. P.; GERE, J. M. **Theory of Elastic Stability**. New York: McGraw-Hill, 1960.

VASQUEZ, E. G. **Análise teórica e experimental da instabilidade torsional de perfis formados a frio sob compressão centrada**. 173 p. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2003.

## Anexo A

### Entrada de Dados de Placa Dobrada sob Compressão Axial para obter as Cargas e os Modos de Flambagem

Neste apêndice apresenta-se a entrada de dados de placa dobrada com  $\theta=15^\circ$  sob compressão axial, com todos os bordos apoiados e  $\alpha=1.0$ , para obter os autovalores (fatores de carga de flambagem) e autovetores (modos de flambagem). Este arquivo é escrito em formato de texto e salvo com a extensão *.inp*.

\*HEADING

\*\*-----Definição dos nós dos vértices

\*NODE

1,-500,-500,0

9,500,-500,0

73,-500,500,0

81,500,500,0

809,1465.926,-500,258.819

881,1465.926,500,258.819

\*\*-----Definição dos conjuntos de nós para regiões e C.C.

\*NGEN,NSET=EDG3

1,73,9

\*NGEN,NSET=EDG4

9,81,9

\*NGEN,NSET=EDG5

809,881,9

\*\*-----Definição dos nós entre regiões

\*NFILL

EDG3,EDG4,8,1

\*NFILL

EDG4,EDG5,8,100

\*\*-----Definição dos conjuntos de nós para C.C.

\*NGEN,NSET=EDG1

1,9,1

\*NGEN,NSET=EDG2

73,81,1

\*NGEN,NSET=EDG5-nós internos

818,872,9

\*NGEN,NSET=EDG6

109,809,100

\*NGEN,NSET=EDG7

181,881,100

\*\*-----Definição dos conjuntos de nós para aplicação das cargas

\*NGEN,NSET=EDG1-1

1,9,8

\*NGEN,NSET=EDG1-2

2,8,2

\*NGEN,NSET=EDG1-3

3,7,2

\*\*-----

\*NGEN,NSET=EDG2-1

73,81,8

\*NGEN,NSET=EDG2-2

74,80,2

\*NGEN,NSET=EDG2-3

75,79,2

\*\*-----

\*NGEN,NSET=EDG3-1

1,73,72

\*NGEN,NSET=EDG3-2

10,64,18

\*NGEN,NSET=EDG3-3

19,55,18

\*\*-----

\*NGEN,NSET=EDG4-1

9,81,72

\*NGEN,NSET=EDG4-2

18,72,18

\*NGEN,NSET=EDG4-3

27,63,18

\*\*-----

\*NGEN,NSET=EDG5-1

809,881,72

\*NGEN,NSET=EDG5-2

818,872,18

\*NGEN,NSET=EDG5-3

827,863,18

\*\*-----

\*NGEN,NSET=EDG6-1

9,809,800

\*NGEN,NSET=EDG6-2

109,709,200

\*NGEN,NSET=EDG6-3

209,609,200

\*\*-----

\*NGEN,NSET=EDG7-1

81,881,800

\*NGEN,NSET=EDG7-2

181,781,200

\*NGEN,NSET=EDG7-3

281,681,200

\*\*-----Definição do tipo de elemento

\*ELEMENT,TYPE=S8R5,ELSET=um

1,1,3,21,19,2,12,20,10

\*ELEMENT,TYPE=S8R5,ELSET=dois

17,9,209,227,27,109,218,127,18

\*\*-----Definição da malha

\*ELGEN,ELSET=EALL

1,4,2,1,4,18,4

\*ELGEN,ELSET=EALL2

17,4,200,1,4,18,4

\*\*-----Definição da Superfície

\*SURFACE,NAME=EALL,TYPE=ELEMENT

EALL, SNEG

\*SURFACE,NAME=EALL2,TYPE=ELEMENT

EALL2, SNEG

\*\*-----Definição do material-Módulo de Elasticidade e Coeficiente de Poisson

\*MATERIAL ,NAME=PLATE

\*ELASTIC

100,.3

\*\*-----Definição da espessura e número de pontos de integração a serem usados

\*SHELL SECTION ,MATERIAL=PLATE,ELSET=EALL

10,3

\*SHELL SECTION ,MATERIAL=PLATE,ELSET=EALL2

10,3

\*\*-----Transformação dos conjuntos de nós em coordenadas locais

\*TRANSFORM,NSET=EDG5-nós internos

0.9659,0.,0.2588, 0,1.,0.

\*TRANSFORM,NSET=EDG6

0.9659,0.,0.2588, 0,1.,0.

\*TRANSFORM,NSET=EDG7

0.9659,0.,0.2588, 0,1.,0.

\*\*-----Condições de Contorno

\*BOUNDARY

EDG1,3

EDG1,5

EDG2,3

EDG2,5

EDG3,3

EDG3,4

EDG3,6

EDG5,3

EDG5,4

EDG5,6

EDG6,3

EDG6,5

EDG7,3

EDG7,5

\*\*-----Modos de flambagem desejados

\*STEP

\*BUCKLE

5,

\*MODAL FILE

\*\*-----Aplicação de cargas (em cada bordo a carga aplicada é de 1000kN)

\*CLOAD

EDG1-1,2,41.66666

EDG1-2,2,166.66666

EDG1-3,2,83.33333

EDG2-1,2,-41.66666

EDG2-2,2,-166.66666

EDG2-3,2,-83.33333

EDG6-1,2,41.66666

EDG6-2,2,166.66666

EDG6-3,2,83.33333

EDG7-1,2,-41.66666

EDG7-2,2,-166.66666

EDG7-3,2,-83.33333

\*\*-----Gera o .fil usado no arquivo das imperfeições

\*NODE FILE

u

\*END STEP



## Anexo B

### Entrada de Dados de Placa Dobrada sob Compressão Axial para obter o Caminho Pós-Crítico

Neste apêndice apresenta-se a entrada de dados de placa dobrada com  $\theta=15^\circ$  sob compressão axial, com todos os bordos apoiados e  $\alpha=1.0$ , para obter o caminho pós-crítico de equilíbrio. Este arquivo é escrito em formato de texto e salvo com a extensão *.inp*.

\*HEADING

\*\*-----Definição dos nós dos vértices

\*NODE

1,-500,-500,0

9,500,-500,0

73,-500,500,0

81,500,500,0

809,1465.926,-500,258.819

881,1465.926,500,258.819

\*\*-----Definição dos conjuntos de nós para regiões e C.C.

\*NGEN,NSET=EDG3

1,73,9

\*NGEN,NSET=EDG4

9,81,9

\*NGEN,NSET=EDG5

809,881,9

\*\*-----Definição dos nós entre regiões

\*NFILL

EDG3,EDG4,8,1

\*NFILL

EDG4,EDG5,8,100

\*\*-----Definição dos conjuntos de nós para C.C.

\*NGEN,NSET=EDG1

1,9,1

\*NGEN,NSET=EDG2

73,81,1

\*NGEN,NSET=EDG5-nós internos

818,872,9

\*NGEN,NSET=EDG6

109,809,100

\*NGEN,NSET=EDG7

181,881,100

\*\*-----Definição dos conjuntos de nós para aplicação das cargas

\*NGEN,NSET=EDG1-1

1,9,8

\*NGEN,NSET=EDG1-2

2,8,2

\*NGEN,NSET=EDG1-3

3,7,2

\*\*-----

\*NGEN,NSET=EDG2-1

73,81,8

\*NGEN,NSET=EDG2-2

74,80,2

\*NGEN,NSET=EDG2-3

75,79,2

\*\*-----

\*NGEN,NSET=EDG3-1

1,73,72

\*NGEN,NSET=EDG3-2

10,64,18

\*NGEN,NSET=EDG3-3

19,55,18

\*\*-----

\*NGEN,NSET=EDG4-1

9,81,72

\*NGEN,NSET=EDG4-2

18,72,18

\*NGEN,NSET=EDG4-3

27,63,18

\*\*-----

\*NGEN,NSET=EDG5-1

```
809,881,72
*NGEN,NSET=EDG5-2
818,872,18
*NGEN,NSET=EDG5-3
827,863,18
**-----
*NGEN,NSET=EDG6-1
9,809,800
*NGEN,NSET=EDG6-2
109,709,200
*NGEN,NSET=EDG6-3
209,609,200
**-----
*NGEN,NSET=EDG7-1
81,881,800
*NGEN,NSET=EDG7-2
181,781,200
*NGEN,NSET=EDG7-3
281,681,200
**-----Definição do tipo de elemento
*ELEMENT,TYPE=S8R5,ELSET=um
1,1,3,21,19,2,12,20,10
*ELEMENT,TYPE=S8R5,ELSET=dois
17,9,209,227,27,109,218,127,18
**-----Definição da malha
*ELGEN,ELSET=EALL
1,4,2,1,4,18,4
*ELGEN,ELSET=EALL2
17,4,200,1,4,18,4
**-----Definição da Superfície
*SURFACE,NAME=EALL,TYPE=ELEMENT
EALL, SNEG
*SURFACE,NAME=EALL2,TYPE=ELEMENT
EALL2, SNEG
```

```
**-----Definição do material-Módulo de Elasticidade e Coeficiente de
Poisson
*MATERIAL ,NAME=PLATE
*ELASTIC
100,.3
**-----Definição da espessura e número de pontos de integração a serem
usados
*SHELL SECTION ,MATERIAL=PLATE,ELSET=EALL
10,3
*SHELL SECTION ,MATERIAL=PLATE,ELSET=EALL2
10,3
**-----Transformação dos conjuntos de nós em coordenadas locais
*TRANSFORM,NSET=EDG5-nós internos
0.9659,0.,0.2588, 0,1.,0.
*TRANSFORM,NSET=EDG6
0.9659,0.,0.2588, 0,1.,0.
*TRANSFORM,NSET=EDG7
0.9659,0.,0.2588, 0,1.,0.
**-----Condições de Contorno
*BOUNDARY
EDG1,3
EDG1,5
EDG2,3
EDG2,5
EDG3,3
EDG3,4
EDG3,6
EDG5,3
EDG5,4
EDG5,6
EDG6,3
EDG6,5
EDG7,3
EDG7,5
**-----Aplicação da imperfeição no modo desejado e o fator de escala
*imperfection, file=1_16_BUCKLE_L15,step=1
```

1,0.01

\*\*-----Aplicação de cargas (em cada bordo a carga aplicada é de 1000kN)

\*STEP,Name=step1,NLGEOM,INC=1000

\*STATIC

0.01,1.,,0.015

\*CLOAD

EDG1-1,2,41.66666

EDG1-2,2,166.66666

EDG1-3,2,83.33333

EDG2-1,2,-41.66666

EDG2-2,2,-166.66666

EDG2-3,2,-83.33333

EDG6-1,2,41.66666

EDG6-2,2,166.66666

EDG6-3,2,83.33333

EDG7-1,2,-41.66666

EDG7-2,2,-166.66666

EDG7-3,2,-83.33333

\*END STEP

## Anexo C

### Entrada de Dados de Placa Dobrada sob Flexão para estudo do Comportamento Não-Linear

Neste apêndice apresenta-se a entrada de dados de placa dobrada com  $\theta=15^\circ$  sob flexão, com todos os bordos apoiados e  $\alpha=1.0$ , para estudo do comportamento não-linear através do método de RIKS. Este arquivo é escrito em formato de texto e salvo com a extensão *.inp*.

\*HEADING

Placa dobrada sob flexão

\*\*-----Definição do nó de aplicação da carga concentrada

\*NODE,NSET=N45

45,500, ,

\*\*-----Definição dos nós dos vértices

\*NODE

1,-500,-1500,0

9,500,-1500,0

73,-500,1500,0

81,500,1500,0

809,1465.926,-1500,258.819

881,1465.926,1500,258.819

\*\*-----Definição dos conjuntos de nós para regiões

\*NGEN,NSET=EDG3

1,73,9

\*NGEN,NSET=EDG4

9,81,9

\*NGEN,NSET=EDG5

809,881,9

\*\*-----Definição dos nós entre regiões

\*NFILL

EDG3,EDG4,8,1

\*NFILL

EDG4,EDG5,8,100

\*\*-----Definição dos conjuntos de nós para C.C.

\*NGEN,NSET=EDG1

1,9,1

\*NGEN,NSET=EDG2

73,81,1

\*NGEN,NSET=EDG5-nós internos

818,872,9

\*NGEN,NSET=EDG6

109,809,100

\*NGEN,NSET=EDG7

181,881,100

\*\*-----Definição dos conjuntos de nós para aplicação das cargas

\*NGEN,NSET=EDG1-1

1,9,8

\*NGEN,NSET=EDG1-2

2,8,2

\*NGEN,NSET=EDG1-3

3,7,2

\*\*-----

\*NGEN,NSET=EDG2-1

73,81,8

\*NGEN,NSET=EDG2-2

74,80,2

\*NGEN,NSET=EDG2-3

75,79,2

\*\*-----

\*NGEN,NSET=EDG3-1

1,73,72

\*NGEN,NSET=EDG3-2

10,64,18

\*NGEN,NSET=EDG3-3

19,55,18

\*\*-----

\*NGEN,NSET=EDG4-1

9,81,72

\*NGEN,NSET=EDG4-2

18,72,18

```
*NGEN,NSET=EDG4-3
27,63,18
**-----
*NGEN,NSET=EDG5-1
809,881,72
*NGEN,NSET=EDG5-2
818,872,18
*NGEN,NSET=EDG5-3
827,863,18
**-----
*NGEN,NSET=EDG6-1
9,809,800
*NGEN,NSET=EDG6-2
109,709,200
*NGEN,NSET=EDG6-3
209,609,200
**-----
*NGEN,NSET=EDG7-1
81,881,800
*NGEN,NSET=EDG7-2
181,781,200
*NGEN,NSET=EDG7-3
281,681,200
**-----Definição do tipo de elemento
*ELEMENT,TYPE=S8R5,ELSET=um
1,1,3,21,19,2,12,20,10
*ELEMENT,TYPE=S8R5,ELSET=dois
17,9,209,227,27,109,218,127,18
**-----Definição da malha
*ELGEN,ELSET=EALL
1,4,2,1,4,18,4
*ELGEN,ELSET=EALL2
17,4,200,1,4,18,4
**-----Definição da Superfície
*SURFACE,NAME=EALL,TYPE=ELEMENT
EALL, SNEG
*SURFACE,NAME=EALL2,TYPE=ELEMENT
```



EALL2, SNEG

\*\*-----Definição do material-Módulo de Elasticidade e Coeficiente de Poisson

\*MATERIAL ,NAME=PLATE

\*ELASTIC

100,.3

\*\*-----Definição da espessura e número de pontos de integração a serem usados

\*SHELL SECTION ,MATERIAL=PLATE,ELSET=EALL

10,3

\*SHELL SECTION ,MATERIAL=PLATE,ELSET=EALL2

10,3

\*\*-----Transformação dos conjuntos de nós em coordenadas locais

\*TRANSFORM,NSET=N45

0.9914,0.,0.1305, 0,1.,0.

\*TRANSFORM,NSET=EDG5-nós internos

0.9659,0.,0.2588, 0,1.,0.

\*TRANSFORM,NSET=EDG6

0.9659,0.,0.2588, 0,1.,0.

\*TRANSFORM,NSET=EDG7

0.9659,0.,0.2588, 0,1.,0.

\*\*-----Condições de Contorno

\*BOUNDARY

EDG1,3

EDG1,5

EDG2,3

EDG2,5

EDG3,3

EDG3,4

EDG3,6

EDG5,3

EDG5,4

EDG5,6

EDG6,3

EDG6,5

EDG7,3

EDG7,5

```
**-----Aplicação da carga de 1000kN
*STEP,Name=step1,NLGEOM,INC=500
*STATIC,riks
0.001,1.,5.64312E-04
*CLOAD
45,3,1000.
*END STEP
```