



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Pós-Graduação em Engenharia Civil

**ANÁLISE DAS LIGAÇÕES SEMI-RÍGIDAS
EM ESTRUTURAS PLANAS**

Giuliano Aparecido Romanholo

Ilha Solteira - SP

1210001290



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"Júlio de Mesquita Filho"
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ANÁLISE DAS LIGAÇÕES SEMI-RÍGIDAS
EM ESTRUTURAS PLANAS

UNESP - "CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA"
SERVIÇO TÉCN. DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO

DATA DE CHEGADA	DATA DE TOMBO
19.09.02	30.09.02
REGISTRADO POR	TOMBO
Osiza	Tz. 1290
AQUISIÇÃO	CLASSIFICAÇÃO
Wloação Auto R\$ 10,00	

"Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil".

Sup - 183298
Sup - 54647

Candidato: Eng. Giuliano Aparecido Romanholo

Orientador: Prof. Adj. Renato Bertolino Júnior



Ilha Solteira, Janeiro de 2001

30102030 ESTRUTURAS METÁLICAS

BCpIS - FEIS - UNESP

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"Júlio de Mesquita Filho"
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ANÁLISE DAS LIGAÇÕES SEMI-RÍGIDAS EM ESTRUTURAS PLANAS

624.182 Romanholo, Giuliano Aparecido
R758a Análise das ligações semi-rígidas em estruturas planas / Giuliano Aparecido
Romanholo. -- Ilha Solteira, 2001
xi, 137p. : il. ; 31cm

Dissertação(mestrado)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira.

Orientador: Renato Bertolino Júnior

Bibliografia: p.89-97

1.Estruturas metálicas 2.Ligações semi-rígidas 3.Método dos elementos finitos

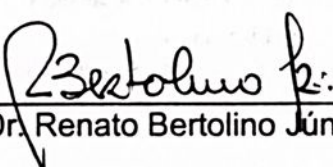


“Análise das Ligações Semi-Rígidas em Estruturas Planas”

GIULIANO APARECIDO ROMANHOLO

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À FACULDADE DE ENGENHARIA – CAMPUS DE
ILHA SOLTEIRA – UNESP – COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL (ME).

COMISSÃO EXAMINADORA:


Prof. Dr. Renato Bertolino Júnior - orientador


Prof. Dr. Lauro Henrique Mello Chueiri


Prof. Dr. Rogério de Oliveira Rodrigues

Ilha Solteira – SP, janeiro de 2001

BCpIS - FEIS - UNESP



AG DEDICAÇÃO OS

Agradeço a um amigo que, por desventura, faleceu muito cedo, mas que me deixou um legado de amor e amizade. Agradeço também a todos os que me apoiaram e incentivaram ao longo desta jornada. Agradeço especialmente à minha família, que sempre esteve ao meu lado, e aos meus professores, que me ensinaram a importância da dedicação e do esforço.

Agradeço a uma mulher que chegou de repente e aos poucos foi conquistando o meu coração. Agradeço a todos os amigos que me acompanharam nesta jornada, especialmente à minha família, que sempre esteve ao meu lado. Agradeço também aos meus professores, que me ensinaram a importância da dedicação e do esforço.

Agradeço a um homem que me ensinou a importância da dedicação e do esforço. Agradeço também a todos os que me apoiaram e incentivaram ao longo desta jornada. Agradeço especialmente à minha família, que sempre esteve ao meu lado, e aos meus professores, que me ensinaram a importância da dedicação e do esforço.

Ao longo que nunca tive, dedico esta obra a todos os que me apoiaram e incentivaram ao longo desta jornada. Agradeço especialmente à minha família, que sempre esteve ao meu lado, e aos meus professores, que me ensinaram a importância da dedicação e do esforço.

Dedico à minha esposa e ao meu filho:

Danielle e Daniel

Agradeço a todos os que me apoiaram e incentivaram ao longo desta jornada. Agradeço especialmente à minha família, que sempre esteve ao meu lado, e aos meus professores, que me ensinaram a importância da dedicação e do esforço.

AGRADECIMENTOS

- Agradeço a um anjo que, por descuido, quebrou suas asas e caiu do céu... e em minha vida. Responsável por quase todas minhas forças para continuar a lutar e por eu voltar a ver o mundo com o coração... coração esse que quase se desfez com os tropeços da vida. Ao anjo Daniel, meu filho, que mal veio ao mundo e já está me ensinando a viver. És um sábio e meu eterno amigo.

- A uma mulher, que chegou de repente e aos poucos foi conquistando o espaço de um homem cansado e inalcançado por pessoa alguma. Mulher inteligente e ousada, sincera e preocupada. Dona de uma inaplicável transformação em nome do amor e da felicidade. Por isso, e por muito mais é que hoje digo ao mundo que a amo e que tenho certeza que nosso encontro não foi uma simples brincadeira do acaso. Fostes colocada em meu caminho para seguirmos juntos até o final à procura do equilíbrio. A você, Danielle, que simplesmente apareceu e ficou para sempre.

- A um homem muito só, que ficava no seu mundo apenas trabalhando e vendo o tempo passar em sua janela sem se dar conta. Era como não tivesse o controle de sua vida, apenas vivia...era carente e não sabia pedir e eu era carinhoso não sabia dar. Um homem bom e, hoje, que sou pai, sei o que ele sentia por não ter tal controle. Agora, deve estar torcendo por mim em outro lugar, pedindo outra chance, assim como eu peço. A você, meu pai, onde quer que esteja fique tranquilo, pois entendo que você também queria ser feliz, mas não sabia como.

- Ao irmão que nunca tive, parceiro nas alegrias e tristezas durante quase dez anos e que por questões geográficas e de raízes o destino nos separou; tens o grande dom de aceitar minha amizade incondicionalmente. Sem saber provou que todas as pessoas podem ser boas, extrema bondade mostrada totalmente fora dos padrões rotulados. Sua amizade é um privilégio de poucos. A você, Kleber Chikui Lima, obrigado pelas incansáveis noites no Departamento de Engenharia Civil, contribuindo para a elaboração do Programa de Mestrado.

• Ao meu orientador, Prof. Adj. Renato Bertolino Júnior, pela total preocupação e paciência com seu aluno aprendiz. Ensinou-me a não esperar por milagres, a ser responsável e a tomar iniciativas. Seu nome e suas obras são provas vivas da sua competência e responsabilidade.

• O monstro chamado “tempo” apagou quase tudo o que construí em minha vida, menos a lembrança de um homem que acredita nas pessoas e na educação, mesmo que, às vezes, precária. Ao meu inesquecível professor de 2º grau, Norberto Crispim Barboza, pela gentil revisão ortográfica. Sinceramente, não imagino outro educador da nossa querida Língua Portuguesa fazendo tal revisão, pois tudo o que ele faz é de coração e é bem feito.

• Aos meus professores que, mais uma vez, fizeram-me crescer não só em título, mas também como pessoa, pois aprendi que são seres humanos... sujeitos a erros !!!

• A todas as pessoas que não me ajudaram, pois em vocês me fortaleci.

SUMÁRIO GERAL

Lista de Figuras	i
Lista de Tabelas	iv
Lista de Gráficos	v
Lista de Símbolos	vi
Listas de Siglas e Abreviaturas	ix
Resumo	x
Abstract	xi
1. Introdução	01
2. Revisão Bibliográfica	04
2.1. Introdução ao Estudo das Ligações Semi-Rígidas.....	04
2.2. Estudos das ligações Semi-rígidas na Última Década.....	05
3. Desenvolvimento da Matriz de Rigidez Modificada	17
3.1. Comentários Gerais.....	17
3.2. Modificação das Forças de Engastamento.....	18
3.3. Modificação da Matriz de Rigidez do Elemento.....	28
3.3.1. Matriz de Rigidez Considerando Apenas o Efeito Rotacional.....	30
3.3.2. Matriz de Rigidez Incluindo o Efeito Axial.....	38
4. Análise do Comportamento Semi-Rígido Para um Modelo Simples	43
4.1. Comentários Gerais.....	43
4.2. Construção dos Gráficos.....	44
4.2.1. Gráfico Momento x Rigidez.....	44
4.2.2. Gráfico Deslocamento x Rigidez.....	45
4.2.3. Gráfico Rotação x Rigidez.....	46
5. Consideração da Rigidez Através da Ligação Parafusada	47
5.1. Comentários Gerais.....	47
5.2. Determinação do Momento Resistente.....	48
5.3. Disposição Construtiva.....	49
6. Avaliação dos Momentos da Estrutura	50
6.1. Comentários Gerais.....	50
6.2. Alteração da Rigidez nas Extremidades da Barras.....	50
6.2.1. Momento Resistente.....	50
6.2.2. Momento Solicitante.....	52

7. Entrada de Dados e Apresentação do Programa	53
7.1. Comentários Gerais	53
7.2. Dados Iniciais do Programa	55
7.3. Processamento da Estrutura	57
7.3.1. Cálculo da Estrutura Semi-Rígida Sem Iterações	59
7.3.2. Cálculo da Estrutura Semi-Rígida Com Iterações	59
7.4. Apresentação dos Resultados	59
7.5. Salvando Projetos em Arquivos	63
7.6. Imprimindo os Resultados	63
8. Exemplo de Aplicação	64
8.1. Comentários Gerais	64
8.2. Exemplos	65
8.2.1. Estrutura Howe	65
8.2.2. Meia Estrutura Howe em Balanço	72
8.2.3. Estrutura Pratt	74
8.2.4. Estrutura Bowstring	78
8.2.5. Estrutura FinK	81
8.2.5.1. Obtendo-se um Pré-Dimensionamento das Barras	83
8.2.5.2. Sem Obter um Pré-Dimensionamento das Barras	83
9. Comentários Finais e Conclusões	86
10. Referências Bibliográficas	89
11. Bibliografia Consultada	95
Anexo A: Listagem do Programa em Linguagem Delphi	99
Anexo B: Impressão de um Resultado	135

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Elemento com Três Graus de Liberdade.....	17
Figura 3.2 - Elemento com uma Extremidade Semi-Rígida e a Outra Extremidade Rígida: Determinação das Forças de Engastamento Perfeito.....	19
Figura 3.3 - Relação Deslocamento – Rotação.....	21
Figura 3.4 - Elemento com Ambas as Extremidades Semi-Rígidas: Determinação da Matriz de Rigidez.....	29
Figura 3.5 - Elemento com Ligações Axiais Flexíveis: Determinação da Matriz de Rigidez do Elemento.....	41
Figura 4.1 - Barra Bi-Engastada nas Extremidades.....	43
Figura 5.1 - Detalhe da Ligação Parafusada.....	47
Figura 5.2 - Espaçamento Mínimo Entre Furos.....	49
Figura 6.1 - Tela Principal do Programa Com a Apresentação dos Resultados.....	51
Figura 6.2 - Tela de Entrada de Dados da Ligação.....	51
Figura 6.3 - Tabela dos Momentos Solicitantes de Cada Nó da Estrutura.....	52
Figura 7.1 - Tela de Autorização para a Entrada no Programa.....	53
Figura 7.2 - Tela Principal do Programa em Branco Pronta Para um Novo Projeto ou Abertura de um Existente.....	54
Figura 7.3 - Tela de Possíveis Mensagens de Erro.....	54

Figura 8.3.b - Estrutura Pratt Pré-Dimensionada no Software SAP 2009.....	79
Figura 7.4 - Campos de Informações Iniciais.....	55
Figura 8.4 - Estrutura Cowling, L=25,20 m.....	79
Figura 7.5 - Acesso aos Geradores e Informações Complementares da Estrutura...	56
Figura 8.5.a - Estrutura Fink, L=10,80 m.....	81
Figura 7.6 - Tela de Gerador de Coordenadas Cartesianas.....	57
Figura 8.5.b - Pré-Dimensionamento das Barras.....	82
Figura 7.7 - Opção Para Executar os Cálculos Com ou Sem Iterações.....	58
Figura 8.6 - Redistribuição dos Momentos Para a Estrutura Howe, L=10,80 m.....	87
Figura 7.8 - Barra de Status Identificando que a Estrutura Ainda Está Iteragindo.....	58
Figura 8.7 - Caminho Preferencial da Redistribuição dos Momentos Articulações.....	88
Figura 7.9 - Tabela dos Deslocamentos e das Rotações nos Nós.....	60
Figura 7.10 - Tabela das Forças Normais, Forças Cortantes e dos Momentos nas Barras.....	60
Figura 7.11 - Desenho da Estrutura em análise.....	61
Figura 7.12 - Campos de Recursos Opcionais.....	62
Figura 7.13 - Figura da Estrutura Ampliada.....	62
Figura 7.14 - Salvando os Dados.....	63
Figura 8.1.a - Estrutura Howe, L=10,80 m.....	66
Figura 8.1.b - Estrutura Howe, L=21,60 m.....	67
Figura 8.1.c - Estrutura Howe, L=32,40 m.....	69
Figura 8.2 - Meia Estrutura Howe em Balanço, L=14,40 m.....	73
Figura 8.3.a - Estrutura Pratt, L=8,40 m.....	75



Figura 8.3.b - Estrutura Pratt Pré-Dimensionada no Software SAP 2000.....76

Figura 8.4 - Estrutura Bowstring, L=25,20 m.....79

Figura 8.5.a - Estrutura Fink, L=10,80 m.....81

Figura 8.5.b - Pré-Dimensionamento das Barras.....82

Figura 9.1 - Redistribuição dos Momentos Para a Estrutura Howe, L=10,80.....87

Figura 9.2 - Caminho Preferencial da Redistribuição dos Momentos Solicitantes.....88



LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 - Materiais Usados nos Parafusos.....	48
Tabela 8.1.a - Valores dos Momentos Solicitantes nos Elementos, L=10,80 m.....	66
Tabela 8.1.b - Valores dos Momentos Solicitantes nos Elementos, L=21,60 m.....	68
Tabela 8.1.c - Valores dos Momentos Solicitantes nos Elementos, L=32,40 m.....	70
Tabela 8.2.a - Valor do Deslocamento no Meio do Vão, L=10,80 m.....	67
Tabela 8.2.b - Valor do Deslocamento no Meio do Vão, L=21,60 m.....	69
Tabela 8.2.c - Valor do Deslocamento no Meio do Vão, L=32,40 m.....	72
Tabela 8.3 - Valores dos Momentos Solicitantes nos Elementos, L=14,40 m.....	73
Tabela 8.4 - Valor do Deslocamento na Extremidade do Vão, L=10,80 m.....	74
Tabela 8.5 - Valores dos Momentos Solicitantes nos Elementos, L=8,40 m.....	76
Tabela 8.6 - Valor do Deslocamento no Meio do Vão, L=8,40 m.....	78
Tabela 8.7 - Valores dos Momentos Solicitantes nos Elementos, L=25,20 m.....	79
Tabela 8.8 - Valor do Deslocamento no Meio do Vão, L=25,20 m.....	80
Tabela 8.9 - Valores dos Momentos Solicitantes nos Elementos, L=10,80 m.....	84
Tabela 8.10 - Valor do Deslocamento no Meio do Vão, L=10,80 m.....	85



LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 - Relação Momento x Rigidez.....44

Gráfico 4.2 - Relação Deslocamento x Rigidez.....45

Gráfico 4.3 - Relação Rotação x Rigidez.....46

$[F_g]$ - Matriz de Flexibilidade

$[K'_{\theta}]$ - Matriz de Rigidez Considerando Apenas o Efeito Rotacional

$[S_g]$ - Matriz de Rigidez Modificada

$[K_g]$ - Matriz de Rigidez Completa incluindo o Efeito Axial e o Efeito Rotacional

$[S_g^*]$ - Matriz de Rigidez para Pórticos Planos

$[S'_{\theta}]$ - Matriz de Rigidez Sem Considerar o Efeito Axial

$[T]$ - Matriz de Transformação

A - Área da Seção Transversal

A_p - Área Bruta do Parafuso

C - Constante Utilizada no Cálculo da Matriz de Rigidez Modificada -

d - Deslocamento Sofrido pela Viga Após o Carregamento

LISTA DE SÍMBOLOS

δ - Alongamento do Elemento

θ - Rotação na Extremidade do Elemento

Φ - Coeficiente de Resistência

$[F_{ij}]$ - Matriz de Flexibilidade

$[K'_M]$ - Matriz de Rigidez Considerando Apenas o Efeito Rotacional

$[S_{ij}]$ - Matriz de Rigidez Modificada

$[S_M]$ - Matriz de Rigidez Completa Incluindo o Efeito Axial e o Efeito Rotacional

$[S_M^0]$ - Matriz de Rigidez para Pórticos Planos

$[S'_M]$ - Matriz de Rigidez Sem Considerar o Efeito Axial

$[T]$ - Matriz de Transformação

A - Área da Seção Transversal

A_p - Área Bruta do Parafuso

C - Constante Utilizada no Cálculo da Matriz de Rigidez Modificada

d - Deslocamento Sofrido pela Viga após o Carregamento



Resistência Nominal do Parafuso

d_p – Diâmetro do Parafuso

Coeficiente de Flexibilidade

D - Coeficiente de Flexibilidade

Parâmetros Adimensionais

e - Parâmetros Adimensionais

e_p e d_p - Espaçamento entre Parafusos

E - Módulo de Elasticidade do Material

F_R - Força Resistente dos Parafusos

f_u - Resistência a Tração do Material do Parafuso

I - Momento de Inércia do Elemento

L - Comprimento do Elemento

M - Momento Fletor na Viga

M_R - Momento Resistente da Ligação

M_S - Momento Solicitante da Ligação

P - Força Concentrada Aplicada no elemento

q - Carga Distribuída Aplicada no elemento

R - Reação de Apoio



R_{NV} - Resistência Nominal do Parafuso

S_R - Coeficiente de Rigidez Rotacional

S_A - Coeficiente de Rigidez Axial

AISC 360 - Structural Steel Design, user's guide for revision 10/01/02

ASTM - American Society for Testing and Materials

Eurocode 3 (EC3) - European Committee for Standardization

FEP - Faculdade de Engenharia de Petrópolis

ISO - International Organization of Standardization

LRFD - Load and Resistance Factor Design

MEF - Método dos Elementos Finitos

MOE - Modulus of Elasticity

MRE - Método de Rigidez do Elemento

MTP - Método de Três Parâmetros

NBR - Norma Brasileira Registrada

TPP - Truss Plate Institute

UK - United Kingdom



LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AISC – American Institute of Steel Construction

ANSYS – Structural Nonlinearities: user's guide for revision Houston

ASTM – American Society for Testing and Materials

Eurocode 3 (EC3) – European Committee for Standardization

FEP - Forças de Engastamento Perfeito

ISO – International Organization of Standardization

LRFD – Load and Resistance Factor Design

MEF – Método dos Elementos Finitos

MOE – Modulus of Elasticity

MRE- Matriz de Rigidez do Elemento

MTP - Modelo de Três Parâmetros

NBR – Norma Brasileira Registrada

TPI - Truss Plate Institute

UK – United Kindon



RESUMO

ROMANHOLO, G. A. **Análise das Ligações Semi-Rígida em Estruturas Planas**. Ilha Solteira, 2000, 137 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

As obras de engenharia utilizando perfis metálicos, estão sendo utilizadas nos mais variados tipos de obras relacionadas à construção civil; por isso, a necessidade de uma maior preocupação na análise de tais estruturas.

Nos cálculos e detalhamento das mesmas, são consideradas várias hipóteses e teoremas elaborados ao longo da existência dos primeiros construtores. Uma das hipóteses está em discretizar a estruturas em elementos de tamanho finito, onde, geralmente, as ligações entre as barras são consideradas rotuladas ou engastadas.

Apesar destas considerações não serem totalmente verdadeiras, elas são adotadas pela simplicidade de aplicação. As ligações entre as barras possuem um comportamento semi-rígido, pois dependendo do tipo de ligação, podem resistir mais ou menos aos esforços solicitados pelas ações atuantes na estrutura.

A análise do comportamento semi-rígido trará uma resposta de cálculo mais exato da estrutura, tornando os resultados mais próximos da realidade.

Palavras-chave: estruturas metálicas, método dos elementos finitos, ligações semi-rígidas.



ABSTRACT

ROMANHOLO, G. A. **Semi-Rigid connections analysis in planes frames.**

Ilha Solteira, 2000, 137 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

The cold-formed sections in structural design have been used in many constructions in civil engineering, therefore a more preoccupation to analysis these structures is necessary.

In the design and detail of these structures, many situations are considered by the constructor and designer. One of them is to consider the members of structures with several finites elements. The connection of the elements may be pinned or restrained.

Although this consideration is simple to design it is not totally true. The connections of the elements have a semi-rigid behavior, and these connections strength can depend the actions on the structures.

The considerations a semi-rigid behavior will present a more realistic structural analysis.

Key-Words: steel structure, finites elements method, semi-rigid connections.



1. INTRODUÇÃO

O Engenheiro Civil é responsável pela elaboração e execução de vários projetos ligados a sua área. Ele trabalha seguindo hipóteses comprovadas no campo da engenharia e transforma-as em modelos para serem aplicados de maneira conveniente.

Ele possui ferramentas para desenvolver, com total segurança, qualquer projeto que lhe é submetido; basta que aplique tais modelos de forma correta e coerente. Para a análise de estruturas, tem-se o método dos elementos finitos, que consiste em discretizar toda a estrutura através de elementos de tamanho finito. Tais elementos, possuem o comportamento e as características da estrutura a ser analisada. Isto permite obter informações seguras de sua resposta quando a mesma é submetida a diversas ações e, conseqüentemente, uma certeza do seu comportamento.

As estruturas metálicas são comuns em edificações residenciais, comerciais e industriais. Porém, a certeza da resposta da mesma, restringia-se ao tamanho da mesma, pois os cálculos matemáticos para obras de grande porte, como por exemplo, prédios, barragens e pontes, tornava-se muito complexa, devido as várias operações e iterações com matrizes, que resultava em uma grande probabilidade de erros.

Com a evolução da tecnologia, os computadores vieram auxiliar nos cálculos repetitivos, retornando valores com mais rapidez e precisão. Juntamente com a evolução dos computadores, as ferramentas para programação visual, também tiveram um crescimento de suma importância, pois, sem elas, não seria possível manipular a máquina para que a mesma se comportasse de maneira conveniente. Uma das ferramentas para a programação visual é o software Delphi, da Borland Corporation, que possibilita o trabalho desde operações matemáticas, até desenhos de gráficos de maneira rápida e eficaz. Nota-se que quanto mais dinâmico os processadores e os softwares se tornam, mais os mesmos são utilizados na engenharia.

Dentre as várias hipóteses de ligações entre os elementos das estruturas para a sua análise, está a de considerar essas ligações rotuladas (flexíveis) e



ligações engastadas (rígidas). Embora estas suposições não condigam completamente com as condições atuais, elas foram aceitas porque simplificam a análise e o projeto. Na realidade, as ligações das estruturas planas são semi-rígidas, permitindo algum movimento relativo entre a ligação das barras no plano da estrutura. O movimento pode ser axial, translacional ou rotacional devido às forças concêntricas ou excêntricas nas barras. A deformação axial ou rotacional das ligações pode ser responsável por uma parcela substancial da deformação global da estrutura e, conseqüentemente, tem uma influência significativa na distribuição das forças internas.

É de natureza que o ser humano sempre tente se superar. O engenheiro, por sua vez, procura melhorar ou tornar os modelos existentes cada vez mais próximos do real. O aprimoramento na análise e no projeto das estruturas permitem um custo efetivo menor, portanto, um impacto significativo nas empresas de fabricação e montagem. A introdução do comportamento de ligações semi-rígidas propiciará uma melhor resposta do comportamento da estrutura, isto é, uma maior exatidão com relação aos esforços nos elementos e dos deslocamentos da estrutura, em seus pontos nodais. Os coeficientes da matriz de rigidez e as forças de engastamento perfeito para cada elemento individual, com uma ou ambas as extremidades semi-rígidas, serão determinados a partir da modificação da matriz de rigidez dos casos ideais.

Em termos de utilização, esta é uma aproximação simplificada, porque é necessário estimar as dimensões dos elementos fictícios de acordo com a rigidez da ligação. E, também, é uma aproximação mais exata, porque é desenvolvida pelo método da rigidez, onde inclui o comportamento semi-rígido das ligações da estrutura.

O método da rigidez é uma ferramenta poderosa para análise de qualquer tipo de estrutura com elevado grau de hiperestaticidade. Incluindo a rigidez das ligações na análise de estruturas, será possível prever o seu comportamento com maior exatidão. A determinação da resposta depende das considerações feitas sobre as ligações, como por exemplo, o tipo de material e configuração dos parafusos. O efeito das ligações semi-rígidas pode ser utilizado na análise de outras estruturas quando os valores de resistência e rigidez dessas ligações forem conhecidos.



Os objetivos a serem alcançados neste trabalho são divididos em vários capítulos:

- incluir o comportamento das ligações semi-rígidas na matriz de rigidez do elemento de estruturas planas, modificando-as através da introdução de coeficientes que considere a rigidez axial e rotacional das ligações;
- elaborar um programa computacional, onde o mesmo considere essa matriz de rigidez modificada, com os respectivos coeficientes de rigidez axial e rotacional;
- desenvolver um modelo para retratar a resistência de cálculo de ligações parafusadas;
- efetuar a implementação dessa resistência das ligações semi-rígidas no programa computacional elaborado nas etapas anteriores, utilizando-se o processo iterativo, onde, ao final de cada iteração, efetua-se uma correção nos valores obtidos em função da resposta da última etapa;
- analisar o comportamento do deslocamento, da rotação e do momento em função da rigidez da estrutura;
- efetuar vários exemplos com estruturas de diferentes configurações e diferentes vãos;
- comparar os resultados obtidos através da análise estrutural considerando as ligações semi-rígidas e a análise estrutural considerando as ligações rotuladas e engastadas.

O comportamento não linear para as vinculações de extremidades engastadas da relação entre o momento e a rotação é extremamente dependente do tipo de ligação adotada e também da direção da ação, do grau da rigidez da conexão e do arranjo da sua geometria. Exemplos ilustrativos serão elaborados para confrontar a análise considerando as ligações rotuladas, engastadas e semi-rígidas nas extremidades dos elementos da estrutura.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Introdução ao estudo das ligações semi-rígidas

De acordo com Ribeiro (1997), o estudo das ligações teve início na Inglaterra no princípio do século XIX, com Wilson & Moore, onde foram ensaiadas ligações rebitadas do tipo viga-coluna, com a finalidade de analisar o seu comportamento através da relação momento-rotação. O efeito da deformabilidade das ligações no desempenho da estrutura foi analisada nos Estados Unidos por Rathbun (1936). Daí em diante, houve uma preocupação em se estudar também as ligações semi-rígidas, pois os pesquisadores já sabiam do comportamento complexo que as ligações apresentavam, diferenciando-se então, dos casos idealizados. Um trabalho de suma importância foi o de Johnston & Mount (1942), que analisaram pórticos com ligações semi-rígidas. Posteriormente, Shorochnikoff (1950), verificou a influência do vento em ligações semi-rígidas para o mesmo tipo de estrutura. Lothers (1951), propôs equações para representar a restrição elástica de ligações semi-rígidas.

Com a evolução dos microcomputadores, Lightfoot & Baker (1961) desenvolveram um programa computacional para analisar pórticos planos com ligações elásticas e Monforton & Wu (1963) estudaram a aplicação da análise matricial em estruturas com ligações semi-rígidas. Frye & Morris (1975), utilizaram processos iterativos para obter o comportamento das ligações. Krishnamurthy et al (1979), aplicaram o método dos elementos finitos (MEF) na obtenção de curvas de momento-rotação para ligações com chapa de aço. Jones et al (1980) verificaram a influência das ligações semi-rígidas em colunas de aço. Simites & Vlahinos (1982), também estudaram a estabilidade de pórticos planos com ligações semi-rígidas.

As características estruturais das ligações semi-rígidas foram obtidas a partir de ensaios em escala real. Maraghechi & Itani (1984), verificaram que a rigidez axial e rotacional das ligações têm influência apreciável nas solicitações da barras, enquanto que a rigidez ao cisalhamento tem seu efeito desprezível. De acordo com Santos (1998), em 1986, Bijlaard analisou a influência das ligações semi-rígidas no comportamento global da estrutura. Weaver & Gere (1986), obtiveram os esforços



de engastamento perfeito e a matriz de rigidez do elemento, através da modificação de casos idealizados.

Outro modo de incluir o comportamento de ligações semi-rígidas na análise de estruturas, é modificar as propriedades de rigidez dos elementos individuais, tendo a ligação semi-rígida em uma ou em as ambas extremidades, conforme Fu & Seckin (1988) e Sasaki et al. (1988). Isto significa modificar as forças de engastamento e a matriz de rigidez do elemento. Lau (1987), determinou valores de resistência e de rigidez para ligações a partir de ensaios em laboratório e utilizou estes valores em um programa de computação para análise estrutural. Poggi & Zandonini (1987), analisaram os pórticos planos através do MEF (método dos elementos finitos).

2.2. Estudos das ligações semi-rígidas na última Década

Como pode-se observar, a preocupação em se ter uma resposta mais real da estrutura já era prioridade de alguns autores. Daquela época até a década de 90, vários estudos foram realizados seguindo a mesma linha de pesquisa até novas propostas de estudo. Grupta (1990), realizou ensaios de tração em diversas ligações para determinar a sua resistência e sua rigidez. Na mesma época, Bjorhve et al. (1990), classificaram as ligações semi-rígidas em função de sua rigidez, ductilidade e resistência. No ano seguinte, Colson (1991), apresentou um procedimento teórico para a obtenção da curva momento-rotação em ligações viga-coluna.

Barakat & Chen (1991), apresentaram a avaliação dos procedimentos e dos modelos propostos por outros autores comparados com o procedimento de simplificação para a análise de pórticos flexíveis, não contraventados. Foi discutida a facilidade desses procedimentos, bem como exemplos numéricos. Também foi demonstrada a implementação da análise e projeto de pórticos flexíveis em computadores pessoais.

A análise estrutural de treliças de madeira ligadas por placas de metal, utilizando nós semi-rígidos, foi investigada pelo método matricial por Grupta et al (1992). A MRE (matriz de rigidez do elemento) e as forças na extremidade de um elemento, com um ou ambas extremidades semi-rígidas, foram obtidas como modificações de casos idealizados. No caso de ligações elásticas iguais nas duas



extremidades do elemento, também pode ser utilizado este método de análise. Quando uma das extremidades for semi-rígida, a outra extremidade pode ser especificada como rotulada, engastada ou semi-rígida. A treliça foi analisada por três diferentes suposições de vinculação: rotulada, engastada e semi-rígida. O comportamento da treliça, baseado no deslocamento, varia enormemente dependendo da suposição das vinculações. Considerando o comportamento de nós semi-rígidos na análise de uma treliça de madeira, o deslocamento máximo diminuiu em 34%, quando comparado com a suposição dos nós rotulados e o momento máximo em 13%, quando comparado com a suposição de nós engastados. Por incorporar o comportamento semi-rígido dos nós, uma maior precisão das forças nos elementos pode ser obtida, possibilitando uma previsão do comportamento da treliça mais próxima do real.

Liew et al (1993), introduziram, em um primeiro trabalho, um método para modelar a ligação através da curva de momento-rotação, as quais foram essenciais para proporcionar a análise estrutural de pórticos planos de aço semi-rígidos. Tal trabalho foi baseado na análise inelástica de segunda ordem. Foram apresentados procedimentos para o cálculo dos principais parâmetros usados para descrever as curvas de momento-rotação de várias ligações do tipo cantoneira. Podem ser identificados auxílios em projetos, através dos valores desses parâmetros que afetam o comportamento da relação momento-rotação da ligação. Foram apresentados dois esquemas nos quais as ligações podem ser classificadas em função da resistência, da rigidez e da capacidade de rotação, tendo suas aplicações em projetos discutidas posteriormente.

Em um segundo trabalho, sendo este continuação do primeiro, os autores apresentaram um método integrado de análise inelástica avançada, para estruturas de pórtico de aço semi-rígido, nas quais as ligações de viga-coluna são compostas de cantoneiras. É introduzida uma aproximação chamada de análise de rótula plástica refinada de segunda ordem. O método é validado através de comparações de resultados com aqueles obtidos, baseados em uma exata análise da zona plástica. Foi mostrado que a análise da rótula plástica refinada prevê uma boa representação do comportamento inelástico, e que permite a avaliação completa do sistema e do comportamento inelástico do elemento até o estado limite de resistência.

Este método de análise foi usado para avaliar a proporcionalidade de uma estrutura plana semi-rígida, bem como seus elementos e ligações na resistência aos efeitos das ações combinadas. O projeto foi avaliado no que diz respeito à resistência do sistema e os estados limites de serviço, de acordo com os códigos exigidos para a resistência e estabilidade de elementos individuais e capacidade de rotação das ligações. A inclusão do efeito não linear nas ligações em análises de inelástica permite uma análise direta da proporção dos elementos do pórtico e das ligações, evitando assim, a complexidade de se ter que executar as verificações da capacidade específica de cada elemento para elementos individuais da estrutura.

O objetivo do estudo destes dois trabalhos foi de avançar o uso da rótula plástica de segunda ordem, baseada nas análises para pórticos planos semi-rígidos, sem a necessidade de separar a equação de verificação.

Devido ao comportamento inelástico de ligações viga-coluna, a estabilidade de pórticos de aço semi-rígidos, é afetada não apenas pelas características de carga e descarga das ligações nos pontos críticos, mas também, pela suas histórias de cargas prévias até estes pontos. Assim, a análise do comportamento inelástico crítico e pós-crítico de pórticos semi-rígidos, torna-se muito complicada quando comparada com pórticos rotulados e engastados usualmente utilizados. Goto et al (1993), utilizaram um método para examinar, precisamente, como a estabilidade do comportamento de pórticos semi-rígidos é influenciado através de fatores tais como modelagem de ligações, condições de carga, imperfeições geométricas, e histórico de carga causado por cargas variáveis.

Diversas simulações numéricas tridimensionais de nós em viga-coluna de estruturas de aço foram realizadas e as mesmas conduzidas para aprofundar o entendimento do comportamento mecânico do nó até a ruptura. Isto motivou Sibay & Frey (1993) a desenvolver um novo conceito de elementos finitos de nós semi-rígidos. Esse novo elemento considera as dimensões reais dos nós e incorpora suas diferentes características de flexibilidade. Pode ser implantado em um programa geral de elemento e incorporado com qualquer elemento de viga existente. São apresentados os novos elementos de nó, junto com aplicações numéricas os quais mostram suas eficiências e a influência do comportamento real dos nós sobre a resposta total da estrutura.

O interesse do estudo feito por Riley et al (1993), foi sobre a análise de treliça incluindo a semi-rigidez nos nós das mesmas, usando elementos artificiais. Os



resultados dessa simulação, são comparados com resultados de análises feitas com as seguintes suposições de ligações nos nós da treliça: 1- ligação rotulada; 2- ligação engastada; 3- a especificação do Truss Plate Institute (TPI) para análise de treliça; 4- ligação semi-rígida simulada pela modificação das forças de engastamento perfeito (FEP) e dos elementos da matrizes de rigidez. Análises de sensibilidade foram conduzidas para examinar o efeito da: 1) inclinação de treliça; 2) rigidez axial e rotacional dos nós; 3) valor aleatório do módulo de elasticidade (MOE) para os elementos da treliça sobre deslocamento máximo da estrutura e a força axial e o momento de flexão máxima dos elementos como determinado pelo método do elemento artificial.

O deslocamento vertical máximo da estrutura e momento de flexão máxima dos elementos da treliça, usando elementos artificiais, estão entre os resultados para suposições de ligações de nós rotulados e engastados e são menores do que aquele usado no método matricial. A especificação da análise pelo TPI incorpora adequadamente a semi-rigidez dos nós da treliça. O deslocamento, o momento de flexão, e a força axial previstos pelo procedimento do elemento artificial, foram sensíveis à inclinação da treliça, mas relativamente menos sensível às mudanças nos nós axial e rotacional e função aleatória de valores do MOE para elementos da treliça.

Aggarwal (1994), relataram os resultados de uma investigação experimental realizada sobre nós de viga-coluna com o propósito de comparar o comportamento dos nós com chapa de topo e chapa de continuidade. Em um programa experimental, doze amostras de nós de viga-coluna foram testadas aplicando-se cargas estáticas. Quatro ensaios foram de chapa de topo e as outras oito foram de chapa contínua. No final, quatro ensaios tiveram uma chapa de topo em um lado da viga, enquanto os outros quatro tiveram as chapas em ambos os lados. Nas amostras de testes, os parâmetros tais como espessura da chapa de topo e o diâmetro do parafuso variavam para uma mesma viga e uma mesma coluna de seção transversal constante. Foram obtidas dos dados coletados, as curvas experimentais de momento-rotação, bem como, os cálculos das restrições de extremidades oferecidos pelos nós. Foi observado que os nós com chapa de topo, ainda assim tinham rotações similares aos nós de chapas contínuas.

Destefano et al (1994), elaboraram um modelo mecânico para simular o comportamento de ligações com dupla cantoneira sujeitada à grande flexão cíclica



inelástica. O modelo é puramente mecânico e, como informação, é necessária somente a relação tensão-deformação do material e as propriedades geométricas da ligação. A mesma foi simulada por uma série de elementos rígidos e deformáveis, onde a relação constitutiva dos elementos deformáveis, foi obtida através da resposta dos elementos da viga sujeitos à flexão. Por usar a regra da rigidez cinemática, o modelo é estendido a uma cadeia cíclica. A análise numérica e os resultados experimentais, fornece subsídios para avaliar a capacidade que um modelo tem de simular a resposta cíclica inelástica de ligações, com dupla cantoneira de aço sujeita à flexão.

Foi proposto por King (1994), um modelo simples e prático para a análise de segunda ordem do comportamento inelástico de pórticos semi-rígidos. O método foi baseado em um modelo de três parâmetros (MTP) de rigidez rotacional para as ligações e modelos fenomenológicos para representar a degradação na rigidez tangente dos elementos de viga-coluna devido ao escoamento. Foi notado que o método convencional de rótula plástica simples, tende a superestimar a carga limite de pórticos semi-rígidos, sem nenhum problema para a ligação viga-coluna, que são rígidas ou flexíveis, quando cargas axiais nas colunas, são grandes. A resposta do deslocamento da carga prevista pelo método proposto foi próximo daquele obtido através de métodos de análise inelástica experimental.

Bahaari & Sherbourne (1994), utilizaram uma metodologia, baseada na modelagem através de elementos finitos para desenvolver analiticamente a relação momento-rotação para uma ligação de aço parafusada com chapa de topo. No programa ANSYS, foi proposto um modelo geral de elementos finitos de grande capacidade para análise bi-dimensional equivalente (2D). A chapa de topo, as flanges das vigas e colunas, a alma e o tipo de parafuso na região de tração foram representados como elementos planos de tensão com largura igual à suas espessuras medidas perpendicularmente sobre a altura do perfil. Elementos de interfase foram usados como modelo de contorno entre a flange da coluna e a chapa de topo que pode manter ou quebrar o contato. Baseado nos delineamentos e nas deformações da tensão de um modelo 2D, foi discutida a contribuição do comportamento da alma da viga, das quais dois tipos de deformações na chapa de topo puderam ser identificadas. A metodologia foi demonstrada para uma ligação com chapa de topo estendida e os resultados são comparados com dados

experimentais para verificar a praticabilidade do modelo e a associação da análise por computadores.

Abdalla & Chen (1995), expandiram a base de dados existentes das ligações de aço semi-rígidas da Universidade Purdue, incluindo dados adicionais de ensaios sobre encabeçador de chapas e ligações com dupla cantoneira. As curvas experimentais de momento-rotação foram também comparadas com diversos modelos analíticos que descrevem essas curvas.

A validade do sistema de classificação EC3 para ligações, foi revisada por Goto & Miyashitas (1995), através da investigação geral do comportamento crítico elastoplástico de pórticos. Como resultado, foi observado que os valores numéricos que os pórticos semi-rígidos apresentavam, tinham uma capacidade de carga quase comparável com aquela dos pórticos rígidos, mesmo quando a rigidez das ligações de pórticos semi-rígidos eram menores do que aquela especificada pelo EC3 como limite entre rígido e semi-rígido. Isto sugere que os requisitos do EC3, para as ligações serem classificadas como rígidas, podem ser mais bem restritivos nos termos da capacidade de carga dos pórticos.

Kim & Chen (1996), apresentaram três procedimentos práticos para a análise avançada para o projeto de pórtico plano em aço semi-rígido. Foi discutido o comportamento não linear de ligações de viga-coluna e foi introduzida uma modelagem prática dessas ligações. Os métodos propostos podem traduzir precisamente os efeitos combinados não lineares das ligações, da geometria e do material sobre o comportamento e resistência dos pórticos semi-rígidos. As resistências mencionadas por esse método foram comparadas com outros experimentos realizados. O procedimento de análise e projeto usando os métodos propostos foram descritos em detalhes e um estudo do caso é também dado. Podem ser usados para o projeto com LRFD, sem as exaustivas verificações de capacidade de elementos isolados, incluindo os cálculos do fator K.

Análise elastoplástica não linear de pórticos planos com ligações semi-rígidas foi estudada por Tinloi & Vimonsatit (1996) e foi realizada usando um programa de aproximação matemática. Uma adequada formulação Lagrangeana para análise de qualquer ordem foi o primeiro objetivo para uma adequada discretização do sistema estrutural através de três relações básicas de estática, de cinemática e da lei constitutiva elastoplástica. Características particulares desta formulação inclui a preservação da durabilidade estática-cinemática através do conceito de forças



fictícias e deformações. O uso de uma classe poderosa de leis constitutivas linearizadas semelhantes para as condições do modelo de plasticidade em geral e em particular semi-rígidas, é uma descrição exata da influência para o caso bi-dimensional que pode ser especializado em qualquer ordem de não linearidade geométrica. Consideração específica é fornecida para um simples e essencial caso de segunda ordem desde que o modelo possa ser suficientemente preciso no comportamento da maioria dos pórticos reais. Enquanto o problema de programação matemática particular leva a forma de um problema completamente paramétrico não linear envolvendo leis inversas e holonômicas, o proposto algoritmo numérico que foi baseado em uma adaptação iterativa do modelo de Wolfe-Markowitz, pode permitir fenômenos irreversíveis e não holonômicas. O esquema pode traçar um completo caminho do equilíbrio do esqueleto além de qualquer ponto crítico, capturando apenas eventos envolvendo rótulas ativas ou de descarregamento. Exemplos numéricos foram apresentados para ilustrar e validar a precisão da aproximação.

Um procedimento analítico foi proposto por Shi et al (1996) para estabelecer característica não lineares da relação momento-rotação para ligações parafusadas com chapa de topo em estruturas de aço, com nós flexíveis. As características das ligações foram adotadas para depender do comportamento das componentes na zona de tração, na zona de compressão e na zona de cisalhamento. A mesa da coluna e a chapa de topo da extremidade com cada linha de parafuso na zona tracionada foram consideradas como uma montagem em T, com comprimento efetivo recomendado pelo Eurocode 3. Baseado na teoria de viga e no limite de escoamento, foi determinada a relação elastoplástica entre força-deformação para cada montagem em T. Com a consideração da deformação da alma da coluna na zona de compressão e na zona de cisalhamento, a rotação da ligação Φ em função do momento M de flexão, foi obtida conforme se pede. O modelo analítico proposto foi comparado com alguns resultados experimentais de ligações de chapa de extremidade estendida e foram demonstradas a praticabilidade e validade do modelo proposto.

Faella et al (1997), investigaram as relações entre alguns parâmetros apresentados no comportamento rotacionais de ligações de chapa de topo de extremidade estendida e, por um amplo número de análises numéricas, foram mostradas as dependências sobre o detalhe geométrico das ligações. Como resultado dessas análises, poderosas ferramentas de projeto foram apresentadas.



Além do mais, é sugerido um procedimento de projeto para pórticos contraventados. A originalidade do procedimento proposto consiste da sua habilidade de levar o projetista ao completo detalhamento das ligações viga-coluna.

O trabalho de Kishi et al (1997), resultou de uma avaliação analítica da classificação do Eurocode 3 sobre os três tipos de ligação viga-coluna na construção de aço. Foram feitos extensivos estudos do comportamento de tais ligações em pórticos, usando os dados básicos coletados por eles. Estes estudos mostraram que a maioria das ligações têm comportamento semi-rígido para verificar a pressão na carga de serviço, mas torna-se flexível para verificar a resistência na carga combinada. O código EC3 prevê uma classificação adequada para a verificação última de resistência, mas não é adequada para verificação de pressão.

Foi proposto por Shi et al (1997), um procedimento analítico para estabelecer as características não lineares do momento-rotação (M - Φ) de ligações viga-coluna semi-rígidass composta por chapa de topo na extremidade. O modelo analítico proposto pode facilmente ser representado por uma função exponencial. A função pode ser diretamente incorporada em uma análise de pórtico para simular as ligações viga-coluna semi-rígidass. Também propuseram um procedimento para determinação do comprimento efetivo de flambagem de colunas em pórticos semi-rígidass deslocáveis. No mesmo ano, Fakuri et al (1997), analisaram estruturas de aço com nós semi-rígidass.

Goto & Miyashita (1998), introduziram um novo sistema de classificação para ligações de viga-coluna em termos do limite entre as ligações rígidas e as ligações semi-rígidass. Alguns arranjos típicos de pórticos de múltiplos andares foram escolhidos considerando a disposição e o traçado de detalhes do elemento dos sistemas estruturais na classificação. Neste modelo, as curvas da ligação para os seus respectivos tipos, podem ser determinadas pela rigidez inicial e pela capacidade de momento último. O limite entre as ligações rígidas e semi-rígidass foi estabelecido nos termos desses dois parâmetros, por levar em conta o comportamento elasto-plástico das estruturas a um estado limite de serviço, junto com o estado de limite último. Além do mais, a capacidade rotacional exigida, foi calculada para as ligações classificadas como rígidas. A validade do sistema de classificação proposto foi examinada pela análise do comportamento global de pórticos semi-rígidass. Como resultado, foi confirmado que o novo critério de

classificação prevê um maior limite rotacional comparado com os sistemas de classificações existentes.

Um novo sistema de classificação para ligações viga-coluna foi proposto Nethercot et al (1998), no qual as características da rigidez e resistência das ligações foram consideradas simultaneamente. Usando este método uma determinada ligação foi classificada dentro de uma única categoria, de tal modo que esclareça esta posição para os engenheiros e projetistas. Desde que a rigidez e a resistência da ligação foram consideradas simultaneamente, novos termos foram propostos para definir as categorias das ligações. Estas podem ser completamente conectadas, parcialmente conectadas, rotuladas ou sem função estrutural. Comparadas com as propriedades de ligação das vigas, bem como com as colunas adjacentes, uma ligação completamente conectada deve ter alta rigidez e alta resistência; uma ligação parcialmente conectada tem moderada rigidez e moderada resistência; uma ligação rotulada tem baixa rigidez e baixa resistência e as ligações não estruturais, são aquelas em que não se pode encontrar rigidez, resistência ou ductilidade exigidas para os outros tipos de ligações. Foram incluídos exemplos numéricos para demonstrar a validade deste sistema de classificação. A base foi que a atuação global do pórtico, tanto nos estados limites de serviço como nos estados limites últimos, deveria estar de acordo com aquela prevista pelo método de análise associado, este foi particularmente importante quando as aproximações padrões da suposta ligação rotulada ou engastada, são usada.

Chistopher & Bjorhovde (1999), estudaram o projeto de pórticos semi-rígidos, onde analisaram as características do comportamento de ligações não lineares, incluindo substancialmente as diferenças das características de carga e descarga. Foram mostradas representações do momento-rotação para as ligações, tais como o modelo dos três parâmetros (MTP) e a facilidade para o cálculo da rigidez exigida para análise de pórtico. As características das ligações são descritas nos termos da rigidez de ligações linearizadas que são calculadas com base nas cargas esperadas das ligações. Isto permite o uso da análise de primeira ordem para determinar a estabilidade estrutural, durabilidade e efeitos da carga no elemento. O método para projeto detalhado neste estudo inclui a seleção coerente das ligações e o tamanho dos elementos. Foi utilizada a aproximação LRFD do AISC, incluindo as previsões que contam com fatores de amplificações para considerar os efeitos de segunda ordem. As verificações das seções dos elementos foram feitas com o fator K de



comprimento não contraventado, determinado através dos seus diagramas, usando fatores de distribuição relativamente modificados para considerar a flexibilidade da ligação. Novos estados limites das ligações foram quantificados pela seqüência de utilização da deformação esperadas nas mesmas.

Barsan & Chiorean (1999), apresentaram um método computacional eficiente para análise inelástica e de grandes deslocamentos de pórticos de aço com nós flexíveis, baseados nos mais refinados tipos de análise inelástica de segunda ordem e análise da zona de plasticidade. Os efeitos combinados do material, da geometria e do comportamento não-linear da ligação, foram automaticamente simulados em um computador com linguagem orientada Turbo-Pascal. Este programa foi usado para estudar a resposta última de diversos pórticos de aço que tinham sido estudados anteriormente por outros pesquisadores. As verificações feitas pelos computadores nos exemplos e as comparações feitas, prevêm a eficiência do método de análise proposto.

Dhillon & O'Malley (1999), apresentaram um método para projeto e análise baseado no computador, no qual se projetaram pórticos de aço semi-rígido. Foi utilizada uma análise não linear de segunda ordem, incluindo os efeitos da flexibilidade das ligações e da não linearidade geométrica dos elementos, em conjunto com a especificação LRFD da AISC. O procedimento para projeto foi iterativo, e dá opções para o engenheiro alterar as seções dos elementos e detalhes das ligações para considerações econômicas e práticas. Diversos exemplos foram apresentados para demonstrar a validade e a efetividade do procedimento de desenho para pórticos semi-rígidos. Foi mostrado que projetos com maior economia, podem ser realizados com ligações semi-rígidas através da variação da rigidez das ligações que ajusta o comprimento e os momentos finais de uma viga. Os exemplos também demonstraram o efeito mais significativo da flexibilidade das ligações em pórticos não contraventados.

Lau et al (1999), propuseram um método para projeto de coluna em estruturas de aço simples que leva em consideração a ação semi-rígida das ligações viga-coluna, quando estimado o comprimento efetivo. O método simplificado para projeto ignora o aumento no topo da coluna a partir da excentricidade da ligação para o projeto de colunas em pórticos de aço indeslocáveis. Este novo método prevê colunas com capacidades seguras comparadas com os resultados experimentais, análises e valores determinados pelo código BS 5950 da UK.



Li & Mativo (2000), apresentaram um método simplificado para uma estimativa da máxima carga para pórtico de aço semi-rígido. O método simplificado proposto, está na forma de uma relação de regressão linear múltipla entre a carga máxima e variados parâmetros (propriedades dos pórticos e das seções), obtidos através de análises numéricas de varias estruturas usando um programa de computador modificado. Exemplos ilustraram tanto a precisão do programa de computador modificado quanto o uso do método simplificado.

Zhao et al. (2000), introduzirão o conceito e aplicação do sistema nodal Oktalok. O método de projeto proposto foi baseado na suposição que os nós são presos na extremidade e a rigidez rotacional é zero. Contudo, a capacidade estimada do pórtico pode aumentar significativamente, dependendo da rigidez rotacional dos nós. Os testes de rigidez e as simulações do elemento finito foram usados para determinar a rigidez rotacional dos nós Oktalok. Os testes de flambagem de coluna e análises de elemento finito não linear foram realizados para determinar a capacidade das colunas em condições últimas, utilizando ligações semi-rígidas. Uma simples fórmula para o fator efetivo de comprimento de flambagem da coluna foi baseada nas investigações teóricas e experimentais descritas acima.

Ivanyi (2000), fez uma investigação experimental em pórticos em escala real com o propósito de determinar o efeito da flexibilidade em ligações de viga-coluna e na base da coluna. Explica como as complexidades surgem, de natureza tridimensional, nos testes que foram tratados. Foram fornecidos e discutidos os resultados e os métodos de um estudo comparativo baseado na análise plástica de segunda ordem e análises de teste não linear.

Nós semi-rígidos em aço e a construção compostas, são até o presente, um tópico freqüentemente discutido. Em estruturas de pórticos, os nós são localizados em pontos de intersecção entre vigas e colunas. No conceito de nó semi-rígido, a rigidez atual e a resistência dos nós, são consideradas de tal modo que influenciam o comportamento global de estrutura de pórtico. As vantagens do conceito de nó semi-rígido são bem conhecidas. Muitos estudos experimentais foram conduzidos ao comportamento de nós semi-rígidos. A contribuição descrita por Kattner & Crisinel (2000), esboça uma possibilidade para simular o comportamento de nós semi-rígidos, usando o método dos elementos finitos. Foi introduzido um modelo de nó bi-dimensional baseado no atual conhecimento do estado da arte para que possa ser



analisado, utilizando os programas de elementos finitos existentes. Comparações entre simulação e resultados de testes, mostraram uma boa concordância.

Algumas razões contribuem para o uso contínuo das ligações rotuladas e engastadas, como por exemplo, a resistência natural dos profissionais de engenharia em alterar seus critérios de projeto, Carvalho et al (1998). A introdução recente de métodos avançados na análise de estruturas Chen et al. (1996); Deierlein (1992) representaram significantes progressos em superar estas dificuldades. Sales (1995), foi um dos que superaram esta resistência e apresentou um modelo simplificado para o estudo de ligações com dupla cantoneira de alma.

Em função da revisão bibliográfica, foi observado que todos os autores tratam de ligações semi-rígida entre vigas-colunas. Apenas Gupta et al (1992), apresentam a análise de ligações semi-rígidas em estruturas planas de madeira. Este fato motivou o desenvolvimento desse trabalho em analisar e verificar o comportamento de estruturas de aço com ligações semi-rígidas. O trabalho aborda somente as ligações efetuadas por parafusos conforme recomendações da NBR 8800 (1996). A adoção de ligações semi-rígidas, também pode permitir uma economia significativa no desenvolvimento de projetos, tendo em vista a restrição parcial da rotação entre os elementos e um aumento na sua resistência.

Figura 1.1: Diagrama com Três Graus de Liberdade.

A modelagem de estruturas com elementos de dois graus de liberdade em relação ao deslocamento lateral e rotação em torno do eixo perpendicular ao plano da estrutura, é realizada através da introdução de coeficientes de rigidez, obtidos a partir da análise de estruturas com elementos de dois graus de liberdade, conforme a Figura 1.1.

Quando se trata de estruturas com elementos de dois graus de liberdade, isto é, próximos de 10^3 , o valor da rigidez lateral será aquele tradicionalmente utilizado para estruturas planas com dois graus de liberdade. Já para os valores próximos de 10^4 , a rigidez lateral será aquela utilizada para estruturas planas com dois graus de liberdade. Desta maneira, os valores intermediários irão o comportamento das estruturas planas com ligações semi-rígidas.

Essa matriz de rigidez será implementada em um programa computacional, possibilitando a entrada desses coeficientes para análise de estruturas. Sendo a seguinte forma, alguns exemplos de estruturas planas, considerando as características dos

3. DESENVOLVIMENTO DA MATRIZ DE RIGIDEZ MODIFICADA

3.1. Comentários Gerais

A análise numérica do modelo será desenvolvida a partir da modificação da matriz de rigidez de uma estrutura plana, com três graus de liberdade, sendo dois graus quanto aos deslocamentos, e um grau quanto à rotação, figura 3.1.a.

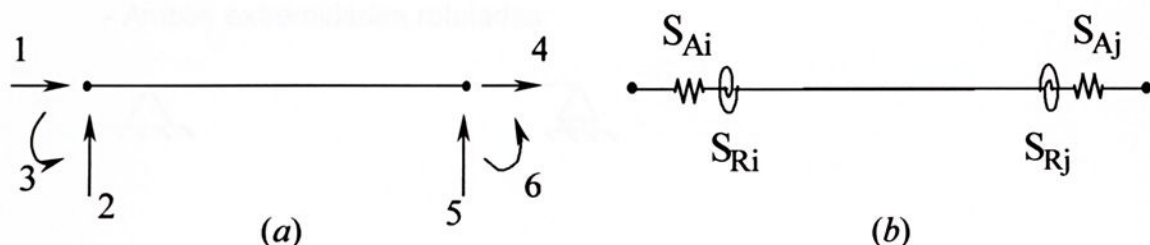


Figura 3.1: Elemento com Três Graus de Liberdade.

A modificação da rigidez axial e rotacional nas extremidades do elemento estrutural será efetuada através da introdução de coeficientes, obtidos a partir da modificação matemática da rigidez das molas (S_R) e (S_A), figura 3.1.b.

Considerando-se para os valores desses coeficientes números grandes, isto é, próximo de 10^9 , a matriz de rigidez modificada será aquela tradicionalmente utilizada para estruturas planas com três graus de liberdade. No caso dos valores dos coeficientes serem considerados números pequenos, isto é, próximo de 10^{-9} , a matriz de rigidez será aquela obtida para estruturas planas com dois graus de liberdade. Desta maneira, os valores intermediários têm o comportamento das estruturas planas com ligações semi-rígidas

Essa matriz de rigidez será implantada em um programa computacional, possibilitando a entrada desses coeficientes para análise estática. Serão elaborados vários exemplos de estruturas planas, considerando as extremidades dos nós dos

elementos engastados, rotulados ou semi-rígidos, efetuando-se uma avaliação quantitativa e qualitativa dos resultados encontrados, através da comparação de resultados apresentados por outros pesquisadores.

3.2. Modificação das Forças de Engastamento

Um elemento estrutural plano com três graus de liberdade, sendo dois graus de deslocamentos e um grau de rotação, poderá ter as seguintes condições de vinculação de extremidade:

- Ambas extremidades rotuladas;



- Ambas extremidades engastadas;



- Uma extremidade engastada e outra semi-rígida.



O desenvolvimento da matriz de flexibilidade do elemento, considerando os dois primeiros casos, são apresentados em Weaver e Gere (1986). Para o último caso, onde se tem a extremidade com engastamento elástico ou ligações semi-rígidas, o desenvolvimento da matriz de flexibilidade será apresentada a seguir:

A figura 3.2.a mostra um elemento prismático unidimensional com três graus de liberdade por nó (dois de deslocamentos e um de rotação), com uma ligação semi-rígida na extremidade "i" e uma ligação rígida na extremidade "j". Sendo (S_R) a rigidez rotacional da extremidade "i".

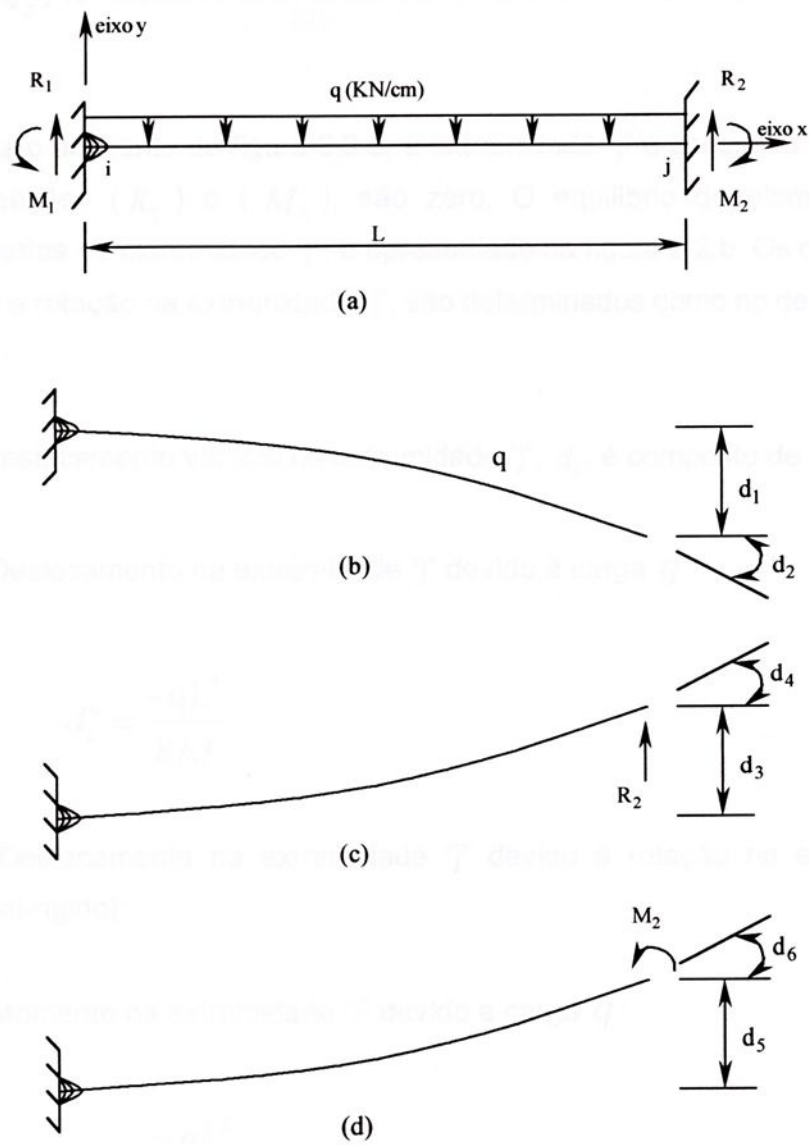


Figura 3.2: Elemento com uma Extremidade Semi-Rígida e a Outra Extremidade Rígida: Determinação das Forças de Engastamento Perfeito.

A rigidez rotacional é definida como o momento por unidade de rotação relativa na ligação. O comprimento do elemento é (L), o momento de inércia é (I) e o modulo de elasticidade é (E). A obtenção da matriz de flexibilidade: (R_1), (R_2) (M_1), (M_2) foi efetuada através da compatibilidade utilizada por Weaver e Gere (1986).

Para o elemento da figura 3.2.a, a extremidade "j" é assumida livre, de forma que as reações (R_2) e (M_2), são zero. O equilíbrio do elemento, com os deslocamentos na extremidade "j", é apresentado na figura 3.2.b. Os deslocamentos verticais e a rotação na extremidade "j", são determinados como no desenvolvimento abaixo:

O deslocamento vertical na extremidade "j", d_1 , é composto de duas partes:

1) Deslocamento na extremidade "j" devido à carga q :

$$d_1^q = \frac{-qL^4}{8EI} \quad (1)$$

2) Deslocamento na extremidade "j" devido à rotação na extremidade "i" (efeito semi-rígido):

a) Momento na extremidade "i" devido a carga q :

$$M_i^q = \frac{-qL^2}{2} \quad (2)$$

b) Rotação na extremidade "i" devido a carga q :

$$M_i^q = S_R \theta_i^q \Rightarrow \frac{-qL^2}{2} = S_R \theta_i^q \quad (3.a)$$

$$\theta_i^q = \frac{-qL^2}{2S_R} \quad (3.b)$$

c) Deslocamento da extremidade “j” devido à rotação na extremidade “i” causada por q :

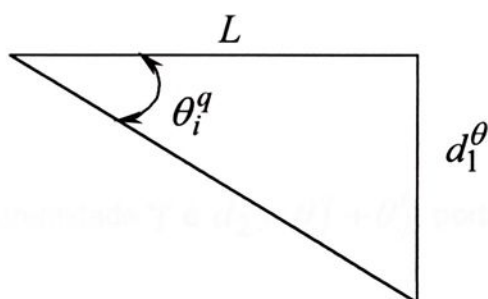


Figura 3.3: Relação Deslocamento – Rotação.

Como o ângulo é muito pequeno (máximo 3°) então, $\text{tg}\theta_i^q \cong \theta_i^q$, portanto tem-se:

$$d_1^\theta = \theta_i^q L \Rightarrow d_1^\theta = \left(\frac{-qL^2}{2S_R} \right) L \quad (4)$$

Deslocamento vertical total na extremidade “j” é $d_1 = d_1^q + d_1^\theta$, portanto:

$$d_1 = \left(\frac{-qL^4}{8EI} \right) - \left(\frac{qL^3}{2S_R} \right) \quad (5)$$

A rotação na extremidade “j”, d_2 , também será composta de duas partes:

1) Rotação da extremidade “j” devido à carga q (sem efeito semi-rígido):

$$\theta_j^q = \frac{-qL^3}{6EI} \quad (6)$$

2) Rotação na extremidade “j” devido à rotação na extremidade “i” causada pela carga q :

$$\theta_j^i = \frac{-qL^2}{2S_R} \quad (7)$$

Rotação total na extremidade “j” é $d_2 = \theta_j^q + \theta_j^i$, portanto:

$$d_2 = -\left(\frac{qL^3}{6EI}\right) - \left(\frac{qL^2}{2S_R}\right) \quad (8)$$

Devido a condição inicial de engastamento na extremidade “j” e para manter a compatibilidade dos deslocamentos, aplica-se uma força R_2 na extremidade “j” como mostrado na figura 3.2.c.

O deslocamento vertical e a rotação na extremidade “j” devido à força R_2 são determinados como segue.

O deslocamento vertical na extremidade “j”, d_3 , consiste em duas partes:

1) Deslocamento da extremidade “j” devido a R_2 :

$$d_3^{R_2} = \frac{R_2 L^3}{3EI} \quad (9)$$

2) Deslocamento da extremidade “j” devido à rotação na extremidade “i” causado por R_2 :

a) Momento na extremidade "i" causado por R_2 :

$$M_i^{R_2} = R_2 L \quad (10)$$

b) Rotação na extremidade "i" causada por R_2 :

$$M_i^{R_2} = S_R \theta_i^{R_2} \Rightarrow R_2 L = S_R \theta_i^{R_2} \quad (11.a)$$

$$\theta_i^{R_2} = \frac{R_2 L}{S_R} \quad (11.b)$$

c) Deslocamento na extremidade "j" devido à rotação na extremidade "i":

$$d_3^\theta = \theta_i^{R_2} L \Rightarrow d_3^\theta = R_2 \left(\frac{L}{S_R} \right) L \quad (12)$$

Deslocamento vertical total na extremidade "j" é $d_3 = d_3^{R_2} + d_3^\theta$, portanto:

$$d_3 = \left(\frac{R_2 L^3}{3EI} \right) + \left(\frac{R_2 L^2}{S_R} \right) \quad (13)$$

A rotação na extremidade "j", d_4 , também será composta de duas partes:

1) Rotação da extremidade "j" devido a R_2 :

$$\theta_4^{R_2} = \frac{R_2 L^2}{2EI} \quad (14)$$

2) Rotação na extremidade "j" devido à rotação na extremidade "i" causada por R_2 :

$$\theta_4^i = \frac{R_2 L}{S_R} \quad (15)$$

Rotação total na extremidade "j" é $d_4 = \theta_4^{R_2} + \theta_4^i$, portanto:

$$d_4 = \left(\frac{R_2 L^2}{2EI} \right) + \left(\frac{R_2 L}{S_R} \right) \quad (16)$$

Da mesma maneira que anteriormente, para manter a compatibilidade dos deslocamentos, aplica-se um momento M_2 na extremidade "j" como mostrado na figura 3.2.d.

O deslocamento vertical e a rotação na extremidade "j" devido à M_2 , são determinados como segue.

O deslocamento vertical na extremidade "j", d_5 , consiste em duas partes:

1) Deslocamento da extremidade "j" devido a M_2 :

$$d_5^{M_2} = \frac{M_2 L^2}{2EI} \quad (17)$$

2) Deslocamento da extremidade "j" devido à rotação na extremidade "i" causado por M_2 :

a) Momento na extremidade "i" devido à M_2 :

$$M_i^{M_2} = M_2 \quad (18)$$

b) Rotação na extremidade "i" devido à M_2 :

$$M_i^{M_2} = S_R \theta_i^{M_2} \Rightarrow \theta_i^{M_2} = \frac{M_2}{S_R} \quad (19)$$

c) Deslocamento na extremidade "j" devido à rotação na extremidade "i" causado por M_2 :

$$d_5^\theta = \frac{M_2 L}{S_R} \quad (20)$$

Deslocamento vertical total na extremidade "j" é $d_5 = d_5^{M_2} + d_5^\theta$, portanto:

$$d_5 = \left(\frac{M_2 L^2}{2EI} \right) + \left(\frac{M_2 L}{S_R} \right) \quad (21)$$

A rotação na extremidade "j", d_6 , também será composta de duas partes:

1) Rotação na extremidade "j" devido a M_2 :

$$\theta_6^{M_2} = \frac{M_2 L}{EI} \quad (22)$$

2) Rotação na extremidade "j" devido à rotação na extremidade "i" causada por M_2 :



$$\theta_6^\theta = \frac{M_2}{S_R} \quad (23)$$

Rotação total na extremidade "j" é $d_6 = \theta_6^{M_2} + \theta_6^\theta$, portanto:

$$d_6 = \left(\frac{M_2 L}{EI} \right) + \left(\frac{M_2}{S_R} \right) \quad (24)$$

Usando a relação de compatibilidade:

$$\text{Eq. (5)} = \text{Eq. (13)} + \text{Eq. (21)} \quad (25)$$

e

$$\text{Eq. (8)} = \text{Eq. (16)} + \text{Eq. (24)} \quad (26)$$

Para facilitar as expressões, pode-se escrever que, $e_R = EI / LS_R$ e $e_i = 1 + ie_R$; $i = 1, 2, 3, \dots$

Resolvendo a equação (25) e a equação (26) para R_2 e M_2 tem-se:

$$R_2 = \frac{qLe_5}{2e_4} \quad M_2 = \frac{-qL^2e_6}{12e_4} \quad (27)$$

As equações do equilíbrio estático podem ser usadas para determinar R_1 e M_1 :

$$R_1 + R_2 = qL \quad (28)$$

Substituindo R_2 da equação (27) na equação (28) e resolvendo para R_1 tem-se:

$$R_1 = \frac{qLe_3}{2e_4} \quad (29)$$

Efetuada-se um somatório dos momentos na extremidade "j" da figura 3.2.a tem-se:

$$R_1L - M_1 + M_2 - \left(\frac{qL^2}{2}\right) = 0 \quad (30)$$

Resolvendo a equação (30) e evidenciando M_1 , temos:

$$M_1 = \frac{qL^2}{12e_4} \quad (31)$$

Então,

$$R_1 = \frac{qLe_3}{2e_4} \quad R_2 = \frac{qLe_5}{2e_4} \quad (32)$$

$$M_1 = \frac{qL^2}{12e_4} \quad M_2 = \frac{-qL^2e_6}{12e_4} \quad (33)$$

Desta maneira, pode-se verificar as relações previamente obtidas, considerando os seguintes limites.

Se a extremidade "i" é rígida, então $S_R \rightarrow \infty$, logo $e_R \rightarrow 0$, assim ambas as extremidades são engastadas.

Calculando-se os valores de R_1 , R_2 , M_1 e M_2 com a consideração de $e_R \rightarrow 0$, tem-se:

$$R_1 = R_2 = \frac{qL}{2} \text{ e } M_1 = -M_2 = \frac{qL^2}{12} \quad (34)$$

Se a extremidade "i" é rotulada, então $S_R \rightarrow 0$, logo $e_R \rightarrow \infty$, assim a extremidade "i" é rotulada e a extremidade "j" é engastada.

Calculando-se os valores de R_1 , R_2 , M_1 e M_2 com a consideração de $e_R \rightarrow \infty$, tem-se:

$$R_1 = \frac{3qL}{8} \quad M_1 = 0 \quad (35)$$

$$R_2 = \frac{5qL}{8} \quad M_2 = \frac{-qL^2}{8} \quad (36)$$

3.3. Modificação da Matriz de Rigidez do Elemento

A obtenção da matriz de rigidez do elemento para um elemento com ambas as extremidades semi-rígidas, será apresentada a seguir. A figura 3.4.a mostra um elemento com ligação semi-rígida, em ambas as extremidades.

Será considerado (S_{Ri}) e (S_{Ai}) , como a rigidez rotacional e axial da extremidade "i" da ligação, respectivamente. Da mesma maneira, considerando (S_{Rj}) e (S_{Aj}) , a rigidez rotacional e axial da extremidade "j" da ligação, respectivamente.

O comprimento do elemento é (L) , a área da seção transversal é (A) , o momento de inércia em relação ao eixo 3 é (I) e o módulo de elasticidade é (E) . A matriz de rigidez do elemento é determinada no sistema de coordenada local do elemento (1-2-3). Os coeficientes da matriz de rigidez do elemento são obtidos a partir da matriz de flexibilidade, utilizando-se a compatibilidade de Weaver e Gere (1986).

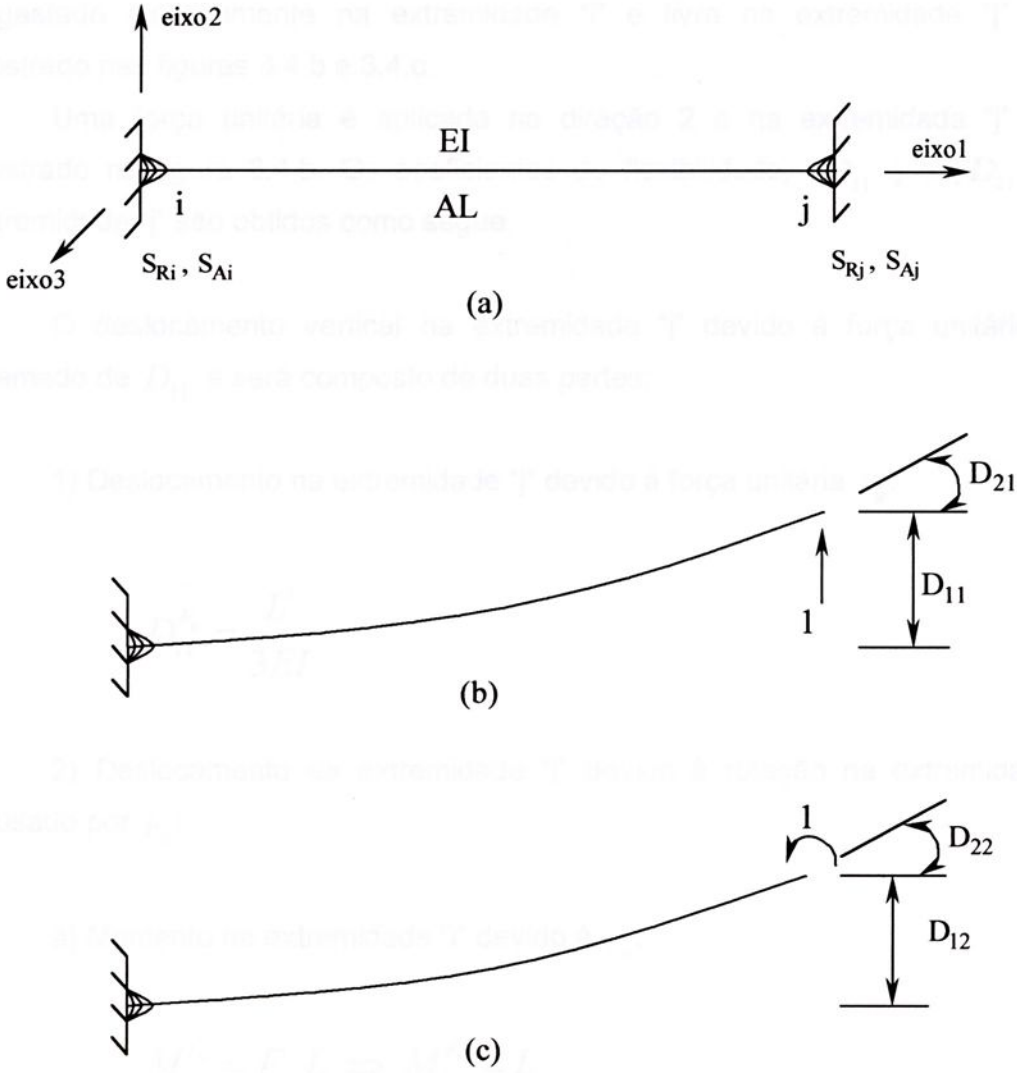


Figura 3.4: Elemento Com Ambas as Extremidades Semi-Rígidas: Determinação da Matriz de Rigidez.

3.3.1. Matriz de Rigidez Considerando Apenas o Efeito Rotacional

Para obter os coeficientes de flexibilidade da extremidade "j", o elemento é engastado elasticamente na extremidade "i" e livre na extremidade "j" como mostrado nas figuras 3.4.b e 3.4.c.

Uma força unitária é aplicada na direção 2 e na extremidade "j" como mostrado na figura 3.4.b. Os coeficientes de flexibilidade, (D_{11}) e (D_{21}) , na extremidade "j" são obtidos como segue.

O deslocamento vertical na extremidade "j" devido à força unitária F_u é chamado de D_{11} e será composto de duas partes:

- 1) Deslocamento na extremidade "j" devido à força unitária F_u :

$$D_{11}^{F_u} = \frac{L^3}{3EI} \quad (37)$$

- 2) Deslocamento da extremidade "j" devido à rotação na extremidade "i" causado por F_u :

- a) Momento na extremidade "i" devido à F_u :

$$M_i^{F_u} = F_u L \Rightarrow M_i^{F_u} = L \quad (38)$$

- b) Rotação na extremidade "i" devido à F_u :

$$M_i^{F_u} = S_{Ri} \theta_i^{F_u} \Rightarrow \theta_i^{F_u} = \frac{M_i^{F_u}}{S_{Ri}} \quad (39.a)$$

$$\theta_i^{F_u} = \frac{L}{S_{Ri}} \quad (39.b)$$

c) Deslocamento da extremidade "j" devido à rotação na extremidade "i" causada por F_u :

$$D_{11}^{\theta} = \theta_i^{F_u} L \Rightarrow D_{11}^{\theta} = \left(\frac{L}{S_{Ri}} \right) L \quad (40)$$

Deslocamento vertical total na extremidade "j" é $D_{11} = D_{11}^{F_u} + D_{11}^{\theta}$, portanto:

$$D_{11} = \frac{L^3}{3EI} + \frac{L^2}{S_{Ri}} \quad (41)$$

A rotação na extremidade "j" devido à força unitária F_u é chamado de D_{21} e será composta de duas partes:

1) Rotação na extremidade "j" devido à F_u :

$$\theta_{21}^{F_u} = \frac{L^2}{2EI} \quad (42)$$

2) Rotação na extremidade "j" devido à rotação na extremidade "i" causada por F_u :

$$\theta_{21}^{\theta} = \frac{L}{S_{Ri}} \quad (43)$$



Rotação total na extremidade "j" é $D_{21} = \theta_{21}^{F_u} + \theta_{21}^{\theta}$, portanto:

$$D_{21} = \frac{L^2}{2EI} + \frac{L}{S_{Ri}} \quad (44)$$

Aplicando-se, agora, um momento unitário na direção do eixo 3 na extremidade "j" como mostrado em figura 3.4.c, os coeficientes de flexibilidade, D_{12} e D_{22} , na extremidade "j" são obtidos como segue.

O deslocamento vertical na extremidade "j" devido ao momento unitário M_u é chamado de D_{12} e será composto de duas partes:

1) Deslocamento na extremidade "j" devido à M_u :

$$D_{12}^{M_u} = \frac{L^2}{2EI} \quad (45)$$

2) Deslocamento da extremidade "j" devido à rotação na extremidade "i" causado por M_u :

a) Momento na extremidade "i" devido à M_u :

$$M_i^{M_u} = 1 \quad (46)$$

b) Rotação na extremidade "i" devido à M_u :

$$M_i^{M_u} = S_R \theta_i^{M_u} \Rightarrow \theta_i^{M_u} = \frac{M_u}{S_R} \quad (47.a)$$



$$\theta_i^{M_u} = \frac{1}{S_{Ri}} \quad (47.b)$$

c) Deslocamento na extremidade "j" devido à rotação na extremidade "i" causado por M_u :

$$D_{12}^{\theta} = \left(\frac{1}{S_{Ri}} \right) L \quad (48)$$

Deslocamento vertical total na extremidade "j" é $D_{12} = D_{12}^{M_u} + D_{12}^{\theta}$, portanto:

$$D_{12} = \left(\frac{L^2}{2EI} \right) + \left(\frac{L}{S_{Ri}} \right) \quad (49)$$

A rotação na extremidade "j" devido ao momento unitário M_u é chamado de D_{22} e será composta de duas partes:

1) Rotação na extremidade "j" devido à M_u :

$$\theta_{22}^{M_u} = \frac{L}{EI} \quad (50)$$

2) Rotação na extremidade "j" devido à rotação na extremidade "i" causada por M_u :

$$\theta_{22}^{\theta_i} = \frac{1}{S_{Ri}} \quad (51)$$

3) Rotação na extremidade "j" devido à própria rotação da mesma extremidade causada por M_u :

$$\theta_{22}^{\theta_j} = \frac{1}{S_{Rj}} \quad (52)$$

Rotação total na extremidade "j" é $D_{22} = \theta_{22}^{M_u} + \theta_{22}^{\theta_i} + \theta_{22}^{\theta_j}$, portanto:

$$D_{22} = \left(\frac{L}{EI} \right) + \left(\frac{1}{S_{Ri}} \right) + \left(\frac{1}{S_{Rj}} \right) \quad (53)$$

Para facilitar as expressões das equações e, posteriormente, as matrizes, foram introduzidos os parâmetros adimensionais conforme a seguir:

$$e_{Ri} = \frac{EI}{LS_{Ri}}; \quad (54.a)$$

$$e_{Rj} = \frac{EI}{LS_{Rj}}; \quad (54.b)$$

$$e_{Rij} = 1 + e_{Ri} + e_{Rj}; \quad (54.c)$$

$$e_{Ri1} = 1 + e_{Ri}; \quad (55.a)$$

$$e_{Rj1} = 1 + e_{Rj}; \quad (55.b)$$

$$e_{Ri2} = 1 + 2e_{Ri}; \quad (55.c)$$

$$e_{Rj2} = 1 + 2e_{Rj}; \quad (55.d)$$

$$e_{Ri3} = 1 + 3e_{Ri}; \quad (55.e)$$

$$e_{Rj3} = 1 + 3e_{Rj}. \quad (55.f)$$

Substituindo-se as equações (54) e (55) nas equações (41), (44), (49) e (53) e após algumas simplificações, os coeficientes de flexibilidade ficam da seguinte forma:

$$D_{11} = \frac{L^3 e_{Ri3}}{3EI}; \quad (56.a)$$

$$D_{12} = \frac{L^2 e_{Ri2}}{2EI}; \quad (56.b)$$

$$D_{21} = \frac{L^2 e_{Ri2}}{2EI}; \quad (56.c)$$

$$D_{22} = \frac{Le_{Rij}}{EI}. \quad (56.d)$$

A matriz de flexibilidade, $[F_{jj}]$, para a extremidade "j" será da seguinte forma:

$$[F_{jj}] = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} \\ D_{21} & D_{22} \end{bmatrix} \quad (57)$$

$$[F_{jj}] = \frac{L}{6EI} \begin{bmatrix} 2L^2 e_{Ri3} & 3Le_{Ri2} \\ 3Le_{Ri2} & 6e_{Rij} \end{bmatrix} \quad (58)$$

Invertendo a matriz $[F_{jj}]$ da equação (58), obtém-se a matriz de rigidez modificada $[S_{jj}]$, para a extremidade "j":

$$[S_{jj}] = C \begin{bmatrix} 6e_{Rij} & -3Le_{Ri2} \\ -3Le_{Ri2} & 2L^2 e_{Ri3} \end{bmatrix} \quad (59.a)$$

$$\text{Onde, } C = \frac{2EI}{L^3 [4e_{Rij} + 3(4e_{Ri}e_{Rj} - 1)]} \quad (59.b)$$

A matriz de rigidez completa $[S'_M]$, sem considerar a rigidez axial é obtida por Weaver e Gere (1986):

$$[S'_M] = \begin{bmatrix} S_{ii} & S_{ij} \\ S_{ji} & S_{jj} \end{bmatrix} \quad (60)$$

Onde: $[S_{ii}]$, $[S_{ij}]$, $[S_{ji}]$ e $[S_{jj}]$, são todas submatrizes de $[S'_M]$. Os coeficientes em $[S_{jj}]$ são definidos como as ações de restrição na extremidade "j" do elemento devido aos deslocamentos unitários na mesma extremidade. Os coeficientes em $[S_{ij}]$, são ações de restrição na extremidade "i" devido ao deslocamentos unitário na extremidade "j" e eles estão em equilíbrio com os termos em $[S_{jj}]$. Os coeficientes em $[S_{ji}]$ consistem em ações de restrição na extremidade "j" devido aos deslocamentos unitários na extremidade "i". Os coeficientes em $[S_{ii}]$, são ações de restrição na extremidade "i" devido ao deslocamento unitário na extremidade "i" e eles estão em equilíbrio com os termos em $[S_{ji}]$.

A matriz de rigidez modificada $[S_{jj}]$ foi determinada e é apresentada pela equação (59.a). As outras três submatrizes de $[S'_M]$ podem ser determinadas pela transformação de eixos. Estaticamente equivalente, as forças na extremidade "i", podem ser obtidas através da matriz de transformação $[T]$, onde:

$$[T] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ L & 1 \end{bmatrix} \quad (61)$$

Nessas condições a submatriz $[S_{ij}]$ pode ser determinada a partir da relação

$[S_{ij}] = -[T][S_{jj}]$, assim tem-se:

$$[S_{ij}] = C \begin{bmatrix} -6e_{Rij} & 3Le_{Ri2} \\ -3Le_{Ri2} & L^2 \end{bmatrix} \quad (62)$$

Como a matriz de rigidez $[S'_M]$ é simétrica à submatriz $[S_{ji}]$, a mesma deve ser igual à transposta de $[S_{ij}]$. Assim, transpondo $[S_{ji}] = [S_{ij}]^T$ tem-se:

$$[S_{ji}] = C \begin{bmatrix} -6e_{Rij} & -3Le_{Ri2} \\ 3Le_{Ri2} & L^2 \end{bmatrix} \quad (63)$$

A submatriz restante $[S_{ii}]$ pode ser determinada a partir de $[S_{ji}]$ usando a relação $[S_{ii}] = -[T][S_{ji}]$, isto dá:

$$[S_{ii}] = C \begin{bmatrix} 6e_{Rij} & 3Le_{Ri2} \\ 3Le_{Ri2} & 2L^2e_{Rj3} \end{bmatrix} \quad (64)$$

Desta forma, todas as submatrizes de $[S'_M]$ da equação (60), foram determinadas. Assim, a matriz de rigidez modificada de um elemento, sem incluir a rigidez axial, é apresentada como:

$$[S'_M] = C \begin{bmatrix} 6e_{Rij} & 3Le_{Rij2} & -6e_{Rij} & 3Le_{Ri2} \\ 3Le_{Rj2} & 2L^2e_{Rj3} & -3Le_{Rj2} & L^2 \\ -6e_{Rij} & -3Le_{Rj2} & 6e_{Rij} & -3Le_{Ri2} \\ 3Le_{Ri2} & L^2 & -3Le_{Ri2} & 2L^2e_{Ri3} \end{bmatrix} \quad (65)$$

3.3.2. Matriz de Rigidez Incluindo o Efeito Axial

O efeito axial na matriz de rigidez será considerado através de um elemento sollicitado axialmente, tendo ligações semi-rígidas em ambas as extremidades, como mostrado na figura 3.5.a.

A rigidez axial na extremidade "i" e da extremidade "j" será $[S_{Ai}]$ e $[S_{Aj}]$, respectivamente. Novamente, o método da flexibilidade será usado para obter a matriz de rigidez do elemento. Aplica-se uma força unitária na direção 1 da extremidade "j", como mostrado na figura 3.5.b e escreve-se o deslocamento na mesma extremidade.

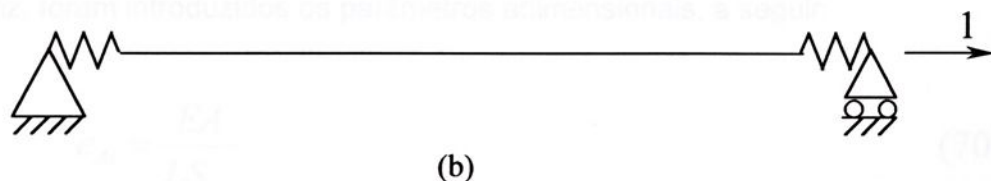
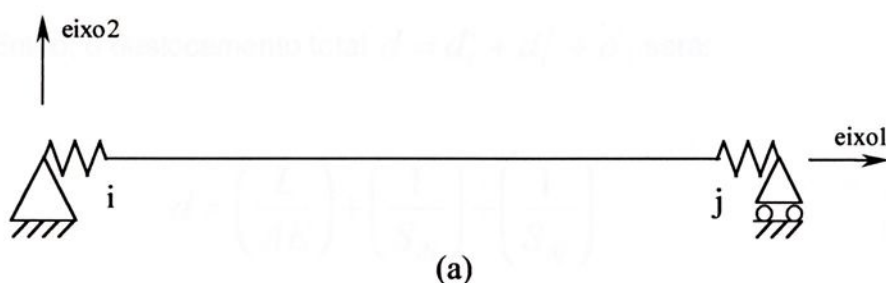


Figura 3.5: Elemento com Ligações Axiais Flexíveis: Determinação da Matriz de Rigidez do Elemento.

Este deslocamento é composto de três parcelas:

1) Deslocamento na extremidade "i" devido à ligação elástica axial na extremidade "i":

$$d_i^i = \frac{1}{S_{Ai}} \quad (66)$$

2) Deslocamento na extremidade "i" devido à ligação elástica axial na extremidade "j":

$$d_i^j = \frac{1}{S_{Aj}} \quad (67)$$

3) Alongamento do elemento:

$$\delta = \frac{L}{EA} \quad (68)$$

Então, o deslocamento total $d = d_i^i + d_i^j + \delta$, será:

$$d = \left(\frac{L}{AE} \right) + \left(\frac{1}{S_{Ai}} \right) + \left(\frac{1}{S_{Aj}} \right) \quad (69)$$

Para facilitar as expressões das equações e, posteriormente, os coeficientes da matriz, foram introduzidos os parâmetros adimensionais, a seguir:

$$e_{Ai} = \frac{EA}{LS_{Ai}} \quad (70.a)$$



$$e_{Aj} = \frac{EA}{LS_{Aj}} \quad (70.b)$$

$$e_{Aij} = 1 + e_{Ai} + e_{Aj} \quad (70.c)$$

Substituindo a equação (70.c) na equação (69) tem-se:

$$[d] = \frac{Le_{Aij}}{AE} \quad (71)$$

O deslocamento $[d]$ na equação (71) é a matriz de flexibilidade para a extremidade "j". Invertendo-se $[d]$, tem-se a matriz de rigidez do elemento $[k_j]$ para a extremidade "j", como mostrado a seguir:

$$[k_j] = [d]^{-1} = \frac{AE}{Le_{Aij}} \quad (72)$$

A matriz de transformação, $[T]$, é dada por:

$$[T] = [1] \quad (73)$$

Seguindo o mesmo procedimento como utilizado anteriormente na obtenção de $[S'_M]$, a matriz de rigidez do elemento solicitado axialmente tendo uma ligação elástica em ambas as extremidades, é dado por:

$$[K'_M] = \frac{EA}{Le_{Aij}} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (74)$$

Combinando $[S'_M]$ na equação (65) e $[K'_M]$ na equação (74), obtém-se a Matriz de rigidez do Elemento para uma estrutura plana com ambas as extremidades sendo como ligação elástica:

A matriz de rigidez do elemento para outras condições na sua extremidade é determinada a partir da equação (75). Por exemplo, para ambas as extremidades engastadas, $S_{Ri} = S_{Rj} = \infty$ e $S_{Ai} = S_{Aj} = \infty$.

Então $C = 2EI/L^3$, $e_{Ri} = e_{Rj} = 0$, $e_{Ai} = e_{Aj} = 0$, $e_{Rij} = e_{Ri1} = e_{Rj1} = 1$, e $e_{Aij} = 1$.

Substituindo essas condições anteriores na equação (75), obtém-se a matriz de rigidez do elemento, sendo ambas as extremidades engastadas.

$$[S_M^0] = \begin{bmatrix} \frac{AE}{Le_{Aij}} & 0 & 0 & -\frac{AE}{Le_{Aij}} & 0 & 0 \\ 0 & 6Ce_{Rij} & 3CLe_{Rj2} & 0 & -6Ce_{Rij} & 3CLe_{Rj2} \\ 0 & 3CLe_{Rj2} & 2CL^2e_{Rj3} & 0 & -3CLe_{Rj2} & CL^2 \\ -\frac{AE}{Le_{Aij}} & 0 & 0 & \frac{AE}{Le_{Aij}} & 0 & 0 \\ 0 & -6Ce_{Rij} & 3CLe_{Rj2} & 0 & 6Ce_{Rij} & -3CLe_{Rj2} \\ 0 & 3CLe_{Rj2} & CL^2 & 0 & -3CLe_{Rj2} & 2CL^2e_{Ri3} \end{bmatrix} \quad (75)$$

A equação (76), mostra a matriz de rigidez para um pórtico plano, que foi obtida através da substituição dos coeficientes de rigidez por números muito grandes, próximos de 10^9 , comprovando a veracidade da equação (75).

$$[S_M] = \begin{bmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & 0 & -\frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{AE}{L} & 0 & 0 & \frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \quad (76)$$



Figura 4.1: Viga Bi-Empalmada nas Extremidades

Verifica-se também a rigidez rotacional (S_2), mantendo-se o deslocamento (δ_1) igual a zero e obtendo-se a relação entre o momento e a rotação em cada extremidade.

Obteve-se assim, a relação Momento x Rigidez para as extremidades da viga apresentada no gráfico 4.1.

Aproveitando-se a variação da rigidez rotacional (S_2), obtém-se também os deslocamentos no ponto central da viga, onde a relação Deslocamento x Rigidez rotacional é dada no gráfico 4.2. Na ligação semi-rígida a viga tem rotações nos pontos θ_1 e θ_2 e um valor médio, em função da rigidez (S_2) obtido para as condições de ligação 4.3.

4. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO SEMI-RÍGIDO PARA UM MODELO SIMPLES

4.1. Comentários Gerais.

Para analisar o comportamento da ligação semi-rígida, foi considerado uma barra engastada nas duas extremidades e aplicada uma força concentrada (P) no seu centro, como mostrada na figura 4.1.

Os dados obtidos nessa análise, valem para o comportamento individual de cada barra, independente do tamanho da estrutura ou da sua configuração.

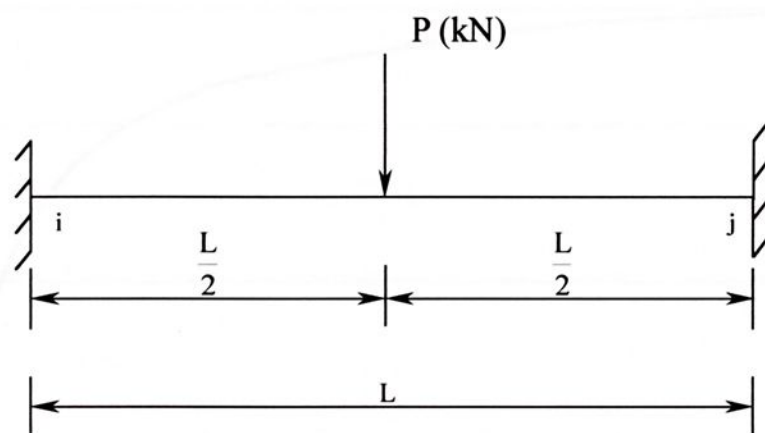


Figura 4.1: Barra Bi-Engastada nas Extremidades.

Variou-se somente a rigidez rotacional (S_R), mantendo a rigidez axial (S_A) constante e com um valor de 10^9 , em toda a simulação.

Obteve-se assim, a relação Momento x Rigidez para as extremidades da barra, apresentada no gráfico 4.1.

Aproveitando-se a variação da rigidez rotacional (S_R), obteve-se também os deslocamentos no ponto central da viga, onde a relação Deslocamento x Rigidez está apresentado no gráfico 4.2. Na ligação semi-rígida, a viga tem rotações nos nós "i" e "j" cujos valores variam em função da rigidez (S_R) adotadas para os mesmos, conforme o gráfico 4.3.

Pode-se verificar com os resultados das três relações, que a rigidez se comporta exponencialmente, sempre convergindo para as situações esperadas, que é a de engastamento perfeito ou de uma barra simplesmente apoiada.

4.2. Construção dos gráficos

4.2.1. Gráfico Momento x Rigidez.

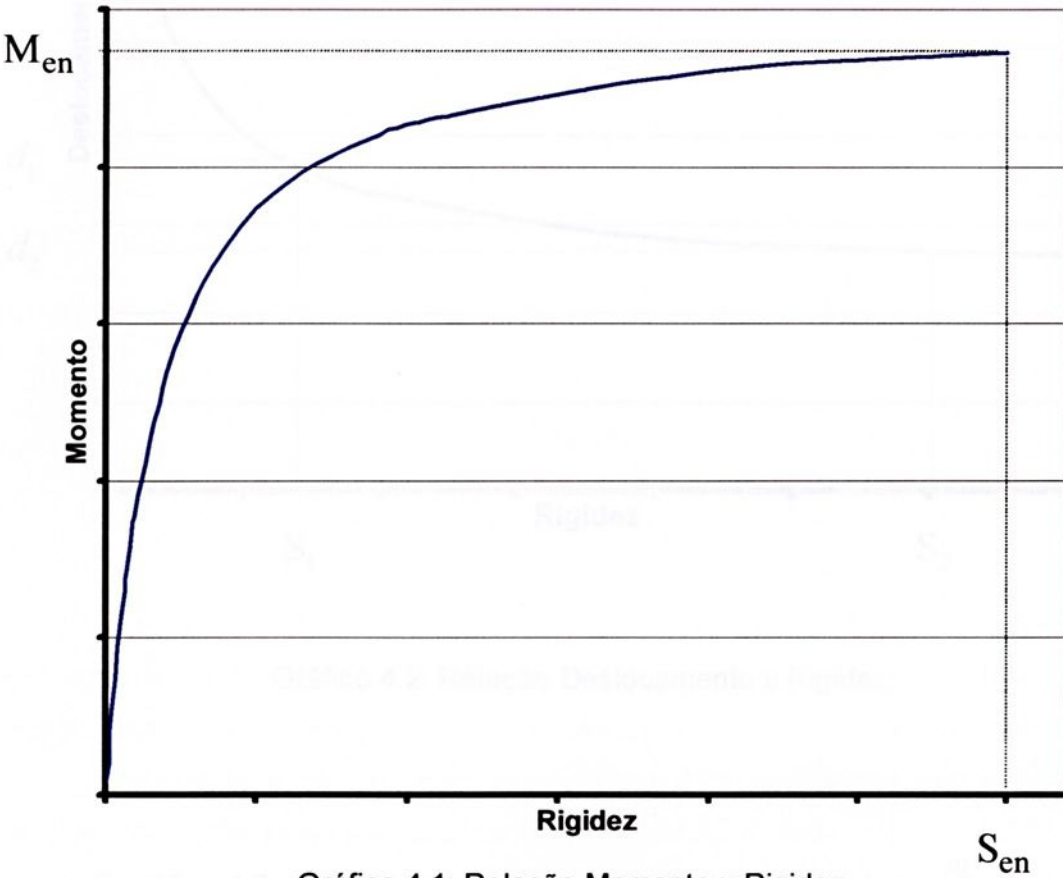


Gráfico 4.1: Relação Momento x Rigidez.

No gráfico 4.1, $M_{en} = \frac{PL}{8}$ é o momento de engastamento perfeito de uma viga bi-engastada com força aplicada no ponto central. Para valores de rigidez menores do que (S_{en}), o momento comporta-se conforme a curva do mesmo gráfico. Caso a rigidez se aproxime de zero, o momento também converge para o mesmo valor.

4.2.3. Gráfico Rotação x Rigidez

4.2.2. Gráfico Deslocamento x Rigidez.

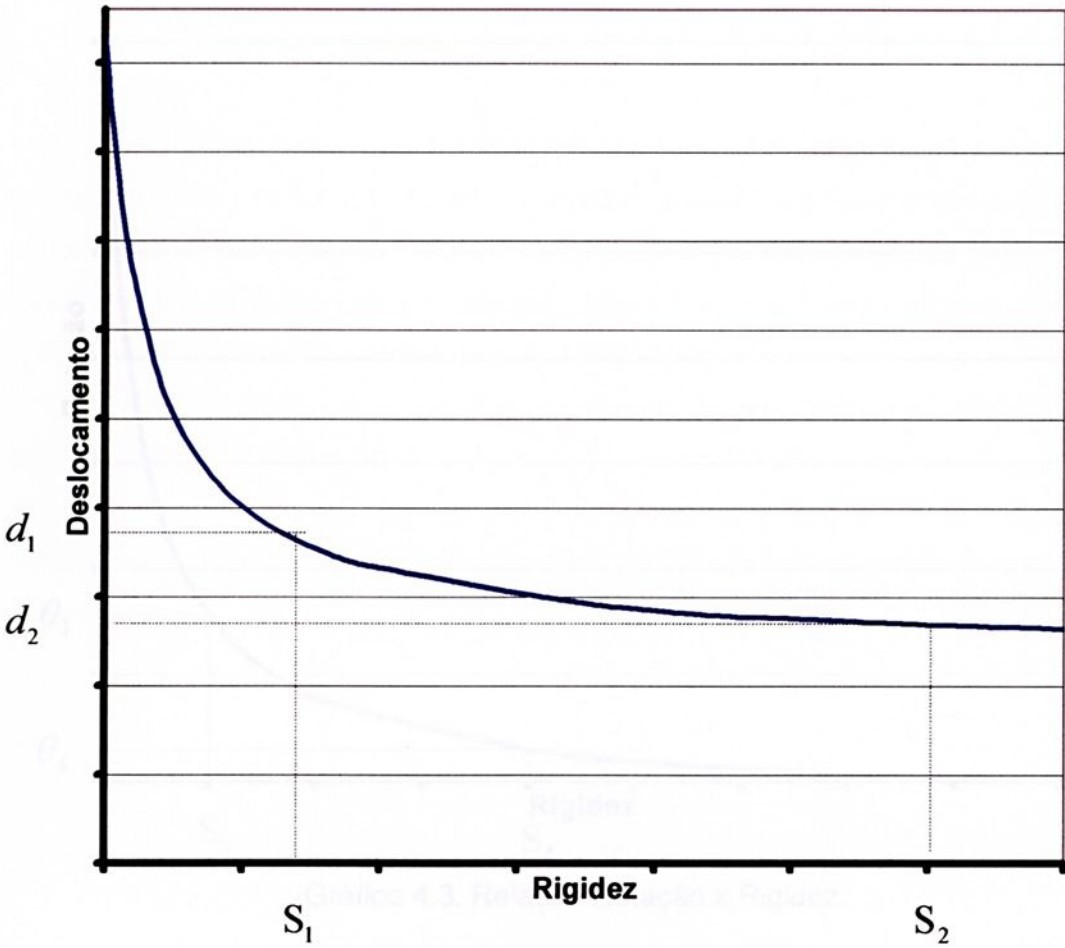


Gráfico 4.2: Relação Deslocamento x Rigidez.

O gráfico 4.2, mostra que para $S_2 \rightarrow \infty$, deslocamento é $d = \frac{PL^3}{192EI}$, ou seja, a viga é engastada. Para $S_1 \rightarrow 0$, o deslocamento é $d = \frac{PL^3}{42EI}$, ou seja, a viga é bi-apoiada, ficando assim, a curva exponencial para o comportamento semi-rígido.

I_y : Momento de inércia da base

L_y : Comprimento da barra

4.2.3. Gráfico Rotação x Rigidez

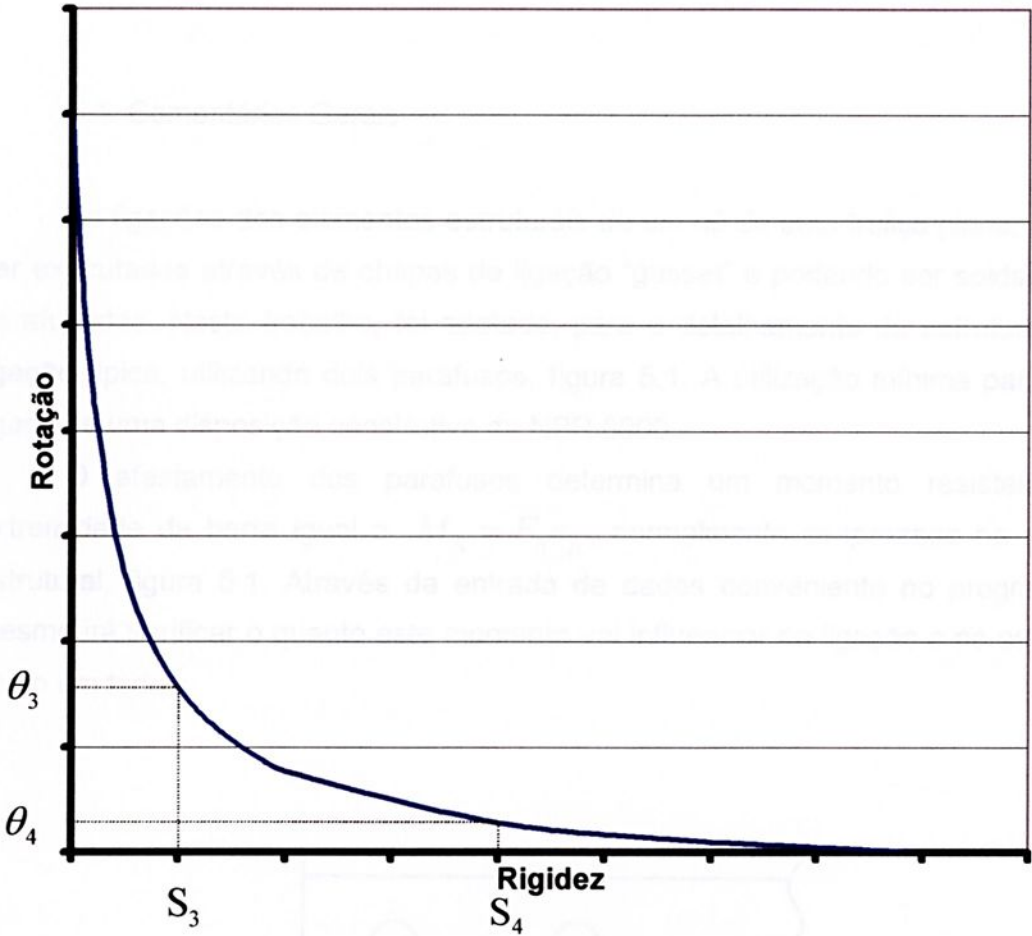


Gráfico 4.3: Relação Rotação x Rigidez.

O gráfico 4.3, mostra que para $S_4 \rightarrow \infty$, a rotação é $\theta = 0$, ou seja, a viga engastadas. Para $S_3 \rightarrow 0$, a rotação é $\theta = \frac{PL^2}{16EI}$, ou seja, a viga é bi-apoiada. Neste caso, para valores da rigidez entre zero e S_4 o comportamento é semi-rígido.

Ressalta-se ainda, que para qualquer estrutura, a rigidez da ligação é adotada inicialmente, 1000 vezes a rigidez da barra, isto é: $S_R = 1000 \frac{4E_b I_b}{L_b}$.

Onde:

- S_R : Rigidez da ligação.
- E_b : Módulo de elasticidade da barra.
- I_b : Momento de inércia da barra.
- L_b : Comprimento da barra.

5. CONSIDERAÇÃO DA RIGIDEZ ATRAVÉS DA LIGAÇÃO PARAFUSADA

5.1. Comentários Gerais

As ligações dos elementos estruturais de um nó de uma treliça plana, podem ser executadas através de chapas de ligação “gusset” e podendo ser soldadas ou parafusadas. Neste trabalho, foi adotada, para o detalhamento da estrutura, uma ligação típica, utilizando dois parafusos, figura 5.1. A utilização mínima para essa ligação é uma disposição construtiva da NBR 8800.

O afastamento dos parafusos determina um momento resistente na extremidade da barra igual a $M_R = F_R e_p$, normalmente desprezado na análise estrutural, figura 5.1. Através da entrada de dados conveniente no programa, o mesmo irá verificar o quanto este momento vai influenciar na ligação e na estrutura como um todo.

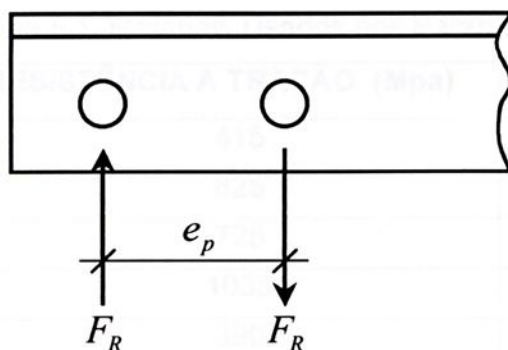


Figura 5.1: Detalhe da Ligação Parafusada.

Onde: e_p é o espaçamento entre parafusos;

F_R é a força resistente dos parafusos;

5.2. Determinação do Momento Resistente

A força resistente ao corte do parafuso é igual a: $F_R = \Phi_V R_{NV}$

Onde: $\Phi = 0,65$ para parafusos ASTM A325 e ASTM A490

$\Phi = 0,60$ para parafusos ASTM A307 e ISO 898

e,

$$R_{NV} = 0,42 A_p f_u$$

Onde: A_p é a área bruta, baseada no diâmetro nominal “dp” do parafuso.
 f_u é a resistência à tração do material do parafuso.

A resistência à tração do material do parafuso depende da especificação do próprio parafuso. A tabela 5.1 apresenta os valores de f_u aplicáveis.

Tabela 5.1: Materiais Usados nos Parafusos.

ESPECIFICAÇÃO	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (Mpa)	DIÂMETRO (mm)
ASTM A307	415	100
ASTM A325	825	12,7 < dp < 25,4 *
	725	25,4 [dp < 38,1 *
ASTM A490	1035	12,7 [dp < 38,1 *
ISO 898 (classe 4.6)	390	36

* dp é o diâmetro do parafuso.

O valor do momento resistente é dado por:

$$M_R = F_R e_p$$



5.3. Disposição Construtiva

A distância mínima entre os centros dos furos, não podem ser inferior a $2,7d_p$, sendo utilizado preferencialmente $3d_p$.

Além desse requisito, a distância entre as bordas de dois furos consecutivos não pode ser inferior a d_p , conforme mostra a figura 5.2.

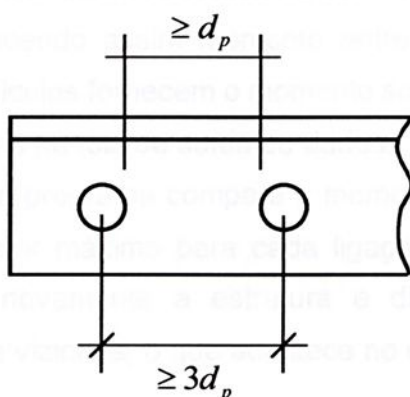


Figura 5.2: Espaçamento Mínimo Entre furos.

Onde: d_p é o diâmetro do parafusos.

Observação: Não está sendo considerado o efeito do esmagamento da chapa.

6. AVALIAÇÃO DOS MOMENTOS DA ESTRUTURA

6.1. Comentários Gerais

O cálculo da ligação parafusada é feito através de várias iterações, no qual o programa verifica o quanto cada ligação resiste ao momento solicitante, fazendo com que a mesma perca rigidez em função do momento resistente.

Inicialmente, a estrutura é calculada com todos os graus de liberdade a rotação impedidos, aparecendo assim momento entre as extremidades de cada barra da estrutura. Tais cálculos fornecem o momento solicitante para cada barra e é apresentado posteriormente na tela de saída de dados.

A partir daí, o programa compara o momento solicitante e o momento resistente, adotando o valor máximo para cada ligação como sendo o momento resistente, recalculando novamente a estrutura e direcionando o restante do momento para as ligações vizinhas, o que acontece no comportamento real de uma estrutura.

6.2. Alteração da Rigidez nas extremidades da barras

6.2.1. Momento Resistente

O valor do momento resistente é em função direta do espaçamento e do diâmetro dos parafusos e constante ao longo do processo de análise, ou seja, seu valor será o mesmo para todos os nós. Deve-se atentar para o dimensionamento mínimo de parafusos previsto por norma, para que a confiabilidade dos resultados não seja prejudicada. Para o preenchimento dos campos destinados aos dados da ligação, deve-se acessar o último botão da tela principal do programa, figura 6.1.

Em seguida, aparecerá a caixa de diálogo, em que se entrará com todos os dados necessários para que seja calculado o momento resistente da ligação, incluindo tipo do parafuso, diâmetro e espaçamento, figura 6.2.



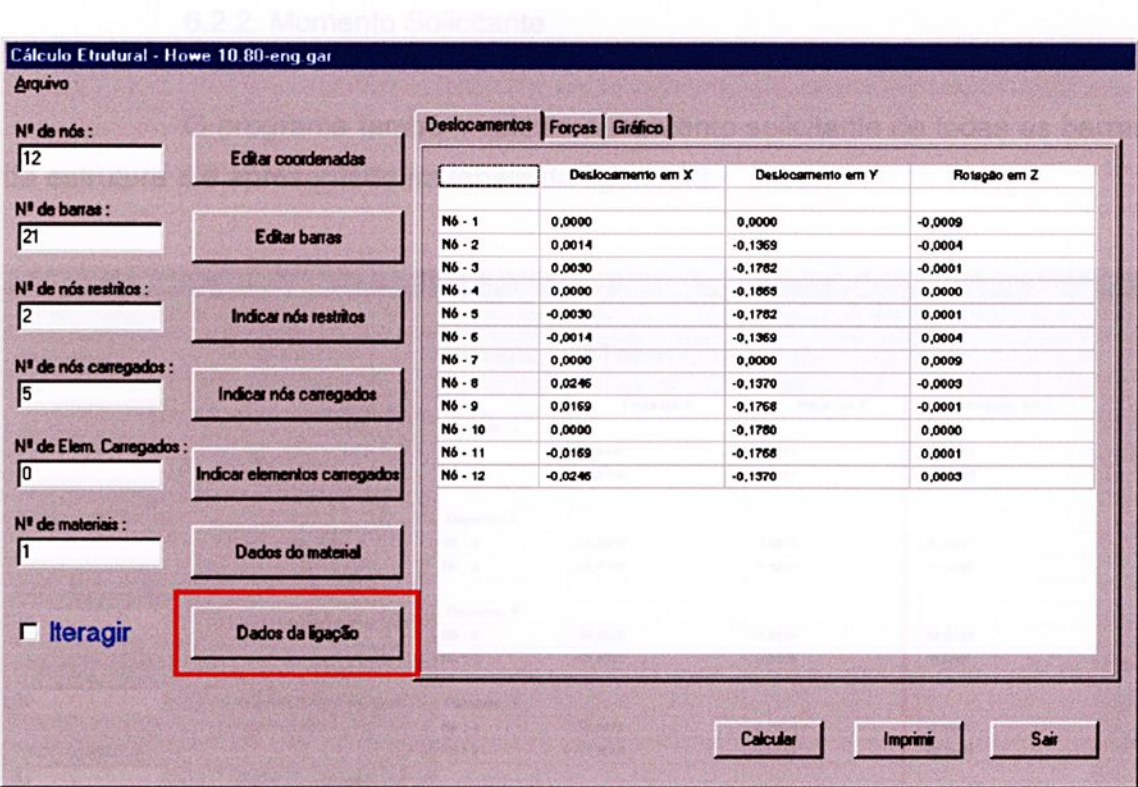


Figura 6.1: Tela Principal do Programa Com a Apresentação dos Resultados.

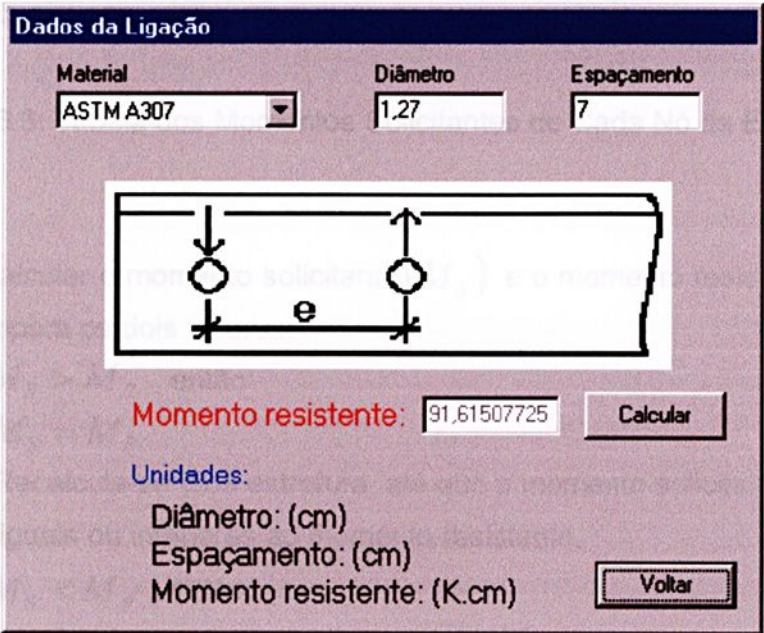


Figura 6.2: Tela de Entrada de Dados da Ligação.

6.2.2. Momento Solicitante

O programa também calcula o momento solicitante de todas as barras da estrutura e é apresentado na tabela da figura 6.3.

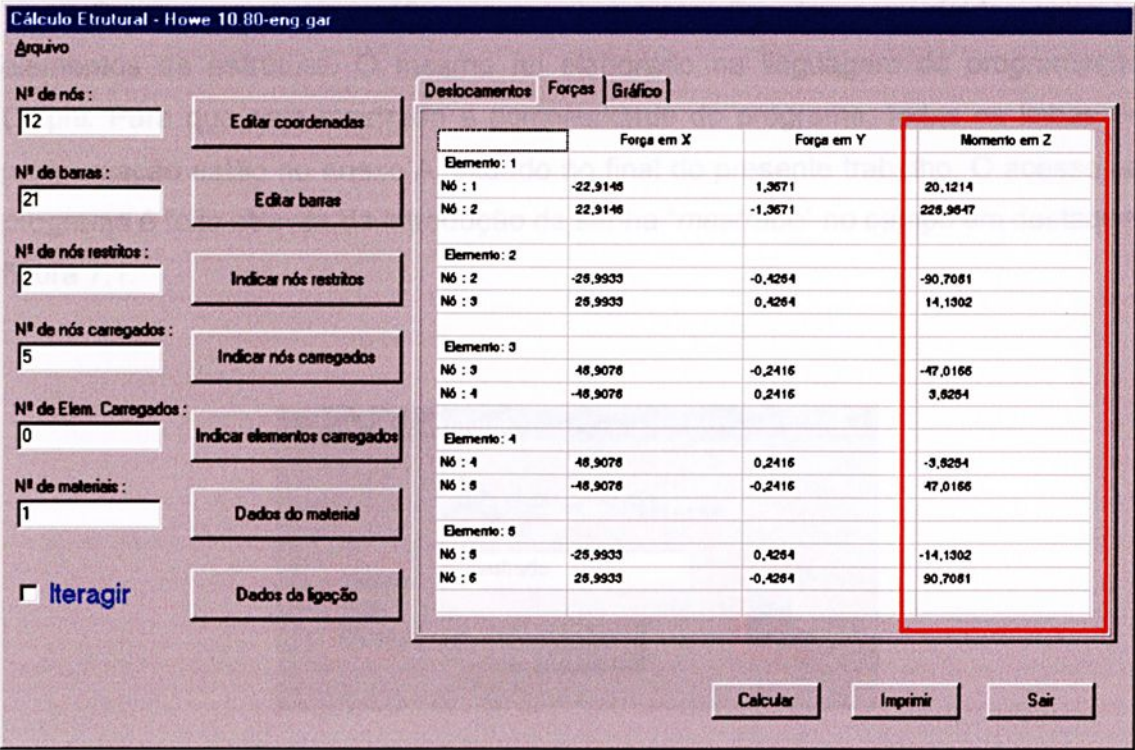


Figura 6.3: Tabela dos Momentos Solicitantes de Cada Nó da Estrutura.

Após calcular o momento solicitante (M_S) e o momento resistente (M_R), o programa compara os dois valores:

- Se $M_S > M_R$, então:

$$M_S = M_R$$

Recalcula-se toda estrutura, até que o momento solicitante de todas as barras sejam iguais ou inferiores ao momento resistente.

- Se $M_S < M_R$, então:

O valor do momento continua sendo M_S .

7. ENTRADA DE DADOS E APRESENTAÇÃO DO PROGRAMA

7.1. Comentários Gerais

O programa faz a análise de estruturas com ligações semi-rígidas entre os elementos da estrutura. O mesmo foi elaborado na linguagem de programação Delphi. Para que seja mostrado a complexidade do programa, todas as linhas de programação estão no anexo A, situado no final do presente trabalho. O acesso ao programa é feito através da introdução da senha "mestrado" no campo em destaque, figura 7.1.



Figura 7.1: Tela de Autorização para a Entrada no Programa.

Logo em seguida, aparecerá a tela principal do programa anteriormente dita. A mesma estará com todos os campos vazios e prontos para executar novos projetos ou abrir projetos elaborados em situações passadas. Na mesma tela tem-se todos os acessos para a entrada de dados, bem como aqueles para a execução, impressão dos resultados e finalização do programa, figura 7.2.

Para que se obtenha um satisfatório desempenho com o programa, será necessário ter o conhecimento de Engenharia Civil, particularmente na área de estruturas, bem como noções de termos usados por programas de cálculo estrutural como, por exemplo, "gerador" e "incremento". Este capítulo tem por objetivo fazer um breve comentário sobre os vários passos do programa.

7.2. Dados Iniciais do Programa

Para ter-se acesso às tabelas e aos geradores, é necessário preencher todos os campos em branco da tela principal, especificando número de nós, número de barras, número de nós restritos, número de nós carregados, número de elementos carregados e número de materiais, figura 7.4.

Uma vez preenchido esses campos, o acesso à análise e outras funções principais será habilitado e o usuário poderá continuar o processo de entrada de dados, figura 7.5. Lembrando que é de suma importância o preenchimento dos dados relativos à ligação, mesmo que o programa não utilize a iteração.

Cálculo Estrutural - Howe 10.80-eng gar

Arquivo

Nº de nós : 12

Nº de barras : 21

Nº de nós restritos : 2

Nº de nós carregados : 5

Nº de Elem. Carregados : 0

Nº de materiais : 1

☐ Iteragir

Editar coordenadas

Editar barras

Indicar nós restritos

Indicar nós carregados

Indicar elementos carregados

Dados do material

Dados da ligação

Deslocamentos | Forças | Gráfico

	Deslocamento em X	Deslocamento em Y	Rotação em Z
Nó - 1	0,0000	0,0000	-0,0009
Nó - 2	0,0014	-0,1369	-0,0004
Nó - 3	0,0030	-0,1782	-0,0001
Nó - 4	0,0000	-0,1865	0,0000
Nó - 5	-0,0030	-0,1782	0,0001
Nó - 6	-0,0014	-0,1369	0,0004
Nó - 7	0,0000	0,0000	0,0009
Nó - 8	0,0246	-0,1370	-0,0003
Nó - 9	0,0169	-0,1766	-0,0001
Nó - 10	0,0000	-0,1780	0,0000
Nó - 11	-0,0169	-0,1766	0,0001
Nó - 12	-0,0246	-0,1370	0,0003

Calcular Imprimir Sair

Figura 7.4: Campos de Informações Iniciais.

Cálculo Estrutural - Howe 10.80-eng.gar

Arquivo

Nº de nós : 12

Nº de barras : 21

Nº de nós restritos : 2

Nº de nós carregados : 5

Nº de Elem. Carregados : 0

Nº de materiais : 1

☐ Iteragir

Editar coordenadas

Editar barras

Indicar nós restritos

Indicar nós carregados

Indicar elementos carregados

Dados do material

Dados de ligação

Deslocamentos | Forças | Gráfico

	Deslocamento em X	Deslocamento em Y	Rotação em Z
Nó - 1	0,0000	0,0000	-0,0009
Nó - 2	0,0014	-0,1369	-0,0004
Nó - 3	0,0030	-0,1782	-0,0001
Nó - 4	0,0000	-0,1865	0,0000
Nó - 5	-0,0030	-0,1782	0,0001
Nó - 6	-0,0014	-0,1369	0,0004
Nó - 7	0,0000	0,0000	0,0009
Nó - 8	0,0246	-0,1370	-0,0003
Nó - 9	0,0169	-0,1768	-0,0001
Nó - 10	0,0000	-0,1780	0,0000
Nó - 11	-0,0169	-0,1768	0,0001
Nó - 12	-0,0246	-0,1370	0,0003

Calcular | Imprimir | Sair

Figura 7.5: Acesso aos Geradores e Informações Complementares da Estrutura.

Acessando, por exemplo, a função “*Editar Coordenadas*” da figura 7.5, aparecerá a caixa de entrada de dados onde será possível editar os pontos nodais da estrutura fornecendo as coordenadas cartesianas em relação a uma origem. Para o auxílio no preenchimento dessas coordenadas, tem-se os “*Geradores de Coordenadas*”, os quais geram dados com uma seqüência lógica e repetitiva da estrutura em análise, fornecendo o incremento da seqüência, figura 7.6.

Com um pouco de prática, será fácil manipular as caixas de todos os botões, tomando o cuidado de não preparar o projeto de maneira errada, pois o programa não conseguirá interpretar.

As outras caixas foram desenvolvidas com a mesma filosofia, sendo que cada uma delas trará informações básicas quanto as unidades de força, comprimento, etc., a serem utilizadas, assim como, as condições de restrições dos nós.

Editar Coordenadas

Nó	Coord (X)	Coord (Y)
1	0.0000	0.0000
2	180.0000	0.0000
3	360.0000	0.0000
4	540.0000	0.0000
5	720.0000	0.0000
6	900.0000	0.0000
7	1080.0000	0.0000
8	180.0000	70.0000
9	360.0000	140.0000
10	540.0000	210.0000
11	720.0000	140.0000
12	900.0000	70.0000

Gerador de Coordenadas:

Nó inicial

X

Y

Nó Final

X

Y

Incremento :

Gerar

Limpar

Unidades:

Distância: (cm)

Voltar

Figura 7.6: Tela de Gerador de Coordenadas Cartesianas.

7.3. Processamento da Estrutura

Após o todo o preenchimento correto dos dados iniciais, tem-se, então, dois tipos de processamento: o primeiro, sem iterações e o segundo, com iterações. Ao optar-se por iteragir, o campo em azul que está em destaque, deverá ser habilitado, figura 7.7.

Ao começar o processo de iteração, surgirá uma barra de status, em vermelho, no canto inferior esquerdo, que ficará progredindo e reaparecendo, figura 7.8. Cada progressão significa que foi executada uma iteração e só chegará ao final quando a barra não mais aparecer. É importante ressaltar que durante o processo de iteração, é possível acompanhar a liberação dos nós, voltando no acesso “*Editar Barras*”.

Figura 7.8: Barra de Status identificando que a Estrutura Ainda Está Iteragindo

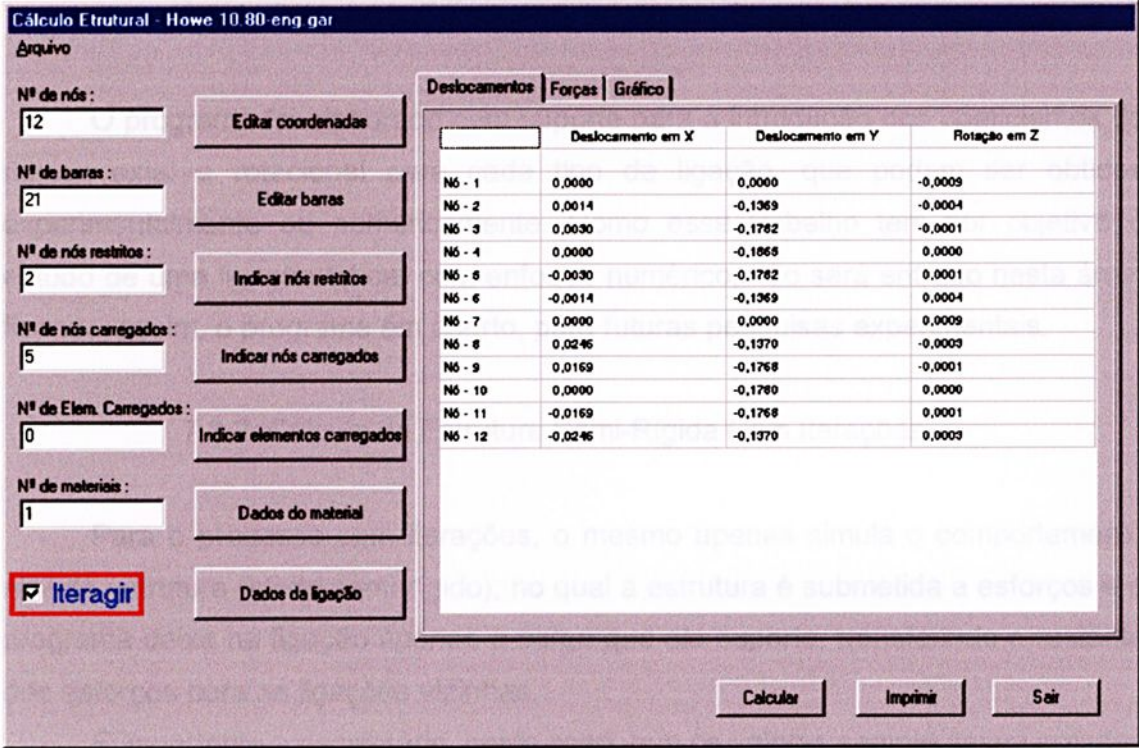


Figura 7.7: Opção Para Executar os Cálculos Com ou Sem Iterações.

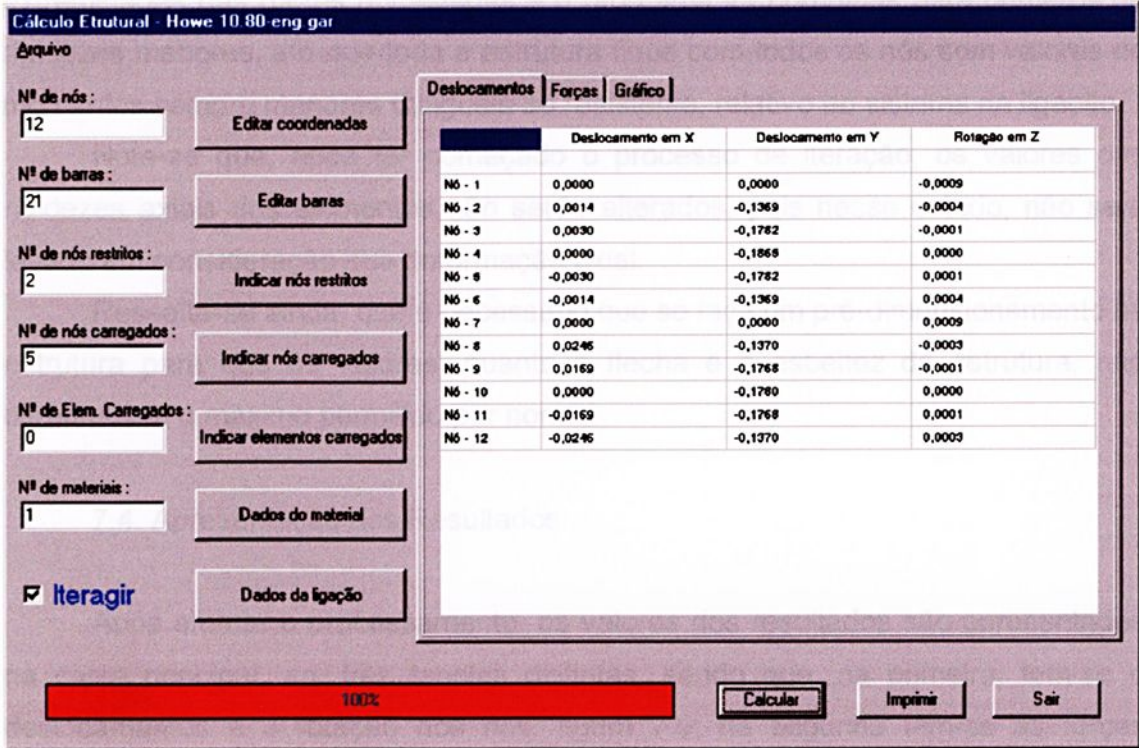


Figura 7.8: Barra de Status Identificando que a Estrutura Ainda Está Iteragindo.

7.3.1. Cálculo da Estrutura Semi-Rígida Sem Iterações

O programa foi elaborado com suporte para a introdução dos coeficientes de rigidez axial e rotacional para cada tipo de ligação, que podem ser obtidos experimentalmente ou numericamente. Como esse trabalho tem por objetivo o estudo de uma ligação típica, com enfoque numérico, não será entrado nesta área, ficando, assim, o programa em aberto, para futuras pesquisas experimentais.

7.3.2. Cálculo da Estrutura Semi-Rígida Com Iterações

Para o processo com iterações, o mesmo apenas simula o comportamento real da estrutura (efeito semi-rígido), no qual a estrutura é submetida a esforços e o programa deixa na ligação apenas a carga que ela suporta, transferindo o restante dos esforços para as ligações vizinhas.

É importante e necessário, neste caso, que os valores sempre sejam grandes para a rigidez axial e a rigidez rotacional, números na ordem de grandeza de 10^9 , isto é, significa que a estrutura inicia o processo de análise com todas as extremidades das barras engastadas e o programa irá corrigi-las para números de rigidezes menores, até que toda a estrutura fique com todos os nós com valores de momentos sempre menores ou iguais ao resistente, relativo ao sistema da ligação.

Nota-se que, após ter começado o processo de iteração, os valores das rigidezes axiais dos elementos não serão alterados, pois nesse estudo, não será levado em consideração sua deformação axial.

Ressalta-se ainda, que é necessário que se faça um pré-dimensionamento na estrutura para que os valores, quanto à flecha e à esbeltez da estrutura, não ultrapassem o máximo permitido por norma.

7.4. Apresentação dos Resultados

Após efetuar o processamento, os valores dos resultados são apresentados na caixa principal, em três tabelas distintas, sendo que, na primeira, tem-se o deslocamentos e a rotação nos nós, figura 7.9; na segunda tem-se as forças cortantes, as forças normais e os momentos nas barras, figura 7.10 e na terceira, tem-se o desenho da estrutura, figura 7.11.

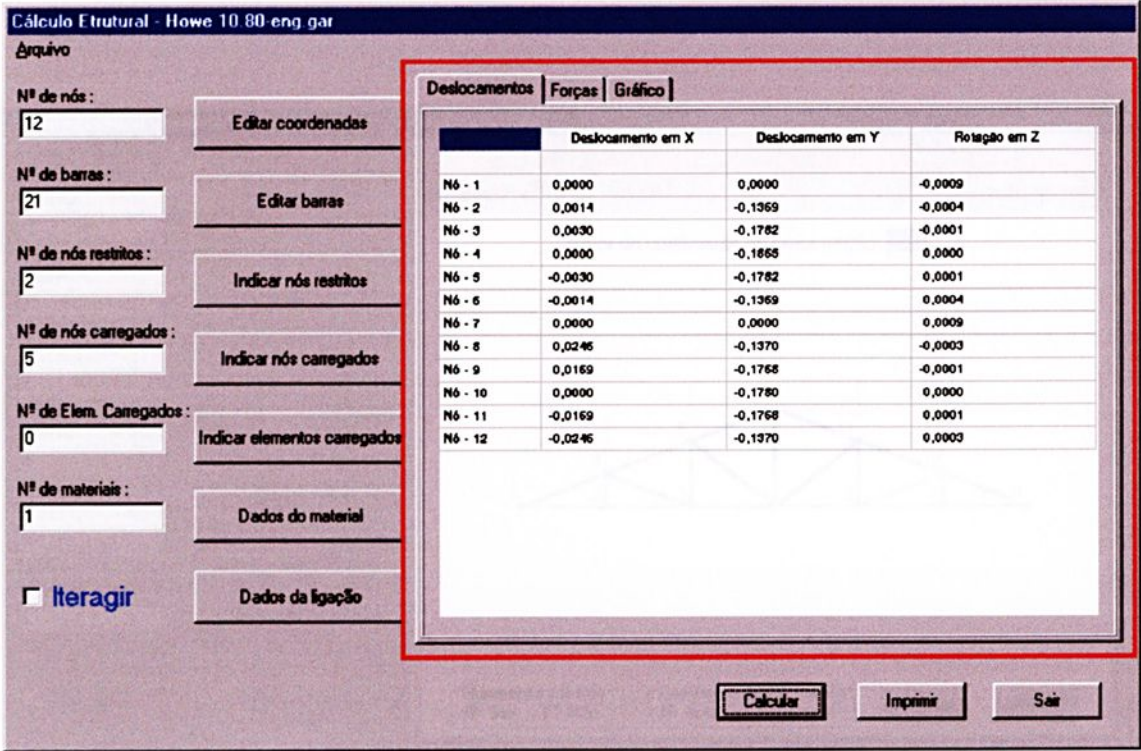


Figura 7.9: Tabela dos Deslocamentos e das Rotações nos Nós.

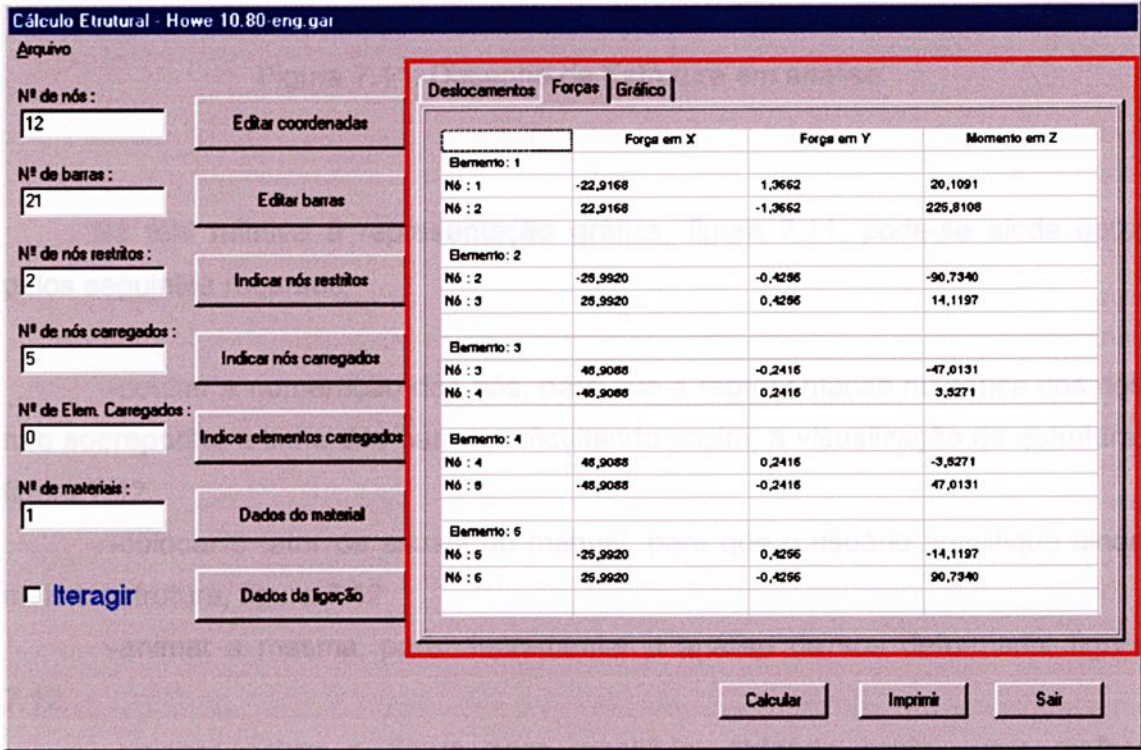


Figura 7.10: Tabela das Forças Normais, Forças Cortantes e dos Momentos nas Barras.

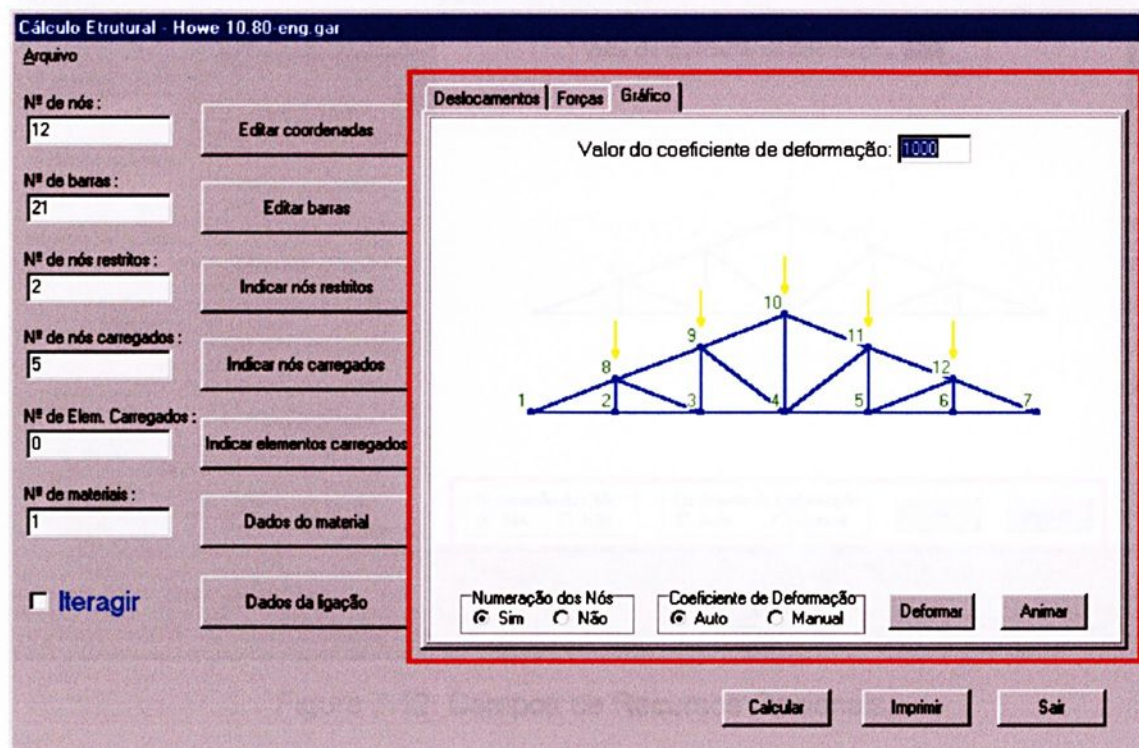


Figura 7.11: Desenho da Estrutura em análise.

Na tela relativa à representação gráfica, figura 7.11, pode-se ainda optar pelos seguintes recursos:

- ocultar a numeração dos nós, para que a representação numérica dos nós não sobreponha a linha das barras, dificultando assim, a visualização da estrutura, figura 7.12.

- colocar o fator de escala no manual, para que o usuário amplifique ainda mais a estrutura, figura 7.12.

- animar a mesma, para incrementar a análise da sua deformada, figura 7.12.

- acionar sobre a figura para ampliá-la, obtendo assim, uma melhor visualização, figura 7.13.

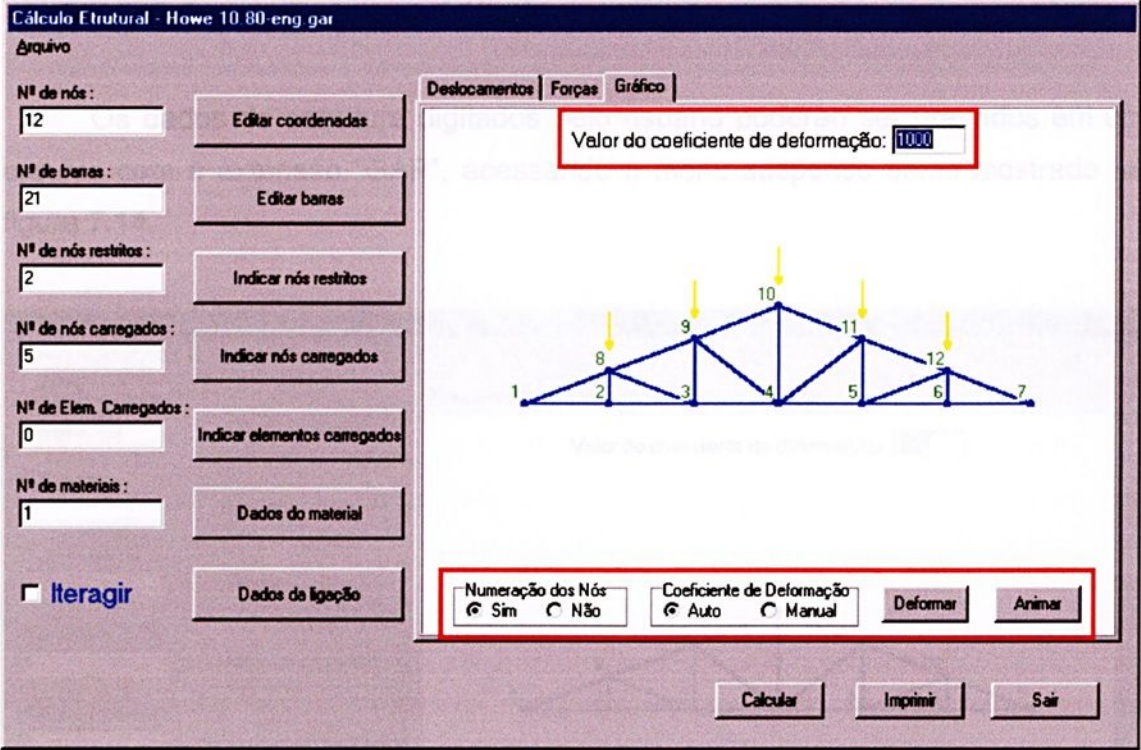


Figura 7.12: Campos de Recursos Opcionais.

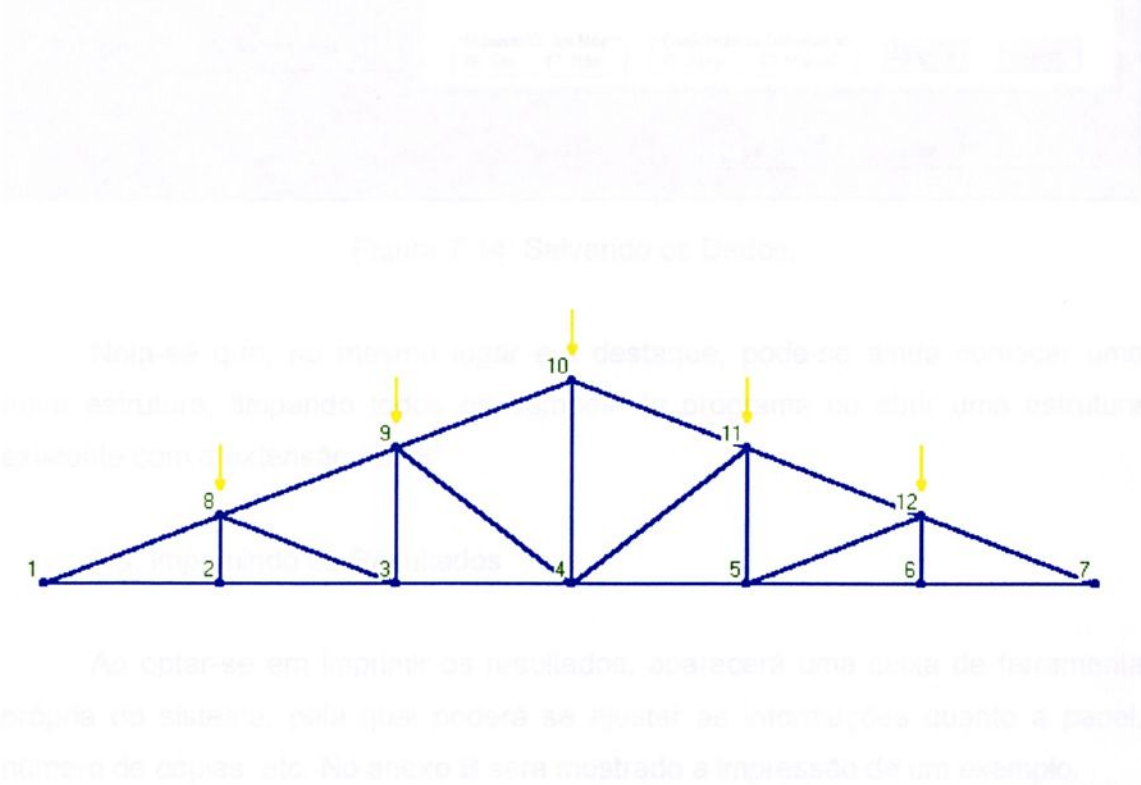


Figura 7.13: Figura da Estrutura Ampliada.

7.5. Salvando Projetos em Arquivos

Os dados da estrutura digitados pelo usuário poderão ser gravados em um arquivo com a extensão "GAR", acessando o menu suspenso como mostrado na figura 7.14.

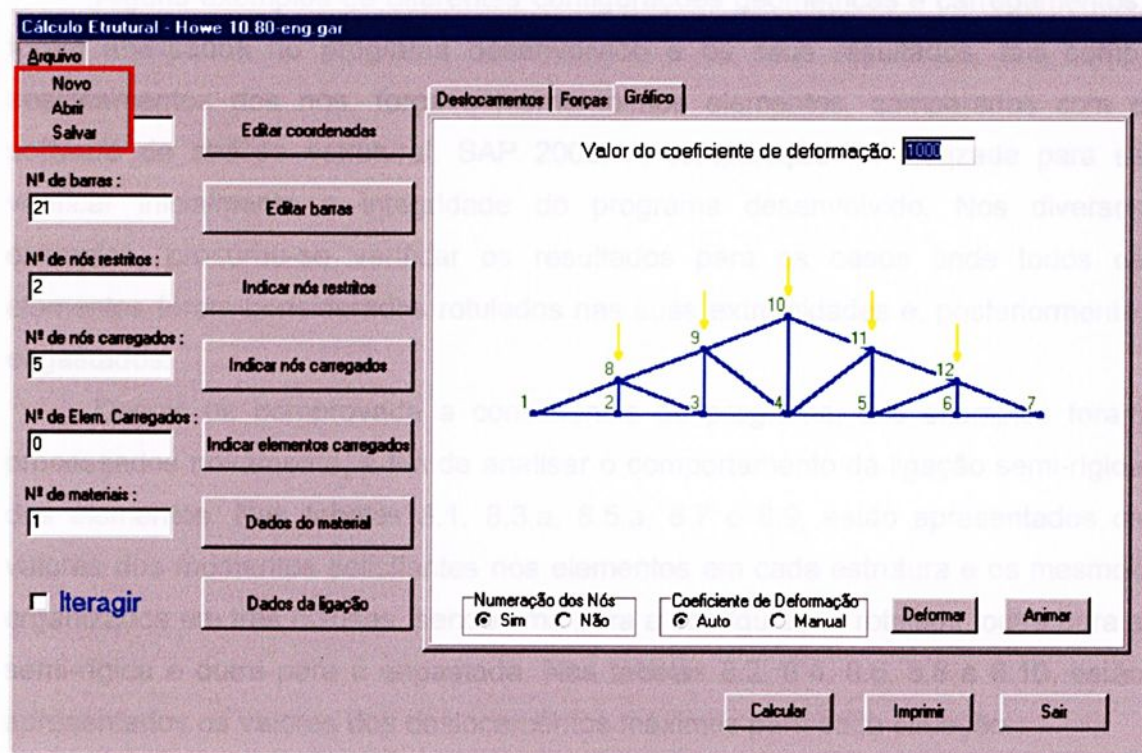


Figura 7.14: Salvando os Dados.

Nota-se que, no mesmo lugar em destaque, pode-se ainda começar uma nova estrutura, limpando todos os campos do programa ou abrir uma estrutura existente com a extensão "GAR".

7.6. Imprimindo os Resultados

Ao optar-se em imprimir os resultados, aparecerá uma caixa de ferramenta própria do sistema, pela qual poderá se ajustar as informações quanto a papel, número de cópias, etc. No anexo B será mostrado a impressão de um exemplo.

8. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

8.1. Comentários Gerais

Alguns exemplos de diferentes configurações geométricas e carregamentos, foram analisados no programa desenvolvido e os seus resultados, tais como, deslocamentos dos nós, força e momento nos elementos, comparados com o software de análise estrutural, SAP 2000. A comparação foi realizada para se verificar inicialmente a integridade do programa desenvolvido. Nos diversos exemplos, procurou-se verificar os resultados para os casos onde todos os elementos foram considerados rotulados nas suas extremidades e, posteriormente, engastados.

Depois de comprovada a consistência do programa, tais exemplos foram processados novamente, a fim de analisar o comportamento da ligação semi-rígida dos elementos. Nas tabelas 8.1, 8.3.a, 8.5.a, 8.7 e 8.9, estão apresentados os valores dos momentos solicitantes nos elementos em cada estrutura e os mesmos organizados em três colunas, sendo uma para a configuração rotulada, outra para a semi-rígida e outra para a engastada. Nas tabelas 8.2, 8.4, 8.6, 8.8 e 8.10, estão apresentados os valores dos deslocamentos máximos para cada situação.

Os valores em destaque na cor vermelha, verde e amarela, são os elementos do banzo superior, do banzo inferior e das diagonais e montantes, respectivamente, os quais tiveram o valor do seu coeficiente de rigidez alterado ao longo do processamento, reduzindo o valor do momento solicitante em cada nó.

No processo computacional, o próprio programa efetua automaticamente a busca do valor do coeficiente de rigidez para cada nó da estrutura, a fim de que o valor limite para o momento solicitante na extremidade do elemento, não seja superior ao momento resistente da ligação, nesse caso para ligações parafusadas.

As estruturas analisadas nos itens 8.2.1, 8.2.2, 8.2.3, 8.2.4 e 8.2.5, foram processadas admitindo-se uma certa rigidez nas barras, preocupando-se somente com o comportamento da ligação semi-rígida entre elas. Para a estrutura analisada no item 8.2.5, procurou-se obter uma análise, introduzindo-se a rigidez das ligações compatível com a resistência de cálculo, devido ao carregamento usual neste tipo de



estrutura. Somente no exemplo 8.2.1, a estrutura foi analisada para três diferentes comprimentos de vãos, sendo 10,80 m, 21,60 m e 32,40 m, respectivamente, com o objetivo de verificar e comparar a rigidez observada nos três casos.

Todos os capítulos da dissertação, bem como, os gráficos do capítulo 4 e a fonte do texto (caso o micro não possua), estão disponíveis no formato eletrônico localizado no diretório especificado pelo usuário, ou por *default* no diretório "C: / Arquivos de Programas / Calculo Estrutural".

8.2. Exemplos.

Os exemplos apresentados a seguir, são configurações de estruturas comumente utilizadas em construções industriais, comerciais e residenciais, sendo que algumas delas podem ser utilizadas na fabricação de pontes ou, até mesmo, substituir estruturas de concreto armado.

8.2.1. Estrutura Howe.

Conforme mencionado anteriormente, a análise dessa estrutura, foi efetuada para três diferentes vãos, sendo sempre mantida as mesmas condições topológicas e geométricas da estrutura, bem como as ações nos seus respectivos nós, e também o mesmo tipo de material, tanto para os elementos da estrutura, como para a ligação.

As figuras 8.1.a, 8.1.b e 8.1.c, mostram a geometria das estruturas Howe analisadas nos três casos. Os valores dos momentos solicitantes, bem como o deslocamento no meio do vão, estão apresentados nas tabelas 8.1 e 8.2, respectivamente.

Os valores adotados para as três estruturas Howe são iguais a:

Carga concentrada nos nós: 60,00 kN.

Área da seção transversal: 114,00 cm².

Momento de inércia: 1728,00 cm⁴.

Módulo de elasticidade: 20500 kN/cm².



Diâmetro do parafuso: 1,27 cm.
Espaçamento entre parafusos: 7,00 cm.
Especificação do parafuso: ASTM A307.

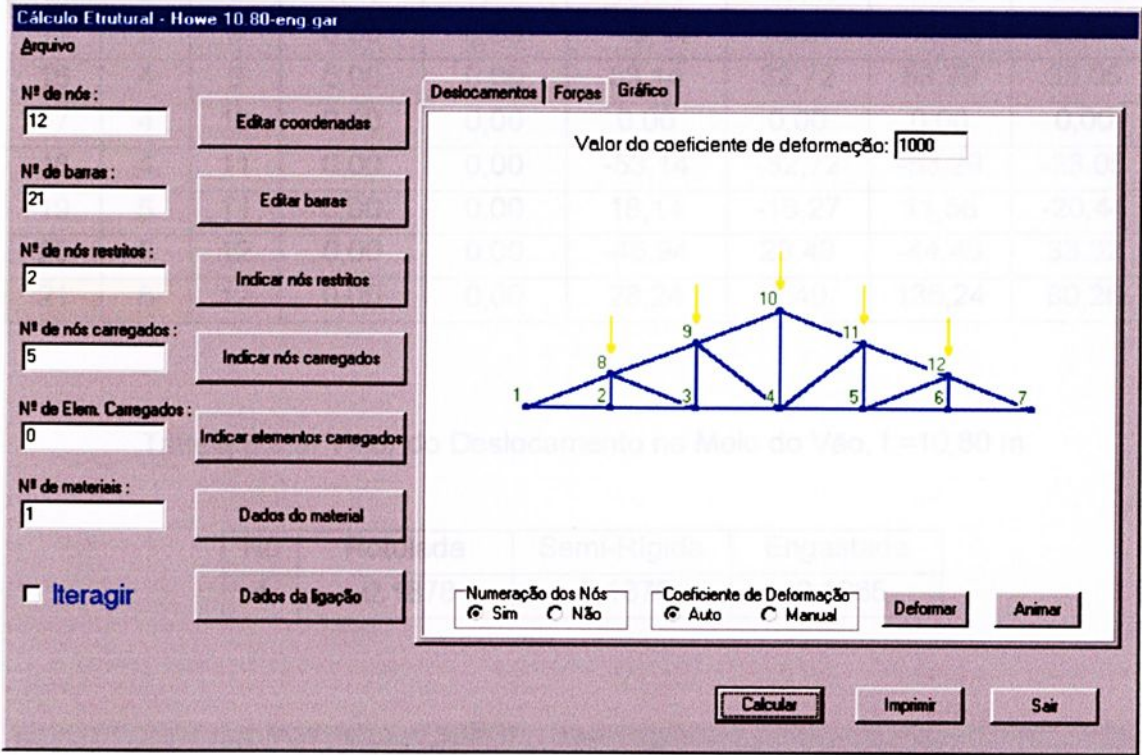


Figura 8.1.a: Estrutura Howe, L=10,80 m

Tabela 8.1.a: Valores dos Momentos Solicitantes nos Elementos, L=10,80 m

barra	Nó(i)	Nó(j)	Rotulada		Semi-Rígida		Engastada	
			nó "i"	nó "j"	nó "i"	nó "j"	nó "i"	nó "j"
1	1	2	0,00	0,00	14,11	92,75	20,12	225,95
2	2	3	0,00	0,00	-64,50	23,37	-90,70	14,13
3	3	4	0,00	0,00	-51,17	1,46	-47,01	3,52
4	5	4	0,00	0,00	51,17	-1,46	47,01	-3,52
5	6	5	0,00	0,00	64,50	-23,37	90,70	-14,13
6	7	6	0,00	0,00	-14,11	-92,75	-20,12	-225,95
7	1	8	0,00	0,00	-14,11	91,39	-20,12	191,66
8	8	9	0,00	0,00	-66,54	27,77	-78,07	22,90
9	9	10	0,00	0,00	-76,77	-52,67	-76,39	-52,49

10	11	10	0,00	0,00	76,77	52,67	76,39	52,49
11	12	11	0,00	0,00	66,54	-27,77	78,07	-22,90
12	7	12	0,00	0,00	14,11	-91,39	20,12	-191,66
13	2	8	0,00	0,00	-28,24	-1,40	-135,24	-80,26
14	3	8	0,00	0,00	45,94	-23,43	44,45	-33,32
15	3	9	0,00	0,00	-18,14	16,27	-11,56	20,44
16	4	9	0,00	0,00	53,14	32,72	53,29	33,05
17	4	10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	4	11	0,00	0,00	-53,14	-32,72	-53,29	-33,05
19	5	11	0,00	0,00	18,14	-16,27	11,56	-20,44
20	5	12	0,00	0,00	-45,94	23,43	-44,45	33,32
21	6	12	0,00	0,00	28,24	1,40	135,24	80,26

Tabela 8.2.a: Valor do Deslocamento no Meio do Vão, L=10,80 m

Nó	Rotulada	Semi-Rígida	Engastada
4	-0,1878	-0,1870	-0,1865

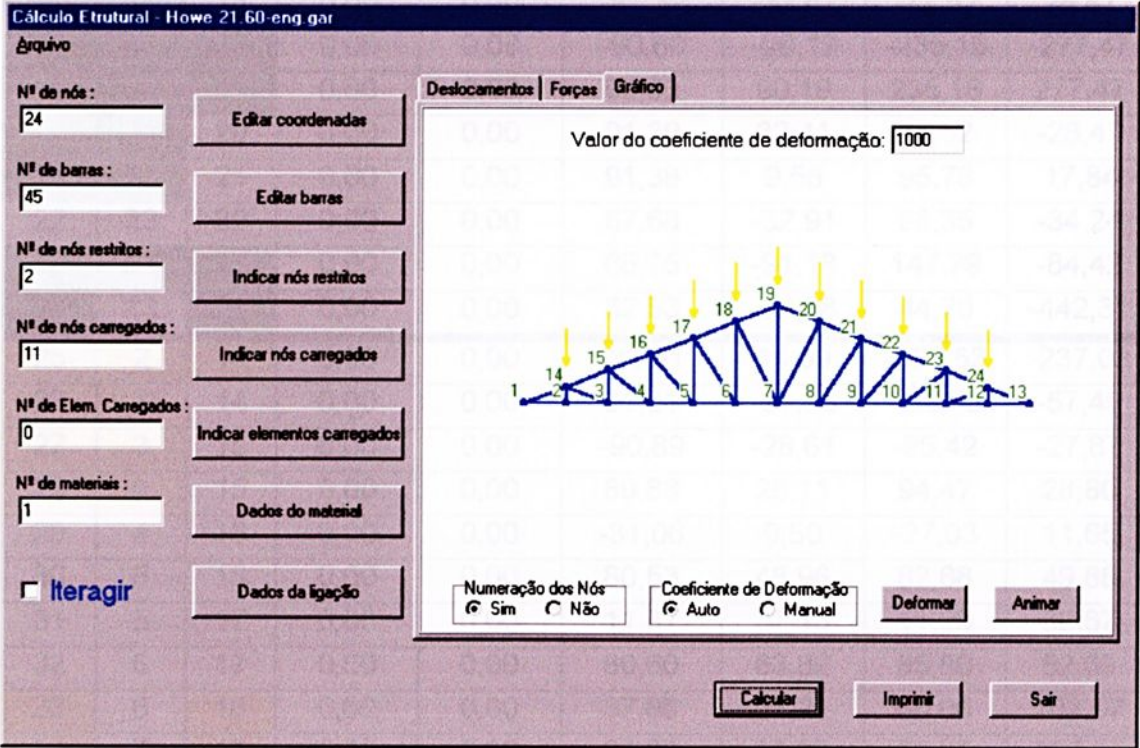


Figura 8.1.b: Estrutura Howe, L=21,60 m

Tabela 8.1.b: Valores dos Momentos Solicitantes nos Elementos, L=21,60 m

barra	Nó(i)	Nó(j)	Rotulada		Semi-Rígida		Engastada	
			nó "i"	nó "j"	nó "i"	nó "j"	Nó "i"	nó "j"
1	1	2	0,00	0,00	32,53	90,26	44,70	521,12
2	2	3	0,00	0,00	-56,75	91,10	-165,59	77,12
3	3	4	0,00	0,00	-91,10	32,80	-107,45	28,27
4	4	5	0,00	0,00	-91,62	-0,77	-95,72	-0,20
5	5	6	0,00	0,00	-91,62	-27,25	-93,78	-17,79
6	6	7	0,00	0,00	-91,23	-81,82	-134,07	-108,47
7	8	7	0,00	0,00	91,23	81,82	134,07	108,47
8	9	8	0,00	0,00	91,62	27,25	93,78	17,79
9	10	9	0,00	0,00	91,62	0,77	95,72	0,20
10	11	10	0,00	0,00	91,10	-32,80	107,45	-28,27
11	12	11	0,00	0,00	56,75	-91,10	165,59	-77,12
12	13	12	0,00	0,00	-32,53	-90,26	-44,70	-521,12
13	1	14	0,00	0,00	-32,53	89,88	-44,70	442,31
14	14	15	0,00	0,00	-66,25	91,18	-147,79	84,42
15	15	16	0,00	0,00	-87,68	32,91	-85,35	34,24
16	16	17	0,00	0,00	-91,38	-9,58	-95,78	-17,84
17	17	18	0,00	0,00	-91,39	-32,41	-77,52	28,47
18	18	19	0,00	0,00	-90,60	-90,19	-235,16	-277,47
19	20	19	0,00	0,00	90,60	90,19	235,16	277,47
20	21	20	0,00	0,00	91,39	32,41	77,52	-28,47
21	22	21	0,00	0,00	91,38	9,58	95,78	17,84
22	23	22	0,00	0,00	87,68	-32,91	85,35	-34,24
23	24	23	0,00	0,00	66,25	-91,18	147,79	-84,42
24	13	24	0,00	0,00	32,53	-89,88	44,70	-442,31
25	2	14	0,00	0,00	-33,51	14,09	-355,53	-237,02
26	3	14	0,00	0,00	91,01	-37,73	125,75	-57,49
27	3	15	0,00	0,00	-90,89	-28,61	-95,42	-27,87
28	4	15	0,00	0,00	89,88	25,11	94,47	28,80
29	4	16	0,00	0,00	-31,06	9,50	-27,03	11,65
30	5	16	0,00	0,00	80,53	48,96	82,68	49,88
31	5	17	0,00	0,00	11,87	37,15	11,29	32,67
32	6	17	0,00	0,00	80,60	63,82	85,80	62,69
33	6	18	0,00	0,00	37,88	57,21	66,06	102,57
34	7	18	0,00	0,00	64,30	65,79	83,35	104,11
35	7	19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

36	7	20	0,00	0,00	-64,30	-65,79	-83,35	-104,11
37	8	20	0,00	0,00	-37,88	-57,21	-66,06	-102,57
38	8	21	0,00	0,00	-80,60	-63,82	-85,80	-62,69
39	9	21	0,00	0,00	-11,87	-37,15	-11,29	-32,67
40	9	22	0,00	0,00	-80,53	-48,96	-82,68	-49,88
41	10	22	0,00	0,00	31,06	-9,50	27,03	-11,65
42	10	23	0,00	0,00	-89,88	-25,11	-94,47	-28,80
43	11	23	0,00	0,00	90,89	28,61	95,42	27,87
44	11	24	0,00	0,00	-91,01	37,73	-125,75	57,49
45	12	24	0,00	0,00	33,51	-14,09	355,53	237,02

Tabela 8.2.b: Valor do Deslocamento no Meio do Vão, L=21,60 m

Nó	Rotulada	Semi-Rígida	Engastada
7	-0,8047	-0,8033	-0,8006

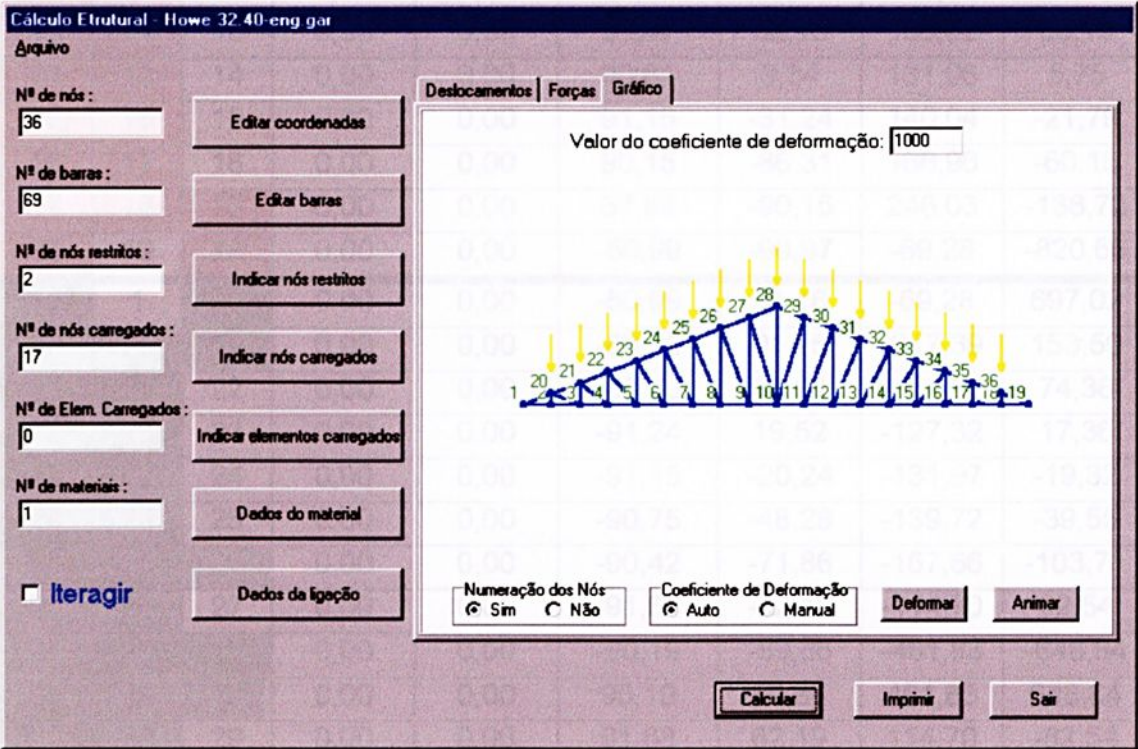


Figura 8.1.c: Estrutura Howe, L=32,40 m

Tabela 8.1.c: Valores dos Momentos Solicitantes nos Elementos, L=32,40 m

barra	Nó(i)	Nó(j)	Rotulada		Semi-Rígida		Engastada	
			nó "i"	nó "j"	Nó "i"	nó "j"	nó "i"	nó "j"
1	1	2	0,00	0,00	50,99	90,97	69,28	820,66
2	2	3	0,00	0,00	-57,89	90,15	-246,03	136,72
3	3	4	0,00	0,00	-90,15	86,31	-166,96	60,15
4	4	5	0,00	0,00	-91,15	31,24	-140,04	21,79
5	5	6	0,00	0,00	-90,81	-3,54	-131,06	-5,75
6	6	7	0,00	0,00	-91,47	-32,16	-135,92	-30,19
7	7	8	0,00	0,00	-90,70	-55,74	-148,98	-56,22
8	8	9	0,00	0,00	-90,93	-64,53	-150,81	-41,74
9	9	10	0,00	0,00	-90,90	-90,29	-264,31	-323,22
10	11	10	0,00	0,00	90,90	90,29	264,31	323,22
11	12	11	0,00	0,00	90,93	64,53	150,81	41,74
12	13	12	0,00	0,00	90,70	55,74	148,98	56,22
13	14	13	0,00	0,00	91,47	32,16	135,92	30,19
14	15	14	0,00	0,00	90,81	3,54	131,06	5,75
15	16	15	0,00	0,00	91,15	-31,24	140,04	-21,79
16	17	16	0,00	0,00	90,15	-86,31	166,96	-60,15
17	18	17	0,00	0,00	57,89	-90,15	246,03	-136,72
18	19	18	0,00	0,00	-50,99	-90,97	-69,28	-820,66
19	1	20	0,00	0,00	-50,99	91,16	-69,28	697,02
20	20	21	0,00	0,00	-66,39	91,25	-217,39	153,50
21	21	22	0,00	0,00	-88,60	81,04	-124,82	74,36
22	22	23	0,00	0,00	-91,24	19,52	-127,32	17,36
23	23	24	0,00	0,00	-91,15	-20,24	-131,97	-19,32
24	24	25	0,00	0,00	-90,75	-48,28	-139,72	-39,55
25	25	26	0,00	0,00	-90,42	-71,86	-167,66	-103,71
26	26	27	0,00	0,00	-91,63	-62,19	-114,70	82,54
27	27	28	0,00	0,00	-90,19	-89,86	-461,83	-648,84
28	29	28	0,00	0,00	90,19	89,86	461,83	648,84
29	30	29	0,00	0,00	91,63	62,19	114,70	-82,54
30	31	30	0,00	0,00	90,42	71,86	167,66	103,71
31	32	31	0,00	0,00	90,75	48,28	139,72	39,55
32	33	32	0,00	0,00	91,15	20,24	131,97	19,32

33	34	33	0,00	0,00	91,24	-19,52	127,32	-17,36
34	35	34	0,00	0,00	88,60	-81,04	124,82	-74,36
35	36	35	0,00	0,00	66,39	-91,25	217,39	-153,50
36	19	36	0,00	0,00	50,99	-91,16	69,28	-697,02
37	2	20	0,00	0,00	-33,08	35,51	-574,63	-392,68
38	3	20	0,00	0,00	91,33	-60,27	203,82	-86,93
39	3	21	0,00	0,00	-91,10	-14,40	-173,58	-63,03
40	4	21	0,00	0,00	90,85	11,75	145,76	34,35
41	4	22	0,00	0,00	-86,75	-23,93	-65,87	-3,64
42	5	22	0,00	0,00	84,80	34,14	114,70	56,60
43	5	23	0,00	0,00	-25,23	16,32	-5,43	36,99
44	6	23	0,00	0,00	82,87	55,30	109,68	77,61
45	6	24	0,00	0,00	12,15	42,13	31,99	63,65
46	7	24	0,00	0,00	82,96	68,87	115,59	95,39
47	7	25	0,00	0,00	39,89	63,79	63,58	90,72
48	8	25	0,00	0,00	83,89	74,91	128,08	116,48
49	8	26	0,00	0,00	62,78	81,59	78,95	93,35
50	9	26	0,00	0,00	88,93	81,90	149,17	125,06
51	9	27	0,00	0,00	66,51	76,68	156,87	202,44
52	10	27	0,00	0,00	61,72	75,70	115,43	176,84
53	10	28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
54	10	29	0,00	0,00	-61,72	-75,70	-115,43	-176,84
55	11	29	0,00	0,00	-66,51	-76,68	-156,87	-202,44
56	11	30	0,00	0,00	-88,93	-81,90	-149,17	-125,06
57	12	30	0,00	0,00	-62,78	-81,59	-78,95	-93,35
58	12	31	0,00	0,00	-83,89	-74,91	-128,08	-116,48
59	13	31	0,00	0,00	-39,89	-63,79	-63,58	-90,72
60	13	32	0,00	0,00	-82,96	-68,87	-115,59	-95,39
61	14	32	0,00	0,00	-12,15	-42,13	-31,99	-63,65
62	14	33	0,00	0,00	-82,87	-55,30	-109,68	-77,61
63	15	33	0,00	0,00	25,23	-16,32	5,43	-36,99
64	15	34	0,00	0,00	-84,80	-34,14	-114,70	-56,60
65	16	34	0,00	0,00	86,75	23,93	65,87	3,64
66	16	35	0,00	0,00	-90,85	-11,75	-145,76	-34,35
67	17	35	0,00	0,00	91,10	14,40	173,58	63,03
68	17	36	0,00	0,00	-91,33	60,27	-203,82	86,93
69	18	37	0,00	0,00	33,08	-35,51	574,63	392,68

Tabela 8.2.c: Valor do Deslocamento no Meio do Vão, L=32,40 m

Nó	Rotulada	Semi-Rígida	Engastada
10	-1,8506	-1,8487	-1,8426

8.2.2. Meia Estrutura Howe em Balanço.

Esta estrutura foi considerada em balanço e diferente de todas as outras estruturas, pois a mesma foi processada como sendo apoiada nos dois extremos.

A figura 8.2, mostra a geometria da estrutura Howe analisada nesse caso, sendo que a mesma possui um comprimento de 14,40 m. Os valores dos momentos solicitantes, bem como, o deslocamento na extremidade do vão, estão apresentados nas tabelas 8.3 e 8.4, respectivamente.

Os valores adotados para o cálculo dessa estrutura são:

- Carga concentrada nos nós: 40,00 kN.
- Área da seção transversal: 100,00 cm².
- Momento de inércia: 833,33 cm⁴.
- Módulo de elasticidade: 20500 kN/cm².
- Diâmetro do parafuso: 1,27 cm.
- Espaçamento entre parafusos: 7,00 cm.
- Especificação do parafuso: ASTM A307.

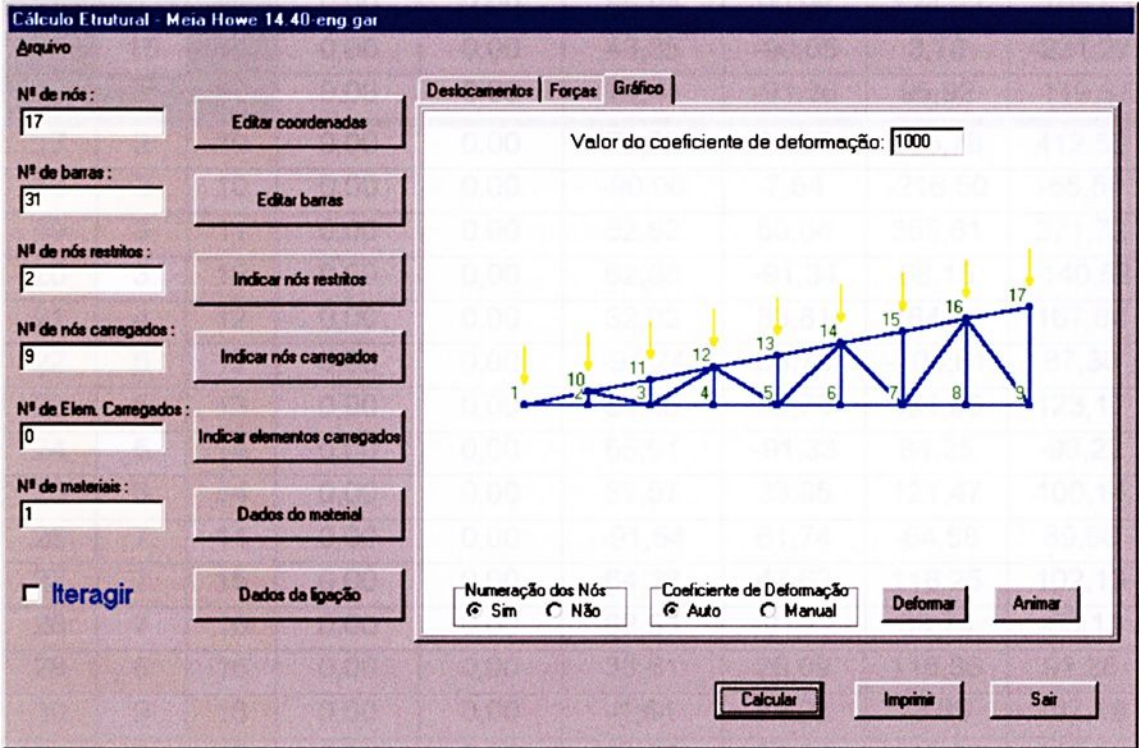


Figura 8.2: Meia Estrutura Howe em Balanço, L=14,40 m

Tabela 8.3: Valores dos Momentos Solicitantes nos Elementos, L=14,40 m

barra	Nó(i)	Nó(j)	Rotulada		Semi-Rígida		Engastada	
			nó "i"	nó "j"	Nó "i"	nó "j"	nó "i"	nó "j"
1	1	2	0,00	0,00	-2,96	-90,55	-8,15	-319,36
2	2	3	0,00	0,00	20,53	-90,23	-76,42	237,01
3	3	4	0,00	0,00	55,90	-90,85	29,64	-213,80
4	4	5	0,00	0,00	58,83	-90,23	49,17	-172,52
5	5	6	0,00	0,00	61,51	-90,32	42,21	-191,55
6	6	7	0,00	0,00	57,75	-91,08	70,08	-166,21
7	7	8	0,00	0,00	55,76	-90,57	22,80	201,25
8	8	9	0,00	0,00	51,96	-89,42	84,89	-136,78
9	1	10	0,00	0,00	2,96	-90,74	8,15	-294,12
10	10	11	0,00	0,00	19,82	-90,79	-62,92	-255,80
11	11	12	0,00	0,00	40,74	-90,50	-15,91	-221,01

12	12	13	0,00	0,00	81,34	-90,07	106,38	-134,97
13	13	14	0,00	0,00	51,37	-90,17	11,80	-216,12
14	14	15	0,00	0,00	85,94	90,98	124,22	-105,83
15	15	16	0,00	0,00	43,35	-90,05	3,70	-231,27
16	16	17	0,00	0,00	74,44	-91,20	95,92	-119,87
17	2	10	0,00	0,00	70,02	63,37	395,78	412,59
18	3	10	0,00	0,00	-90,96	7,54	-216,50	-55,54
19	3	11	0,00	0,00	62,62	50,04	355,61	271,72
20	3	12	0,00	0,00	62,66	-91,34	68,15	-140,52
21	4	12	0,00	0,00	32,02	33,81	164,61	167,84
22	5	12	0,00	0,00	-91,24	66,70	-105,81	87,30
23	5	13	0,00	0,00	54,45	39,70	151,86	123,17
24	5	14	0,00	0,00	65,51	-91,33	84,25	-98,22
25	6	14	0,00	0,00	32,57	33,85	121,47	100,14
26	7	14	0,00	0,00	-91,54	61,74	-64,58	89,98
27	7	15	0,00	0,00	64,33	47,62	118,25	102,13
28	7	16	0,00	0,00	62,53	-91,72	89,74	-63,13
29	8	16	0,00	0,00	38,61	26,09	116,36	91,28
30	9	16	0,00	0,00	-1,64	81,23	-3,85	107,19
31	9	17	0,00	0,00	91,06	91,20	140,64	119,87

Tabela 8.4: Valor do Deslocamento na Extremidade do Vão, L=10,80 m

Nó	Rotulada	Semi-Rígida	Engastada
1	-7,7672	-7,7519	-7,7383

8.2.3. Estrutura Pratt

O exemplo da estrutura Pratt, apresentada a seguir, também foi processado no software SAP 2000, com a condição de todas as barras engastadas nas suas extremidades, figura 8.3.b, a fim de comparar o efeito semi-rígido da ligação com os momentos solicitantes na estrutura.

As figuras 8.3.a, mostra a geometria da estrutura Pratt, analisada nesse caso, sendo que a mesma possui um vão de 8,40 m. Os valores dos momentos



solicitantes, bem como o deslocamento no meio do vão, estão apresentados nas tabelas 8.5 e 8.6, respectivamente.

Os valores adotados para o cálculo dessa estrutura são:

Carga concentrada nos nós: 40,00 kN.

Área da seção transversal: 31,36 cm².

Momento de inércia: 81,95 cm⁴.

Módulo de elasticidade: 20500 kN/cm².

Diâmetro do parafuso: 1,27 cm.

Espaçamento entre parafusos: 7,00 cm.

Especificação do parafuso: ASTM A307.

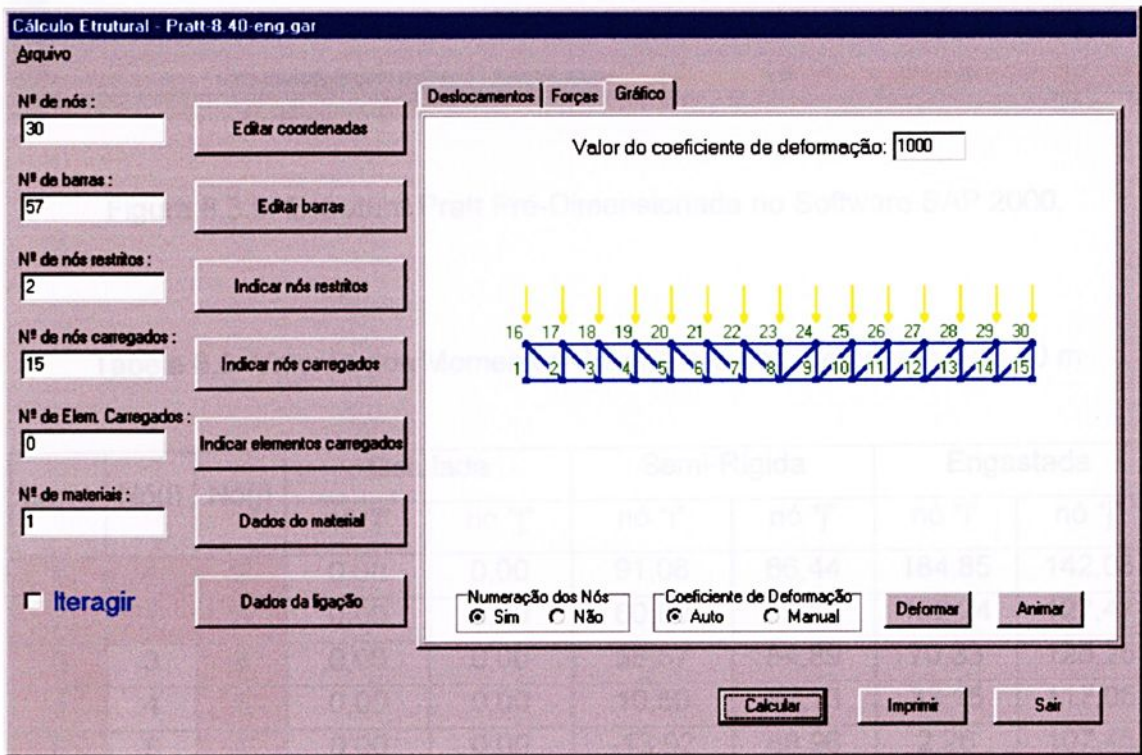


Figura 8.3.a: Estrutura Pratt, L=8,40 m

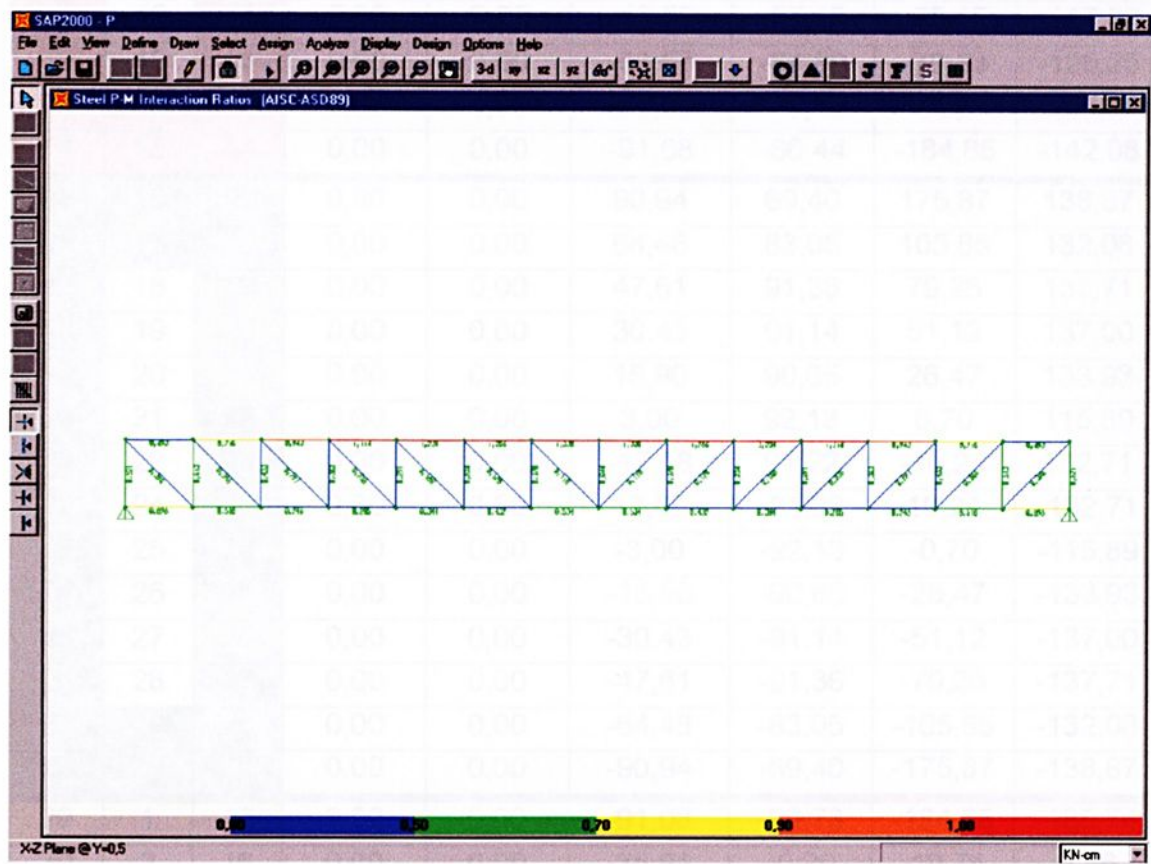


Figura 8.3.b: Estrutura Pratt Pré-Dimensionada no Software SAP 2000.

Tabela 8.5: Valores dos Momentos Solicitantes nos Elementos, L=8,40 m

barra	Nó(i)	Nó(j)	Rotulada		Semi-Rígida		Engastada	
			nó "i"	nó "j"	nó "i"	nó "j"	nó "i"	nó "j"
1	1	2	0,00	0,00	91,08	66,44	184,85	142,08
2	2	3	0,00	0,00	60,80	79,12	102,24	127,47
3	3	4	0,00	0,00	38,57	84,89	70,33	125,25
4	4	5	0,00	0,00	10,50	87,13	33,15	117,05
5	5	6	0,00	0,00	-13,02	88,96	2,26	107,45
6	6	7	0,00	0,00	-32,29	87,00	-26,86	89,19
7	7	8	0,00	0,00	-45,72	90,90	-29,03	126,00
8	9	8	0,00	0,00	45,72	-90,90	29,03	-126,00
9	10	9	0,00	0,00	32,29	-87,00	26,86	-89,19
10	11	10	0,00	0,00	13,02	-88,96	-2,26	-107,45

11	12	11	0,00	0,00	-10,50	-87,13	-33,15	-117,05
12	13	12	0,00	0,00	-38,57	-84,89	-70,33	-125,25
13	14	13	0,00	0,00	-60,80	-79,12	-102,24	-127,47
14	15	14	0,00	0,00	-91,08	-66,44	-184,85	-142,08
15	16	17	0,00	0,00	90,94	69,40	175,87	138,87
16	17	18	0,00	0,00	64,48	83,05	105,85	132,08
17	18	19	0,00	0,00	47,61	91,36	79,26	137,71
18	19	20	0,00	0,00	30,43	91,14	51,12	137,00
19	20	21	0,00	0,00	15,90	90,85	26,47	133,93
20	21	22	0,00	0,00	3,00	92,13	0,70	115,89
21	22	23	0,00	0,00	-17,58	91,22	-10,24	132,71
22	24	23	0,00	0,00	17,58	-91,22	10,24	-132,71
23	25	24	0,00	0,00	-3,00	-92,13	-0,70	-115,89
24	26	25	0,00	0,00	-15,90	-90,85	-26,47	-133,93
25	27	26	0,00	0,00	-30,43	-91,14	-51,12	-137,00
26	28	27	0,00	0,00	-47,61	-91,36	-79,26	-137,71
27	29	28	0,00	0,00	-64,48	-83,05	-105,85	-132,08
28	29	30	0,00	0,00	-90,94	-69,40	-175,87	-138,87
29	1	16	0,00	0,00	-91,08	-90,73	-184,85	-185,74
30	2	16	0,00	0,00	-35,91	-0,20	-19,74	9,86
31	2	17	0,00	0,00	-91,33	-90,97	-224,38	-220,38
32	3	17	0,00	0,00	-26,96	-42,91	-8,77	-23,65
33	3	18	0,00	0,00	-90,72	-90,65	-189,03	-183,83
34	4	18	0,00	0,00	-4,23	-40,01	7,64	-27,51
35	4	19	0,00	0,00	-91,16	-88,97	-166,05	-157,34
36	5	19	0,00	0,00	16,67	-32,82	21,67	-31,49
37	5	20	0,00	0,00	-90,79	-80,77	-140,99	-130,30
38	6	20	0,00	0,00	34,53	-25,68	33,64	-33,17
39	6	21	0,00	0,00	-91,19	-73,81	-114,23	-101,28
40	7	21	0,00	0,00	46,44	-20,03	39,55	-33,35
41	7	22	0,00	0,00	-87,72	-68,91	-99,72	-87,64
42	8	22	0,00	0,00	89,57	-5,63	83,07	-18,00
43	8	23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
44	8	24	0,00	0,00	-89,57	5,63	-83,07	18,00
45	9	24	0,00	0,00	87,72	68,91	99,72	87,64
46	9	25	0,00	0,00	-46,44	20,03	-39,55	33,35
47	10	25	0,00	0,00	91,19	73,81	114,23	101,28
48	10	26	0,00	0,00	-34,53	25,68	-33,64	33,17
49	11	26	0,00	0,00	90,79	80,77	140,99	130,30

50	11	27	0,00	0,00	-16,67	32,82	-21,67	31,49
51	12	27	0,00	0,00	91,16	88,97	166,05	157,34
52	12	27	0,00	0,00	4,23	40,01	-7,64	27,51
53	13	28	0,00	0,00	90,72	90,65	189,03	183,83
54	13	29	0,00	0,00	26,96	42,91	8,77	23,65
55	14	29	0,00	0,00	91,33	90,97	224,38	220,38
56	14	30	0,00	0,00	35,91	0,20	19,74	-9,86
57	15	30	0,00	0,00	91,08	90,73	184,85	185,74

Tabela 8.6: Valor do Deslocamento no Meio do Vão, L=8,40 m

Nó	Rotulada	Semi-Rígida	Engastada
8	-2,9896	-2,9696	-2,9595

8.2.4. Estrutura Bowstring

Essa estrutura possui a importante característica que é a de distribuir, de maneira uniforme, os esforços das barras até os apoios.

A figura 8.4, mostra a geometria da estrutura Bowstring analisada nesse caso, sendo que a mesma possui um vão de 25,20 m. Os valores dos momentos solicitantes, bem como o deslocamento no meio do vão, estão apresentados nas tabelas 8.7 e 8.8, respectivamente.

Os valores adotados para o cálculo dessa estrutura são:

Carga concentrada nos nós: 700,00 kN.

Área da seção transversal: 100,00 cm².

Momento de inércia: 833,33 cm⁴.

Módulo de elasticidade: 20500 kN/cm².

Diâmetro do parafuso: 1,27 cm.

Espaçamento entre parafusos: 7,00 cm.

Especificação do parafuso: ASTM A307.

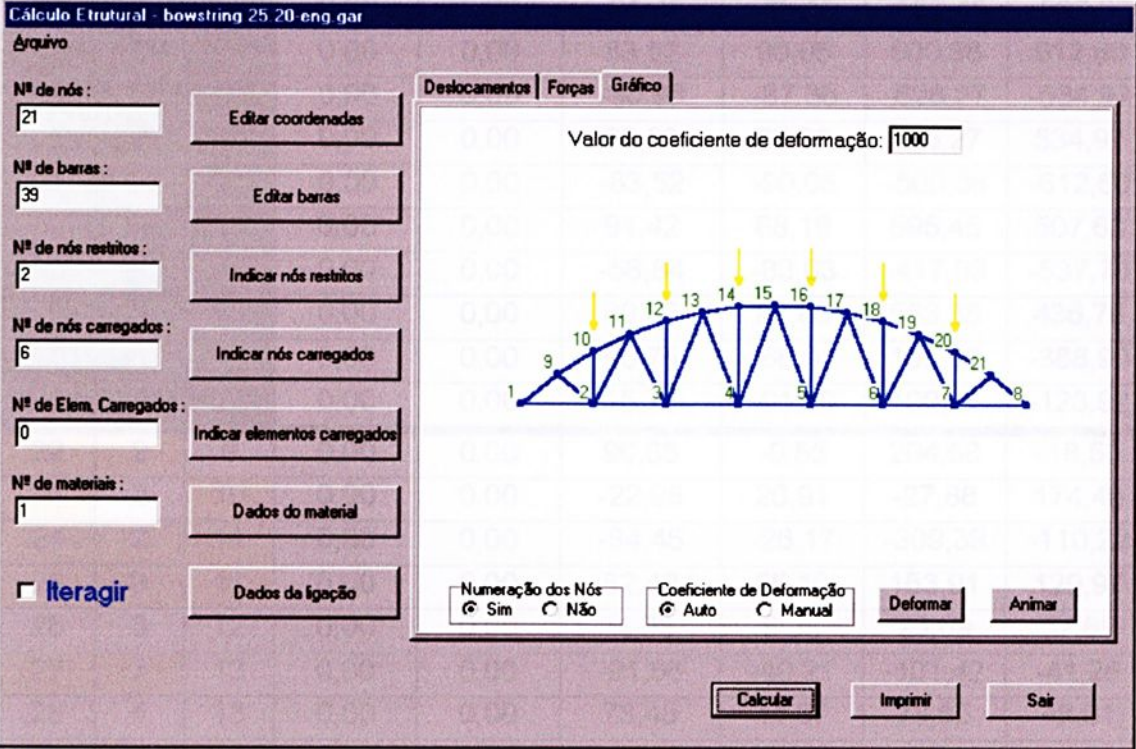


Figura 8.4: Estrutura Bowstring, L=25,20 m

Tabela 8.7: Valores dos Momentos Solicitantes nos Elementos, L=25,20 m

barra	Nó(i)	Nó(j)	Rotulada		Semi-Rígida		Engastada	
			nó "i"	nó "j"	nó "i"	Nó "j"	nó "i"	nó "j"
1	1	2	0,00	0,00	15,76	90,77	100,91	391,79
2	2	3	0,00	0,00	-73,98	76,31	-259,10	-13,50
3	3	4	0,00	0,00	-65,80	62,01	-64,07	60,70
4	4	5	0,00	0,00	-59,34	59,34	-60,88	60,88
5	6	5	0,00	0,00	65,80	-62,01	64,07	-60,70
6	7	6	0,00	0,00	-73,98	-76,31	259,10	13,50
7	8	7	0,00	0,00	-15,76	-90,77	-100,91	-391,79
8	1	9	0,00	0,00	-15,76	91,30	-100,91	123,92
9	9	10	0,00	0,00	-90,75	68,91	-105,39	388,90
10	10	11	0,00	0,00	-89,83	-87,86	-563,38	-436,78

11	11	12	0,00	0,00	58,84	83,03	417,03	537,76
12	12	13	0,00	0,00	-91,42	-88,19	-595,45	-507,63
13	13	14	0,00	0,00	83,52	90,05	500,38	612,60
14	14	15	0,00	0,00	-90,98	-87,36	-626,27	-534,97
15	15	16	0,00	0,00	90,98	87,36	626,27	534,97
16	16	17	0,00	0,00	-83,52	-90,05	-500,38	-612,60
17	17	18	0,00	0,00	91,42	88,19	595,45	507,63
18	18	19	0,00	0,00	-58,84	-83,03	-417,03	-537,76
19	19	20	0,00	0,00	89,83	87,86	563,38	436,78
20	20	21	0,00	0,00	90,75	-68,91	105,39	-388,90
21	8	21	0,00	0,00	15,76	-91,30	100,91	-123,92
22	2	9	0,00	0,00	90,65	-0,55	204,58	-18,53
23	2	10	0,00	0,00	-22,98	20,91	-27,88	174,48
24	2	11	0,00	0,00	-84,45	-26,17	-309,39	-110,22
25	3	11	0,00	0,00	82,42	55,19	153,91	129,97
26	3	12	0,00	0,00	-1,25	8,38	25,09	57,68
27	3	13	0,00	0,00	-91,66	-40,21	-101,42	-41,26
28	4	13	0,00	0,00	78,45	44,87	78,55	48,51
29	4	14	0,00	0,00	-2,075	0,92	2,54	13,66
30	4	15	0,00	0,00	-79,04	-38,83	-80,91	-39,66
31	5	15	0,00	0,00	79,04	38,83	80,91	39,66
32	5	16	0,00	0,00	2,075	-0,92	-2,54	-13,66
33	5	17	0,00	0,00	-78,45	-44,87	-78,55	-48,51
34	6	17	0,00	0,00	91,66	40,21	101,42	41,26
35	6	18	0,00	0,00	1,25	-8,38	-25,09	-57,68
36	6	19	0,00	0,00	-82,42	-55,19	-153,91	-129,97
37	7	19	0,00	0,00	84,45	26,17	309,39	110,22
38	7	20	0,00	0,00	22,98	-20,91	27,88	-174,48
39	7	21	0,00	0,00	-90,65	0,55	-204,58	18,53

Tabela 8.8: Valor do Deslocamento no Meio do Vão, L=25,20 m

Nó	Rotulada	Semi-Rígida	Engastada
4	-3,9643	-3,9637	-3,9627

8.2.5. Estrutura Fink.

Esta estrutura é utilizada da mesma maneira que a estrutura Howe, ficando a escolha de uma delas a critério do projetista. A figura 8.5.a, mostra a geometria e o carregamento da estrutura Fink, com um vão de 10,80 m analisada nesse caso, sendo que, excepcionalmente, para esta estrutura, foi aplicada uma carga concentrada no centro da mesma.

Os valores dos momentos solicitantes, bem como o deslocamento no meio do vão, estão apresentados nas tabelas 8.9 e 8.10, respectivamente.

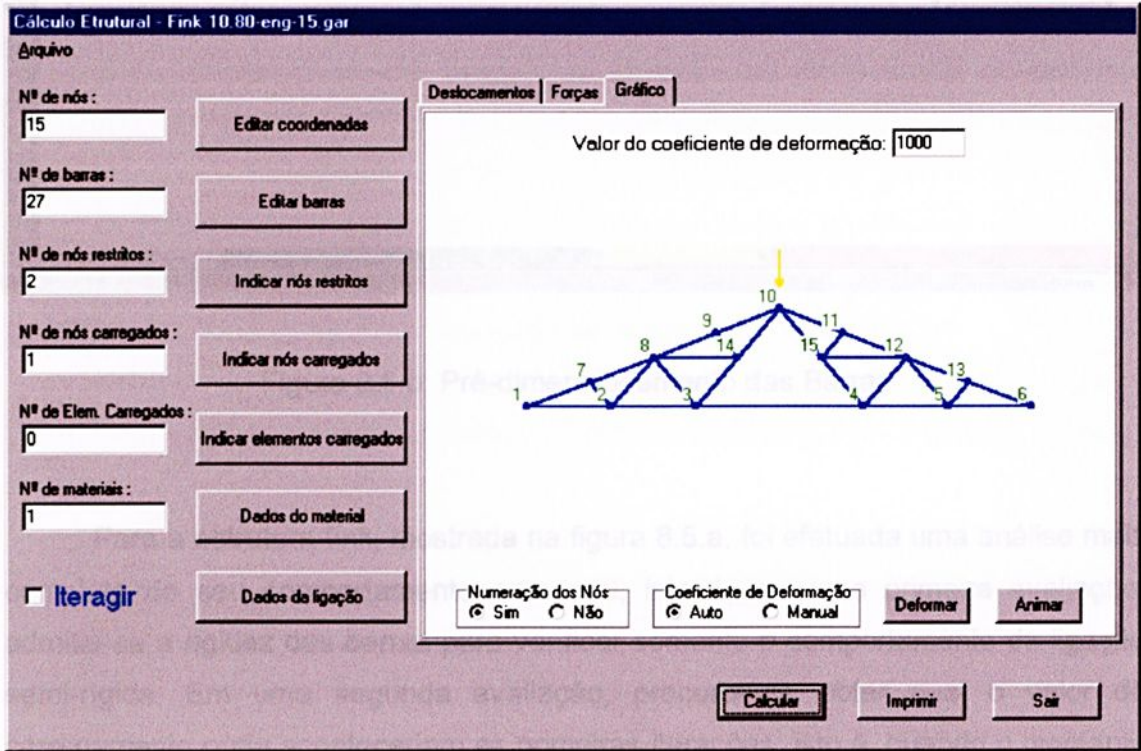


Figura 8.5.a: Estrutura Fink, L=10,80 m



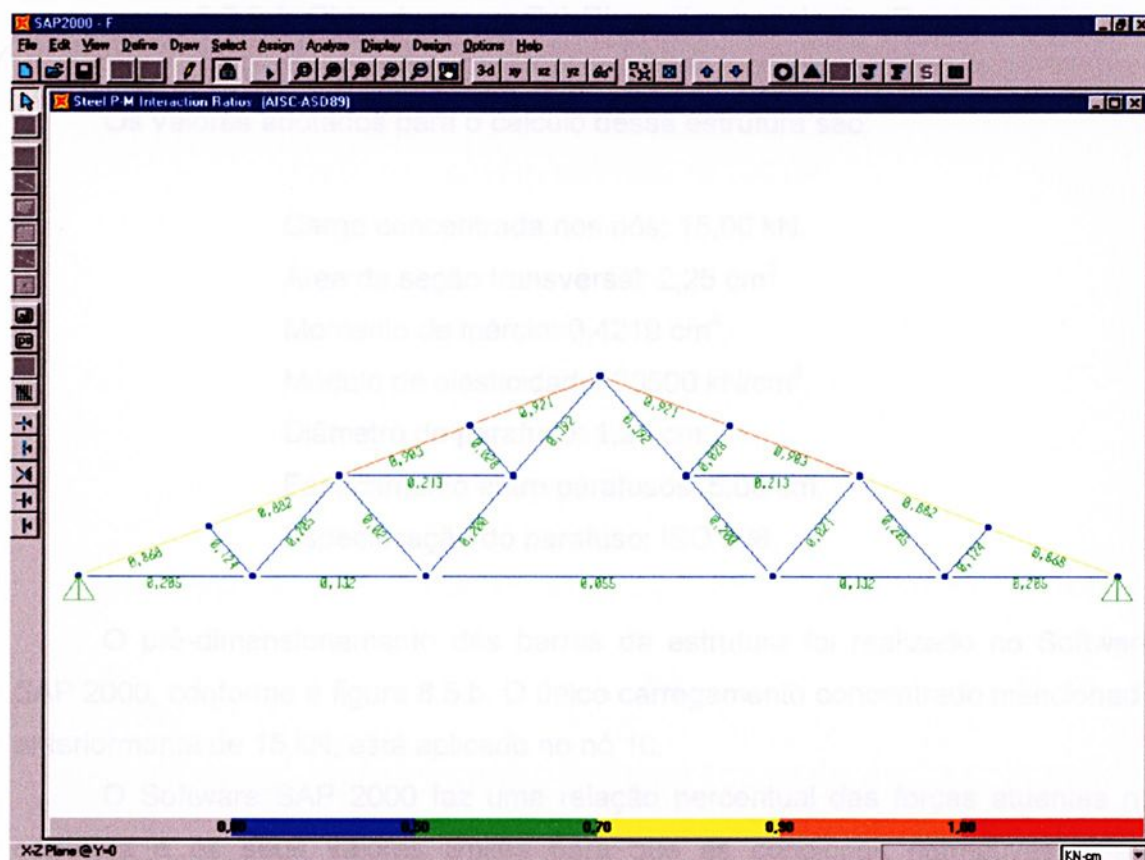


Figura 8.5.b: Pré-dimensionamento das Barras

Para a estrutura fink, mostrada na figura 8.5.a, foi efetuada uma análise mais completa do seu comportamento estrutural, isto é, em uma primeira avaliação, admitiu-se a rigidez das barras para verificar somente o comportamento da ligação semi-rígida. Em uma segunda avaliação, procurou-se obter qual o valor do carregamento onde aconteceriam as primeiras iterações, isto é, quando o momento solicitante em qualquer ligação, atingisse o momento resistente da ligação parafusada. Posteriormente, numa terceira avaliação, admitiu-se um valor de carga superior às anteriores para que houvesse as devidas iterações e, conseqüentemente, as distribuições dos momentos. Os valores das cargas para as três situações descritas anteriormente foram de 15, 300, 700 kN, respectivamente.

8.2.5.1. Obtendo-se um Pré-Dimensionamento das Barras.

Os valores adotados para o cálculo dessa estrutura são:

Carga concentrada nos nós: 15,00 kN.

Área da seção transversal: 2,25 cm².

Momento de inércia: 0,4219 cm⁴.

Módulo de elasticidade: 20500 kN/cm².

Diâmetro do parafuso: 1,27 cm.

Espaçamento entre parafusos: 5,00 cm.

Especificação do parafuso: ISO 898.

O pré-dimensionamento das barras da estrutura foi realizado no Software SAP 2000, conforme a figura 8.5.b. O único carregamento concentrado mencionado anteriormente de 15 kN, está aplicado no nó 10.

O Software SAP 2000 faz uma relação percentual das forças atuantes na estrutura e os seus valores limites para que as condições normativas sejam satisfeitas, sendo o valor 1, o coeficiente de solicitação máxima.

No caso da estrutura Fink, mostrada na figura 8.5.b, pode-se verificar que o banzo superior está próximo de atingir o limite de resistência para os elementos da estrutura.

Observou-se que, após o processamento da estrutura, não se verificou nenhuma iteração, pois o valor do momento resistente foi bem superior aos valores dos momentos solicitantes nas barras.

8.2.5.2. Sem Obter um Pré-Dimensionamento das Barras.

Para se obter o processo de redistribuição entre os momentos que atuam na estrutura em função da ligação semi-rígida, admitiu-se um valor para a rigidez das barras na estrutura e aplicou-se também um valor de carga compatível para iniciar-se esse processo iterativo.

Os valores adotados para o cálculo dessa estrutura são:

Carga concentrada nos nós: 700,00 kN.

Área da seção transversal: 2,25 cm².

Momento de inércia: 0,4219 cm⁴.

Módulo de elasticidade: 20500 kN/cm².

Diâmetro do parafuso: 1,27 cm.

Espaçamento entre parafusos: 5,00 cm.

Especificação do parafuso: ISO 898.

Tabela 8.9: Valores dos Momentos Solicitantes nos Elementos, L=10,80 m

barra	Nó(i)	Nó(j)	Rotulada		Semi-Rígida		Engastada	
			nó "i"	nó "j"	Nó "i"	nó "j"	nó "i"	Nó "j"
1	1	2	0,00	0,00	-1,95	62,55	-1,09	81,14
2	2	3	0,00	0,00	-52,95	-19,25	-55,11	-23,05
3	3	4	0,00	0,00	-19,52	19,52	-19,77	19,77
4	5	4	0,00	0,00	52,95	19,25	55,11	23,05
5	6	5	0,00	0,00	1,95	-62,55	1,09	-81,14
6	1	7	0,00	0,00	1,95	62,15	1,09	82,24
7	7	8	0,00	0,00	-61,96	-21,17	-91,06	-35,93
8	8	9	0,00	0,00	35,42	61,80	55,74	108,62
9	9	10	0,00	0,00	-59,90	-62,04	-113,73	-111,71
10	11	10	0,00	0,00	59,90	62,04	113,73	111,71
11	12	11	0,00	0,00	-35,42	-61,80	-55,74	-108,62
12	13	12	0,00	0,00	61,96	21,17	91,06	35,93
13	6	13	0,00	0,00	-1,95	-62,15	-1,09	-82,24
14	2	7	0,00	0,00	51,98	-0,19	52,91	8,91
15	2	8	0,00	0,00	-61,57	-34,31	-78,95	-43,26
16	3	8	0,00	0,00	7,24	-1,14	1,60	-4,42
17	8	14	0,00	0,00	21,21	52,30	27,88	67,89
18	9	14	0,00	0,00	-1,90	-45,10	5,11	-1,48
19	3	14	0,00	0,00	31,54	54,96	41,23	87,27
20	10	14	0,00	0,00	-61,24	-62,16	-148,26	-153,68
21	10	15	0,00	0,00	61,24	62,16	148,26	153,68
22	4	15	0,00	0,00	-31,54	-54,96	-41,23	-87,27



23	11	15	0,00	0,00	1,90	45,10	-5,11	1,48
24	12	15	0,00	0,00	-21,21	-52,30	-27,88	-67,89
25	4	12	0,00	0,00	-7,24	1,14	-1,60	4,42
26	5	12	0,00	0,00	61,57	34,31	78,95	43,26
27	5	13	0,00	0,00	-51,98	0,19	-52,91	-8,91

Tabela 8.10: Valor do Deslocamento no Meio do Vão, L=10,80 m

Nó	Rotulada	Semi-Rígida	Engastada
3	-3,3467	-3,2350	-3,1580

9. COMENTÁRIOS FINAIS E CONCLUSÕES

No item 8.2.5, a máxima carga para que a estrutura Fink verifique o dimensionamento para as barras, foi de 15 kN; neste caso não houve iteração. Isso acontece devido ao fato de que o momento resistente é muito superior ao momento solicitante, aproximadamente vinte vezes.

Portanto, a conclusão primordial a que se pode chegar da análise do comportamento das ligações semi-rígidas, é que a mesma só tem uma influência significativa para estruturas de grande porte, pois a variação do momento para estruturas de pequenos vãos, como por exemplo as estruturas de coberturas utilizadas no capítulo 8, não terão grande significativa em termos de dimensionamento e de custo. Porém, em termos percentuais, dependendo da configuração da estrutura, pode-se chegar a uma variação de até 40% ou mais, do momento aplicado nos extremos de certos elementos.

Como foi dito no capítulo 8, a estrutura Howe do item 8.2.1 foi processada com três distâncias entre apoios com o propósito de se relacionar a rigidez global da estrutura e a redistribuição dos esforços nos elementos. A primeira estrutura Howe é a menor, com 10,80 m, portanto a mais rígida; a última estrutura Howe é a maior, com 32,40 m, portanto a menos rígida, ficando assim a segunda estrutura Howe com 21,60 m, com uma rigidez global intermediária.

Para a estrutura Howe com 10,80 m de vão, não houve uma redistribuição significativa, sendo que apenas as ligações próximas aos apoios sofreram iterações, transferindo os momentos às ligações vizinhas, como mostrado em destaque na figura 9.1, podendo assim, considerar todas as ligações rígidas.

Aumentando-se o vão da estrutura para 21,60 m e mantendo-se as mesmas características topológicas e geométricas, nota-se que as iterações afetam um número maior de ligações do que aquelas observadas na estrutura Howe, com um vão de 10,80 m. Assim, para a estrutura Howe com um vão de 32,40 m, já observa-se uma quantidade significativa de ligações alteradas quanto ao momento fletor; logo, a rigidez global da estrutura está diretamente ligada à redistribuição dos esforços na estrutura.

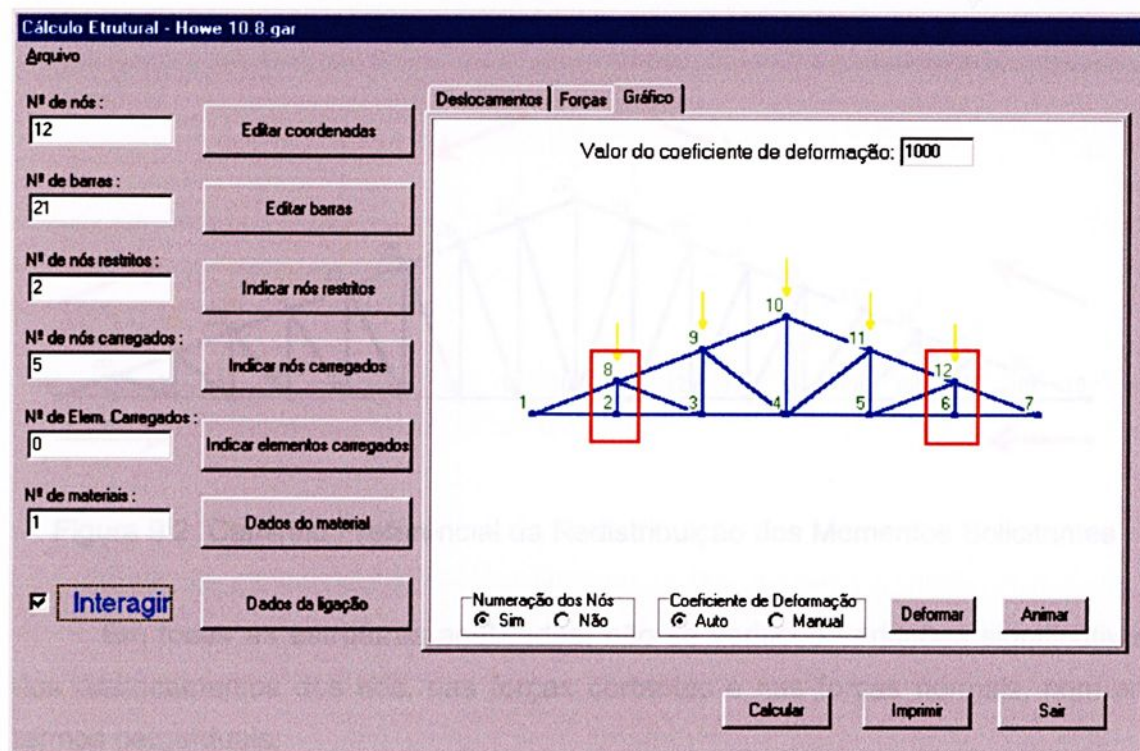


Figura 9.1: Redistribuição dos Momentos Para a Estrutura Howe, $L=10,80$

Foi utilizado o terceiro exemplo do item 8.2.1 para exemplificar o comportamento da redistribuição de uma estrutura, no qual se verificou que a mesma se dá do nós mais próximos do apoio para o centro da estrutura e do centro da estrutura para os apoios, figura 9.2. Também foi observado que é possível se fazer uma previsão das prováveis ligações que terão seus coeficientes alterados, através da análise do comportamento dos esforços nas barras, pois as barras mais solicitadas, serão as primeiras a terem os coeficientes de rigidez dos dois extremos alterados.

Para exemplificar tal conclusão, foi utilizada a estrutura Pratt do item 8.2.3, na qual a mesma foi processada no software SAP 2000 e o gráfico dos esforços solicitante apresentado em várias cores como mostrado na figura 8.3.b. Ao processar a mesma estrutura no programa desenvolvido no presente trabalho, observa-se que as ligações alteradas pertencem àquelas que estão em vermelho, figura 8.3.b.

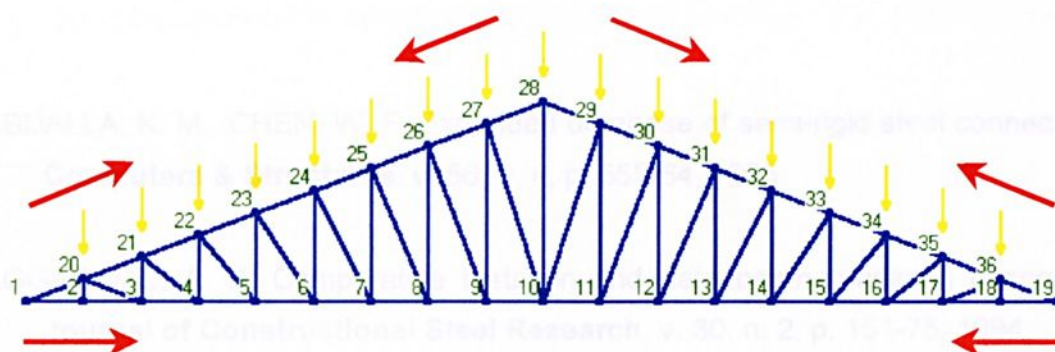


Figura 9.2: Caminho Preferencial da Redistribuição dos Momentos Solicitantes

Em todas as estruturas analisadas, não se verificou variações significativas dos deslocamentos dos nós, nas forças cortantes e nas forças normais, nem em termos percentuais.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDALLA, K. M., CHEN, W. F. Expanded database of semi-rigid steel connections. **Computers & Structures**, v. 56, n. 4, p. 553-64, 1995.
- AGGARWAL, A. K. Comparative tests on end-plate beam-to-column connection. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 30, n. 2, p. 151-75, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto e execução de estruturas de aço em edifícios**: NBR 8800. Rio de Janeiro, 1996.
- BAHAARI, M. R., SHERBOURNE, A. N. Computer modeling of an extended end-plate bolted connection. **Computer & Structures**, v. 52, n. 5, p. 879-93, 1994.
- BARAKTA, M., CHEN, W. F. Design analysis of semi-rigid frames: evaluation and implementation. **Engineering Journal - American Institute of Steel Construction**, v. 28, n. 2, p. 55-64, 1991.
- BARSAN, G. M., CHIOREAN, C. G. Computer program for large deflection elastoplastic analysis of semi-rigid steel frameworks. **Computers & Structures**, v. 72, n. 6, p. 669-711, 1999.
- BJORHOVDE, R., COLSON, A., BROZZETTI, J. Classification system for beam to-column connections. **Journal of the Structure Division**, v. 116, n. ST11, p. 3059-76, 1990.
- CARVALHO, L. C. V., ANDRADE, S. A. L., VELLASCO, P. C. G. S. Experimental analysis of bolted semi-rigid steel connections. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 46, n.1/3, p. 238-40, 1998.
- CHEN, W. F., GOTO, Y., LIEW J. Y. **Stability design of semi-rigid frames**. New York: J. Wiley, 1996. 468 p.

- CHEN, W. F., KISHI, N. Semi-rigid steel beam-to-column connections: data base and modeling. **Journal of Structural Engineering**, v. 115, n. 1, p. 105-19, 1989.
- CHISTOPHER, J. E., BJORHOVDE, R. Semi-rigid frame design methods for practicing engineers. **Engineering Journal - American Institute of Steel Construction**, v. 36, n. 1, p. 12-28, 1999.
- COLSON, A. Theoretical modeling of semi-rigid connections behavior. **Journal of Constructional of Steel Research**, n. 19, p. 213-24, 1991.
- DEIERLEIN, G. G. An inelastic analysis and design system for steel frames with partially restrained connections. In: _____. **Connections steel structures II: behavior, strength and design**. Chicago: AISC, 1992. p. 408-15.
- DESTEFANO, M., DELUCA, A., ASTANEHASL, A. Modeling of cyclic moment-rotation response of double-angle connections. **Journal of Structural Engineering-ASCE**, v. 120, n. 1, p. 212-29, 1994.
- DHILLON, B. S., O'MALLEY, J. W. Interactive design of semi-rigid steel frames. **Journal of Structural Engineering-ASCE**, v. 125, n. 5, p. 556-6, 1999.
- FAELLA, C., PILUSO, V., RIZZANO, G. A new method to design extended end plate connection and semi-rigid braced frames. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 41, n. 1, p. 61-91, 1997.
- FAKURY, R. H., MONTEIRO, R. C., MAIA, E. V., QUEIROZ, G. Análise de estruturas de aço com ligações semi-rígidas. CONGRESSO IBERO LATINO-AMERICANO DE MÉTODOS COMPUTACIONAIS PARA ENGENHARIA, 18, 1997, Brasília. **Anais...** Brasília: UNB, 1997. v. 1, p. 31-8.
- FRYE, M. J., MORRIS, G. A. Analysis of flexibly connected frames. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 2, n.3, p. 280-91, 1975.



- FU, H. C., SECKIN, M. Rigidity evaluation of wooden warren truss connections. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON TIMBER ENGINEERING, 1988, s.l.: R. Y. Itani, 1988. v. 2, p. 121-30.
- GOTO, Y., MIYASHITA, S. Validity of classification systems of semi-rigid connections. **Engineering Structures**, v. 17, n. 8, p. 544-53, 1995.
- GOTO, Y., MIYASHITA, S. Classification system for rigid and semi-rigid connections. **Journal of Structural Engineering-ASCE**, v. 124, n. 7, p. 750-7, 1998.
- GOTO, Y., SUZUKI, S., CHEN, W. F. Stability behavior of semi-rigid sway frames. **Engineering Structures**, v. 15, n. 3, p. 209-19, 1993.
- GRUPTA, R., GEBREMEDHIN, K. G., COOKE, J. R. Analysis of metal plate connected wood trusses with semi-rigid joints. **American Society of Agricultural Engineers**, v. 35, n. 3, p. 1011-8, 1992.
- JOHNSTON, B. G.; MOUNT, E. H. Analysis of building frames with semi-rigid connections. **Translations, ASCE**, v. 107, p. 993-1019, 1942.
- JONES, S. W., KIRBY, P. A., NETHERCOT, D. A. Effect of semi-rigid connections on steel column strength. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 1, n. 1, p. 38-46, 1980.
- KIM, S. E., CHEN, W. F. Practical advanced analysis for semi-rigid frame design. **Engineering Journal**, v. 33, n. 4, p. 129-41, 1996.
- KING, W. S. The limit loads of steel semi-rigid frames analyzed with different methods. **Computers & Structures**, v. 51, n. 5, p. 475-87, 1994.
- KISHI, N., HASAN, R., CHEN, W. F., GOTO, Y. Study of Eurocode 3 steel connection classification. **Engineering Structures**, v. 19, n. 9, p. 772-9, 1997.



- KRISHNAMURTHY, N., HUANG, H. T., JEFFREY, P. K. Analytical M- θ curves for end-plate connections. **Journal of Structural Division**, n. 105, ST1 p. 133-45, 1979.
- LAU, P. W. C. Factors affecting the behavior and modeling of toothed metal plate joints. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 14, n. 2, p. 183-95, 1987.
- LAU, S. M., KIRBY, P. A., DAVISON, J. B. Semi-rigid design of partially restrained columns in non-sway steel frames. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 50, n. 3, p. 305-28, 1999.
- LI, G. Q., MATIVO, J. Approximate estimation of the maximum load of semi-rigid steel frames. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 54, n. 2, p. 213-25, 2000.
- LIEW, J. Y. R., WRITE, D. W., CHEN, W. F. Limits states design of semi-rigid frames using advanced analysis .1- Connection modeling and classification. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 26, n. 1, p. 1-27, 1993.
- LIGHTFOOT, E., BARKER, A. R. The analysis of steel frames with elastic beam-column connections. In: CONGRESS SYMPOSIUM ON THE DESIGN OF BUILDING, 1961, Hong Kong. **Congress...** Hong Kong: Hong Kong University Press, 1961. p. 205-17.
- LOTHERS, J. E. Elastic restrain equations for semi-rigid connections. **Translations, ASCE**, v. 116, p. 480-94. 1951.
- MARAGHECHI, K., ITANI, R. Y. Influence of truss plate connectors on the analysis of light frame structures. **Wood Fiber Science**, v. 16, n. 3, p. 306-22, 1984.
- MONFORTON, G. R., WU, T. S. Matrix Analysis of semi-rigid connected frames. **Journal of the Structural Division**, v. 87, n. ST6, p. 13-42. 1963.

- NETHERCOT, D. A., LI, T. Q., AHMED, B. Unified classification system for beam-column connection. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 45, n. 1, p. 39-65, 1998.
- POGGI, C., ZANDONINI, R. A. A finite element method for the analysis of semi-rigid frames. In: BJORHOVDE, R., BROZZETI, J. COLSON, A. (Eds.) **Connection in steel structure**. London: Elsevier, 1987. p. 33-40.
- RATHBUN, J. C. Elastic proprieties of riveted connections. **Translations, ASCE**, v. 101, p. 524-63, 1936.
- RIBEIRO, L. F. L. **Comportamento estrutural de ligações viga-coluna com chapa de topo**: análise teórico experimental. São Carlos: EESC, 1997. (Relatório final apresentado à FAPESP).
- RILEY, G., GEBREMEDHIN, K. G., COOKE, J. R. Semi-rigid analysis of metal plate-connection wood trusses using fictitious members. **Transactions of the ASAE**, v. 36, n. 3, p. 887-94. 1993.
- SANTOS, L. B. **Influência da rigidez das ligações em estruturas de aço**. São Carlos, 1998. 171 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SASAKI, Y. S., MIURA, S., TAKEMURA, T. Non linear analysis of semi-rigid jointed metal plate wood truss. **Journal of the Japanese Wood Research Society**, v. 34, n. 2, p. 120-5, 1988.
- SHI, Y. J., CHAN, S. L., WONG, Y. L. Modeling for moment-rotation characteristics for end-plate connections. **Journal of Structural Engineering-ASCE**, v. 122, n. 11, p. 1300-6, 1996.
- SHOROCHNIKOFF, B. Wind stresses in semi-rigid connections of steel framework. **Transactions, ASCE**, v. 115, p. 382-95, 1950.



- SIBAI, W. A., FREY, F. New semi-rigid joints elements for nonlinear-analysis of flexibly connected frames. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 25, n. 3, p.185-99, 1993.
- SMITSES, G. J., VLAHINOS, A. S. Stability analysis of a semi-rigid connected simple frame. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 2, n. 3, p 29-32. 1982.
- TINLOI, F., VIMONSATIT, V. Nonlinear analysis of semi-rigid frames: A parametric complementarity approach. **Engineering Structures**, v. 18, n. 2, p. 115-24, 1996.
- WEAVER, W. W., GERE, J. M. **Matrix analysis of framed structures**. New York: Van Nostrand Reinhold Companu, 1986. 492 p.
- ZHAO, X. L., LIM, P., JOSEPH, P., PI, Y. L. Member capacity of columns with semi-rigid end conditions in Oktalok space frames. **Structural Engineering and Mechanics**, v. 10, n. 1, p. 27-36, 2000.
- CORNELL, G., STRAIN, T. **Drift: segredos e soluções**. São Paulo: Makron Books, 1995. 275 p.
- CHINNICHAM, R. Some aspects of semi-rigid connections in structural steelwork. **The Structural Engineer**, v. 68, n. 5, p. 55-57, 1990.
- CRISFLE, K. H. Effect of connections on frames. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 10, p. 341-57, 1989.
- GOMES, F. G. Z., NEVES, L. F. G. Influence of semi-rigid connections on the behavior of frames. Classification of connections. **INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON STRUCTURAL STABILITY**, 3, 1996. Rio de Janeiro: Proceeding, RIO de Janeiro COPPE, p. 121-30, 1996.



11. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ATAMAZ SIBAI, W., FREY, F. New semi-rigid joint elements for non-linear analysis of flexibly connected frames. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 25, n. 3, p. 185-99, 1993.
- AZIZINAMINI, A., BRADBURN, J. H., RADZIMINSKI, J. B. Initial stiffness of semi-rigid steel beam-to-column connections. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 8, p. 71-90, 1987.
- BATHE, K. J. **Finite element procedures**. New Jersey: Prentice-Hall, 1996. 1037 p.
- CANTÚ, M. **Dominando o Delphi 4: "a bíblia"**. São Paulo: Makron Books, 1998. 967 p.
- CARNAHAN, B., LUTHER, H. A., WILKES, J. O. **Applied numerical methods**. New York: J. Wiley, 1960. 604 p.
- CORNELL, G., STRAIN, T. **Delphi: segredos e soluções**. São Paulo: Makron Books, 1995. 376 p.
- CUNNINGHAM, R. Some aspects of semi-rigid connections in structural steelwork. **The Structural Engineer**, v. 68, n. 5, p. 85-92, 1990.
- GERSTLE, K. H. Effect of connections on frames. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 10. p. 241-67, 1988.
- GOMES, F. C. T., NEVES, L. F. C. Influence of semi-rigid connections on the behavior of frames. Classification of connections. **INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON STRUCTURAL STABILITY**, 5, 1996, Rio de Janeiro. **Proceeding...** Rio de Janeiro: COPPE, p. 121-30, 1996.



- IVANYI, M. Full-scale tests of steel frames with semi-rigid connections. **Engineering Structures**, v. 22, n. 2, p. 168-79, 2000.
- JONES, S. W., KIRBY, P. A., NETHERCOT, D. A. The analysis of frames with semi-rigid connections - A state-of-the-art-report. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 3, n. 2, p. 2-13, 1983.
- KATTNER, M., CHEN, W. F. finite element modeling of semi-rigid composite joints. **Computers & Structures**, v. 78, n. 1-3, p. 341-53, 2000.
- LEÃO, M. **Delphi 5: curso completo**. Rio do Janeiro: Axcel, 2000. 1556 p.
- LUI E., CHEN W. F. Behavior of braced and unbraced semi-rigid frames. **International Journal of Solids and Structure**, v. 24, n. 9, p. 893-913, 1988.
- MANN, A. P.; MORRIS, L. J. Limit design of extended end-plate connections. **Journal of Structural Division**, v. 105, n. 3, p. 511-28, 1979.
- NETHERCOT, D. A. Stability connections: their interaction as it affects the behavior and design of steel frames. INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON STRUCTURAL STABILITY, 5, 1996, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 1996. p. 95-108.
- RODRIGUES, F. C., SALDANHA, A. C., PFEIL, M. S. Non linear analysis of steel plane frames with semi-rigid connections. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 46, n. 1-3, Paper n. 145, 1998.
- SAVASSI, W. **Introdução ao método dos elementos finitos: em análise linear de estruturas**. São Carlos: EESC-USP, 1996. 260 p.
- SHI, Y. J., CHAN, S. L., WONG, Y. L. Proceedings of the Engineering Foundation Conference, 1997. p. 849-57.



- STARK, J. W. B., BIJLAARD, F. S. K. Structural properties of connections in steel frames. In: BJORHOVDE, R., BROZZETTI, J., COLSON, A. (Eds). **Connections in Steel Structures**. London: Elsevier, 1988. p. 186-94.
- SONNINO, B. **Desenvolvimento e aplicações com Delphi 5**. São Paulo: Makron Books, 1999. 320 p.
- TAGUTI, Y. **Sobre a não-linearidade geométrica em treliças, pórticos e placas**. São Paulo, 1987. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- TAN, S. H., SOH, A. K., ONG, L. S. Subassemblage with semi-rigid joint. **Computers & Structures**, v. 57, n. 2, p. 357-60, 1995.
- WONG, M. B., TIN-LOI, F. Geometrically non-linear analysis of elastic framed structures. **Computers & Structures**, v. 34, n. 4, p. 663-40. 1990.
- WU, F. H., CHEN, W. F. A design model for semi-rigid connections. **Engineering Structures**, v. 12, n. 2, p. 88-97, 1990.



ANEXO A: Lógica do Programa em Linguagem Delphi

Apresenta-se, a seguir, a lógica do programa, através da qual o mesmo foi desenvolvido em linguagem de programação Delphi e propõe-se efetuar a análise estrutural com ligação semi-rígida.

Gracias à complexidade dessa linguagem de programação, foi possível realizar um programa totalmente visual com os mais variados recursos de animação e melhoramentos, que vão desde a animação da deformação, até o emprego do gráfico de estrutura, para uma melhor visualização de todos os fenômenos que ocorrem em cada etapa, até o ponto em que os fenômenos se tornam mais complexos e difíceis de serem compreendidos.

ANEXOS

```
Unit Unit1;

Interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs, StdCtrls, Menus;

type
  TForm1 = class(TForm)
    Button1: TButton;
    Button2: TButton;
    Button3: TButton;
    Button4: TButton;
    Button5: TButton;
    Button6: TButton;
    Button7: TButton;
    Button8: TButton;
    Button9: TButton;
    Button10: TButton;
    Button11: TButton;
    Button12: TButton;
    Button13: TButton;
    Button14: TButton;
    Button15: TButton;
    Button16: TButton;
    Button17: TButton;
    Button18: TButton;
    Button19: TButton;
    Button20: TButton;
    Button21: TButton;
    Button22: TButton;
    Button23: TButton;
    Button24: TButton;
    Button25: TButton;
    Button26: TButton;
    Button27: TButton;
    Button28: TButton;
    Button29: TButton;
    Button30: TButton;
    Button31: TButton;
    Button32: TButton;
    Button33: TButton;
    Button34: TButton;
    Button35: TButton;
    Button36: TButton;
    Button37: TButton;
    Button38: TButton;
    Button39: TButton;
    Button40: TButton;
    Button41: TButton;
    Button42: TButton;
    Button43: TButton;
    Button44: TButton;
    Button45: TButton;
    Button46: TButton;
    Button47: TButton;
    Button48: TButton;
    Button49: TButton;
    Button50: TButton;
    Button51: TButton;
    Button52: TButton;
    Button53: TButton;
    Button54: TButton;
    Button55: TButton;
    Button56: TButton;
    Button57: TButton;
    Button58: TButton;
    Button59: TButton;
    Button60: TButton;
    Button61: TButton;
    Button62: TButton;
    Button63: TButton;
    Button64: TButton;
    Button65: TButton;
    Button66: TButton;
    Button67: TButton;
    Button68: TButton;
    Button69: TButton;
    Button70: TButton;
    Button71: TButton;
    Button72: TButton;
    Button73: TButton;
    Button74: TButton;
    Button75: TButton;
    Button76: TButton;
    Button77: TButton;
    Button78: TButton;
    Button79: TButton;
    Button80: TButton;
    Button81: TButton;
    Button82: TButton;
    Button83: TButton;
    Button84: TButton;
    Button85: TButton;
    Button86: TButton;
    Button87: TButton;
    Button88: TButton;
    Button89: TButton;
    Button90: TButton;
    Button91: TButton;
    Button92: TButton;
    Button93: TButton;
    Button94: TButton;
    Button95: TButton;
    Button96: TButton;
    Button97: TButton;
    Button98: TButton;
    Button99: TButton;
    Button100: TButton;
  end;

var
  Form1: TForm1;

implementation

{$R *.res}

procedure TForm1.Button1Click;
begin
  // ...
end;
```

```
Unit Unit2;

Interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs, StdCtrls, Menus;

type
  TForm2 = class(TForm)
    Button1: TButton;
    Button2: TButton;
    Button3: TButton;
    Button4: TButton;
    Button5: TButton;
    Button6: TButton;
    Button7: TButton;
    Button8: TButton;
    Button9: TButton;
    Button10: TButton;
    Button11: TButton;
    Button12: TButton;
    Button13: TButton;
    Button14: TButton;
    Button15: TButton;
    Button16: TButton;
    Button17: TButton;
    Button18: TButton;
    Button19: TButton;
    Button20: TButton;
    Button21: TButton;
    Button22: TButton;
    Button23: TButton;
    Button24: TButton;
    Button25: TButton;
    Button26: TButton;
    Button27: TButton;
    Button28: TButton;
    Button29: TButton;
    Button30: TButton;
    Button31: TButton;
    Button32: TButton;
    Button33: TButton;
    Button34: TButton;
    Button35: TButton;
    Button36: TButton;
    Button37: TButton;
    Button38: TButton;
    Button39: TButton;
    Button40: TButton;
    Button41: TButton;
    Button42: TButton;
    Button43: TButton;
    Button44: TButton;
    Button45: TButton;
    Button46: TButton;
    Button47: TButton;
    Button48: TButton;
    Button49: TButton;
    Button50: TButton;
    Button51: TButton;
    Button52: TButton;
    Button53: TButton;
    Button54: TButton;
    Button55: TButton;
    Button56: TButton;
    Button57: TButton;
    Button58: TButton;
    Button59: TButton;
    Button60: TButton;
    Button61: TButton;
    Button62: TButton;
    Button63: TButton;
    Button64: TButton;
    Button65: TButton;
    Button66: TButton;
    Button67: TButton;
    Button68: TButton;
    Button69: TButton;
    Button70: TButton;
    Button71: TButton;
    Button72: TButton;
    Button73: TButton;
    Button74: TButton;
    Button75: TButton;
    Button76: TButton;
    Button77: TButton;
    Button78: TButton;
    Button79: TButton;
    Button80: TButton;
    Button81: TButton;
    Button82: TButton;
    Button83: TButton;
    Button84: TButton;
    Button85: TButton;
    Button86: TButton;
    Button87: TButton;
    Button88: TButton;
    Button89: TButton;
    Button90: TButton;
    Button91: TButton;
    Button92: TButton;
    Button93: TButton;
    Button94: TButton;
    Button95: TButton;
    Button96: TButton;
    Button97: TButton;
    Button98: TButton;
    Button99: TButton;
    Button100: TButton;
  end;

var
  Form2: TForm2;

implementation

{$R *.res}

procedure TForm2.Button1Click;
begin
  // ...
end;
```


ANEXO A: Listagem do Programa em linguagem Delphi

Apresenta-se, a seguir, a listagem do programa, através da qual o mesmo foi desenvolvido em linguagem de programação Delphi e propiciou efetuar a análise estrutural com ligação semi-rígida.

Graças à complexidade dessa linguagem de programação, foi possível realizar um programa totalmente visual com os mais variados recursos de análises e incrementos, que vão, desde animação da deformada, até a ampliação do gráfico da estrutura, para uma melhor visualização. A rotina de programação subdivide-se em treze partes, nas quais cada "uni" é responsável por uma etapa de cálculo e/ou processamento de dados.

unit Unit 1;

```
interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics,
  Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, ExtCtrls;

type
  TForm1 = class(TForm)
    Button1: TButton;
    Edit1: TEdit;
    Label1: TLabel;
    Image1: TImage;
    Image2: TImage;
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  Form1: TForm1;
  a, b : integer;

implementation

uses Unit2, Unit3, Unit4, Unit5;

{$R *.DFM}

procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
begin
  if edit1.text = " then
  begin
    Form1.enabled:=false;
    Form5.show;
  end
  else
  if edit1.text = 'mestrado' then
  begin
    Form1.Hide;
    Form2.show;
  end
end
```

```
else
begin
  Form1.Enabled:=false;
  a:=a+1;
  if a = 4 then
  begin
    Form1.Close;
  end;
  Form3.Show;
  Form3.Label3.caption:=inttostr(4-a);
  if a = 3 then
  begin
    Form3.Label4.caption:='chance';
  end;
end;
end;
end.
```

unit Unit 2;

```
interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics,
  Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, Grids, Menus, ExtCtrls, Gauges, ComCtrls;

type
  TForm2 = class(TForm)
    Button1: TButton;
    Button2: TButton;
    Edit1: TEdit;
    Edit2: TEdit;
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Button3: TButton;
    MainMenu1: TMainMenu;
    Arquivo1: TMenuItem;
    Abrir2: TMenuItem;
    Novo1: TMenuItem;
    Salvar1: TMenuItem;
    OpenFileDialog1: TOpenDialog;
    SaveDialog1: TSaveDialog;
    Edit3: TEdit;
    Edit4: TEdit;
```

```

Edit5: TEdit;
Edit6: TEdit;
Label3: TLabel;
Button4: TButton;
Label4: TLabel;
Button5: TButton;
Button6: TButton;
Button7: TButton;
Button8: TButton;
Label5: TLabel;
Label7: TLabel;
Button9: TButton;
Label8: TLabel;
Timer1: TTimer;
Barra: TGauge;
PageControl1: TPageControl;
TabSheet1: TTabSheet;
TabSheet2: TTabSheet;
TabSheet3: TTabSheet;
Panel1: TPanel;
StringGrid1: TStringGrid;
Panel2: TPanel;
StringGrid2: TStringGrid;
Panel3: TPanel;
PrintDialog1: TPrintDialog;
Image1: TImage;
Image2: TImage;
Edit7: TEdit;
Label6: TLabel;
Button10: TButton;
Edit8: TEdit;
Edit9: TEdit;
Edit10: TEdit;
Edit11: TEdit;
Edit12: TEdit;
Edit13: TEdit;
Button11: TButton;
Timer2: TTimer;
RadioGroup1: TRadioGroup;
RadioGroup2: TRadioGroup;
Button12: TButton;
Edit14: TEdit;
Button13: TButton;
Memo1: TMemo;
Timer3: TTimer;
CheckBox1: TCheckBox;
CheckBox2: TCheckBox;
CheckBox3: TCheckBox;
CheckBox4: TCheckBox;
Interagir: TCheckBox;
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure Abrir2Click(Sender: TObject);
procedure Salvar1Click(Sender: TObject);
procedure Button3Click(Sender: TObject);
procedure Edit1KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure Edit1Change(Sender: TObject);
procedure Edit2KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure Edit3KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure Edit4KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure Edit5KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure Novo1Click(Sender: TObject);
procedure Button4Click(Sender: TObject);
procedure Button5Click(Sender: TObject);
procedure Button6Click(Sender: TObject);
procedure Button7Click(Sender: TObject);
procedure Edit6KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure Timer1Timer(Sender: TObject);

```

```

procedure Button9Click(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure Button8Click(Sender: TObject);
procedure TabSheet3Show(Sender: TObject);
procedure Button10Click(Sender: TObject);
procedure Button11Click(Sender: TObject);
procedure Timer2Timer(Sender: TObject);
procedure Edit7KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure Edit7Change(Sender: TObject);
procedure RadioGroup1Click(Sender: TObject);
procedure Image2Click(Sender: TObject);
procedure RadioGroup2Click(Sender: TObject);
procedure PageControl1Changing(Sender: TObject;
var AllowChange: Boolean);
procedure Button12Click(Sender: TObject);
procedure Button13Click(Sender: TObject);
procedure Timer3Timer(Sender: TObject);
private
{ Private declarations }
public
{ Public declarations }
end;

var
Form2: TForm2;

implementation

uses Unit1, Unit4, Unit6, Unit7, Unit8, Unit9, Unit10,
Unit11, Unit12, Printers,
Unit13;

{$R *.DFM}

procedure TForm2.Button1Click(Sender: TObject);
begin
Form4.show;
Form4.Button1.Enabled:=true;
form2.enabled:=false;
end;

procedure TForm2.Button2Click(Sender: TObject);
var
a : integer;
begin
form6.show;
form2.enabled:=false;
form6.StringGrid1.rowcount := (strtoint(form2.edit1.text)
+1);
form6.edit1.SetFocus;
for a := 1 To strtoint(edit1.text) do
begin
form6.stringgrid1.cells[0,a]:=inttostr(a);
end;
end;

procedure TForm2.Abrir2Click(Sender: TObject);
var
F: TextFile;
linha, Carac, Cnt : integer;
A0 : string[100];
begin
if (opendialog1.execute) then
begin
PageControl1.Enabled:=false;
PageControl1.ActivePage:=TabSheet1;
for Cnt:=1 to StringGrid1.RowCount-1 do
for linha:=0 to 3 do
StringGrid1.Cells[linha,Cnt]:="";
for Cnt:=1 to StringGrid2.RowCount-1 do
for linha:=0 to 3 do
StringGrid2.Cells[linha,Cnt]:="";
AssignFile(F,OpenDialog1.filename);

```



```

FileMode:=0;
Reset(F);
Readln(F,A0);
Cnt:=Pos(' ',A0);
Edit1.Text:=copy(A0,1,Cnt-1);
Carac:=Length(A0);
A0:=copy(A0,Cnt+1,Carac-Cnt);
Cnt:=Pos(' ',A0);
Edit2.Text:=Copy(A0,1,Cnt-1);
Carac:=Length(A0);
A0:=copy(A0,Cnt+1,Carac-Cnt);
Cnt:=Pos(' ',A0);
Edit3.Text:=Copy(A0,1,Cnt-1);
Carac:=Length(A0);
A0:=copy(A0,Cnt+1,Carac-Cnt);
Cnt:=Pos(' ',A0);
Edit4.Text:=Copy(A0,1,Cnt-1);
Carac:=Length(A0);
A0:=copy(A0,Cnt+1,Carac-Cnt);
Cnt:=Pos(' ',A0);
Edit5.Text:=Copy(A0,1,Cnt-1);
Carac:=Length(A0);
A0:=copy(A0,Cnt+1,Carac-Cnt);
Edit6.Text:=A0;
for linha:=1 to strtoint(edit1.text) do
begin
  Readln(F,A0);
  Cnt:=Pos(' ',A0);
  Form6.StringGrid1.Cells[1,linha]:=Copy(A0,1,Cnt-1);
  Carac:=Length(A0);
  A0:=copy(A0,Cnt+1,Carac-Cnt);
  Form6.StringGrid1.Cells[2,linha]:=A0;
end;
for linha:=1 to strtoint(edit2.text) do
begin
  Readln(F,A0);
  Cnt:=Pos(' ',A0);
  Form7.StringGrid1.Cells[1,linha]:=Copy(A0,1,Cnt-1);
  Carac:=Length(A0);
  A0:=copy(A0,Cnt+1,Carac-Cnt);
  Cnt:=Pos(' ',A0);
  Form7.StringGrid1.Cells[2,linha]:=Copy(A0,1,Cnt-1);
  Carac:=Length(A0);
  A0:=copy(A0,Cnt+1,Carac-Cnt);
  Cnt:=Pos(' ',A0);
  Form7.StringGrid1.Cells[3,linha]:=Copy(A0,1,Cnt-1);
  Carac:=Length(A0);
  A0:=copy(A0,Cnt+1,Carac-Cnt);
  Cnt:=Pos(' ',A0);
  Form7.StringGrid1.Cells[4,linha]:=Copy(A0,1,Cnt-1);
  Carac:=Length(A0);
  A0:=copy(A0,Cnt+1,Carac-Cnt);
  Cnt:=Pos(' ',A0);
  Form7.StringGrid1.Cells[5,linha]:=Copy(A0,1,Cnt-1);
  Carac:=Length(A0);
  A0:=copy(A0,Cnt+1,Carac-Cnt);
  Cnt:=Pos(' ',A0);
  Form7.StringGrid1.Cells[6,linha]:=Copy(A0,1,Cnt-1);
  Carac:=Length(A0);
  A0:=copy(A0,Cnt+1,Carac-Cnt);
  Form7.StringGrid1.Cells[7,linha]:=A0;
end;
for linha:=1 to strtoint(edit3.text) do
begin
  Readln(F,A0);
  Cnt:=Pos(' ',A0);
  Form8.StringGrid1.Cells[0,linha]:=Copy(A0,1,Cnt-1);
  Carac:=Length(A0);
  A0:=copy(A0,Cnt+1,Carac-Cnt);
  Cnt:=Pos(' ',A0);
  Form8.StringGrid1.Cells[1,linha]:=Copy(A0,1,Cnt-1);
  Carac:=Length(A0);
  A0:=copy(A0,Cnt+1,Carac-Cnt);
  Cnt:=Pos(' ',A0);

```

```

Form8.StringGrid1.Cells[2,linha]:=Copy(A0,1,Cnt-1);
Carac:=Length(A0);
A0:=copy(A0,Cnt+1,Carac-Cnt);
Form8.StringGrid1.Cells[3,linha]:=A0;
end;
for linha:=1 to strtoint(edit4.text) do
begin
  Readln(F,A0);
  Cnt:=Pos(' ',A0);
  Form9.StringGrid1.Cells[0,linha]:=Copy(A0,1,Cnt-1);
  Carac:=Length(A0);
  A0:=copy(A0,Cnt+1,Carac-Cnt);
  Cnt:=Pos(' ',A0);
  Form9.StringGrid1.Cells[1,linha]:=Copy(A0,1,Cnt-1);
  Carac:=Length(A0);
  A0:=copy(A0,Cnt+1,Carac-Cnt);
  Cnt:=Pos(' ',A0);
  Form9.StringGrid1.Cells[2,linha]:=Copy(A0,1,Cnt-1);
  Carac:=Length(A0);
  A0:=copy(A0,Cnt+1,Carac-Cnt);
  Form9.StringGrid1.Cells[3,linha]:=A0;
end;
for linha:=1 to strtoint(edit5.text) do
begin
  Readln(F,A0);
  Cnt:=Pos(' ',A0);
  Form10.StringGrid1.Cells[1,linha]:=Copy(A0,1,Cnt-1);
  Carac:=Length(A0);
  A0:=copy(A0,Cnt+1,Carac-Cnt);
  Cnt:=Pos(' ',A0);
  Form10.StringGrid1.Cells[2,linha]:=Copy(A0,1,Cnt-1);
  Carac:=Length(A0);
  A0:=copy(A0,Cnt+1,Carac-Cnt);
  Form10.StringGrid1.Cells[3,linha]:=A0;
end;
for linha:=1 to strtoint(edit6.text) do
begin
  Readln(F,A0);
  Cnt:=Pos(' ',A0);
  Form11.StringGrid1.Cells[0,linha]:=Copy(A0,1,Cnt-1);
  Carac:=Length(A0);
  A0:=copy(A0,Cnt+1,Carac-Cnt);
  Cnt:=Pos(' ',A0);
  Form11.StringGrid1.Cells[1,linha]:=Copy(A0,1,Cnt-1);
  Carac:=Length(A0);
  A0:=copy(A0,Cnt+1,Carac-Cnt);
  Cnt:=Pos(' ',A0);
  Form11.StringGrid1.Cells[2,linha]:=Copy(A0,1,Cnt-1);
  Carac:=Length(A0);
  A0:=copy(A0,Cnt+1,Carac-Cnt);
  Cnt:=Pos(' ',A0);
  Form11.StringGrid1.Cells[3,linha]:=Copy(A0,1,Cnt-1);
  Carac:=Length(A0);
  A0:=copy(A0,Cnt+1,Carac-Cnt);
  Form11.StringGrid1.Cells[4,linha]:=A0;
end;
Readln(F,A0);
Cnt:=Pos(' ',A0);
Form13.ComboBox1.ItemIndex:=StrToInt(Copy(A0,1,Cnt-1));
Carac:=Length(A0);
A0:=copy(A0,Cnt+1,Carac-Cnt);
Cnt:=Pos(' ',A0);
Form13.Edit1.Text:=Copy(A0,1,Cnt-1);
Carac:=Length(A0);
A0:=copy(A0,Cnt+1,Carac-Cnt);
Cnt:=Pos(' ',A0);
Form13.Edit2.Text:=Copy(A0,1,Cnt-1);
Carac:=Length(A0);
A0:=copy(A0,Cnt+1,Carac-Cnt);
Form13.Edit6.Text:=A0;
CloseFile(F);

```




```

caption:='Cálculo Estrutural - ' +
extractfilename(opendialog1.filename);
savedialog1.filename:=opendialog1.filename;
end;
end;

procedure TForm2.Salvar1Click(Sender: TObject);
var
  F: TextFile;
  linha :integer;
  A0, A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7 : string[100];
begin
  if (savedialog1.execute) then
  begin
    AssignFile(F,Savedialog1.filename);
    Rewrite(F);
    Writeln(F, edit1.text + ' ' + edit2.text + ' ' +
      edit3.text + ' ' + edit4.text + ' ' +
      edit5.text + ' ' + edit6.text);
    for linha :=1 to strtoint(edit1.text) do
    begin
      if(form6.stringgrid1.cells[1,linha]='')then
        form6.stringgrid1.cells[1,linha]:='Sem_Valor';
      A1:=form6.stringgrid1.cells[1,linha];
      if(form6.stringgrid1.cells[2,linha]='')then
        form6.stringgrid1.cells[2,linha]:='Sem_Valor';
      A2:=form6.stringgrid1.cells[2,linha];
      Writeln(F,A1 + ' ' + A2);
    end;
    for linha :=1 to strtoint(edit2.text) do
    begin
      if(form7.stringgrid1.cells[1,linha]='')then
        form7.stringgrid1.cells[1,linha]:='Sem_Valor';
      A1:=form7.stringgrid1.cells[1,linha];
      if(form7.stringgrid1.cells[2,linha]='')then
        form7.stringgrid1.cells[2,linha]:='Sem_Valor';
      A2:=form7.stringgrid1.cells[2,linha];
      if(form7.stringgrid1.cells[3,linha]='')then
        form7.stringgrid1.cells[3,linha]:='Sem_Valor';
      A3:=form7.stringgrid1.cells[3,linha];
      if(form7.stringgrid1.cells[4,linha]='')then
        form7.stringgrid1.cells[4,linha]:='Sem_Valor';
      A4:=form7.stringgrid1.cells[4,linha];
      if(form7.stringgrid1.cells[5,linha]='')then
        form7.stringgrid1.cells[5,linha]:='Sem_Valor';
      A5:=form7.stringgrid1.cells[5,linha];
      if(form7.stringgrid1.cells[6,linha]='')then
        form7.stringgrid1.cells[6,linha]:='Sem_Valor';
      A6:=form7.stringgrid1.cells[6,linha];
      if(form7.stringgrid1.cells[7,linha]='')then
        form7.stringgrid1.cells[7,linha]:='Sem_Valor';
      A7:=form7.stringgrid1.cells[7,linha];
      Writeln(F,A1+' '+A2+' '+A3+' '+A4+' '+A5+' '+A6+'
'+A7);
    end;
    for linha :=1 to strtoint(edit3.text) do
    begin
      if(form8.stringgrid1.cells[0,linha]='')then
        form8.stringgrid1.cells[0,linha]:='Sem_Valor';
      A0:=form8.stringgrid1.cells[0,linha];
      if(form8.stringgrid1.cells[1,linha]='')then
        form8.stringgrid1.cells[1,linha]:='Sem_Valor';
      A1:=form8.stringgrid1.cells[1,linha];
      if(form8.stringgrid1.cells[2,linha]='')then
        form8.stringgrid1.cells[2,linha]:='Sem_Valor';
      A2:=form8.stringgrid1.cells[2,linha];
      if(form8.stringgrid1.cells[3,linha]='')then
        form8.stringgrid1.cells[3,linha]:='Sem_Valor';
      A3:=form8.stringgrid1.cells[3,linha];
      Writeln(F,A0 + ' ' + A1 + ' ' + A2 + ' ' + A3);
    end;
    for linha :=1 to strtoint(edit4.text) do
    begin
      if(form9.stringgrid1.cells[0,linha]='')then

```

```

      form9.stringgrid1.cells[0,linha]:='Sem_Valor';
      A0:=form9.stringgrid1.cells[0,linha];
      if(form9.stringgrid1.cells[1,linha]='')then
        form9.stringgrid1.cells[1,linha]:='Sem_Valor';
      A1:=form9.stringgrid1.cells[1,linha];
      if(form9.stringgrid1.cells[2,linha]='')then
        form9.stringgrid1.cells[2,linha]:='Sem_Valor';
      A2:=form9.stringgrid1.cells[2,linha];
      if(form9.stringgrid1.cells[3,linha]='')then
        form9.stringgrid1.cells[3,linha]:='Sem_Valor';
      A3:=form9.stringgrid1.cells[3,linha];
      Writeln(F,A0 + ' ' + A1 + ' ' + A2 + ' ' + A3);
    end;
    for linha :=1 to strtoint(edit5.text) do
    begin
      if(form10.stringgrid1.cells[1,linha]='')then
        form10.stringgrid1.cells[1,linha]:='Sem_Valor';
      A1:=form10.stringgrid1.cells[1,linha];
      if(form10.stringgrid1.cells[2,linha]='')then
        form10.stringgrid1.cells[2,linha]:='Sem_Valor';
      A2:=form10.stringgrid1.cells[2,linha];
      if(form10.stringgrid1.cells[3,linha]='')then
        form10.stringgrid1.cells[3,linha]:='Sem_Valor';
      A3:=form10.stringgrid1.cells[3,linha];
      Writeln(F,A1 + ' ' + A2 + ' ' + A3);
    end;
    for linha :=1 to strtoint(edit6.text) do
    begin
      if(form11.stringgrid1.cells[0,linha]='')then
        form11.stringgrid1.cells[0,linha]:='Sem_Valor';
      A0:=form11.stringgrid1.cells[0,linha];
      if(form11.stringgrid1.cells[1,linha]='')then
        form11.stringgrid1.cells[1,linha]:='Sem_Valor';
      A1:=form11.stringgrid1.cells[1,linha];
      if(form11.stringgrid1.cells[2,linha]='')then
        form11.stringgrid1.cells[2,linha]:='Sem_Valor';
      A2:=form11.stringgrid1.cells[2,linha];
      if(form11.stringgrid1.cells[3,linha]='')then
        form11.stringgrid1.cells[3,linha]:='Sem_Valor';
      A3:=form11.stringgrid1.cells[3,linha];
      if(form11.stringgrid1.cells[4,linha]='')then
        form11.stringgrid1.cells[4,linha]:='Sem_Valor';
      A4:=form11.stringgrid1.cells[4,linha];
      Writeln(F,A0 + ' ' + A1 + ' ' + A2 + ' ' + A3 + ' ' + A4);
    end;
    A0:=IntToStr(Form13.ComboBox1.ItemIndex);
    if(Form13.Edit1.Text='')then
      Form13.Edit1.Text:='Sem_Valor';
    A1:=Form13.Edit1.Text;
    if(Form13.Edit2.Text='')then
      Form13.Edit2.Text:='Sem_Valor';
    A2:=Form13.Edit2.Text;
    if(Form13.Edit6.Text='')then
      Form13.Edit6.Text:='Sem_Valor';
    A3:=Form13.Edit6.Text;
    Writeln(F,A0 + ' ' + A1 + ' ' + A2 + ' ' + A3);
    CloseFile(F);
    caption:='Cálculo Estrutural - ' +
    extractfilename(savedialog1.filename);
    end
  else
  begin
    Form2.Enabled:=true;
    Form4.Button1.Enabled:=False;
    Form4.Close;
  end;
end;

procedure TForm2.Button3Click(Sender: TObject);
var
  d : integer;
begin
  form7.show;
  form2.enabled:=false;

```



```

form7.StringGrid1.rowcount := (strtoint(form2.edit2.text)
+1);
form7.Edit1.setfocus;
for d := 1 To strtoint(edit2.text) do
begin
    form7.stringgrid1.cells[0,d]:=inttostr(d);
end;
end;

procedure TForm2.Edit1KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
begin
    edit1.ClearSelection;
    if(Key=Chr(13))then
        Edit2.SetFocus;
    if((Key<>Chr(8))and((Key>'9')or(Key<'0'))or
((edit1.text='')and(Key='0')) then
        Key := Chr(0);
end;

procedure TForm2.Edit1Change(Sender: TObject);
begin
    if(edit1.text<>'')and(edit2.text<>'')and(edit3.text<>'')and
(edit4.text<>'')and(edit5.text<>'')and(edit6.text<>'')then
begin
    salvar1.enabled := true;
    button2.enabled := true;
    button3.enabled := true;
    button4.enabled := true;
    button5.enabled := true;
    button6.enabled := true;
    button7.enabled := true;
    button13.enabled := true;
end
else
begin
    salvar1.enabled := false;
    button2.enabled := false;
    button3.enabled := false;
    button4.enabled := false;
    button5.enabled := false;
    button6.enabled := false;
    button7.enabled := false;
    button13.enabled := false;
end
end;

procedure TForm2.Edit2KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
begin
    edit2.ClearSelection;
    if(Key=Chr(13))then
        Edit3.SetFocus;
    if((Key<>Chr(8))and((Key>'9')or(Key<'0'))or
((edit2.text='')and(Key='0')) then
        Key := Chr(0);
end;

procedure TForm2.Edit3KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
begin
    edit3.ClearSelection;
    if(Key=Chr(13))then
        Edit4.SetFocus;
    if((Key<>Chr(8))and((Key>'9')or(Key<'0'))or
((edit3.text='')and(Key='0')) then
        Key := Chr(0);
end;

procedure TForm2.Edit4KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
begin
    if(Key=Chr(13))then
        Edit6.SetFocus;

```

```

if((Key<>Chr(8))and((Key>'9')or(Key<'0'))or
((edit4.text='')and(Key='0')) then
    Key := Chr(0);
end;

procedure TForm2.Edit5KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
begin
    edit5.ClearSelection;
    if(Key=Chr(13))then
        Button2.SetFocus;
    if((Key<>Chr(8))and((Key>'9')or(Key<'0'))or
((edit5.text='')and(Key='0')) then
        Key := Chr(0);
end;

procedure TForm2.Novo1Click(Sender: TObject);
var
    a, nov : integer;
begin
    edit1.SetFocus;
    Edit1.text:='';
    Edit2.text:='';
    Edit3.text:='';
    Edit4.text:='';
    Edit5.text:='';
    Edit6.text:='';
    PageControl1.Enabled:=false;
    PageControl1.ActivePage:=TabSheet1;
    for nov:=1 to StringGrid1.RowCount-1 do
        for a:=0 to 3 do
            StringGrid1.Cells[a,nov]:='';
        for nov:=1 to form6.stringgrid1.RowCount-1 do
            for a:=0 to 3 do
                StringGrid2.Cells[a,nov]:='';
            for nov:=1 to form6.stringgrid1.RowCount do
                for a:= 1 to 2 do
                    form6.StringGrid1.cells[a,nov]:='';
                for nov:=1 to form7.stringgrid1.RowCount do
                    for a:= 1 to 7 do
                        form7.StringGrid1.cells[a,nov]:='';
                    for nov:=1 to form8.stringgrid1.RowCount do
                        for a:= 0 to 3 do
                            form8.StringGrid1.cells[a,nov]:='';
                        for nov:=1 to form9.stringgrid1.RowCount do
                            for a:= 0 to 3 do
                                form9.StringGrid1.cells[a,nov]:='';
                            for nov:=1 to form11.stringgrid1.RowCount do
                                for a:= 0 to 4 do
                                    form11.StringGrid1.cells[a,nov]:='';
                                for nov:=1 to form10.stringgrid1.RowCount do
                                    for a:= 1 to 3 do
                                        form10.StringGrid1.cells[a,nov]:='';
                                    end;
                                end;
                            end;
                        end;
                    end;
                end;
            end;
        end;
    end;

procedure TForm2.Button4Click(Sender: TObject);
begin
    form8.show;
    form2.enabled:=false;
    form8.StringGrid1.rowcount := (strtoint(form2.edit3.text)
+1);
end;

procedure TForm2.Button5Click(Sender: TObject);
begin
    if(Edit4.Text<>'0')then
begin
    form9.show;
    form2.enabled:=false;
    form9.StringGrid1.rowcount := (strtoint(form2.edit4.text)
+1);
end
else
begin

```

```

label8.caption:=
'Aviso: Quando o valor é igual a zero o botão fica
desativado';
label8.visible:=true;
timer1.enabled:=true;
end;
end;

procedure TForm2.Button6Click(Sender: TObject);
var
  d : integer;
begin
  form10.show;
  form2.enabled:=false;
  form10.StringGrid1.rowcount := (strtoint(form2.edit5.text)
+1);
  for d := 1 To strtoint(edit5.text) do
  begin
    form10.stringgrid1.cells[0,d]:=inttostr(d);
  end;
end;

procedure TForm2.Button7Click(Sender: TObject);
begin
  if(Edit6.Text<>'0')then
  begin
    form11.show;
    form2.enabled:=false;
    form11.edit1.setfocus;
    form11.StringGrid1.rowcount := (strtoint(edit6.text) +1);
  end
  else
  begin
    label8.caption:=
    'Aviso: Quando o valor é igual a zero o botão fica
desativado';
    label8.visible:=true;
    timer1.enabled:=true;
  end
end;

procedure TForm2.Edit6KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
begin
  if(Key=Chr(13))then
    Edit5.SetFocus;
  if((Key<>Chr(8))and((Key>'9')or(Key<'0'))or
((edit6.text='0')and(Key='0')) then
    Key := Chr(0);
end;

procedure TForm2.Timer1Timer(Sender: TObject);
begin
  label8.visible:=false;
  timer1.enabled:=false;
end;

procedure TForm2.Button9Click(Sender: TObject);

//***** Declaração das Variáveis Simples *****//

var
  Cnt : integer;
  NELEM, NEQ, NMATE, NNODS, NDN, NNE, I, IC, J, K,
  L, LL, M, IDIF : integer;
  INJ, INI, IMAX, JPOS, LI, LJ, NDE, NP, NCO, NNOCA,
  NELCA, NCC, MA : integer;
  IPOSi, IPOSj : integer;
  AUX, VMIN, COMP, X1,X2,Y1,Y2, C, MR, MD : real;

//***** Declaração das Matrizes Dinâmicas *****//

IPOS, JK, NNO, NEL, AX: array of integer;
A, F, W : array of real;
INC, NREST, NPREST : array of array of integer;

```

```

CN, MAT, DL, FL, FE, FEM, S, e : array of array of real;
ML, ROT, ROTT, SG : array of array of array of real;

//***** Inicialização das variáveis simples *****//

begin

  StringGrid1.RowCount:=2+StrToInt(Edit1.Text);
  StringGrid2.RowCount:=4*StrToInt(Edit2.Text);
  VMIN:=1E-20;
  NNE:=2;
  NDN:=3;
  NDE:=NNE*NDN;
  NNOCA:=StrToInt(Edit4.Text);
  NELCA:=StrToInt(Edit6.Text);
  NCC:=NNOCA+NELCA;
  NNODS:=StrToInt(Edit1.Text);
  NELEM:=StrToInt(Edit2.Text);
  NMATE:=StrToInt(Edit5.Text);
  NEQ:=NDN*NNODS;
  MR:=StrToFloat(Form13.Edit6.Text);
  MD:=0;

//***** Inicialização das matrizes dinâmicas *****//

  Barra.Progress:=0;
  Barra.Visible:=true;
  Barra.MaxValue:=100*NNODS;
  SetLength(FL,NELEM+1);
  for I:=1 to NELEM do
    SetLength(FL[I],NDE+1);
  SetLength(INC,NELEM+1);
  for I:=1 to NELEM do
    SetLength(INC[I],2+1);
  for I:=1 to NELEM do
    for J:=1 to 2 do
      INC[I,J]:=StrToInt(Form7.StringGrid1.Cells[J,I]);
  SetLength(ML,NELEM+1);
  for I:=1 to NELEM do
  begin
    SetLength(ML[I],7);
    for J:=1 to 6 do
      SetLength(ML[I,J],7);
    end;
  SetLength(ROT,NELEM+1);
  for I:=1 to NELEM do
  begin
    SetLength(ROT[I],7);
    for J:=1 to 6 do
      SetLength(ROT[I,J],7);
    end;
  SetLength(MAT,NMATE+1);
  for I:=1 to NMATE do
    SetLength(MAT[I],4);
  for I:=1 to NMATE do
    for J:=1 to NDN do
      MAT[I,J]:=StrToFloat(Form10.StringGrid1.Cells[J,I]);
  SetLength(ROTT,NELEM+1);
  for I:=1 to NELEM do
  begin
    SetLength(ROTT[I],NDE+1);
    for J:=1 to 6 do
      SetLength(ROTT[I,J],NDE+1);
    end;
  SetLength(SG,NELEM+1);
  for I:=1 to NELEM do
  begin
    SetLength(SG[I],NDE+1);
    for J:=1 to NDE do
      SetLength(SG[I,J],NDE+1);
    Barra.Progress:=Barra.Progress+1;
  end;
  SetLength(S,NELEM+1);
  for I:=1 to NELEM do

```



```

SetLength(S[I],4+1);
for I:=1 to NELEM do
  for J:=1 to 4 do
    S[I,J]:=StrToFloat(Form7.StringGrid1.Cells[3+J,I]);
SetLength(e,NELEM+1);
SetLength(e,5+1);
for I:=1 to 5 do
  SetLength(e[I],3+1);
SetLength(F,NEQ+1);
SetLength(IPOS,NEQ+1);
SetLength(AX,NDE+1);
SetLength(JK,NDE+1);
SetLength(NNO,NNOCA+1);
for I:=1 to NNOCA do
  NNO[I]:=StrToInt(Form9.StringGrid1.Cells[0,I]);
SetLength(W,NELCA+1);
SetLength(NEL,NELCA+1);
for I:=1 to NELCA do
  begin
    NEL[I]:=StrToInt(Form11.StringGrid1.Cells[0,I]);
    W[I]:=StrToFloat(Form11.StringGrid1.Cells[1,I]);
  end;
SetLength(FE,NELCA+1);
for I:=1 to NELCA do
  SetLength(FE[I],6+1);
SetLength(FEM,NELCA+1);
for I:=1 to NELCA do
  SetLength(FEM[I],6+1);
SetLength(CN,NNOCA+1);
for I:=1 to NNOCA do
  SetLength(CN[I],NDN+1);
for I:=1 to NNOCA do
  for J:=1 to NDN do
    CN[I,J]:=StrToFloat(Form9.StringGrid1.Cells[J,I]);
SetLength(NREST,StrToInt(Edit3.Text)+1);
for I:=1 to StrToInt(Edit3.Text) do
  SetLength(NREST[I],4);
//***** Obtenção das Matrizes ML e ROT *****//

for I:=1 to NELEM do
  begin
    Barra.Progress:=Barra.Progress+1;
    if(INC[I,1]<INC[I,2])then
      begin
        J:=StrToInt(Form7.StringGrid1.Cells[3,I]);
        X1:=StrToFloat(Form6.StringGrid1.Cells[1,INC[I,1]]);
        Y1:=StrToFloat(Form6.StringGrid1.Cells[2,INC[I,1]]);
        X2:=StrToFloat(Form6.StringGrid1.Cells[1,INC[I,2]]);
        Y2:=StrToFloat(Form6.StringGrid1.Cells[2,INC[I,2]]);
        COMP:=sqrt(sqr(X2-X1)+sqr(Y2-Y1));
      end
    else
      begin
        J:=StrToInt(Form7.StringGrid1.Cells[3,I]);
        X1:=StrToFloat(Form6.StringGrid1.Cells[1,INC[I,2]]);
        Y1:=StrToFloat(Form6.StringGrid1.Cells[2,INC[I,2]]);
        X2:=StrToFloat(Form6.StringGrid1.Cells[1,INC[I,1]]);
        Y2:=StrToFloat(Form6.StringGrid1.Cells[2,INC[I,1]]);
        COMP:=sqrt(sqr(X2-X1)+sqr(Y2-Y1));
      end;
//***** Obtenção dos Coeficientes de Rigidez e *****//

e[1,1]:=(MAT[J,3]*MAT[J,2])/(COMP*S[I,3]);
e[1,2]:=(MAT[J,3]*MAT[J,2])/(COMP*S[I,4]);
e[1,3]:=1+e[1,1]+e[1,2];
e[2,1]:=1+e[1,1];
e[2,2]:=1+e[1,2];
e[2,3]:=0;
e[3,1]:=1+2*e[1,1];
e[3,2]:=1+2*e[1,2];
e[3,3]:=0;
e[4,1]:=1+3*e[1,1];

```

```

e[4,2]:=1+3*e[1,2];
e[4,3]:=0;
e[5,1]:=(MAT[J,3]*MAT[J,1])/(COMP*S[I,1]);
e[5,2]:=(MAT[J,3]*MAT[J,1])/(COMP*S[I,2]);
e[5,3]:=1+e[5,1]+e[5,2];

C:=(2*MAT[J,3]*MAT[J,2])/(COMP*COMP*COMP*(4*e[1,3]
]+3*(4*e[1,1]*e[1,2]-1)));

//***** Obtenção da Matriz de Rigidez Local ML *****//

ML[I,1,1]:=(MAT[J,3]*MAT[J,1])/(COMP*e[5,3]);
ML[I,1,2]:=0;
ML[I,1,3]:=0;
ML[I,1,4]:=(-1)*ML[I,1,1];
ML[I,1,5]:=0;
ML[I,1,6]:=0;
ML[I,2,1]:=0;
ML[I,2,2]:=6*C*e[1,3];
ML[I,2,3]:=3*C*COMP*e[3,2];
ML[I,2,4]:=0;
ML[I,2,5]:=(-1)*ML[I,2,2];
ML[I,2,6]:=3*C*COMP*e[3,1];
ML[I,3,1]:=0;
ML[I,3,2]:=ML[I,2,3];
ML[I,3,3]:=2*C*COMP*COMP*e[4,2];
ML[I,3,4]:=0;
ML[I,3,5]:=(-1)*ML[I,2,3];
ML[I,3,6]:=C*COMP*COMP;
ML[I,4,1]:=ML[I,1,4];
ML[I,4,2]:=0;
ML[I,4,3]:=0;
ML[I,4,4]:=ML[I,1,1];
ML[I,4,5]:=0;
ML[I,4,6]:=0;
ML[I,5,1]:=0;
ML[I,5,2]:=ML[I,2,5];
ML[I,5,3]:=ML[I,3,5];
ML[I,5,4]:=0;
ML[I,5,5]:=ML[I,2,2];
ML[I,5,6]:=(-1)*ML[I,2,6];
ML[I,6,1]:=0;
ML[I,6,2]:=ML[I,2,6];
ML[I,6,3]:=ML[I,3,6];
ML[I,6,4]:=0;
ML[I,6,5]:=ML[I,5,6];
ML[I,6,6]:=2*C*COMP*COMP*e[4,1];

//***** Obtenção da Matriz de Rotação ROT *****//

if(INC[I,1]<INC[I,2])then
  begin
    ROT[I,1,1]:=(X2-X1)/COMP;
    ROT[I,1,2]:=(Y2-Y1)/COMP;
  end
  else
    begin
      ROT[I,1,1]:=(X1-X2)/COMP;
      ROT[I,1,2]:=(Y1-Y2)/COMP;
    end;
ROT[I,1,3]:=0;
ROT[I,1,4]:=0;
ROT[I,1,5]:=0;
ROT[I,1,6]:=0;
ROT[I,2,1]:=(-1)*ROT[I,1,2];
ROT[I,2,2]:=ROT[I,1,1];
ROT[I,2,3]:=0;
ROT[I,2,4]:=0;
ROT[I,2,5]:=0;
ROT[I,2,6]:=0;
ROT[I,3,1]:=0;
ROT[I,3,2]:=0;
ROT[I,3,3]:=1;
ROT[I,3,4]:=0;

```

```

ROT[I,3,5]:=0;
ROT[I,3,6]:=0;
ROT[I,4,1]:=0;
ROT[I,4,2]:=0;
ROT[I,4,3]:=0;
ROT[I,4,4]:=ROT[I,1,1];
ROT[I,4,5]:=ROT[I,1,2];
ROT[I,4,6]:=0;
ROT[I,5,1]:=0;
ROT[I,5,2]:=0;
ROT[I,5,3]:=0;
ROT[I,5,4]:=ROT[I,2,1];
ROT[I,5,5]:=ROT[I,1,1];
ROT[I,5,6]:=0;
ROT[I,6,1]:=0;
ROT[I,6,2]:=0;
ROT[I,6,3]:=0;
ROT[I,6,4]:=0;
ROT[I,6,5]:=0;
ROT[I,6,6]:=1;
end;

//***** Obtenção da Matriz de Rotação Inversa ROTT ****//

for I:=1 to NELEM do
  for J:=1 to NDE do
    for K:=1 to NDE do
      ROTT[I,J,K]:=ROT[I,K,J];

//***** Multiplicação de ROTT * ML ****//

for I:=1 to NELEM do
  for J:=1 to NDE do
    for K:=1 to NDE do
      begin
        COMP:=0;
        for L:=1 to NDE do
          COMP:=COMP+ROTT[I,J,L]*ML[I,L,K];
        SG[I,J,K]:=COMP;
        Barra.Progress:=Barra.Progress+1;
      end;

//***** Atribuição Intermediária da SG ****//

for I:=1 to NELEM do
  for J:=1 to NDE do
    for K:=1 to NDE do
      ROTT[I,J,K]:=SG[I,J,K];

//***** Obtenção da Matriz de Rigidez Global SG ****//

for I:=1 to NELEM do
  for J:=1 to NDE do
    for K:=1 to NDE do
      begin
        COMP:=0;
        for L:=1 to NDE do
          COMP:=COMP+ROTT[I,J,L]*ROT[I,L,K];
        SG[I,J,K]:=COMP;
        Barra.Progress:=Barra.Progress+1;
      end;

//** ReObtenção da Matriz de Rotação Inversa ROTT **//

for I:=1 to NELEM do
  for J:=1 to NDE do
    for K:=1 to NDE do
      ROTT[I,J,K]:=ROT[I,K,J];

//***** 1ª Fase de Montagem do Vetor IPOS ****//

for I:=1 to NELEM do
  begin
    if(INC[I,1]<INC[I,2])then

```

```

    LL:=1
  else
    LL:=2;
  L:=NDN*(INC[I,LL]-1)+1;
  for J:=1 to NNE do
    for K:=1 to NDN do
      begin
        M:=NDN*(INC[I,J]-1)+K;
        IDIF:=M-L+1;
        if(IPOS[M]<IDIF)then
          IPOS[M]:=IDIF;
          Barra.Progress:=Barra.Progress+1;
        end;
      end;

//***** 2ª fase da Montagem do Vetor IPOS ****//

for IC:=2 to NEQ do
  IPOS[IC]:=IPOS[IC-1]+IPOS[IC];

//** Cálculo da matriz de rigidez SG para o elemento I **//

NP:=IPOS[NEQ];
SetLength(A,NP+1);
for I:=1 to NELEM do
  begin
    IC:=0;
    for J:=1 to NNE do
      for K:=1 to NDN do
        begin
          IC:=IC+1;
          M:=NDN*(INC[I,J]-1)+K;
          JK[IC]:=M;
          Barra.Progress:=Barra.Progress+1;
        end;
        for J:=1 to NDE do
          for K:=J to NDE do
            begin
              NCO:=JK[K]-JK[J]+1;
              if(NCO>0)then
                begin
                  L:=IPOS[JK[K]]+JK[J]-JK[K];
                  A[L]:=A[L]+SG[I,J,K];
                end;
                Barra.Progress:=Barra.Progress+1;
            end;
          end;
        end;

//Condição de Contorno pelo Método do Número Grande //

for I:=1 to StrToInt(Edit3.Text) do
  for J:=0 to 3 do
    NREST[I,J]:=StrToInt(Form8.StringGrid1.Cells[J,I]);
  for I:=1 to StrToInt(Edit3.Text) do
    for J:=1 to 3 do
      if(NREST[I,J]=1)then
        A[IPOS[(NREST[I,0]-1)*3+J]]:=1E50;

//***** Contribuição da Forças Aplicadas nos Nós ****//

if(NNOCA<>0)then
  begin
    for J:=1 to NNOCA do
      begin
        MA:=NDN*(NNO[J]-1);
        for K:=1 to NDN do
          begin
            M:=MA+K;
            F[M]:=CN[J,K];
          end;
          Barra.Progress:=Barra.Progress+1;
        end;
      end;

```



```

/** Contribuição da Forças Aplicadas nos Elementos **/

if(NELCA<>0)then
begin
for I:=1 to NELCA do
begin
if(INC[NEL[I],1]<INC[NEL[I],2])then
begin
X1:=StrToFloat(Form6.StringGrid1.Cells[1,INC[NEL[I],1]]);
Y1:=StrToFloat(Form6.StringGrid1.Cells[2,INC[NEL[I],1]]);
X2:=StrToFloat(Form6.StringGrid1.Cells[1,INC[NEL[I],2]]);
Y2:=StrToFloat(Form6.StringGrid1.Cells[2,INC[NEL[I],2]]);
COMP:=sqrt(sqr(X2-X1)+sqr(Y2-Y1));
end
else
begin
X1:=StrToFloat(Form6.StringGrid1.Cells[1,INC[NEL[I],2]]);
Y1:=StrToFloat(Form6.StringGrid1.Cells[2,INC[NEL[I],2]]);
X2:=StrToFloat(Form6.StringGrid1.Cells[1,INC[NEL[I],1]]);
Y2:=StrToFloat(Form6.StringGrid1.Cells[2,INC[NEL[I],1]]);
COMP:=sqrt(sqr(X2-X1)+sqr(Y2-Y1));
end;
FE[I,1]:=-(W[I]*COMP/2)*((Y2-Y1)/COMP);
FE[I,2]:=(W[I]*COMP/2)*((X2-X1)/COMP);
FE[I,3]:=W[I]*COMP*COMP/12;
FE[I,4]:=-(W[I]*COMP/2)*((Y2-Y1)/COMP);
FE[I,5]:=(W[I]*COMP/2)*((X2-X1)/COMP);
FE[I,6]:=W[I]*COMP*COMP/12;
end;

//***** Soma dos Vetores F= F + FE *****//

for I:=1 to NELCA do
for J:=1 to NNE do
begin
M:=NDN*(INC[NEL[I],J]-1);
for K:=1 to NDN do
F[M+K]:=F[M+K]+FE[I,K+(J-1)*3];
end;
end;

//***** Etapa de Triangularização *****//

A[1]:=sqrt(A[1]);
for J:=2 to NEQ do
begin
LJ:=IPOS[J]-IPOS[J-1];
JPOS:=IPOS[J-1]+1;
INJ:=J-LJ+1;
if(INJ<>J)then
begin
A[JPOS]:=A[JPOS]/A[IPOS[INJ]];
for I:=INJ+1 to J do
begin
JPOS:=JPOS+1;
LI:=IPOS[I]-IPOS[I-1];
INI:=I-LI+1;
IMAX:=INI;
if(INJ>INI)then
IMAX:=INJ;
if(IMAX<=-1)then
begin
IPOS1:=IPOS[I]-I+IMAX-1;
IPOSJ:=IPOS[J]-J+IMAX-1;
for K:=IMAX to I-1 do
begin
IPOS1:=IPOS1+1;
IPOSJ:=IPOSJ+1;
A[JPOS]:=A[JPOS]-A[IPOS1]*A[IPOSJ];
end;
end;
end;
A[JPOS]:=sqrt(A[JPOS]);

//***** Etapa de Substituição *****//

F[1]:=F[1]/A[1];
for I:=2 to NEQ do
begin
LI:=IPOS[I]-IPOS[I-1];
INI:=I-LI+1;
JPOS:=IPOS[I-1];
AUX:=F[I];
if(INI<>I)then
for K:=INI to I-1 do
begin
JPOS:=JPOS+1;
AUX:=AUX-A[JPOS]*F[K];
Barra.Progress:=Barra.Progress+1;
end;
F[I]:=AUX/A[IPOS[INI]]
end;

//***** Etapa de RetroSubstituição *****//

for I:=NEQ downto 2 do
begin
F[I]:=F[I]/A[IPOS[I]];
LI:=IPOS[I]-IPOS[I-1];
INI:=I-LI+1;
if(INI<>I)then
begin
JPOS:=IPOS[I-1];
for K:=INI to I-1 do
begin
JPOS:=JPOS+1;
F[K]:=F[K]-A[JPOS]*F[I];
Barra.Progress:=Barra.Progress+1;
end;
end;
end;
F[1]:=F[1]/A[1];

//***** Apresentação dos Deslocamentos Nodais *****//

for I:=1 to NNODS do
begin
StringGrid1.Cells[0,I+1]:='Nó - '+IntToStr(I);
StringGrid1.Cells[1,I+1]:=Format('%8.4f',[F[(I-1)*NDN+1]]);
StringGrid1.Cells[2,I+1]:=Format('%8.4f',[F[(I-1)*NDN+2]]);
StringGrid1.Cells[3,I+1]:=Format('%8.4f',[F[(I-1)*NDN+3]]);
end;

//***** Cálculo dos Deslocamentos Locais *****//

```

```

IPOS1:=IPOS1+1;
IPOSJ:=IPOSJ+1;
A[JPOS]:=A[JPOS]-A[IPOS1]*A[IPOSJ];
end;
end;
Barra.Progress:=Barra.Progress+1;
if(I<>J)then
A[JPOS]:=A[JPOS]/A[IPOS[INI]];
end;
end;
if(A[JPOS]<VMIN)then
begin
Barra.Visible:=false;
Label8.Caption:='(Dados Incompatíveis)';
Timer1.Enabled:=true;
Exit;
end;
A[JPOS]:=sqrt(A[JPOS]);
end;

//***** Etapa de Substituição *****//

F[1]:=F[1]/A[1];
for I:=2 to NEQ do
begin
LI:=IPOS[I]-IPOS[I-1];
INI:=I-LI+1;
JPOS:=IPOS[I-1];
AUX:=F[I];
if(INI<>I)then
for K:=INI to I-1 do
begin
JPOS:=JPOS+1;
AUX:=AUX-A[JPOS]*F[K];
Barra.Progress:=Barra.Progress+1;
end;
F[I]:=AUX/A[IPOS[INI]]
end;

//***** Etapa de RetroSubstituição *****//

for I:=NEQ downto 2 do
begin
F[I]:=F[I]/A[IPOS[I]];
LI:=IPOS[I]-IPOS[I-1];
INI:=I-LI+1;
if(INI<>I)then
begin
JPOS:=IPOS[I-1];
for K:=INI to I-1 do
begin
JPOS:=JPOS+1;
F[K]:=F[K]-A[JPOS]*F[I];
Barra.Progress:=Barra.Progress+1;
end;
end;
end;
F[1]:=F[1]/A[1];

//***** Apresentação dos Deslocamentos Nodais *****//

for I:=1 to NNODS do
begin
StringGrid1.Cells[0,I+1]:='Nó - '+IntToStr(I);
StringGrid1.Cells[1,I+1]:=Format('%8.4f',[F[(I-1)*NDN+1]]);
StringGrid1.Cells[2,I+1]:=Format('%8.4f',[F[(I-1)*NDN+2]]);
StringGrid1.Cells[3,I+1]:=Format('%8.4f',[F[(I-1)*NDN+3]]);
end;

//***** Cálculo dos Deslocamentos Locais *****//

```

```

SetLength(DL,NELEM+1);
for I:=1 to NELEM do
  SetLength(DL[I],NDE+3);
for I:=1 to NELEM do
  for J:=1 to NDE do
    begin
      COMP:=0;
      if(INC[I,1]<INC[I,2])then
        begin
          for K:=1 to 3 do
            COMP:=COMP+SG[I,J,K]*F[(INC[I,1]-1)*3+K];
          for K:=1 to 3 do
            COMP:=COMP+SG[I,J,K+3]*F[(INC[I,2]-1)*3+K];
          DL[I,7]:=INC[I,1];
          DL[I,8]:=INC[I,2];
        end
      else
        begin
          for K:=1 to 3 do
            COMP:=COMP+SG[I,J,K]*F[(INC[I,2]-1)*3+K];
          for K:=1 to 3 do
            COMP:=COMP+SG[I,J,K+3]*F[(INC[I,1]-1)*3+K];
          DL[I,7]:=INC[I,2];
          DL[I,8]:=INC[I,1];
        end;
      DL[I,J]:=COMP;
    end;

//***** Subtração dos Vetores DL = DL - FE *****//

for I:=1 to NELCA do
  for J:=1 to NNE do
    for K:=1 to NDN do
      DL[NEL[I],K+(J-1)*3]:=DL[NEL[I],K+(J-1)*3]-
      FE[I,K+(J-1)*3];

//***** Obtenção das Forças por Elemento *****//

SetLength(FL,NEQ+1);
for I:=1 to NEQ do
  SetLength(FL[I],NEQ+1);
for I:=1 to NELEM do
  for J:=1 to NDE do
    begin
      COMP:=0;
      for L:=1 to NDE do
        COMP:=COMP+ROT[I,J,L]*DL[I,L];
      FL[I,J]:=COMP;
    end;

//***** Apresentação das Forças por Elemento *****//

for I:=1 to NELEM do
  begin
    StringGrid2.Cells[0,(I-1)*4+1]:=' Elemento: '+IntToStr(I);
    StringGrid2.Cells[0,(I-1)*4+2]:='Nó :
    '+FloatToStr(DL[I,7]);
    StringGrid2.Cells[0,(I-1)*4+3]:='Nó :
    '+FloatToStr(DL[I,8]);
    for J:=1 to NNE do
      for K:=1 to NDN do
        StringGrid2.Cells[K,(I-
        1)*4+J+1]:=Format('%8.4f',[FL[I,(J-1)*3+K]]);
    end;

//***** Verificação da capacidade *****//

if(Interagir.Checked=true)then
  begin
    for I:=1 to NELEM do
      for J:=1 to 2 do
        begin
          Form7.StringGrid2.Cells[0,I]:=IntToStr(I);

```

```

Form7.StringGrid2.Cells[J,I]:=Form7.StringGrid2.Cells[2+J
,I];
Form7.StringGrid2.Cells[2+J,I]:=Form7.StringGrid1.Cells[5
+J,I];
end;
CheckBox4.Checked:=false;

if(CheckBox2.Checked=false)and(CheckBox3.Checked=false)then
  for I:=1 to NELEM do
    for J:=1 to NNE do
      if(Abs(FL[I,J*3])>MR)and(((Abs(FL[I,J*3])-
      MR)/MR)>0.001)then
        begin
          Form7.StringGrid1.Cells[5+J,I]:=FloatToStr(int(S[I,J+2]*0.9
          7));
          CheckBox1.Checked:=true;
          CheckBox4.Checked:=true;
          Timer3.Enabled:=true;
        end;

if(CheckBox2.Checked=true)and(CheckBox3.Checked=false)then
  for I:=1 to NELEM do
    for J:=1 to NNE do
      if(Abs(FL[I,J*3])>MR)then
        begin
          Form7.StringGrid1.Cells[5+J,I]:=FloatToStr(int(S[I,J+2]*0.9
          7));
          CheckBox4.Checked:=true;
          Timer3.Enabled:=true;
        end;
        if(CheckBox3.Checked=true)then
          for I:=1 to NELEM do
            for J:=1 to NNE do
              if(Abs(FL[I,J*3])>MR)and(((Abs(FL[I,J*3])-
              MR)/MR)>0.001)then
                begin
                  Form7.StringGrid1.Cells[5+J,I]:=FloatToStr(int(S[I,J+2]
                  -(Abs(FL[I,J*3])-MR)/MR)*S[I,J+2]);
                  Timer3.Enabled:=true;
                  CheckBox4.Checked:=true;
                end;

if(CheckBox2.Checked=true)and(CheckBox3.Checked=false)and
(CheckBox4.Checked=false)then
  begin
    CheckBox3.Checked:=true;
    CheckBox4.Checked:=true;
    Timer3.Enabled:=true;
    for I:=1 to NELEM do
      for J:=1 to 2 do

Form7.StringGrid1.Cells[5+J,I]:=Form7.StringGrid2.Cells[J
,I];
end;

if(CheckBox1.Checked=true)and(CheckBox2.Checked=false)and
(CheckBox4.Checked=false)then
  begin
    CheckBox2.Checked:=true;
    Timer3.Enabled:=true;
    for I:=1 to NELEM do
      for J:=1 to 2 do

```



```

Form7.StringGrid1.Cells[5+J,I]:=Form7.StringGrid2.Cells[J
,I];
end;

if(CheckBox1.Checked=true)and(CheckBox2.Checked=tru
e)and

(CheckBox3.Checked=true)and(CheckBox4.Checked=fals
e)then
begin
  CheckBox1.Checked:=False;
  CheckBox2.Checked:=False;
  CheckBox3.Checked:=False;
  CheckBox4.Checked:=False;
end;
end;

//***** Repetir todo o Processo *****//

Barra.Visible:=false;
PageControl1.Enabled:=true;
end;
procedure TForm2.FormCreate(Sender: TObject);
begin
  StringGrid1.Cells[1,0]:=' Deslocamento em X';
  StringGrid1.Cells[2,0]:=' Deslocamento em Y';
  StringGrid1.Cells[3,0]:=' Rotação em Z';
  StringGrid2.Cells[1,0]:=' Força em X';
  StringGrid2.Cells[2,0]:=' Força em Y';
  StringGrid2.Cells[3,0]:=' Momento em Z';
end;

procedure TForm2.Button8Click(Sender: TObject);
var
  I, J, K : Integer;
  Pag : Real;
begin
  if(PrintDialog1.Execute)then
  begin
    Memo1.Clear;
    Memo1.Lines.Append(' ');
    if(OpenDialog1.FileName<>'')then
      Memo1.Lines.Append(' Nome do Arquivo :
'+ExtractFileName(OpenDialog1.FileName))
    else
      Memo1.Lines.Append(' Nome do Arquivo :
'+ExtractFileName(SaveDialog1.FileName));
    Memo1.Lines.Append(' ');
    Memo1.Lines.Append(' Orientador : Renato Bertolino
Jr. ');
    Memo1.Lines.Append(' ');
    Memo1.Lines.Append(' Orientado : Giuliano Ap.
Romanholo ');
    Memo1.Lines.Append(' ');
    Memo1.Lines.Append(' ');
    Impressão dos Resultados ' ');
    Memo1.Lines.Append(' ');
    Memo1.Lines.Append(' ');
    Memo1.Lines.Append(' Deslocamentos nos Nós');
    Memo1.Lines.Append(' ');
    for I:=0 to StringGrid1.RowCount-1 do
    begin
      Memo1.Lines.Append(Format('%12s',[StringGrid1.Cells[0,I
]])+' '+
        Format('%25s',[StringGrid1.Cells[1,I]])+' '+
        Format('%25s',[StringGrid1.Cells[2,I]])+' '+
        Format('%25s',[StringGrid1.Cells[3,I]]));
    end;
    Memo1.Lines.Append(' ');
    Memo1.Lines.Append(' ');
  end;
end;

```

```

Memo1.Lines.Append(' ');
Memo1.Lines.Append(' ');
Memo1.Lines.Append(' Forças nas Barras');
Memo1.Lines.Append(' ');
for I:=0 to StringGrid2.RowCount-1 do
begin
  Memo1.Lines.Append(Format('
'+%8s',[StringGrid2.Cells[0,I]])+' '+
    Format('%25s',[StringGrid2.Cells[1,I]])+' '+
    Format('%25s',[StringGrid2.Cells[2,I]])+' '+
    Format('%25s',[StringGrid2.Cells[3,I]]));
end;
Memo1.Lines.Append(' ');
Memo1.Lines.Append(' ');
Pag:=StrToFloat(IntToStr(Memo1.Lines.Count));
Pag:=Pag/66;
Printer.BeginDoc;
if(OpenDialog1.FileName<>'')then
  Printer.Title:=ExtractFileName(OpenDialog1.FileName)
else
  Printer.Title:=ExtractFileName(SaveDialog1.FileName);
Printer.Canvas.Font:=Memo1.Font;
J:=Printer.Canvas.TextHeight('X');
for I:=0 to Trunc(Pag) do
begin
  for K:=0 to 65 do
  begin
    Printer.Canvas.TextOut(10,J*K+3+(5*J),Memo1.Lines.Stri
ngs[K+(I*66)]);
  end;
  if(I<>Trunc(Pag))then
    Printer.NewPage;
  end;
  Printer.EndDoc;
end;
end;

procedure TForm2.TabSheet3Show(Sender: TObject);

//***** Construção do Gráfico *****//

var
  NELEM,NNODS,NNOCA,NELCA,I,J,CX1,CY1,CX2,CY2,
  CX3,CY3,DESLX,DESLY,TX,CX,CY,CT : Integer;
  XMIN, YMIN, XMAX, YMAX, FATOR, COMPMX, COMPY :
Real;
  NOC, ELECA : Array of Integer;
  ELEW : Array of Real;
  BARRAS : Array of Array of Integer;
  NOS, CNO : Array of Array of Real;
begin
  Edit14.Text:='N';
  Image1.Canvas.FillRect(Rect(0,0,477,363));
  Image2.Canvas.FillRect(Rect(0,0,477,363));
  NELEM:=StrToInt(Edit2.Text);
  NNODS:=StrToInt(Edit1.Text);
  NNOCA:=StrToInt(Edit4.Text);
  NELCA:=StrToInt(Edit6.Text);
  SetLength(BARRAS,NELEM+1);
  for I:=1 to NELEM do
    SetLength(BARRAS[I],2+1);
  for I:=1 to NELEM do
    for J:=1 to 2 do
      BARRAS[I,J]:=StrToInt(Form7.StringGrid1.Cells[J,I]);
    SetLength(NOS,NNODS+1);
    for I:=1 to NNODS do
      SetLength(NOS[I],2+1);
    for I:=1 to NNODS do
      for J:=1 to 2 do
        NOS[I,J]:=StrToFloat(Form6.StringGrid1.Cells[J,I]);
      SetLength(NOC,NNOCA+1);

```



```

for I:=1 to NNOCA do
  NOC[I]:=StrToInt(Form9.StringGrid1.Cells[0,I]);
SetLength(CNO,NNOCA+1);
for I:=1 to NNOCA do
  SetLength(CNO[I],3+1);
for I:=1 to NNOCA do
  for J:=1 to 3 do
    CNO[I,J]:=StrToFloat(Form9.StringGrid1.Cells[J,I]);
SetLength(ELECA,NELCA+1);
SetLength(ELEW,NELCA+1);
for I:=1 to NELCA do
begin
  ELECA[I]:=StrToInt(Form11.StringGrid1.Cells[0,I]);
  ELEW[I]:=StrToFloat(Form11.StringGrid1.Cells[1,I]);
end;
XMIN:=NOS[1,1];
YMIN:=NOS[1,2];
XMAX:=NOS[1,1];
YMAX:=NOS[1,2];
for I:=2 to NNODS do
begin
  if(NOS[I,1]<XMIN)then
    XMIN:=NOS[I,1];
  if(NOS[I,2]<YMIN)then
    YMIN:=NOS[I,2];
  if(NOS[I,1]>XMAX)then
    XMAX:=NOS[I,1];
  if(NOS[I,2]>YMAX)then
    YMAX:=NOS[I,2];
end;
Edit11.Text:=FloatToStr(XMIN);
Edit12.Text:=FloatToStr(YMIN);
COMPX:=XMAX-XMIN;
COMPY:=YMAX-YMIN;
if(COMPX=0)then
  COMPX:=1;
if(COMPY=0)then
  COMPY:=1;
if(400/COMPX>300/COMPY)then
  FATOR:=250/COMPY
else
  FATOR:=350/COMPX;
Edit10.Text:=FloatToStr(FATOR);
DESLX:=StrToInt(Format('%8.0f',(((450-
COMPX*FATOR)/2))));
DESLY:=StrToInt(Format('%8.0f',(((300-
COMPY*FATOR)/2))));
Edit8.Text:=IntToStr(DESLX);
Edit9.Text:=IntToStr(DESLY);
Image1.Canvas.Pen.Color:=clBlue;
Image1.Canvas.Pen.Width:=2;
Image1.Canvas.Font.Color:=clGreen;
for I:=1 to NELEM do
begin
  CX1:=StrToInt(Format('%8.0f',((NOS[BARRAS[I,1],1]-
XMIN)*FATOR+20+DESLX)));

  CY1:=StrToInt(Format('%8.0f',[320-
(NOS[BARRAS[I,1],2]-YMIN)*FATOR-DESLY]));
  CX2:=StrToInt(Format('%8.0f',((NOS[BARRAS[I,2],1]-
XMIN)*FATOR+20+DESLX)));
  CY2:=StrToInt(Format('%8.0f',[320-
(NOS[BARRAS[I,2],2]-YMIN)*FATOR-DESLY]));
  Image1.Canvas.MoveTo(CX1,CY1);
  Image1.Canvas.LineTo(CX2,CY2);
  if(BARRAS[I,1]>=10)then
    TX:=15
  else
    TX:=10;
  if(BARRAS[I,1]>=100)then
    TX:=20;
  Image1.Canvas.Arc(CX1-2, CY1-2, CX1+2, CY1+2, 0,
0, 0, 0);
  if(RadioGroup2.ItemIndex=0)then

```

```

Image1.Canvas.TextOut(CX1-TX, CY1-
15,IntToStr(BARRAS[I,1]));
  if(BARRAS[I,2]>=10)then
    TX:=15
  else
    TX:=10;
  if(BARRAS[I,2]>=100)then
    TX:=20;
  Image1.Canvas.Arc(CX2-2, CY2-2, CX2+2, CY2+2, 0,
0, 0, 0);
  if(RadioGroup2.ItemIndex=0)then
    Image1.Canvas.TextOut(CX2-TX, CY2-
15,IntToStr(BARRAS[I,2]));
  end;
  Image1.Canvas.Pen.Color:=clYellow;
  for I:=1 to NNOCA do
  begin
    CX1:=StrToInt(Format('%8.0f',((NOS[NOC[I],1]-
XMIN)*FATOR+20+DESLX)));
    CY1:=StrToInt(Format('%8.0f',[320-(NOS[NOC[I],2]-
YMIN)*FATOR-DESLY]));
    if(CNO[I,1]<>0)then
      if(CNO[I,1]>0)then
        begin
          Image1.Canvas.MoveTo(CX1-40,CY1);
          Image1.Canvas.LineTo(CX1-15,CY1);
          Image1.Canvas.LineTo(CX1-20,CY1-2);
          Image1.Canvas.MoveTo(CX1-15,CY1);
          Image1.Canvas.LineTo(CX1-20,CY1+2);
        end
      else
        begin
          Image1.Canvas.MoveTo(CX1+40,CY1);
          Image1.Canvas.LineTo(CX1+15,CY1);
          Image1.Canvas.LineTo(CX1+20,CY1-2);
          Image1.Canvas.MoveTo(CX1+15,CY1);
          Image1.Canvas.LineTo(CX1+20,CY1+2);
        end;
      if(CNO[I,2]<>0)then
        if(CNO[I,2]>0)then
          begin
            Image1.Canvas.MoveTo(CX1,CY1+40);
            Image1.Canvas.LineTo(CX1,CY1+15);
            Image1.Canvas.LineTo(CX1-2,CY1+20);
            Image1.Canvas.MoveTo(CX1,CY1+15);
            Image1.Canvas.LineTo(CX1+2,CY1+20);
          end
        else
          begin
            Image1.Canvas.MoveTo(CX1,CY1-40);
            Image1.Canvas.LineTo(CX1,CY1-15);
            Image1.Canvas.LineTo(CX1-2,CY1-20);
            Image1.Canvas.MoveTo(CX1,CY1-15);
            Image1.Canvas.LineTo(CX1+2,CY1-20);
          end;
        if(CNO[I,3]<>0)then
          if(CNO[I,3]>0)then
            begin
              Image1.Canvas.Arc(CX1-8,CY1-
8,CX1+8,CY1+8,CX1+20,CY1,CX1,CY1+20);
              Image1.Canvas.MoveTo(CX1,CY1+8);
              Image1.Canvas.LineTo(CX1-5,CY1+5);
              Image1.Canvas.MoveTo(CX1,CY1+8);
              Image1.Canvas.LineTo(CX1-5,CY1+10);
            end
          else
            begin
              Image1.Canvas.Arc(CX1-8,CY1-
8,CX1+8,CY1+8,CX1+20,CX1-20,CY1);
              Image1.Canvas.MoveTo(CX1,CY1+8);
              Image1.Canvas.LineTo(CX1+5,CY1+5);
              Image1.Canvas.MoveTo(CX1,CY1+8);
              Image1.Canvas.LineTo(CX1+5,CY1+10);
            end;

```



```

end;
end;
for I:=1 to NELCA do
begin
if(NOS[BARRAS[ELECA[I], 1], 1]<NOS[BARRAS[ELECA[I],
2], 1])then
begin
CX1:=StrToInt(Format('%8.0f',[(NOS[BARRAS[ELECA[I], 1],
1]
-XMIN)*FATOR+20+DESLX]));
CY1:=StrToInt(Format('%8.0f',[320-
(NOS[BARRAS[ELECA[I], 1], 2]
-YMIN)*FATOR-DESLY]));
CX2:=StrToInt(Format('%8.0f',[(NOS[BARRAS[ELECA[I], 2],
1]
-XMIN)*FATOR+20+DESLX]));
CY2:=StrToInt(Format('%8.0f',[320-
(NOS[BARRAS[ELECA[I], 2], 2]
-YMIN)*FATOR-DESLY]));
end
else
begin
if(NOS[BARRAS[ELECA[I], 1], 1]>NOS[BARRAS[ELECA[I],
2], 1])then
begin
CX2:=StrToInt(Format('%8.0f',[(NOS[BARRAS[ELECA[I], 1],
1]
-XMIN)*FATOR+20+DESLX]));
CY2:=StrToInt(Format('%8.0f',[320-
(NOS[BARRAS[ELECA[I], 1], 2]
-YMIN)*FATOR-DESLY]));
CX1:=StrToInt(Format('%8.0f',[(NOS[BARRAS[ELECA[I], 2],
1]
-XMIN)*FATOR+20+DESLX]));
CY1:=StrToInt(Format('%8.0f',[320-
(NOS[BARRAS[ELECA[I], 2], 2]
-YMIN)*FATOR-DESLY]));
end
else
begin
CX1:=StrToInt(Format('%8.0f',[(NOS[BARRAS[ELECA[I], 1],
1]
-XMIN)*FATOR+20+DESLX]));
CX2:=StrToInt(Format('%8.0f',[(NOS[BARRAS[ELECA[I], 2],
1]
-XMIN)*FATOR+20+DESLX]));
if(NOS[BARRAS[ELECA[I], 1], 2]>NOS[BARRAS[ELECA[I],
2], 2])then
begin
CY1:=StrToInt(Format('%8.0f',[320-
(NOS[BARRAS[ELECA[I], 1], 2]
-YMIN)*FATOR-DESLY]));
CY2:=StrToInt(Format('%8.0f',[320-
(NOS[BARRAS[ELECA[I], 2], 2]
-YMIN)*FATOR-DESLY]));
end
else
begin
CY2:=StrToInt(Format('%8.0f',[320-
(NOS[BARRAS[ELECA[I], 1], 1]
-YMIN)*FATOR-DESLY]));
CY1:=StrToInt(Format('%8.0f',[320-
(NOS[BARRAS[ELECA[I], 2], 2]
-YMIN)*FATOR-DESLY]));

```

```

end;
end;
CX:=CX2-CX1;
CY:=CY2-CY1;
CT:=StrToInt(Format('%8.0f',[sqrt(CX*CX+CY*CY)]));
if(ELEW[I]<0)then
begin
CX3:=CX1+StrToInt(Format('%8.0f',[StrToFloat(IntToStr(4*
(CY2-CY1)))
/StrToFloat(IntToStr(CT))));
CY3:=CY1-
StrToInt(Format('%8.0f',[StrToFloat(IntToStr(4*(CX2-
CX1)))
/StrToFloat(IntToStr(CT))));
Image1.Canvas.MoveTo(CX3,CY3);
CX3:=CX1+StrToInt(Format('%8.0f',[StrToFloat(IntToStr(1
0*(CY2-CY1)))
/StrToFloat(IntToStr(CT))));
CY3:=CY1-
StrToInt(Format('%8.0f',[StrToFloat(IntToStr(10*(CX2-
CX1)))
/StrToFloat(IntToStr(CT))));
Image1.Canvas.LineTo(CX3,CY3);
CX3:=CX2+StrToInt(Format('%8.0f',[StrToFloat(IntToStr(1
0*(CY2-CY1)))
/StrToFloat(IntToStr(CT))));
CY3:=CY2-
StrToInt(Format('%8.0f',[StrToFloat(IntToStr(10*(CX2-
CX1)))
/StrToFloat(IntToStr(CT))));
Image1.Canvas.LineTo(CX3,CY3);
CX3:=CX2+StrToInt(Format('%8.0f',[StrToFloat(IntToStr(4*
(CY2-CY1)))
/StrToFloat(IntToStr(CT))));
CY3:=CY2-
StrToInt(Format('%8.0f',[StrToFloat(IntToStr(4*(CX2-
CX1)))
/StrToFloat(IntToStr(CT))));
Image1.Canvas.LineTo(CX3,CY3);
CX3:=CX1+StrToInt(Format('%8.0f',[StrToFloat(IntToStr(4*
(CY2-CY1)))
/StrToFloat(IntToStr(CT))));
CY3:=CY1-
StrToInt(Format('%8.0f',[StrToFloat(IntToStr(4*(CX2-
CX1)))
/StrToFloat(IntToStr(CT))));
Image1.Canvas.LineTo(CX3,CY3);
end
else
begin
CX3:=CX1-
StrToInt(Format('%8.0f',[StrToFloat(IntToStr(4*(CY2-
CY1)))
/StrToFloat(IntToStr(CT))));
CY3:=CY1+StrToInt(Format('%8.0f',[StrToFloat(IntToStr(4*
(CX2-CX1)))
/StrToFloat(IntToStr(CT))));
Image1.Canvas.MoveTo(CX3,CY3);
CX3:=CX1-
StrToInt(Format('%8.0f',[StrToFloat(IntToStr(10*(CY2-
CY1)))
/StrToFloat(IntToStr(CT))));
CY3:=CY1+StrToInt(Format('%8.0f',[StrToFloat(IntToStr(1
0*(CX2-CX1)))
/StrToFloat(IntToStr(CT))));

```

```

Image1.Canvas.LineTo(CX3,CY3);
CX3:=CX2-
StrToFloat(Format('%8.0f',[StrToFloat(IntToStr(10*(CY2-
CY1)))/StrToFloat(IntToStr(CT))]);

CY3:=CY2+StrToFloat(Format('%8.0f',[StrToFloat(IntToStr(1
0*(CX2-CX1)))/StrToFloat(IntToStr(CT))]);
Image1.Canvas.LineTo(CX3,CY3);
CX3:=CX2-
StrToFloat(Format('%8.0f',[StrToFloat(IntToStr(4*(CY2-
CY1)))/StrToFloat(IntToStr(CT))]);

CY3:=CY2+StrToFloat(Format('%8.0f',[StrToFloat(IntToStr(4*
(CX2-CX1)))/StrToFloat(IntToStr(CT))]);
Image1.Canvas.LineTo(CX3,CY3);
CX3:=CX1-
StrToFloat(Format('%8.0f',[StrToFloat(IntToStr(4*(CY2-
CY1)))/StrToFloat(IntToStr(CT))]);

CY3:=CY1+StrToFloat(Format('%8.0f',[StrToFloat(IntToStr(4*
(CX2-CX1)))/StrToFloat(IntToStr(CT))]);
Image1.Canvas.LineTo(CX3,CY3);
end;
end;
end;

procedure TForm2.Button10Click(Sender: TObject);

//***** Construção do Gráfico Deformado *****/

var
NELEM, NNODS, I, J, CX1, CY1, CX2, CY2, DESLX,
DESLY : Integer;
XMIN, YMIN, FATOR, COEFD, MAIOR : Real;
BARRAS : Array of Array of Integer;
NOS : Array of Array of Real;
begin
Image2.Canvas.FillRect(Rect(0,0,477,363));
Edit14.Text:='S';
NELEM:=StrToInt(Edit2.Text);
NNODS:=StrToInt(Edit1.Text);
FATOR:=StrToFloat(Edit10.Text);
SetLength(BARRAS,NELEM+1);
for I:=1 to NELEM do
SetLength(BARRAS[I],2+1);
for I:=1 to NELEM do
for J:=1 to 2 do
BARRAS[I,J]:=StrToInt(Form7.StringGrid1.Cells[J,I]);
SetLength(NOS,NNODS+1);
for I:=1 to NNODS do
SetLength(NOS[I],2+1);
if(RadioGroup1.ItemIndex=0)then
begin
for I:=1 to NNODS do
for J:=1 to 2 do
NOS[I,J]:=FATOR*StrToFloat(StringGrid1.Cells[J,I+1]);
MAIOR:=0;
for I:=1 to NNODS do
for J:=1 to 2 do
if(Abs(NOS[I,J])>MAIOR)then
MAIOR:=Abs(NOS[I,J]);
COEFD:=40/Abs(MAIOR);
end
else
begin
COEFD:=StrToFloat(Edit7.Text);
end;

```

```

Edit7.Text:=FloatToStr(COEFD);
SetLength(NOS,NNODS+1);
for I:=1 to NNODS do
SetLength(NOS[I],2+1);
for I:=1 to NNODS do
for J:=1 to 2 do
NOS[I,J]:=StrToFloat(Form6.StringGrid1.Cells[J,I])+
COEFD*StrToFloat(StringGrid1.Cells[J,I+1]);
XMIN:=StrToFloat(Edit11.Text);
YMIN:=StrToFloat(Edit12.Text);
DESLX:=StrToInt(Edit8.Text);
DESLY:=StrToInt(Edit9.Text);
Image2.Canvas.Pen.Color:=clRed;
Image2.Canvas.Pen.Width:=1;
for I:=1 to NELEM do
begin
CX1:=StrToInt(Format('%8.0f',[(NOS[BARRAS[I,1],1]-
XMIN)*FATOR+20+DESLX]));
CY1:=StrToInt(Format('%8.0f',[320-
(NOS[BARRAS[I,1],2]-YMIN)*FATOR-DESLY]));
CX2:=StrToInt(Format('%8.0f',[(NOS[BARRAS[I,2],1]-
XMIN)*FATOR+20+DESLX]));
CY2:=StrToInt(Format('%8.0f',[320-
(NOS[BARRAS[I,2],2]-YMIN)*FATOR-DESLY]));
Image2.Canvas.MoveTo(CX1,CY1);
Image2.Canvas.LineTo(CX2,CY2);
Image2.Canvas.Arc(CX1-2, CY1-2, CX1+2, CY1+2, 0,
0, 0, 0);
Image2.Canvas.Arc(CX2-2, CY2-2, CX2+2, CY2+2, 0,
0, 0, 0);
end;
end;

procedure TForm2.Button11Click(Sender: TObject);
begin
Timer2.Enabled:=true;
end;

procedure TForm2.Timer2Timer(Sender: TObject);

//***** Animação Gráfica *****/

var
NELEM, NNODS, I, J, CX1, CY1, CX2, CY2, DESLX,
DESLY : Integer;
XMIN, YMIN, FATOR, COEFD : Real;
BARRAS : Array of Array of Integer;
NOS : Array of Array of Real;
begin
Image2.Canvas.FillRect(Rect(0,0,477,363));
Edit14.Text:='S';
NELEM:=StrToInt(Edit2.Text);
NNODS:=StrToInt(Edit1.Text);
COEFD:=StrToFloat(Edit13.Text);
Edit13.Text:=FloatToStr(COEFD+StrToFloat(Edit7.Text)/2
0);
SetLength(BARRAS,NELEM+1);
for I:=1 to NELEM do
SetLength(BARRAS[I],2+1);
for I:=1 to NELEM do
for J:=1 to 2 do
BARRAS[I,J]:=StrToInt(Form7.StringGrid1.Cells[J,I]);
SetLength(NOS,NNODS+1);
for I:=1 to NNODS do
SetLength(NOS[I],2+1);
for I:=1 to NNODS do
for J:=1 to 2 do
NOS[I,J]:=StrToFloat(Form6.StringGrid1.Cells[J,I])+
COEFD*StrToFloat(StringGrid1.Cells[J,I+1]);
XMIN:=StrToFloat(Edit11.Text);
YMIN:=StrToFloat(Edit12.Text);
FATOR:=StrToFloat(Edit10.Text);
DESLX:=StrToInt(Edit8.Text);

```



```

DESLY:=StrToInt(Edit9.Text);
Image2.Canvas.Pen.Color:=clRed;
Image2.Canvas.Pen.Width:=1;
for I:=1 to NELEM do
begin
  CX1:=StrToInt(Format('%8.0f',[(NOS[BARRAS[I,1],1]-
XMIN)*FATOR+20+DESLX]));
  CY1:=StrToInt(Format('%8.0f',[320-
(NOS[BARRAS[I,1],2]-YMIN)*FATOR-DESLY]));
  CX2:=StrToInt(Format('%8.0f',[(NOS[BARRAS[I,2],1]-
XMIN)*FATOR+20+DESLX]));
  CY2:=StrToInt(Format('%8.0f',[320-
(NOS[BARRAS[I,2],2]-YMIN)*FATOR-DESLY]));
  Image2.Canvas.MoveTo(CX1,CY1);
  Image2.Canvas.LineTo(CX2,CY2);
  Image2.Canvas.Arc(CX1-2, CY1-2, CX1+2, CY1+2, 0,
0, 0, 0);
  Image2.Canvas.Arc(CX2-2, CY2-2, CX2+2, CY2+2, 0,
0, 0, 0);
end;
if(COEFD>StrToFloat(Edit7.Text))then
begin
  Edit13.Text:='0';
  Timer2.Enabled:=false;
end
end;

procedure TForm2.Edit7KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
begin

if((Key<>Char(8))and((Key>'9')or(Key<'0'))and(Key<>','))th
en
  Key:=Char(0);

if((Key=',')and((Edit7.Text='')or(Pos(',',Edit7.Text)<>0)))the
n
  Key:=Char(0);
end;

procedure TForm2.Edit7Change(Sender: TObject);
begin
  if(Pos(',',Edit7.Text)=1)then
    Edit7.Text:='0'+Edit7.Text;

if((Edit7.Text='')or(Pos(',',Edit7.Text)=Length(Edit7.Text)))t
hen
begin
  Button10.Enabled:=false;
  Button11.Enabled:=false;
end
else
begin
  Button10.Enabled:=true;
  Button11.Enabled:=true;
end;
end;

procedure TForm2.RadioGroup1Click(Sender: TObject);
begin
  Button10.Click;
end;

procedure TForm2.Image2Click(Sender: TObject);
begin
  Form12.ShowModal;
end;

procedure TForm2.RadioGroup2Click(Sender: TObject);
begin
  TabSheet3.Hide;
  TabSheet3.Show;
end;

```

```

procedure TForm2.PageControl1Changing(Sender:
TObject;
var AllowChange: Boolean);
begin
  Edit14.Text:='N';
  RadioGroup1.ItemIndex:=0;
  RadioGroup2.ItemIndex:=0;
end;

procedure TForm2.Button12Click(Sender: TObject);
begin
  try
    Button9.Click;
  finally
    Barra.Visible:=false;
  end;
end;

procedure TForm2.Button13Click(Sender: TObject);
begin
  Form2.Enabled:=false;
  Form13.Show;
end;

procedure TForm2.Timer3Timer(Sender: TObject);
begin
  Timer3.Enabled:=false;
  Button12.Click;
end;

end.

```

unit Unit 3;

```

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics,
  Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, ExtCtrls;

type
  TForm3 = class(TForm)
    Button1: TButton;
    Button2: TButton;
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Label4: TLabel;
    Label5: TLabel;
    Timer1: TTimer;
    procedure Button2Click(Sender: TObject);
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
    procedure Timer1Timer(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  Form3: TForm3;

implementation

uses Unit1;

{$R *.DFM}

procedure TForm3.Button2Click(Sender: TObject);
begin
  form1.close;
end.

```

```

end;

procedure TForm3.Button1Click(Sender: TObject);
begin
  form3.hide;
  form1.enabled:=true;
  form1.show;
  form1.edit1.text:="";
  form1.Edit1.setfocus;
end;

procedure TForm3.Timer1Timer(Sender: TObject);
begin
  if (label1.visible=true) then
  begin
    label1.visible:=false;
  end
  else
  begin
    label1.visible:=true;
  end
end;
end.

```

unit Unit 4;

```

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics,
  Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls;

type
  TForm4 = class(TForm)
    Button1: TButton;
    Button2: TButton;
    Label1: TLabel;
    Button3: TButton;
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
    procedure Button2Click(Sender: TObject);
    procedure Button3Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  Form4: TForm4;

implementation

uses Unit1, Unit2;

{$R *.DFM}

procedure TForm4.Button1Click(Sender: TObject);
begin
  Form2.Salvar1.Click;
  If (Button1.Enabled=true) then
    Form1.close;
end;
procedure TForm4.Button2Click(Sender: TObject);
begin
  form1.close;
end;
procedure TForm4.Button3Click(Sender: TObject);
begin
  Form2.Enabled:=true;
  Form4.Close;
end;

```

```

end.

```

unit Unit 5;

```

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics,
  Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, ExtCtrls;

type
  TForm5 = class(TForm)
    Label1: TLabel;
    Timer1: TTimer;
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
    procedure FormShow(Sender: TObject);
    procedure FormHide(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  Form5: TForm5;

implementation

uses Unit1;

{$R *.DFM}

procedure TForm5.Button1Click(Sender: TObject);
begin
  form5.Hide;
  form1.enabled:=true;
  form1.Edit1.setfocus;
  form1.show;
end;

procedure TForm5.FormShow(Sender: TObject);
begin
  timer1.enabled:=true;
end;

procedure TForm5.FormHide(Sender: TObject);
begin
  timer1.enabled:=false;
end;

end.

```

unit Unit 6;

```

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics,
  Controls, Forms, Dialogs,
  Grids, StdCtrls, ExtCtrls;

type
  TForm6 = class(TForm)
    Button1: TButton;
    StringGrid1: TStringGrid;
    Panel1: TPanel;
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Edit3: TEdit;
    Edit4: TEdit;
    Edit5: TEdit;

```



```

Edit6: TEdit;
Button2: TButton;
Button3: TButton;
Label3: TLabel;
Label4: TLabel;
Edit7: TEdit;
Edit1: TEdit;
Edit2: TEdit;
Label6: TLabel;
Label7: TLabel;
Bevel1: TBevel;
Label5: TLabel;
Label8: TLabel;
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure StringGrid1KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
procedure Edit7KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure Edit2KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure Edit2Enter(Sender: TObject);
procedure Edit3KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure Edit3Exit(Sender: TObject);
procedure Edit5Exit(Sender: TObject);
procedure Edit5KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure Edit6Exit(Sender: TObject);
procedure Edit6KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure Edit1KeyUp(Sender: TObject; var Key: Word;
Shift: TShiftState);
procedure Edit1Exit(Sender: TObject);
procedure Edit4Exit(Sender: TObject);
procedure Edit4KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure Button3Click(Sender: TObject);
procedure Edit2Exit(Sender: TObject);
procedure Edit7Exit(Sender: TObject);
procedure Edit7KeyUp(Sender: TObject; var Key: Word;
Shift: TShiftState);
procedure Edit1KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure StringGrid1SelectCell(Sender: TObject; ACol,
ARow: Integer;
var CanSelect: Boolean);
procedure StringGrid1Exit(Sender: TObject);
private
{ Private declarations }
public
{ Public declarations }
end;

var
Form6: TForm6;

implementation

uses Unit2;

{$R *.DFM}

procedure TForm6.Button1Click(Sender: TObject);
begin
form2.Show;
form6.Hide;
form2.enabled:=true;
end;

procedure TForm6.FormCreate(Sender: TObject);
begin
stringgrid1.Cells[0,0]:=' Nô';

```

```

stringgrid1.Cells[1,0]:=' coord.(X)';
stringgrid1.Cells[2,0]:=' Coord.(Y)';
end;

procedure TForm6.StringGrid1KeyPress(Sender: TObject;
var Key: Char);
var
col, lin : integer;
begin
col:=strtoint(label6.caption);
lin:=strtoint(label7.caption);
if((Key<>Chr(8))and(key<>')and((Key>'9')or(Key<'0'))or
((stringgrid1.cells[col,lin]='')and(key=''))or
((stringgrid1.cells[col,lin]='0')and(key='0'))or
((pos(',',stringgrid1.cells[col,lin])<>0)and(key=','))then
Key := Chr(0);
end;

procedure TForm6.Edit7KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
begin
edit7.ClearSelection;
if((Key<>Chr(8))and((Key>'9')or(Key<'0'))or
((edit7.text='')and(Key='0')) then
Key := Chr(0);
end;

procedure TForm6.Edit2KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
var
a, b, c : integer;
begin
b:=0;
c:=Length(edit2.text);
for a := 1 to c do
begin
if(Copy(edit2.text,a,1)='.')then
begin
b:=1;
end;
end;
if((key<>')and(Key<>Chr(8))and((Key>'9')or(Key<'0'))or
((edit2.text='')and(Key=''))or((b<>0)and(key=','))then
Key := Chr(0);
end;

procedure TForm6.Edit2Enter(Sender: TObject);
begin
if(copy(edit2.text,length(edit2.text),1)='.')then
edit2.text:=edit2.text + '00';
end;

procedure TForm6.Edit3KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
var
a, b, c : integer;
begin
b:=0;
c:=Length(edit3.text);
for a := 1 to c do
begin
if(Copy(edit3.text,a,1)='.')then
begin
b:=1;
end;
end;
if((key<>')and(Key<>Chr(8))and((Key>'9')or(Key<'0'))or
((edit3.text='')and(Key=''))or((b<>0)and(key=','))then
Key := Chr(0);
end;

procedure TForm6.Edit3Exit(Sender: TObject);
begin
if(copy(edit3.text,length(edit3.text),1)='.')then

```

```

edit3.text:=edit3.text + '00';
end;

procedure TForm6.Edit5Exit(Sender: TObject);
begin
  if(copy(edit5.text,length(edit5.text),1)='')then
    edit5.text:=edit5.text + '00';
end;

procedure TForm6.Edit5KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
var
  a, b, c : integer;
begin
  b:=0;
  c:=Length(edit5.text);
  for a := 1 to c do
  begin
    if(Copy(edit5.text,a,1)='')then
      begin
        b:=1;
      end;
    end;
    if((key<>'')and((Key<>Chr(8))and((Key>'9')or(Key<'0'))))or
      ((edit5.text='')and(Key=''))or((b<>0)and(key=''))then
      Key := Chr(0);
  end;

procedure TForm6.Edit6Exit(Sender: TObject);
begin
  if(copy(edit6.text,length(edit6.text),1)='')then
    edit6.text:=edit6.text + '00';
end;

procedure TForm6.Edit6KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
var
  a, b, c : integer;
begin
  b:=0;
  c:=Length(edit6.text);
  for a := 1 to c do
  begin
    if(Copy(edit6.text,a,1)='')then
      begin
        b:=1;
      end;
    end;
    if((key<>'')and((Key<>Chr(8))and((Key>'9')or(Key<'0'))))or
      ((edit6.text='')and(Key=''))or((b<>0)and(key=''))then
      Key := Chr(0);
  end;

procedure TForm6.Edit1KeyUp(Sender: TObject; var Key:
Word;
Shift: TShiftState);
begin
  if(edit1.text<>'')and(edit2.text<>'')and(edit3.text<>'')and
(edit4.text<>'')and(edit5.text<>'')and(edit6.text<>'')and
(edit7.text<>'')and(((strtoint(edit4.text)-
strtoint(edit1.text))mod
(strtoint(edit7.text)))=0)then
  begin
    button2.enabled:=true;
  end
  else
  begin
    button2.enabled:=false;
  end;
end;

procedure TForm6.Edit1Exit(Sender: TObject);
begin

```

```

if((edit1.text<>'')and(strtoint(edit1.text)>stringgrid1.rowcou
nt-3))then
  begin
    Edit1.setfocus;
  end;
end;

procedure TForm6.Edit4Exit(Sender: TObject);
begin
  if edit1.text = '' then
  begin
    edit1.setfocus;
  end
  else
  begin

if((edit4.text<>'')and(strtoint(edit4.text)>stringgrid1.rowcou
nt-1))or

((edit4.text<>'')and(strtoint(edit4.text)<strtoint(edit1.text)+2
))then
  begin
    button2.enabled:=false;
    edit4.setfocus;
  end
  end
end;

procedure TForm6.Edit4KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
begin
  edit4.ClearSelection;
  if((Key<>Chr(8))and((Key>'9')or(Key<'0'))))or
    ((edit4.text='')and(Key='0')) then
    Key := Chr(0);
end;

procedure TForm6.Button2Click(Sender: TObject);
var
  dupla : string[30];
  a, b : integer;
  deltax, deltax : real;
begin
  Button2.Enabled:=false;
  deltax:=(strtofloat(edit5.text)-strtofloat(edit2.text))/
(strtofloat(edit4.text)-strtofloat(edit1.text));
  deltax:=(strtofloat(edit6.text)-strtofloat(edit3.text))/
(strtofloat(edit4.text)-strtofloat(edit1.text));
  b:=strtoint(floattostr((strtofloat(edit4.text)-
strtofloat(edit1.text))/strtofloat(edit7.text)));
  for a:=0 to b do
  begin

stringgrid1.Cells[1,(strtoint(edit1.text)+a*strtoint(edit7.text))
]:=

floattostr(strtofloat(edit2.text)+(deltax*(a*strtofloat(edit7.te
x))));

stringgrid1.Cells[2,(strtoint(edit1.text)+a*strtoint(edit7.text))
]:=

floattostr(strtofloat(edit3.text)+(deltax*(a*strtofloat(edit7.te
x))));
str(strtofloat(stringgrid1.Cells[1,(strtoint(edit1.text)+
a*strtoint(edit7.text))]):30:4,dupla);
while(pos(' ',dupla)=1)do
dupla:=copy(dupla,2,length(dupla)-1);

stringgrid1.Cells[1,(strtoint(edit1.text)+a*strtoint(edit7.text))
]:=

```



```

    copy(dupla, 1, length(dupla)-
5)+' '+copy(dupla, length(dupla)-3, 4);
    str(strtoint(stringgrid1.Cells[2, (strtoint(edit1.text)+
    a*strtoint(edit7.text))]):30:4, dupla);
    while(pos(' ', dupla)=1)do
dupla:=copy(dupla, 2, length(dupla)-1);

stringgrid1.Cells[2, (strtoint(edit1.text)+a*strtoint(edit7.text))
]:=
    copy(dupla, 1, length(dupla)-
5)+' '+copy(dupla, length(dupla)-3, 4);
    end;
end;

procedure TForm6.Button3Click(Sender: TObject);
begin
    Edit1.text:="";
    Edit2.text:="";
    Edit3.text:="";
    Edit4.text:="";
    Edit5.text:="";
    Edit6.text:="";
    Edit7.text:="";
    button2.enabled:=false;
    Edit1.setFocus;
end;

procedure TForm6.Edit2Exit(Sender: TObject);
begin
    if(copy(edit2.text, length(edit2.text), 1)=' ')then
        edit2.text:=edit2.text + '00';
end;

procedure TForm6.Edit7Exit(Sender: TObject);
begin
    if(edit1.text='')then
    begin
        edit1.SetFocus;
    end
    else
    begin
        if(edit4.text='')then
        begin
            edit4.SetFocus;
        end
    end
end;

procedure TForm6.Edit7KeyUp(Sender: TObject; var Key:
Word;
Shift: TShiftState);
begin
    if(edit1.text<>'')and(edit2.text<>'')and(edit3.text<>'')and
(edit4.text<>'')and(edit5.text<>'')and(edit6.text<>'')and
(edit7.text<>'')and(((strtoint(edit4.text)-
strtoint(edit1.text))mod
(strtoint(edit7.text)))=0)then
    begin
        button2.enabled:=true;
    end
    else
    begin
        button2.enabled:=false;
        if(edit1.text='')then
        begin
            edit1.SetFocus;
        end
        else
        begin
            if(edit4.text='')then
            begin
                edit4.SetFocus;
            end
        end
    end
end
end

```

```

end
end;

procedure TForm6.Edit1KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
begin
    edit1.ClearSelection;
    if((Key<>Chr(8))and((Key>'9')or(Key<'0'))or
((edit1.text='')and(Key='0')) then
        Key := Chr(0);
end;

procedure TForm6.StringGrid1SelectCell(Sender: TObject;
ACol,
ARow: Integer; var CanSelect: Boolean);
begin
    label6.caption:=inttostr(acol);
    label7.caption:=inttostr(arrow);
end;

procedure TForm6.StringGrid1Exit(Sender: TObject);
var
    dupla : string[30];
    col, lin : integer;
begin
    for col:=1 to 2 do
        for lin:=1 to stringgrid1.RowCount do
            begin
                if(stringgrid1.Cells[col,lin]='0')or
                (stringgrid1.Cells[col,lin]='0,')then
                    stringgrid1.Cells[col,lin]:='0,0000';
                if(stringgrid1.Cells[col,lin]<>'')and
                (stringgrid1.Cells[col,lin]<>'Sem_Valor')and
                (pos(' ', stringgrid1.Cells[col,lin])=0)then
                    stringgrid1.Cells[col,lin]:=stringgrid1.Cells[col,lin]+' ,00';
                if(stringgrid1.Cells[col,lin]<>'')and
                (stringgrid1.Cells[col,lin]<>'Sem_Valor')then
                    begin
                        str(strtoint(stringgrid1.Cells[col,lin]):30:4, dupla);
                        while(pos(' ', dupla)=1)do
                            dupla:=copy(dupla, 2, length(dupla)-1);
                        stringgrid1.Cells[col,lin]:=copy(dupla, 1, length(dupla)-
5)+' '+
                            copy(dupla, length(dupla)-3, 4);
                    end;
                end;
            end;
        end;
    end.

```

unit Unit 7;

interface

uses
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics,
Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls, Grids, ExtCtrls;

type

```

TForm7 = class(TForm)
    StringGrid1: TStringGrid;
    Button1: TButton;
    Panel1: TPanel;
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Label4: TLabel;
    Edit3: TEdit;
    Edit4: TEdit;
    Edit5: TEdit;
    Edit6: TEdit;

```

```

Button2: TButton;
Button3: TButton;
Edit7: TEdit;
Label5: TLabel;
Edit8: TEdit;
Edit11: TEdit;
Edit2: TEdit;
Label6: TLabel;
Label7: TLabel;
Bevel1: TBevel;
Panel2: TPanel;
Edit9: TEdit;
Edit10: TEdit;
Edit11: TEdit;
Edit12: TEdit;
Label8: TLabel;
Label9: TLabel;
Label10: TLabel;
Label11: TLabel;
Label12: TLabel;
Label13: TLabel;
Label14: TLabel;
Button4: TButton;
Edit13: TEdit;
Edit14: TEdit;
Label15: TLabel;
Label16: TLabel;
StringGrid2: TStringGrid;
Label17: TLabel;
Label18: TLabel;
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure Edit1Exit(Sender: TObject);
procedure Edit1KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure Edit1KeyUp(Sender: TObject; var Key: Word;
Shift: TShiftState);
procedure Edit4Exit(Sender: TObject);
procedure Edit4KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure Edit4KeyUp(Sender: TObject; var Key: Word;
Shift: TShiftState);
procedure Edit2Exit(Sender: TObject);
procedure Edit2KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure Edit2KeyU(Sender: TObject; var Key: Word;
Shift: TShiftState);
procedure Edit3Exit(Sender: TObject);
procedure Edit3KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure Edit3KeyUp(Sender: TObject; var Key: Word;
Shift: TShiftState);
procedure Edit5Exit(Sender: TObject);
procedure Edit5KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure Edit5KeyUp(Sender: TObject; var Key: Word;
Shift: TShiftState);
procedure Edit6Exit(Sender: TObject);
procedure Edit6KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure Edit6KeyUp(Sender: TObject; var Key: Word;
Shift: TShiftState);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure Button3Click(Sender: TObject);
procedure Edit7KeyUp(Sender: TObject; var Key: Word;
Shift: TShiftState);
procedure Edit8KeyUp(Sender: TObject; var Key: Word;
Shift: TShiftState);
procedure StringGrid1SelectCell(Sender: TObject; ACol,
ARow: Integer;
var CanSelect: Boolean);
procedure StringGrid1KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);

```

```

procedure Edit7KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure Edit8KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure Edit9KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure Edit10KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure Edit11KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure Edit12KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure Button4Click(Sender: TObject);
procedure Edit13KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure Edit14KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure Edit13Exit(Sender: TObject);
procedure Edit14Exit(Sender: TObject);
procedure Edit9Exit(Sender: TObject);
procedure Edit13KeyUp(Sender: TObject; var Key:
Word;
Shift: TShiftState);
private
{ Private declarations }
public
{ Public declarations }
end;

var
Form7: TForm7;

implementation

uses Unit2;

{$R *.DFM}

procedure TForm7.Button1Click(Sender: TObject);
begin
Form2.Show;
Form7.Hide;
Form2.enabled:=true;
end;

procedure TForm7.FormCreate(Sender: TObject);
begin
StringGrid1.Cells[0,0]:=' Barra';
StringGrid1.Cells[1,0]:=' N6(I)';
StringGrid1.Cells[2,0]:=' N6(J)';
StringGrid1.Cells[3,0]:='Material';
StringGrid1.Cells[4,0]:=' Sa(i)';
StringGrid1.Cells[5,0]:=' Sa(j)';
StringGrid1.Cells[6,0]:=' Sr(i)';
StringGrid1.Cells[7,0]:=' Sr(j)';
end;

procedure TForm7.Edit1Exit(Sender: TObject);
begin
if((Edit1.Text<>'')and(strtoint(Edit1.Text)>StringGrid1.rowc
out-3))then
begin
Edit1.SetFocus;
Edit1.Text:='';
end
end;

procedure TForm7.Edit1KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
begin
if((Key<>Chr(8))and((Key<'9')or(Key<'0'))or
((Edit1.Text='')and(Key='0')) then
Key := Chr(0);

```



```

end;

procedure TForm7.Edit1KeyUp(Sender: TObject; var Key:
Word;
Shift: TShiftState);
var
a : Integer;
begin
a:=1000;

if(Edit1.Text<>")and(Edit4.Text<>")and(Edit7.Text<>")and
(StrToInt(Edit1.Text)<StrToInt(Edit4.Text))and
((StrToInt(Edit1.Text)-StrToInt(Edit4.Text))
mod(StrToInt(Edit7.Text))=0)then
a:=StrToInt(FloatToStr((StrToFloat(Edit4.Text)-
StrToFloat(Edit1.Text))/
StrToFloat(Edit7.Text)));

if(Edit1.Text<>")and(Edit2.Text<>")and(Edit3.Text<>")and
(Edit4.Text<>")and(Edit5.Text<>")and(Edit6.Text<>")and
(Edit7.Text<>")and(Edit8.Text<>")and
((StrToInt(Edit1.Text)-StrToInt(Edit4.Text))
mod(StrToInt(Edit7.Text))=0)and
((StrToInt(Edit2.Text)-
StrToInt(Edit5.Text))mod(a)=0)and
((StrToInt(Edit3.Text)-
StrToInt(Edit6.Text))mod(a)=0)then
begin
button2.enabled:=true;
end
else
begin
button2.enabled:=false;
end
end;

procedure TForm7.Edit4Exit(Sender: TObject);
begin
if Edit1.Text = " then
begin
Edit1.setfocus;
Edit4.Text:=";
end
else
begin
end;

if((Edit4.Text<>")and(strtoint(Edit4.Text)>StringGrid1.rowc
ount-1))or
((Edit4.Text<>")and(strtoint(Edit4.Text)<strtoint(Edit1.Text)
+2))then
begin
Edit4.setfocus;
Edit4.Text:=";
end
end;

procedure TForm7.Edit4KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
begin
if((Key<>Chr(8))and((Key>'9')or(Key<'0'))or
((Edit4.Text=")and(Key='0')) then
Key := Chr(0);
end;

procedure TForm7.Edit4KeyUp(Sender: TObject; var Key:
Word;
Shift: TShiftState);
var
a : Integer;
begin
a:=1000;

```

```

if(Edit1.Text<>")and(Edit4.Text<>")and(Edit7.Text<>")and
(StrToInt(Edit1.Text)<StrToInt(Edit4.Text))and
((StrToInt(Edit1.Text)-StrToInt(Edit4.Text))
mod(StrToInt(Edit7.Text))=0)then
a:=StrToInt(FloatToStr((StrToFloat(Edit4.Text)-
StrToFloat(Edit1.Text))/
StrToFloat(Edit7.Text)));

if(Edit1.Text<>")and(Edit2.Text<>")and(Edit3.Text<>")and
(Edit4.Text<>")and(Edit5.Text<>")and(Edit6.Text<>")and
(Edit7.Text<>")and(Edit8.Text<>")and
((StrToInt(Edit1.Text)-StrToInt(Edit4.Text))
mod(StrToInt(Edit7.Text))=0)and
((StrToInt(Edit2.Text)-
StrToInt(Edit5.Text))mod(a)=0)and
((StrToInt(Edit3.Text)-
StrToInt(Edit6.Text))mod(a)=0)then
begin
button2.enabled:=true;
end
else
begin
button2.enabled:=false;
end
end;

procedure TForm7.Edit2Exit(Sender: TObject);
begin
if(copy(Edit2.Text,length(Edit2.Text),1)='.',)then
Edit2.Text:=Edit2.Text + '00';
end;

procedure TForm7.Edit2KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
begin
if(Key<>Chr(8))and((Key>'9')or(Key<'0'))or
((Edit2.Text=")and(Key='0'))then
Key := Chr(0);
end;

procedure TForm7.Edit2KeyUp(Sender: TObject; var Key:
Word;
Shift: TShiftState);
var
a : Integer;
begin
a:=1000;

if(Edit1.Text<>")and(Edit4.Text<>")and(Edit7.Text<>")and
(StrToInt(Edit1.Text)<StrToInt(Edit4.Text))and
((StrToInt(Edit1.Text)-StrToInt(Edit4.Text))
mod(StrToInt(Edit7.Text))=0)then
a:=StrToInt(FloatToStr((StrToFloat(Edit4.Text)-
StrToFloat(Edit1.Text))/
StrToFloat(Edit7.Text)));

if(Edit1.Text<>")and(Edit2.Text<>")and(Edit3.Text<>")and
(Edit4.Text<>")and(Edit5.Text<>")and(Edit6.Text<>")and
(Edit7.Text<>")and(Edit8.Text<>")and
((StrToInt(Edit1.Text)-StrToInt(Edit4.Text))
mod(StrToInt(Edit7.Text))=0)and
((StrToInt(Edit2.Text)-
StrToInt(Edit5.Text))mod(a)=0)and
((StrToInt(Edit3.Text)-
StrToInt(Edit6.Text))mod(a)=0)then
begin
button2.enabled:=true;
end
else
begin
button2.enabled:=false;
end
end;

```

```

end
end;

procedure TForm7.Edit3Exit(Sender: TObject);
begin
  if(copy(Edit3.Text,length(Edit3.Text),1)=';')then
    Edit3.Text:=Edit3.Text + '00';
end;

procedure TForm7.Edit3KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
begin
  if(Key<>Chr(8))and((Key>'9')or(Key<'0'))or
    ((Edit3.Text='')and(Key='0'))then
    Key := Chr(0);
end;

procedure TForm7.Edit3KeyUp(Sender: TObject; var Key:
Word;
Shift: TShiftState);
var
  a : Integer;
begin
  a:=1000;

  if(Edit1.Text<>'')and(Edit4.Text<>'')and(Edit7.Text<>'')and
    (StrToInt(Edit1.Text)<StrToInt(Edit4.Text))and
    ((StrToInt(Edit1.Text)-StrToInt(Edit4.Text))
    mod(StrToInt(Edit7.Text))=0)then
    a:=StrToInt(FloatToStr((StrToFloat(Edit4.Text)-
    StrToFloat(Edit1.Text))/
    StrToFloat(Edit7.Text)));

  if(Edit1.Text<>'')and(Edit2.Text<>'')and(Edit3.Text<>'')and
    (Edit4.Text<>'')and(Edit5.Text<>'')and(Edit6.Text<>'')and
    (Edit7.Text<>'')and(Edit8.Text<>'')and
    ((StrToInt(Edit1.Text)-StrToInt(Edit4.Text))
    mod(StrToInt(Edit7.Text))=0)and
    ((StrToInt(Edit2.Text)-
    StrToInt(Edit5.Text))mod(a)=0)and
    ((StrToInt(Edit3.Text)-
    StrToInt(Edit6.Text))mod(a)=0)then
    begin
      button2.enabled:=true;
    end
  else
    begin
      button2.enabled:=false;
    end
  end;
end;

procedure TForm7.Edit5Exit(Sender: TObject);
begin
  if(copy(Edit5.Text,length(Edit5.Text),1)=';')then
    Edit5.Text:=Edit5.Text + '00';
end;

procedure TForm7.Edit5KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
begin
  if(Key<>Chr(8))and((Key>'9')or(Key<'0'))or
    ((Edit5.Text='')and(Key='0'))then
    Key := Chr(0);
end;

procedure TForm7.Edit5KeyUp(Sender: TObject; var Key:
Word;
Shift: TShiftState);
var
  a : Integer;
begin
  a:=1000;

```

```

  if(Edit1.Text<>'')and(Edit4.Text<>'')and(Edit7.Text<>'')and
    (StrToInt(Edit1.Text)<StrToInt(Edit4.Text))and
    ((StrToInt(Edit1.Text)-StrToInt(Edit4.Text))
    mod(StrToInt(Edit7.Text))=0)then
    a:=StrToInt(FloatToStr((StrToFloat(Edit4.Text)-
    StrToFloat(Edit1.Text))/
    StrToFloat(Edit7.Text)));

  if(Edit1.Text<>'')and(Edit2.Text<>'')and(Edit3.Text<>'')and
    (Edit4.Text<>'')and(Edit5.Text<>'')and(Edit6.Text<>'')and
    (Edit7.Text<>'')and(Edit8.Text<>'')and
    ((StrToInt(Edit1.Text)-StrToInt(Edit4.Text))
    mod(StrToInt(Edit7.Text))=0)and
    ((StrToInt(Edit2.Text)-
    StrToInt(Edit5.Text))mod(a)=0)and
    ((StrToInt(Edit3.Text)-
    StrToInt(Edit6.Text))mod(a)=0)then
    begin
      button2.enabled:=true;
    end
  else
    begin
      button2.enabled:=false;
    end
  end;
end;

procedure TForm7.Edit6Exit(Sender: TObject);
begin
  if(copy(Edit6.Text,length(Edit6.Text),1)=';')then
    Edit6.Text:=Edit6.Text + '00';
end;

procedure TForm7.Edit6KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
begin
  if(Key<>Chr(8))and((Key>'9')or(Key<'0'))or
    ((Edit6.Text='')and(Key='0'))then
    Key := Chr(0);
end;

procedure TForm7.Edit6KeyUp(Sender: TObject; var Key:
Word;
Shift: TShiftState);
var
  a : Integer;
begin
  a:=1000;

  if(Edit1.Text<>'')and(Edit4.Text<>'')and(Edit7.Text<>'')and
    (StrToInt(Edit1.Text)<StrToInt(Edit4.Text))and
    ((StrToInt(Edit1.Text)-StrToInt(Edit4.Text))
    mod(StrToInt(Edit7.Text))=0)then
    a:=StrToInt(FloatToStr((StrToFloat(Edit4.Text)-
    StrToFloat(Edit1.Text))/
    StrToFloat(Edit7.Text)));

  if(Edit1.Text<>'')and(Edit2.Text<>'')and(Edit3.Text<>'')and
    (Edit4.Text<>'')and(Edit5.Text<>'')and(Edit6.Text<>'')and
    (Edit7.Text<>'')and(Edit8.Text<>'')and
    ((StrToInt(Edit1.Text)-StrToInt(Edit4.Text))
    mod(StrToInt(Edit7.Text))=0)and
    ((StrToInt(Edit2.Text)-
    StrToInt(Edit5.Text))mod(a)=0)and
    ((StrToInt(Edit3.Text)-
    StrToInt(Edit6.Text))mod(a)=0)then
    begin
      button2.enabled:=true;
    end
  else
    begin
      button2.enabled:=false;
    end
  end;
end;

```



```

end
end;

procedure TForm7.Button2Click(Sender: TObject);
var
  a, b : integer;
  deltax, deltax : real;
begin
  Button2.Enabled:=false;
  deltax:=(strtofloat(Edit5.Text)-strtofloat(Edit2.Text))/
    (strtofloat(Edit4.Text)-strtofloat(Edit1.Text));
  deltax:=(strtofloat(Edit6.Text)-strtofloat(Edit3.Text))/
    (strtofloat(Edit4.Text)-strtofloat(Edit1.Text));
  b:=strtoint(floattostr((strtofloat(Edit4.Text)-
    strtofloat(Edit1.Text))/strtofloat(Edit7.Text)));
  for a:=0 to b do
  begin
    StringGrid1.Cells[1,(strtoint(Edit1.Text)+a*strtoint(Edit7.Te
    xt))]:=
      floattostr(strtofloat(Edit2.Text)+(deltax*(a*strtofloat(Edit7.T
      ext))));
    StringGrid1.Cells[2,(strtoint(Edit1.Text)+a*strtoint(Edit7.Te
    xt))]:=
      floattostr(strtofloat(Edit3.Text)+(deltax*(a*strtofloat(Edit7.T
      ext))));
    StringGrid1.Cells[3,(strtoint(Edit1.Text)
      +a*strtoint(Edit7.Text))]:=Edit8.Text;
  end;
end;

procedure TForm7.Button3Click(Sender: TObject);
begin
  Edit1.Clear;
  Edit2.Clear;
  Edit3.Clear;
  Edit4.Clear;
  Edit5.Clear;
  Edit6.Clear;
  Edit7.Clear;
  Edit8.Clear;
  Edit9.Clear;
  Edit10.Clear;
  Edit11.Clear;
  Edit12.Clear;
  Edit13.Clear;
  Edit14.Clear;
  Button2.Enabled:=false;
  Edit1.SetFocus;
end;

procedure TForm7.Edit7KeyUp(Sender: TObject; var Key:
Word;
  Shift: TShiftState);
var
  a : integer;
begin
  a:=1000;

  if(Edit1.Text<>")and(Edit4.Text<>")and(Edit7.Text<>")and
    (StrToInt(Edit1.Text)<StrToInt(Edit4.Text))and
    ((StrToInt(Edit1.Text)-StrToInt(Edit4.Text))
    mod(StrToInt(Edit7.Text))=0)then
    a:=StrToInt(FloatToStr((StrToFloat(Edit4.Text)-
    StrToFloat(Edit1.Text))/
    StrToFloat(Edit7.Text)));

  if(Edit1.Text<>")and(Edit2.Text<>")and(Edit3.Text<>")and
    (Edit4.Text<>")and(Edit5.Text<>")and(Edit6.Text<>")and
    (Edit7.Text<>")and(Edit8.Text<>")and
    ((StrToInt(Edit1.Text)-StrToInt(Edit4.Text))
    mod(StrToInt(Edit7.Text))=0)and
    ((StrToInt(Edit2.Text)-
    StrToInt(Edit5.Text))mod(a)=0)and
    ((StrToInt(Edit3.Text)-
    StrToInt(Edit6.Text))mod(a)=0)then
    begin
      button2.enabled:=true;
    end
  else
    begin
      button2.enabled:=false;
    end
  end;
end;

procedure TForm7.Edit7KeyUp(Sender: TObject; var Key:
Word;
  Shift: TShiftState);
var
  a : integer;
begin
  a:=1000;

  if(Edit1.Text<>")and(Edit4.Text<>")and(Edit7.Text<>")and
    (StrToInt(Edit1.Text)<StrToInt(Edit4.Text))and
    ((StrToInt(Edit1.Text)-StrToInt(Edit4.Text))
    mod(StrToInt(Edit7.Text))=0)then
    a:=StrToInt(FloatToStr((StrToFloat(Edit4.Text)-
    StrToFloat(Edit1.Text))/
    StrToFloat(Edit7.Text)));

  if(Edit1.Text<>")and(Edit2.Text<>")and(Edit3.Text<>")and
    (Edit4.Text<>")and(Edit5.Text<>")and(Edit6.Text<>")and
    (Edit7.Text<>")and(Edit8.Text<>")and

```

```

    ((StrToInt(Edit1.Text)-StrToInt(Edit4.Text))
    mod(StrToInt(Edit7.Text))=0)and
    ((StrToInt(Edit2.Text)-
    StrToInt(Edit5.Text))mod(a)=0)and
    ((StrToInt(Edit3.Text)-
    StrToInt(Edit6.Text))mod(a)=0)then
    begin
      button2.enabled:=true;
    end
  else
    begin
      button2.enabled:=false;
    end
  end;
end;

procedure TForm7.Edit8KeyUp(Sender: TObject; var Key:
Word;
  Shift: TShiftState);
var
  a : integer;
begin
  a:=1000;

  if(Edit1.Text<>")and(Edit4.Text<>")and(Edit7.Text<>")and
    (StrToInt(Edit1.Text)<StrToInt(Edit4.Text))and
    ((StrToInt(Edit1.Text)-StrToInt(Edit4.Text))
    mod(StrToInt(Edit7.Text))=0)then
    a:=StrToInt(FloatToStr((StrToFloat(Edit4.Text)-
    StrToFloat(Edit1.Text))/
    StrToFloat(Edit7.Text)));

  if(Edit1.Text<>")and(Edit2.Text<>")and(Edit3.Text<>")and
    (Edit4.Text<>")and(Edit5.Text<>")and(Edit6.Text<>")and
    (Edit7.Text<>")and(Edit8.Text<>")and
    ((StrToInt(Edit1.Text)-StrToInt(Edit4.Text))
    mod(StrToInt(Edit7.Text))=0)and
    ((StrToInt(Edit2.Text)-
    StrToInt(Edit5.Text))mod(a)=0)and
    ((StrToInt(Edit3.Text)-
    StrToInt(Edit6.Text))mod(a)=0)then
    begin
      button2.enabled:=true;
    end
  else
    begin
      button2.enabled:=false;
    end
  end;
end;

procedure TForm7.StringGrid1SelectCell(Sender: TObject;
  ACol,
  ARow: Integer; var CanSelect: Boolean);
begin
  Label6.Caption:=IntToStr(ACol);
  Label7.Caption:=IntToStr(ARow);
end;

procedure TForm7.StringGrid1KeyPress(Sender: TObject;
  var Key: Char);
var
  Col, Row : integer;
begin
  Col:=StrToInt(Label6.Caption);
  Row:=StrToInt(Label7.Caption);
  if(Col<=3)then
    begin
      if(Key<>Chr(8))and((Key>'9')or(Key<'0'))or
        ((StringGrid1.Cells[Col,Row]=")and(Key='0'))then
        Key := Chr(0);
    end;
  if(Col>=4)then
    begin

```

```

if(Key<>Chr(8))and(Key<>'.')and(Key<>'-'
)and((Key>'9')or(Key<'0'))or
((Pos('.',StringGrid1.Cells[Col,Row])<>0)and(Key='.'))or
((Pos('-',StringGrid1.Cells[Col,Row])<>0)and(Key='-'))then
    Key := Chr(0);
end;
end;

procedure TForm7.Edit7KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
begin
    Edit7.ClearSelection;
    if((Key<>Chr(8))and((Key>'9')or(Key<'0'))or
    ((Edit7.Text=")and(Key='0'))then
        Key := Chr(0);
end;

procedure TForm7.Edit8KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
begin
    Edit8.ClearSelection;
    if((Key<>Chr(8))and((Key>'9')or(Key<'0'))or
    ((Edit8.Text=")and(Key='0'))then
        Key := Chr(0);
end;

procedure TForm7.Edit9KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
begin
    Edit9.ClearSelection;
    if((key<>'.')and(key<>'E')and(key<>'-'and(Key<>Chr(8))
and((Key>'9')or(Key<'0'))or((Edit9.Text=")and(Key='.'))
or((Pos('.',Edit9.Text)<>0)and(key='.'))then
        Key := Chr(0);
end;

procedure TForm7.Edit10KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
begin
    Edit10.ClearSelection;
    if((key<>'.')and(key<>'E')and(key<>'-'and(Key<>Chr(8))
and((Key>'9')or(Key<'0'))or((Edit10.Text=")and(Key='.'))
or((Pos('.',Edit10.Text)<>0)and(key='.'))then
        Key := Chr(0);
end;

procedure TForm7.Edit11KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
begin
    Edit11.ClearSelection;
    if((key<>'.')and(key<>'E')and(key<>'-'and(Key<>Chr(8))
and((Key>'9')or(Key<'0'))or((Edit11.Text=")and(Key='.'))
or((Pos('.',Edit11.Text)<>0)and(key='.'))then
        Key := Chr(0);
end;

procedure TForm7.Edit12KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
begin
    Edit12.ClearSelection;
    if((key<>'.')and(key<>'E')and(key<>'-'and(Key<>Chr(8))
and((Key>'9')or(Key<'0'))or((Edit12.Text=")and(Key='.'))
or((Pos('.',Edit12.Text)<>0)and(key='.'))then
        Key := Chr(0);
end;

procedure TForm7.Button4Click(Sender: TObject);
var
    a, b, deltax, delay : integer;
begin
    Button4.Enabled:=false;
    deltax:=StrToInt(Edit13.Text);

```

```

delay:=StrToInt(Edit14.Text);
for a:=deltax to delay do
begin
    StringGrid1.Cells[4,a]:=Edit9.Text;
    StringGrid1.Cells[5,a]:=Edit10.Text;
    StringGrid1.Cells[6,a]:=Edit11.Text;
    StringGrid1.Cells[7,a]:=Edit12.Text;
end;
end;

procedure TForm7.Edit13KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
begin
    if((Key<>Chr(8))and((Key>'9')or(Key<'0'))or
    ((Edit13.Text=")and(Key='0')) then
        Key := Chr(0);
    Edit9.OnExit(Sender);
end;

procedure TForm7.Edit14KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
begin
    if((Key<>Chr(8))and((Key>'9')or(Key<'0'))or
    ((Edit14.Text=")and(Key='0')) then
        Key := Chr(0);
    Edit9.OnExit(Sender);
end;

procedure TForm7.Edit13Exit(Sender: TObject);
begin
    if((Edit13.Text<>")and(Edit14.Text<>")and
    (StrToInt(Edit13.Text)>=StrToInt(Edit14.Text))then
begin
    Edit14.Clear;
    Edit13.SetFocus;
end;
end;
Edit9.OnExit(Sender);
end;

procedure TForm7.Edit14Exit(Sender: TObject);
begin
    if((Edit13.Text<>")and(Edit14.Text<>")and
    (StrToInt(Edit13.Text)>=StrToInt(Edit14.Text))then
begin
    Edit14.Clear;
    Edit13.SetFocus;
end;
end;
Edit9.OnExit(Sender);
end;

procedure TForm7.Edit9Exit(Sender: TObject);
begin
    if(Edit9.Text<>")and(Edit10.Text<>")and(Edit11.Text<>")
and(Edit12.Text<>")and(Edit13.Text<>")and(Edit14.Text<
>")then
    Button4.Enabled:=true
    else
    Button4.Enabled:=false;
end;

procedure TForm7.Edit13KeyUp(Sender: TObject; var
Key: Word;
Shift: TShiftState);
begin
    Edit9.OnExit(Sender);
end;

end.

```

unit Unit 8;


```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics,  
Controls, Forms, Dialogs,  
Grids, StdCtrls;
```

```
type
```

```
TForm8 = class(TForm)  
StringGrid1: TStringGrid;  
Button1: TButton;  
Label1: TLabel;  
Label2: TLabel;  
Label3: TLabel;  
Label4: TLabel;  
Label5: TLabel;  
procedure Button1Click(Sender: TObject);  
procedure FormCreate(Sender: TObject);  
procedure StringGrid1SelectCell(Sender: TObject; ACol,  
ARow: Integer;  
var CanSelect: Boolean);
```

```
procedure StringGrid1KeyPress(Sender: TObject; var  
Key: Char);  
private  
{ Private declarations }  
public  
{ Public declarations }  
end;
```

```
var
```

```
Form8: TForm8;
```

```
implementation
```

```
uses Unit2;
```

```
{$R *.DFM}
```

```
procedure TForm8.Button1Click(Sender: TObject);  
begin  
form2.Show;  
form8.Hide;  
form2.enabled:=true;  
end;
```

```
procedure TForm8.FormCreate(Sender: TObject);  
begin  
stringgrid1.Cells[0,0]:=' Nó';  
stringgrid1.Cells[1,0]:=' Direção(x)';  
stringgrid1.Cells[2,0]:=' Direção(y)';  
stringgrid1.Cells[3,0]:=' Rotação(z)';  
end;  
procedure TForm8.StringGrid1SelectCell(Sender: TObject;  
ACol,  
ARow: Integer; var CanSelect: Boolean);  
begin  
Label3.Caption:=IntToStr(ACol);  
Label4.Caption:=IntToStr(ARow);  
end;
```

```
procedure TForm8.StringGrid1KeyPress(Sender: TObject;  
var Key: Char);  
var  
ACol, ARow : Integer;  
begin  
ACol:=StrToInt(Label3.Caption);  
ARow:=StrToInt(Label4.Caption);  
if(Key<>Char(8))and((Key<'0')or(Key>'9'))then  
begin  
Key:=Char(0);  
end  
else
```

```
begin  
if(ACol<>0)then  
if(Key<>Char(8))and(Key<'0')and(Key<'1'))then  
begin  
Key:=Char(0);  
end  
else  
begin  
if(StringGrid1.Cells[ACol,ARow]='')and(ACol<>0)then  
begin  
StringGrid1.Cells[ACol,ARow]:=Key;  
end  
else  
begin  
if(StringGrid1.Cells[ACol,ARow]='1')then  
begin  
StringGrid1.Cells[ACol,ARow]:='0';  
end  
else  
StringGrid1.Cells[ACol,ARow]:='1';  
end;  
end;  
end;  
end;
```

```
end.
```

unit Unit 9;

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics,  
Controls, Forms, Dialogs,  
StdCtrls, Grids, ExtCtrls;
```

```
type
```

```
TForm9 = class(TForm)  
StringGrid1: TStringGrid;  
Button1: TButton;  
Panel1: TPanel;  
Label2: TLabel;  
Label3: TLabel;  
Label4: TLabel;  
Label5: TLabel;  
Edit3: TEdit;  
Edit4: TEdit;  
Button2: TButton;  
Button3: TButton;  
Edit1: TEdit;  
Edit2: TEdit;  
Edit5: TEdit;  
Label6: TLabel;  
Edit6: TEdit;  
Label9: TLabel;  
Label10: TLabel;  
Button4: TButton;  
Bevel1: TBevel;  
Label1: TLabel;  
Label7: TLabel;  
procedure FormCreate(Sender: TObject);  
procedure Button1Click(Sender: TObject);  
procedure Button2Click(Sender: TObject);  
procedure Edit6KeyUp(Sender: TObject; var Key: Word;  
Shift: TShiftState);  
procedure FormShow(Sender: TObject);  
procedure Edit2Exit(Sender: TObject);  
procedure Edit3KeyPress(Sender: TObject; var Key:  
Char);  
procedure Edit4KeyPress(Sender: TObject; var Key:  
Char);
```

```

procedure Edit5KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure Edit6KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure Edit2KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure Edit1KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure StringGrid1SelectCell(Sender: TObject; ACol,
ARow: Integer;
var CanSelect: Boolean);
procedure StringGrid1KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
procedure StringGrid1Exit(Sender: TObject);
procedure Edit1Exit(Sender: TObject);
procedure Edit1KeyUp(Sender: TObject; var Key: Word;
Shift: TShiftState);
procedure Edit2KeyUp(Sender: TObject; var Key: Word;
Shift: TShiftState);
procedure Edit3KeyUp(Sender: TObject; var Key: Word;
Shift: TShiftState);
procedure Edit4KeyUp(Sender: TObject; var Key: Word;
Shift: TShiftState);
procedure Edit5KeyUp(Sender: TObject; var Key: Word;
Shift: TShiftState);
procedure Button4Click(Sender: TObject);
procedure Edit3Exit(Sender: TObject);
procedure Edit4Exit(Sender: TObject);
procedure Edit5Exit(Sender: TObject);

```

```

procedure Button3Click(Sender: TObject);
private
{ Private declarations }
public
{ Public declarations }
end;

var
Form9: TForm9;

implementation

uses Unit2;

{$R *.DFM}

procedure TForm9.FormCreate(Sender: TObject);
begin
stringgrid1.Cells[0,0]:= 'Nó';
stringgrid1.Cells[1,0]:= 'Força(x)';
stringgrid1.Cells[2,0]:= 'Força(y)';
stringgrid1.Cells[3,0]:= 'Momento(z)';
end;

procedure TForm9.Button1Click(Sender: TObject);
begin
form2.Show;
form9.Hide;
form2.enabled:=true;
end;

procedure TForm9.Button2Click(Sender: TObject);
var
dupla : string[30];
ACol, ARow, a, b : integer;

begin
Button2.Enabled:=false;
b:=strtoint(floattostr((strtofloat(edit2.text)-
strtofloat(edit1.text))/strtofloat(edit6.text)));
for a:=0 to b do
begin
ARow:=0;
for ACol:=StringGrid1.RowCount-1 downto 1 do
if(stringgrid1.Cells[0,ACol]=IntToStr(strtoint(edit1.text)

```

```

+a*strtoint(edit6.text)))then
ARow:=ACol;
if(ARow=0)then
for ACol:=StringGrid1.RowCount-1 downto 1 do
if(stringgrid1.Cells[0,ACol]='')then
ARow:=ACol;
stringgrid1.Cells[0,ARow]:=IntToStr(strtoint(edit1.text)
+a*strtoint(edit6.text));
stringgrid1.Cells[1,ARow]:=edit3.text;
stringgrid1.Cells[2,ARow]:=edit4.text;
stringgrid1.Cells[3,ARow]:=edit5.text;
str(strtofloat(stringgrid1.Cells[1,ARow]):30:4,dupla);
while(pos(' ',dupla)=1)do
dupla:=copy(dupla,2,length(dupla)-1);
stringgrid1.Cells[1,ARow]:=
copy(dupla,1,length(dupla)-
5)+','+copy(dupla,length(dupla)-3,4);
str(strtofloat(stringgrid1.Cells[2,ARow]):30:4,dupla);
while(pos(' ',dupla)=1)do
dupla:=copy(dupla,2,length(dupla)-1);
stringgrid1.Cells[2,ARow]:=
copy(dupla,1,length(dupla)-
5)+','+copy(dupla,length(dupla)-3,4);
str(strtofloat(stringgrid1.Cells[3,ARow]):30:4,dupla);
while(pos(' ',dupla)=1)do
dupla:=copy(dupla,2,length(dupla)-1);
stringgrid1.Cells[3,ARow]:=
copy(dupla,1,length(dupla)-
5)+','+copy(dupla,length(dupla)-3,4);
end;
end;

procedure TForm9.Edit6KeyUp(Sender: TObject; var Key:
Word;
Shift: TShiftState);
begin
if(edit1.text<>'')and(edit2.text<>'')and(edit3.text<>'')and
(edit4.text<>'')and(edit5.text<>'')and(edit6.text<>'')and
(((strtoint(edit2.text)-strtoint(edit1.text))mod
(strtoint(edit6.text)))=0)then
begin
button2.enabled:=true;
end
else
begin
button2.enabled:=false;
if(edit1.text='')then
begin
edit1.SetFocus;
end
end
end;

procedure TForm9.FormShow(Sender: TObject);
begin
edit1.setfocus;
end;

procedure TForm9.Edit2Exit(Sender: TObject);
begin
if(edit1.text<>'')and(edit2.text<>'')and
(strtoint(edit1.text)>strtoint(edit2.text)-2)then
begin
edit2.setfocus;
edit2.text:='';
end
else
begin
if((edit1.text<>'')and(edit2.text<>'')and(edit6.text<>'')and
(strtoint(edit6.text)<>0)and(((strtofloat(edit2.text)
-strtofloat(edit1.text))/strtofloat(edit6.text))>stringgrid1.rowc
ount-1)
or(strtoint(edit2.text)<strtoint(edit1.text)+2))then

```



```

begin
  button2.enabled:=false;
  edit2.text:="";
  edit2.setfocus;
end
end;

procedure TForm9.Edit3KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
begin
  if((key<>char(8))and(key<>')and(key<>'-'
)and((key<'0')or(key>'9'))then
    key:=char(0);
  if((edit3.text='0')and(key='0'))or
    ((edit3.text='-')and(key='-'))or
    ((edit3.text='')and(key=''))or
    ((pos(' ',edit3.text)<>0)and(key=' '))then
    key:=char(0);
end;

procedure TForm9.Edit4KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
begin
  if((key<>char(8))and(key<>')and(key<>'-'
)and((key<'0')or(key>'9'))then
    key:=char(0);
  if((edit4.text='0')and(key='0'))or
    ((edit4.text='-')and(key='-'))or
    ((edit4.text='')and(key=''))or
    ((pos(' ',edit4.text)<>0)and(key=' '))then
    key:=char(0);
end;

procedure TForm9.Edit5KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
begin
  if((key<>char(8))and(key<>')and(key<>'-'
)and((key<'0')or(key>'9'))then
    key:=char(0);
  if((edit5.text='0')and(key='0'))or
    ((edit5.text='-')and(key='-'))or
    ((edit5.text='')and(key=''))or
    ((pos(' ',edit5.text)<>0)and(key=' '))then
    key:=char(0);
end;

procedure TForm9.Edit6KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
begin
  Edit6.ClearSelection;
  if((key<>Char(8))and((key<'0')or(key>'9'))or
    ((edit6.text='')and(key='0'))then
    key:=char(0);
end;

procedure TForm9.Edit2KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
begin
  if((key<>Char(8))and((key<'0')or(key>'9'))or
    ((edit2.text='')and(key='0'))then
    key:=char(0);
end;

procedure TForm9.Edit1KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
begin
  if((key<>Char(8))and((key<'0')or(key>'9'))or
    ((edit1.text='')and(key='0'))then
    key:=char(0);
end;

procedure TForm9.StringGrid1SelectCell(Sender: TObject;
ACol,

```

```

ARow: Integer; var CanSelect: Boolean);
begin
  label9.caption:=inttostr(acol);
  label10.caption:=inttostr(arrow);
end;

procedure TForm9.StringGrid1KeyPress(Sender: TObject;
var Key: Char);
var
  col, lin : integer;
begin
  col:=strtoint(label9.caption);
  lin:=strtoint(label10.caption);
  if((Key<>Chr(8))and(Key<>'-'
)and((Key<'0')and((Key>'9')or(Key<'0'))or
    ((stringgrid1.cells[col,lin]='')and(key=' '))or
    ((stringgrid1.cells[col,lin]='0')and(key='0'))or
    ((pos(' ',stringgrid1.cells[col,lin])<>0)and(key=' '))then
    Key := Chr(0);
end;

procedure TForm9.StringGrid1Exit(Sender: TObject);
var
  dupla : string[30];
  col, lin : integer;
begin
  for col:=1 to 3 do
    for lin:=1 to stringgrid1.RowCount do
      begin
        if(stringgrid1.cells[col,lin]='0')or
          (stringgrid1.cells[col,lin]='0,')then
          stringgrid1.cells[col,lin]:='0,0000';
        if(stringgrid1.Cells[col,lin]<>'')and
          (stringgrid1.Cells[col,lin]<>'Sem_Valor')and
          (pos(' ',stringgrid1.Cells[col,lin])=0)then
          stringgrid1.Cells[col,lin]:=stringgrid1.Cells[col,lin]+'00';
        if(stringgrid1.Cells[col,lin]<>'')and
          (stringgrid1.Cells[col,lin]<>'Sem_Valor')then
          begin
            str(strtofloat(stringgrid1.Cells[col,lin]):30:4,dupla);
            while(pos(' ',dupla)=1)do
              dupla:=copy(dupla,2,length(dupla)-1);
              stringgrid1.Cells[col,lin]:=copy(dupla,1,length(dupla)-
5)+'';
            copy(dupla,length(dupla)-3,4);
          end;
        end;
      end;
    end;
  end;

procedure TForm9.Edit1Exit(Sender: TObject);
begin
  if(edit1.text<>'')and((strtoint(edit1.text)<1)) then
    begin
      edit1.text:="";
      edit1.setfocus;
    end
  end;

procedure TForm9.Edit1KeyUp(Sender: TObject; var Key:
Word;
Shift: TShiftState);
begin
  if(edit1.text<>'')and(edit2.text<>'')and(edit3.text<>'')and
    (edit4.text<>'')and(edit5.text<>'')and(edit6.text<>'')and
    ((strtoint(edit1.text)<strtoint(edit2.text)-1)and
    (strtoint(edit1.text)>0)and
    (((strtoint(edit2.text)-strtoint(edit1.text))mod
    (strtoint(edit6.text)))=0)then
    begin
      button2.enabled:=true;
    end
  else
    begin

```

```

    button2.enabled:=false;
end
end;

procedure TForm9.Edit2KeyUp(Sender: TObject; var Key:
Word;
Shift: TShiftState);
begin
    if(edit1.text<>")and(edit2.text<>")and(edit3.text<>")and
(edit4.text<>")and(edit5.text<>")and(edit6.text<>")and
(((strtoint(edit2.text)-strtoint(edit1.text))mod
(strtoint(edit6.text)))=0)then
    begin
        button2.enabled:=true;
    end
    else
    begin
        button2.enabled:=false;
    end
end;

procedure TForm9.Edit3KeyUp(Sender: TObject; var Key:
Word;
Shift: TShiftState);
begin
    if(edit1.text<>")and(edit2.text<>")and(edit3.text<>")and
(edit4.text<>")and(edit5.text<>")and(edit6.text<>")and
(((strtoint(edit2.text)-strtoint(edit1.text))mod
(strtoint(edit6.text)))=0)then
    begin
        button2.enabled:=true;
    end
    else
    begin
        button2.enabled:=false;
    end
end;

procedure TForm9.Edit4KeyUp(Sender: TObject; var Key:
Word;
Shift: TShiftState);
begin
    if(edit1.text<>")and(edit2.text<>")and(edit3.text<>")and
(edit4.text<>")and(edit5.text<>")and(edit6.text<>")and
(((strtoint(edit2.text)-strtoint(edit1.text))mod
(strtoint(edit6.text)))=0)then
    begin
        button2.enabled:=true;
    end
    else
    begin
        button2.enabled:=false;
    end
end;

procedure TForm9.Edit5KeyUp(Sender: TObject; var Key:
Word;
Shift: TShiftState);
begin
    if(edit1.text<>")and(edit2.text<>")and(edit3.text<>")and
(edit4.text<>")and(edit5.text<>")and(edit6.text<>")and
(((strtoint(edit2.text)-strtoint(edit1.text))mod
(strtoint(edit6.text)))=0)then
    begin
        button2.enabled:=true;
    end
    else
    begin
        button2.enabled:=false;
    end
end;

procedure TForm9.Button4Click(Sender: TObject);
var

```

```

a, b : Integer;
f0, f1, f2, f3 : string[30];
begin
    for a:=1 to StringGrid1.RowCount-2 do
        if(StringGrid1.Cells[0,a]<>")then
            for b:=a+1 to StringGrid1.RowCount-1 do

if(StringGrid1.Cells[0,b]<>")and(StrToInt(StringGrid1.Cells[
0,b])<
    StrToInt(StringGrid1.Cells[0,a]))then
        begin
            f0:=StringGrid1.Cells[0,a];
            f1:=StringGrid1.Cells[1,a];
            f2:=StringGrid1.Cells[2,a];
            f3:=StringGrid1.Cells[3,a];
            StringGrid1.Cells[0,a]:=StringGrid1.Cells[0,b];
            StringGrid1.Cells[1,a]:=StringGrid1.Cells[1,b];
            StringGrid1.Cells[2,a]:=StringGrid1.Cells[2,b];
            StringGrid1.Cells[3,a]:=StringGrid1.Cells[3,b];
            StringGrid1.Cells[0,b]:=f0;
            StringGrid1.Cells[1,b]:=f1;
            StringGrid1.Cells[2,b]:=f2;
            StringGrid1.Cells[3,b]:=f3;
        end;
    end;

procedure TForm9.Edit3Exit(Sender: TObject);
begin
    if(copy(edit3.text,length(edit3.text),1)=';')then
        edit3.text:=edit3.text + '00';
    end;

procedure TForm9.Edit4Exit(Sender: TObject);
begin
    if(copy(edit4.text,length(edit4.text),1)=';')then
        edit4.text:=edit4.text + '00';
    end;

procedure TForm9.Edit5Exit(Sender: TObject);
begin
    if(copy(edit5.text,length(edit5.text),1)=';')then
        edit5.text:=edit5.text + '00';
    end;

procedure TForm9.Button3Click(Sender: TObject);
begin
    edit1.text:="";
    edit2.text:="";
    edit3.text:="";
    edit4.text:="";
    edit5.text:="";
    edit6.text:="";
    edit1.setfocus;
    button2.enabled:=false;

end;

end.

```

unit Unit 10;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics,
Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls, Grids;

type

TForm10 = class(TForm)
StringGrid1: TStringGrid;
Button1: TButton;
Label1: TLabel;


```

Label2: TLabel;
Label18: TLabel;
Label3: TLabel;
Label4: TLabel;
Label5: TLabel;
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure StringGrid1SelectCell(Sender: TObject; ACol,
ARow: Integer;
var CanSelect: Boolean);
procedure StringGrid1KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
procedure StringGrid1Exit(Sender: TObject);
private
{ Private declarations }
public
{ Public declarations }
end;

```

```

var
Form10: TForm10;

```

```
implementation
```

```
uses Unit2;
```

```
{$R *.DFM}
```

```

procedure TForm10.FormCreate(Sender: TObject);
begin
stringgrid1.Cells[0,0]:=' Material';
stringgrid1.Cells[1,0]:=' Área';
stringgrid1.Cells[2,0]:=' Momento de Inércia';
stringgrid1.Cells[3,0]:=' Módulo de Elasticidade';
end;

```

```

procedure TForm10.Button1Click(Sender: TObject);
begin
form2.Show;
form10.Hide;
form2.enabled:=true;
end;

```

```

procedure TForm10.StringGrid1SelectCell(Sender:
TObject; ACol,
ARow: Integer; var CanSelect: Boolean);
begin
Label1.Caption:=IntToStr(ACol);
Label2.Caption:=IntToStr(ARow);
end;

```

```

procedure TForm10.StringGrid1KeyPress(Sender:
TObject; var Key: Char);
var
col, lin : integer;
begin
col:=strtoint(label1.caption);
lin:=strtoint(label2.caption);
if(((Key<>Chr(8))and(key<>','))and((Key>'9')or(Key<'0'))))or
((stringgrid1.Cells[col,lin]='')and(key=','))or
((stringgrid1.Cells[col,lin]='0')and(key='0'))or
((pos(',',stringgrid1.Cells[col,lin])<>0)and(key=','))then
Key := Chr(0);
end;

```

```

procedure TForm10.StringGrid1Exit(Sender: TObject);
var
dupla : string[30];
col, lin : integer;
begin
for col:=1 to 3 do
for lin:=1 to stringgrid1.RowCount do
begin

```

```

if(stringgrid1.Cells[col,lin]='0')or
(stringgrid1.Cells[col,lin]='0,')then
stringgrid1.Cells[col,lin]:='0,0000';
if(stringgrid1.Cells[col,lin]<>'')and
(stringgrid1.Cells[col,lin]<>'Sem_Valor')and
(pos(',',stringgrid1.Cells[col,lin])=0)then

stringgrid1.Cells[col,lin]:=stringgrid1.Cells[col,lin]+'',00';
if(stringgrid1.Cells[col,lin]<>'')and
(stringgrid1.Cells[col,lin]<>'Sem_Valor')then
begin
str(strtofloat(stringgrid1.Cells[col,lin]):30:4,dupla);
while(pos(' ',dupla)=1)do
dupla:=copy(dupla,2,length(dupla)-1);
stringgrid1.Cells[col,lin]:=copy(dupla,1,length(dupla)-
5)+'+',
copy(dupla,length(dupla)-3,4);
end;
end;
end;
end.

```

unit Unit 11;

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics,
Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls, ExtCtrls, Grids;
```

```
type
```

```

TForm11 = class(TForm)
Label10: TLabel;
StringGrid1: TStringGrid;
Button1: TButton;
Panel1: TPanel;
Label2: TLabel;
Label3: TLabel;
Label4: TLabel;
Label5: TLabel;
Label6: TLabel;
Edit3: TEdit;
Button2: TButton;

```

```

Button3: TButton;
Edit1: TEdit;
Edit2: TEdit;
Button4: TButton;
Label9: TLabel;
Edit7: TEdit;
Label1: TLabel;
Bevel1: TBevel;
Bevel2: TBevel;
Label7: TLabel;
Label8: TLabel;
procedure Edit1KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure Edit2KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure Edit3KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure Edit7KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure Button4Click(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure Edit1Exit(Sender: TObject);
procedure Edit2Exit(Sender: TObject);
procedure Edit1KeyUp(Sender: TObject; var Key: Word;
Shift: TShiftState);
procedure Edit2KeyUp(Sender: TObject; var Key: Word;
Shift: TShiftState);

```

```

procedure Edit3KeyUp(Sender: TObject; var Key: Word;
Shift: TShiftState);
procedure Edit4KeyUp(Sender: TObject; var Key: Word;
Shift: TShiftState);
procedure Edit5KeyUp(Sender: TObject; var Key: Word;
Shift: TShiftState);
procedure Edit6KeyUp(Sender: TObject; var Key: Word;
Shift: TShiftState);
procedure Edit7KeyUp(Sender: TObject; var Key: Word;
Shift: TShiftState);
procedure StringGrid1SelectCell(Sender: TObject; ACol,
ARow: Integer;
var CanSelect: Boolean);
procedure StringGrid1KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
procedure StringGrid1Exit(Sender: TObject);
procedure Edit3Exit(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure Button3Click(Sender: TObject);
private
{ Private declarations }
public
{ Public declarations }
end;

var
Form11: TForm11;

implementation

uses Unit2;

{$R *.DFM}

procedure TForm11.Edit1KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
begin
if((Key<>Char(8))and((Key<'0')or(Key>'9'))or
((Edit1.Text='')and(Key='0'))then
Key:=Char(0);
end;

procedure TForm11.Button1Click(Sender: TObject);
begin
form2.Show;
form11.Hide;
form2.enabled:=true;
end;

procedure TForm11.Edit2KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
begin
if((Key<>Char(8))and((Key<'0')or(Key>'9'))or
((Edit2.Text='')and(Key='0'))then
Key:=Char(0);
end;

procedure TForm11.Edit3KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
begin
if(key<>char(8))and(Key<>'-'
)and(key<>',' )and((key<'0')or(key>'9'))then
key:=char(0);
if((edit3.text='0')and(key='0')or
((edit3.text='-')and(key='-'))or
((edit3.text=',')and(key=','))or
((pos('0123456789',edit3.text)<>0)and(key='0'))then
key:=char(0);
end;

procedure TForm11.Edit7KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
begin

```

```

Edit7.ClearSelection;
if((Key<>Char(8))and((Key<'0')or(Key>'9'))or
((Edit7.Text='')and(Key='0'))then
Key:=Char(0);
end;

procedure TForm11.Button4Click(Sender: TObject);
var
a, b : Integer;
f0, f1 : string[30];
begin
for a:=1 to StringGrid1.RowCount-2 do
if(StringGrid1.Cells[0,a]<>")then
for b:=a+1 to StringGrid1.RowCount-1 do
if(StringGrid1.Cells[0,b]<>")and(StrToInt(StringGrid1.Cells[
0,b])<
StrToInt(StringGrid1.Cells[0,a]))then
begin
f0:=StringGrid1.Cells[0,a];
f1:=StringGrid1.Cells[1,a];
StringGrid1.Cells[0,a]:=StringGrid1.Cells[0,b];
StringGrid1.Cells[1,a]:=StringGrid1.Cells[1,b];
StringGrid1.Cells[0,b]:=f0;
StringGrid1.Cells[1,b]:=f1;
end;
end;

procedure TForm11.Button2Click(Sender: TObject);
var
dupla : string[30];
ACol, ARow, a, b : integer;
begin
Button2.Enabled:=false;
b:=strtofloat(edit2.text)-
strtofloat(edit1.text))/strtofloat(edit7.text));
for a:=0 to b do
begin
ARow:=0;
for ACol:=StringGrid1.RowCount-1 downto 1 do
if(stringgrid1.Cells[0,ACol]=IntToStr(strtoint(edit1.text)
+a*strtoint(edit7.text)))then
ARow:=ACol;
if(ARow=0)then
for ACol:=StringGrid1.RowCount-1 downto 1 do
if(stringgrid1.Cells[0,ACol]='')then
ARow:=ACol;
if(ARow=0)then
begin
Break;
end;
stringgrid1.Cells[0,ARow]:=IntToStr(strtoint(edit1.text)
+a*strtoint(edit7.text));
stringgrid1.Cells[1,ARow]:=edit3.text;
str(strtofloat(stringgrid1.Cells[1,ARow]):30:4,dupla);
while(pos(' ',dupla)=1)do
dupla:=copy(dupla,2,length(dupla)-1);
stringgrid1.Cells[1,ARow]:=
copy(dupla,1,length(dupla)-
5)+','+copy(dupla,length(dupla)-3,4);
end;
end;

procedure TForm11.Edit1Exit(Sender: TObject);
begin
if(edit1.text<>")and(strtoint(edit1.text)<1)then
begin
edit1.text:=";
edit1.setfocus;
end;
end;

procedure TForm11.Edit2Exit(Sender: TObject);
begin

```



```

if(edit1.text<>"")and(edit2.text<>"")and
(strtoint(edit1.text)>strtoint(edit2.text)-2)then
begin
  edit2.setfocus;
  edit2.text:="";
end
else
begin
  if((edit1.text<>"")and(edit2.text<>"")and(edit7.text<>"")
  and(strtoint(edit7.text)<>0))and(((strtofloat(edit2.text)-
  strtofloat(edit1.text))/strtofloat(edit7.text))>stringgrid1.rowc
ount-1)
  or(strtoint(edit2.text)<strtoint(edit1.text)+2))then
  begin
    button2.enabled:=false;
    edit2.text:="";
    edit2.setfocus;
  end
end
end;

procedure TForm11.Edit1KeyUp(Sender: TObject; var
Key: Word;
Shift: TShiftState);
begin
  if(edit1.text<>"")and(edit2.text<>"")and(edit3.text<>"")and
  ((strtoint(edit1.text)<strtoint(edit2.text)-1)and
  (strtoint(edit1.text)>0))and
  (edit7.text<>"")and(((strtoint(edit2.text)-
  strtoint(edit1.text))mod
  (strtoint(edit7.text)))=0)then
  begin
    button2.enabled:=true;
  end
  else
  begin
    button2.enabled:=false;
  end
end;

procedure TForm11.Edit2KeyUp(Sender: TObject; var
Key: Word;
Shift: TShiftState);
begin
  if(edit1.text<>"")and(edit2.text<>"")and(edit3.text<>"")and
  (edit7.text<>"")and(((strtoint(edit2.text)-
  strtoint(edit1.text))mod
  (strtoint(edit7.text)))=0)then
  begin
    button2.enabled:=true;
  end
  else
  begin
    button2.enabled:=false;
  end
end;

procedure TForm11.Edit3KeyUp(Sender: TObject; var
Key: Word;
Shift: TShiftState);
begin
  if(edit1.text<>"")and(edit2.text<>"")and(edit3.text<>"")and
  (edit7.text<>"")and(((strtoint(edit2.text)-
  strtoint(edit1.text))mod
  (strtoint(edit7.text)))=0)then
  begin
    button2.enabled:=true;
  end
  else
  begin
    button2.enabled:=false;
  end
end;

```

```

procedure TForm11.Edit4KeyUp(Sender: TObject; var
Key: Word;
Shift: TShiftState);
begin
  if(edit1.text<>"")and(edit2.text<>"")and(edit3.text<>"")and
  (edit7.text<>"")and(((strtoint(edit2.text)-
  strtoint(edit1.text))mod
  (strtoint(edit7.text)))=0)then
  begin
    button2.enabled:=true;
  end
  else
  begin
    button2.enabled:=false;
  end
end;

procedure TForm11.Edit5KeyUp(Sender: TObject; var
Key: Word;
Shift: TShiftState);
begin
  if(edit1.text<>"")and(edit2.text<>"")and(edit3.text<>"")and
  (edit7.text<>"")and(((strtoint(edit2.text)-
  strtoint(edit1.text))mod
  (strtoint(edit7.text)))=0)then
  begin
    button2.enabled:=true;
  end
  else
  begin
    button2.enabled:=false;
  end
end;

procedure TForm11.Edit6KeyUp(Sender: TObject; var
Key: Word;
Shift: TShiftState);
begin
  if(edit1.text<>"")and(edit2.text<>"")and(edit3.text<>"")and
  (edit7.text<>"")and(((strtoint(edit2.text)-
  strtoint(edit1.text))mod
  (strtoint(edit7.text)))=0)then
  begin
    button2.enabled:=true;
  end
  else
  begin
    button2.enabled:=false;
  end
end;

procedure TForm11.Edit7KeyUp(Sender: TObject; var
Key: Word;
Shift: TShiftState);
begin
  if(edit1.text<>"")and(edit2.text<>"")and(edit3.text<>"")and
  (edit7.text<>"")and(((strtoint(edit2.text)-
  strtoint(edit1.text))mod
  (strtoint(edit7.text)))=0)then
  begin
    button2.enabled:=true;
  end
  else
  begin
    button2.enabled:=false;
  end
end;

procedure TForm11.StringGrid1SelectCell(Sender:
TObject; ACol,
ARow: Integer; var CanSelect: Boolean);
begin
  label9.caption:=inttostr(acol);

```

```

label10.caption:=inttostr(arrow);
end;

procedure TForm11.StringGrid1KeyPress(Sender:
TObject; var Key: Char);
var
  col, lin : integer;
begin
  col:=strtoint(label9.caption);
  lin:=strtoint(label10.caption);
  if((Key<>Chr(8))and(key<>',')and(Key<>'-'
)and((Key>'9')or(Key<'0'))or
  ((stringgrid1.Cells[col,lin]='')and(key=','))or
  ((stringgrid1.Cells[col,lin]='0')and(key='0'))or
  ((pos(',',stringgrid1.Cells[col,lin])<>0)and(key=','))then
    Key := Chr(0);
end;

procedure TForm11.StringGrid1Exit(Sender: TObject);
var
  dupla : string[30];
  lin : integer;
begin
  for lin:=1 to stringgrid1.RowCount do
  begin
    if(stringgrid1.Cells[1,lin]='0')or
    (stringgrid1.Cells[1,lin]='0,')then
      stringgrid1.Cells[1,lin]:='0,0000';
    if(stringgrid1.Cells[1,lin]<>'')and
    (stringgrid1.Cells[1,lin]<>'Sem_Valor')and
    (pos(',',stringgrid1.Cells[1,lin])=0)then
      stringgrid1.Cells[1,lin]:=stringgrid1.Cells[1,lin]+'00';
    if(stringgrid1.Cells[1,lin]<>'')and
    (stringgrid1.Cells[1,lin]<>'Sem_Valor')then
      begin
        str(strtofloat(stringgrid1.Cells[1,lin]):30:4,dupla);
        while(pos(',',dupla)=1)do
          dupla:=copy(dupla,2,length(dupla)-1);
        stringgrid1.Cells[1,lin]:=copy(dupla,1,length(dupla)-
5)+'+',
        copy(dupla,length(dupla)-3,4);
      end;
    end;
  end;

  procedure TForm11.Edit3Exit(Sender: TObject);
  begin
    if(copy(edit3.text,length(edit3.text),1)=',' )then
      edit3.text:=edit3.text + '00';
    end;

  procedure TForm11.FormCreate(Sender: TObject);
  begin
    stringgrid1.Cells[0,0]:=' Elemento';
    stringgrid1.Cells[1,0]:=' Carregamento';
  end;

  procedure TForm11.Button3Click(Sender: TObject);
  begin
    edit1.text:='';
    edit2.text:='';
    edit3.text:='';
    edit7.text:='';
    edit1.setfocus;
    button2.enabled:=false;
  end;

end.

```

unit Unit 12;

```
interface
```

```

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics,
  Controls, Forms, Dialogs,
  ExtCtrls;

type
  TForm12 = class(TForm)
    Panel1: TPanel;
    Image1: TImage;
    procedure FormShow(Sender: TObject);
    procedure FormKeyPress(Sender: TObject; var Key:
    Char);
    procedure Image1Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  Form12: TForm12;

implementation

uses Unit2, Unit7, Unit9, Unit6, Unit11;

{$R *.DFM}

procedure TForm12.FormShow(Sender: TObject);

//***** Ampliação do Gráfico *****//

var
  NELEM,NNODS,NNOCA,NELCA,I,J,CX1,CY1,CX2,
  CY2,CX3,CY3,DESLX,DESLY,TX,CX,CY,CT : Integer;
  XMIN, YMIN, XMAX, YMAX, FATOR, COMPMX, COMPY :
  Real;
  NOC, ELECA : Array of Integer;
  ELEW : Array of Real;
  BARRAS : Array of Array of Integer;
  NOS, CNO : Array of Array of Real;
  COEFD, MAIOR : Real;
begin
  Image1.Canvas.FillRect(Rect(0,0,800,600));
  NELEM:=StrToInt(Form2.Edit2.Text);
  NNODS:=StrToInt(Form2.Edit1.Text);
  NNOCA:=StrToInt(Form2.Edit4.Text);
  NELCA:=StrToInt(Form2.Edit6.Text);
  SetLength(BARRAS,NELEM+1);
  for I:=1 to NELEM do
    SetLength(BARRAS[I],2+1);
  for I:=1 to NELEM do
    for J:=1 to 2 do
      BARRAS[I,J]:=StrToInt(Form7.StringGrid1.Cells[J,I]);
    SetLength(NOS,NNODS+1);
  for I:=1 to NNODS do
    SetLength(NOS[I],2+1);
  for I:=1 to NNODS do
    for J:=1 to 2 do
      NOS[I,J]:=StrToFloat(Form6.StringGrid1.Cells[J,I]);
    SetLength(NOC,NNOCA+1);
  for I:=1 to NNOCA do
    NOC[I]:=StrToInt(Form9.StringGrid1.Cells[0,I]);
    SetLength(CNO,NNOCA+1);
  for I:=1 to NNOCA do
    SetLength(CNO[I],3+1);
  for I:=1 to NNOCA do
    for J:=1 to 3 do
      CNO[I,J]:=StrToFloat(Form9.StringGrid1.Cells[J,I]);
    SetLength(ELECA, NELCA+1);
    SetLength(ELEW, NELCA+1);
  for I:=1 to NELCA do
    begin

```



```

ELECA[I]:=StrToInt(Form11.StringGrid1.Cells[0,I]);
ELEW[I]:=StrToFloat(Form11.StringGrid1.Cells[1,I]);
end;
XMIN:=NOS[1,1];
YMIN:=NOS[1,2];
XMAX:=NOS[1,1];
YMAX:=NOS[1,2];
for I:=2 to NNODS do
begin
  if(NOS[I,1]<XMIN)then
    XMIN:=NOS[I,1];
  if(NOS[I,2]<YMIN)then
    YMIN:=NOS[I,2];
  if(NOS[I,1]>XMAX)then
    XMAX:=NOS[I,1];
  if(NOS[I,2]>YMAX)then
    YMAX:=NOS[I,2];
end;
COMPX:=XMAX-XMIN;
COMPY:=YMAX-YMIN;
if(COMPX=0)then
  COMPX:=1;
if(COMPY=0)then
  COMPY:=1;
if(600/COMPX>400/COMPY)then
  FATOR:=400/COMPY
else
  FATOR:=600/COMPX;
DESLX:=StrToInt(Format('%8.0f',[(600-
COMPX*FATOR)/2]));
DESLY:=StrToInt(Format('%8.0f',[(400-
COMPY*FATOR)/2]));
Image1.Canvas.Pen.Color:=clBlue;
Image1.Canvas.Pen.Width:=2;
Image1.Canvas.Font.Color:=clGreen;
for I:=1 to NELEM do
begin
  CX1:=StrToInt(Format('%8.0f',[(NOS[BARRAS[I,1],1]-
XMIN)*FATOR+100+DESLX]));
  CY1:=StrToInt(Format('%8.0f',[520-
(NOS[BARRAS[I,1],2]-YMIN)*FATOR-DESLY]));
  CX2:=StrToInt(Format('%8.0f',[(NOS[BARRAS[I,2],1]-
XMIN)*FATOR+100+DESLX]));
  CY2:=StrToInt(Format('%8.0f',[520-
(NOS[BARRAS[I,2],2]-YMIN)*FATOR-DESLY]));
  Image1.Canvas.MoveTo(CX1,CY1);
  Image1.Canvas.LineTo(CX2,CY2);
  if(BARRAS[I,1]>=10)then
    TX:=15
  else
    TX:=10;
  if(BARRAS[I,1]>=100)then
    TX:=20;
  Image1.Canvas.Arc(CX1-2, CY1-2, CX1+2, CY1+2, 0, 0, 0);
  if(Form2.RadioGroup2.ItemIndex=0)then
    Image1.Canvas.TextOut(CX1-TX, CY1-
15,IntToStr(BARRAS[I,1]));
  if(BARRAS[I,2]>=10)then
    TX:=15
  else
    TX:=10;
  if(BARRAS[I,2]>=100)then
    TX:=20;
  Image1.Canvas.Arc(CX2-2, CY2-2, CX2+2, CY2+2, 0, 0, 0);
  if(Form2.RadioGroup2.ItemIndex=0)then
    Image1.Canvas.TextOut(CX2-TX, CY2-
15,IntToStr(BARRAS[I,2]));
end;
Image1.Canvas.Pen.Color:=clYellow;
for I:=1 to NNOCA do
begin

```

```

CX1:=StrToInt(Format('%8.0f',[(NOS[NOC[I],1]-
XMIN)*FATOR+100+DESLX]));
CY1:=StrToInt(Format('%8.0f',[520-(NOS[NOC[I],2]-
YMIN)*FATOR-DESLY]));
if(CNO[I,1]<>0)then
  if(CNO[I,1]>0)then
    begin
      Image1.Canvas.MoveTo(CX1-40,CY1);
      Image1.Canvas.LineTo(CX1-15,CY1);
      Image1.Canvas.LineTo(CX1-20,CY1-2);
      Image1.Canvas.MoveTo(CX1-15,CY1);
      Image1.Canvas.LineTo(CX1-20,CY1+2);
    end
  else
    begin
      Image1.Canvas.MoveTo(CX1+40,CY1);
      Image1.Canvas.LineTo(CX1+15,CY1);
      Image1.Canvas.LineTo(CX1+20,CY1-2);
      Image1.Canvas.MoveTo(CX1+15,CY1);
      Image1.Canvas.LineTo(CX1+20,CY1+2);
    end;
  if(CNO[I,2]<>0)then
    if(CNO[I,2]>0)then
      begin
        Image1.Canvas.MoveTo(CX1,CY1+40);
        Image1.Canvas.LineTo(CX1,CY1+15);
        Image1.Canvas.LineTo(CX1-2,CY1+20);
        Image1.Canvas.MoveTo(CX1,CY1+15);
        Image1.Canvas.LineTo(CX1+2,CY1+20);
      end
    else
      begin
        Image1.Canvas.MoveTo(CX1,CY1-40);
        Image1.Canvas.LineTo(CX1,CY1-15);
        Image1.Canvas.LineTo(CX1-2,CY1-20);
        Image1.Canvas.MoveTo(CX1,CY1-15);
        Image1.Canvas.LineTo(CX1+2,CY1-20);
      end;
    if(CNO[I,3]<>0)then
      if(CNO[I,3]>0)then
        begin
          Image1.Canvas.Arc(CX1-8,CY1-
8,CX1+8,CY1+8,CX1+20,CY1,CX1,CY1+20);
          Image1.Canvas.MoveTo(CX1,CY1+8);
          Image1.Canvas.LineTo(CX1-5,CY1+5);
          Image1.Canvas.MoveTo(CX1,CY1+8);
          Image1.Canvas.LineTo(CX1-5,CY1+10);
        end
      else
        begin
          Image1.Canvas.Arc(CX1-8,CY1-
8,CX1+8,CY1+8,CX1-20,CY1,CX1,CY1-20);
          Image1.Canvas.MoveTo(CX1,CY1+8);
          Image1.Canvas.LineTo(CX1+5,CY1+5);
          Image1.Canvas.MoveTo(CX1,CY1+8);
          Image1.Canvas.LineTo(CX1+5,CY1+10);
        end;
      end;
      for I:=1 to NELCA do
        begin
          if(NOS[BARRAS[ELECA[I],1,1]<NOS[BARRAS[ELECA[I],
2],1])then
            begin
              CX1:=StrToInt(Format('%8.0f',[(NOS[BARRAS[ELECA[I],1]
,1]
              -XMIN)*FATOR+100+DESLX]));
              CY1:=StrToInt(Format('%8.0f',[520-
(NOS[BARRAS[ELECA[I],1,2]
              -YMIN)*FATOR-DESLY]));
              CX2:=StrToInt(Format('%8.0f',[(NOS[BARRAS[ELECA[I],2]
,1]

```

```

-XMIN)*FATOR+100+DESLX));
CY2:=StrToInt(Format("%8.0f",[520-
(NOS[BARRAS[ELECA[I],2],2]
-YMIN)*FATOR-DESLY]));
end
else
begin

if(NOS[BARRAS[ELECA[I],1],1]>NOS[BARRAS[ELECA[I],
2],1])then
begin

CX2:=StrToInt(Format("%8.0f",[NOS[BARRAS[ELECA[I],1]
,1]
-XMIN)*FATOR+100+DESLX]));
CY2:=StrToInt(Format("%8.0f",[520-
(NOS[BARRAS[ELECA[I],1],2]
-YMIN)*FATOR-DESLY]));
CX1:=StrToInt(Format("%8.0f",[NOS[BARRAS[ELECA[I],2]
,1]
-XMIN)*FATOR+100+DESLX]));
CY1:=StrToInt(Format("%8.0f",[520-
(NOS[BARRAS[ELECA[I],2],2]
-YMIN)*FATOR-DESLY]));
end
else
begin

CX1:=StrToInt(Format("%8.0f",[NOS[BARRAS[ELECA[I],1]
,1]
-XMIN)*FATOR+100+DESLX]));
CX2:=StrToInt(Format("%8.0f",[NOS[BARRAS[ELECA[I],2]
,1]
-XMIN)*FATOR+100+DESLX]));

if(NOS[BARRAS[ELECA[I],1],2]>NOS[BARRAS[ELECA[I],
2],2])then
begin
CY1:=StrToInt(Format("%8.0f",[520-
(NOS[BARRAS[ELECA[I],1],2]
-YMIN)*FATOR-DESLY]));
CY2:=StrToInt(Format("%8.0f",[520-
(NOS[BARRAS[ELECA[I],2],2]
-YMIN)*FATOR-DESLY]));
end
else
begin
CY2:=StrToInt(Format("%8.0f",[520-
(NOS[BARRAS[ELECA[I],1],2]
-YMIN)*FATOR-DESLY]));
CY1:=StrToInt(Format("%8.0f",[520-
(NOS[BARRAS[ELECA[I],2],2]
-YMIN)*FATOR-DESLY]));
end;
end;
end;
CX:=CX2-CX1;
CY:=CY2-CY1;
CT:=StrToInt(Format("%8.0f",[sqrt(CX*CX+CY*CY)]));
if(ELEW[I]<0)then
begin

CX3:=CX1+StrToInt(Format("%8.0f",[StrToFloat(IntToStr(4*
(CY2-CY1)))
/StrToFloat(IntToStr(CT))]);
CY3:=CY1-
StrToInt(Format("%8.0f",[StrToFloat(IntToStr(4*(CX2-
CX1)))
/StrToFloat(IntToStr(CT))]);

```

```

Image1.Canvas.MoveTo(CX3,CY3);

CX3:=CX1+StrToInt(Format("%8.0f",[StrToFloat(IntToStr(1
0*(CY2-CY1)))
/StrToFloat(IntToStr(CT))]);
CY3:=CY1-
StrToInt(Format("%8.0f",[StrToFloat(IntToStr(10*(CX2-
CX1)))
/StrToFloat(IntToStr(CT))]);
Image1.Canvas.LineTo(CX3,CY3);

CX3:=CX2+StrToInt(Format("%8.0f",[StrToFloat(IntToStr(1
0*(CY2-CY1)))
/StrToFloat(IntToStr(CT))]);
CY3:=CY2-
StrToInt(Format("%8.0f",[StrToFloat(IntToStr(10*(CX2-
CX1)))
/StrToFloat(IntToStr(CT))]);
Image1.Canvas.LineTo(CX3,CY3);

CX3:=CX2+StrToInt(Format("%8.0f",[StrToFloat(IntToStr(4*
(CY2-CY1)))
/StrToFloat(IntToStr(CT))]);
CY3:=CY2-
StrToInt(Format("%8.0f",[StrToFloat(IntToStr(4*(CX2-
CX1)))
/StrToFloat(IntToStr(CT))]);
Image1.Canvas.LineTo(CX3,CY3);

CX3:=CX1+StrToInt(Format("%8.0f",[StrToFloat(IntToStr(4*
(CY2-CY1)))
/StrToFloat(IntToStr(CT))]);
CY3:=CY1-
StrToInt(Format("%8.0f",[StrToFloat(IntToStr(4*(CX2-
CX1)))
/StrToFloat(IntToStr(CT))]);
Image1.Canvas.LineTo(CX3,CY3);

end
else
begin
CX3:=CX1-
StrToInt(Format("%8.0f",[StrToFloat(IntToStr(4*(CY2-
CY1)))
/StrToFloat(IntToStr(CT))]);
CY3:=CY1+StrToInt(Format("%8.0f",[StrToFloat(IntToStr(4*
(CX2-CX1)))
/StrToFloat(IntToStr(CT))]);
Image1.Canvas.MoveTo(CX3,CY3);
CX3:=CX1-
StrToInt(Format("%8.0f",[StrToFloat(IntToStr(10*(CY2-
CY1)))
/StrToFloat(IntToStr(CT))]);
CY3:=CY1+StrToInt(Format("%8.0f",[StrToFloat(IntToStr(1
0*(CX2-CX1)))
/StrToFloat(IntToStr(CT))]);
Image1.Canvas.LineTo(CX3,CY3);
CX3:=CX2-
StrToInt(Format("%8.0f",[StrToFloat(IntToStr(10*(CY2-
CY1)))
/StrToFloat(IntToStr(CT))]);
CY3:=CY2+StrToInt(Format("%8.0f",[StrToFloat(IntToStr(1
0*(CX2-CX1)))
/StrToFloat(IntToStr(CT))]);
Image1.Canvas.LineTo(CX3,CY3);
CX3:=CX2-
StrToInt(Format("%8.0f",[StrToFloat(IntToStr(4*(CY2-
CY1)))
/StrToFloat(IntToStr(CT))]);

```



```

CY3:=CY2+StrToInt(Format('%8.0f',[StrToFloat(IntToStr(4*
(CX2-CX1)))/StrToFloat(IntToStr(CT))]);
Image1.Canvas.LineTo(CX3,CY3);
CX3:=CX1-
StrToInt(Format('%8.0f',[StrToFloat(IntToStr(4*(CY2-
CY1)))/StrToFloat(IntToStr(CT))]);

CY3:=CY1+StrToInt(Format('%8.0f',[StrToFloat(IntToStr(4*
(CX2-CX1)))/StrToFloat(IntToStr(CT))]);
Image1.Canvas.LineTo(CX3,CY3);
end;
end;

```

//***** Construção do Gráfico Deformado *****//

```

if(Form2.Edit14.Text='S')then
begin
if(Form2.RadioGroup1.ItemIndex=0)then
begin
for I:=1 to NNODS do
for J:=1 to 2 do
NOS[I,J]:=FATOR*StrToFloat(Form2.StringGrid1.Cells[J,I+
1]);
MAIOR:=0;
for I:=1 to NNODS do
for J:=1 to 2 do
if(Abs(NOS[I,J])>MAIOR)then
MAIOR:=Abs(NOS[I,J]);
COEFD:=80/Abs(MAIOR);
end
else
begin
COEFD:=StrToFloat(Form2.Edit7.Text);
end;
SetLength(NOS,NNODS+1);
for I:=1 to NNODS do
SetLength(NOS[I],2+1);
for I:=1 to NNODS do
for J:=1 to 2 do
NOS[I,J]:=StrToFloat(Form6.StringGrid1.Cells[J,I])+
COEFD*StrToFloat(Form2.StringGrid1.Cells[J,I+1]);
Image1.Canvas.Pen.Color:=clRed;
Image1.Canvas.Pen.Width:=1;
for I:=1 to NELEM do
begin
CX1:=StrToInt(Format('%8.0f',[(NOS[BARRAS[I,1],1]
-XMIN)*FATOR+100+DESLX]));
CY1:=StrToInt(Format('%8.0f',[520-
(NOS[BARRAS[I,1],2]
-YMIN)*FATOR-DESLY]));
CX2:=StrToInt(Format('%8.0f',[(NOS[BARRAS[I,2],1]
-XMIN)*FATOR+100+DESLX]));
CY2:=StrToInt(Format('%8.0f',[520-
(NOS[BARRAS[I,2],2]
-YMIN)*FATOR-DESLY]));
Image1.Canvas.MoveTo(CX1,CY1);
Image1.Canvas.LineTo(CX2,CY2);
Image1.Canvas.Arc(CX1-2, CY1-2, CX1+2, CY1+2, 0,
0, 0, 0);
Image1.Canvas.Arc(CX2-2, CY2-2, CX2+2, CY2+2, 0,
0, 0, 0);
end;
end;
end;
end;

```

```

procedure TForm12.FormKeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);

```

```

begin
if(Key=Char(27))then
Form12.Close;
end;

```

```

procedure TForm12.Image1Click(Sender: TObject);
begin
Close;
end;

```

end.

unit Unit 13:

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics,
Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls, ExtCtrls;

type

```

TForm13 = class(TForm)
ComboBox1: TComboBox;
Edit1: TEdit;
Label1: TLabel;
Label2: TLabel;
Edit2: TEdit;
Label3: TLabel;
Image1: TImage;
Button1: TButton;
Edit3: TEdit;
Edit4: TEdit;
Edit5: TEdit;
Edit6: TEdit;
Label4: TLabel;
Label5: TLabel;
Label6: TLabel;
Label7: TLabel;
Label8: TLabel;
Button2: TButton;
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure Edit1KeyPress(Sender: TObject; var Key:
Char);
procedure Edit1Exit(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure Edit1Change(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
private
{ Private declarations }
public
{ Public declarations }
end;

```

var

Form13: TForm13;

implementation

uses Unit2;

{\$R *.DFM}

```

procedure TForm13.FormCreate(Sender: TObject);
begin
ComboBox1.ItemIndex:=0;
end;

```

```

procedure TForm13.Edit1KeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
var
a, b, c : integer;
begin

```

```

b:=0;
c:=Length(edit1.text);
for a := 1 to c do
begin
  if(Copy(edit1.text,a,1)='.')then
  begin
    b:=1;
  end;
end;
if((key<>'.')and(Key<>Chr(8))and((Key>'9')or(Key<'0'))or
((edit1.text='')and(Key='.')or((b<>0)and(key='.'))then
  Key := Chr(0);
end;

procedure TForm13.Edit1Exit(Sender: TObject);
begin
  if(copy(edit1.text,length(edit1.text),1)='.')then
    edit1.text:=edit1.text + '00';
end;

procedure TForm13.Button1Click(Sender: TObject);
var
  Raio, Fi_v : real;
begin
  if(ComboBox1.ItemIndex=0)then Edit3.Text:='41';
  if(ComboBox1.ItemIndex=1)then
    if(StrToFloat(Edit1.Text)<=25.4)then
      Edit3.Text:='82'
    else
      Edit3.Text:='72';
  if(ComboBox1.ItemIndex=2)then Edit3.Text:='103';
  if(ComboBox1.ItemIndex=3)then Edit3.Text:='39';
  Raio:=StrToFloat(Edit1.Text)/2;

  Edit4.Text:=FloatToStr(0.42*3.1415*Raio*Raio*StrToFloat(
  Edit3.Text));

  if(ComboBox1.ItemIndex=1)or(ComboBox1.ItemIndex=2)
  then
    Fi_v:=0.65
  else
    Fi_v:=0.6;
  Edit5.Text:=FloatToStr(Fi_v*StrToFloat(Edit4.Text));

  Edit6.Text:=FloatToStr(StrToFloat(Edit2.Text)*StrToFloat(
  Edit5.Text));
  Form13.Hide;
  Form2.Enabled:=true;
  Form2.Show;
end;

procedure TForm13.Edit1Change(Sender: TObject);
begin
  if(Edit1.Text<>'')and(Edit2.Text<>'')then
    Button1.Enabled:=true
  else
    Button1.Enabled:=false;
end;

procedure TForm13.Button2Click(Sender: TObject);
var
  Raio, Fi_v : real;
begin
  if(ComboBox1.ItemIndex=0)then Edit3.Text:='41';
  if(ComboBox1.ItemIndex=1)then
    if(StrToFloat(Edit1.Text)<=25.4)then
      Edit3.Text:='82'
    else
      Edit3.Text:='72';
  if(ComboBox1.ItemIndex=2)then Edit3.Text:='103';
  if(ComboBox1.ItemIndex=3)then Edit3.Text:='39';
  Raio:=StrToFloat(Edit1.Text)/2;

```

```

Edit4.Text:=FloatToStr(0.42*3.1415*Raio*Raio*StrToFloat(
Edit3.Text));

if(ComboBox1.ItemIndex=1)or(ComboBox1.ItemIndex=2)
then
  Fi_v:=0.65
else
  Fi_v:=0.6;
Edit5.Text:=FloatToStr(Fi_v*StrToFloat(Edit4.Text));

Edit6.Text:=Format('%8.4f',[StrToFloat(Edit2.Text)*StrToFl
oat(Edit5.Text)]);

end;

end.

```


ANEXO B: Impressão de um Resultado

Apresenta-se, a seguir, a impressão de um resultado, onde todas as unidades estão em kN e em cm.

Nome do Arquivo : Fink 10.80-sem-700.gar

Orientador : Renato Bertolino Jr.

Orientado : Giuliano Ap. Romanhoto

Impressão dos Resultados

Deslocamentos nos Nós

	Deslocamento em X	Deslocamento em Y	Rotação em Z
Nó - 1	0.0000	0.0000	-0.1571
Nó - 2	-0.0066	-2.4133	-0.0757
Nó - 3	-0.0035	-3.2350	-0.0406
Nó - 4	0.0035	-3.2350	0.0406
Nó - 5	0.0066	-2.4133	0.0757
Nó - 6	0.0000	0.0000	0.1571
Nó - 7	0.4630	-2.0093	-0.0966
Nó - 8	0.4650	-2.8294	-0.0473
Nó - 9	0.4556	-3.6081	0.0033
Nó - 10	0.0000	-3.2500	0.0000
Nó - 11	-0.4556	-3.6081	-0.0033
Nó - 12	-0.4650	-2.8294	0.0473
Nó - 13	-0.4630	-2.0093	0.0966
Nó - 14	0.4459	-3.6201	-0.0140
Nó - 15	-0.4459	-3.6201	0.0140

Forças nas Barras

	Força em X	Força em Y	Momento em Z
Elemento: 1			
Nó : 1	16.7858	3.3665	-1.9540
Nó : 2	-16.7858	-3.3665	62.5514
Elemento: 2			
Nó : 2	-7.7623	-4.0122	-52.9594
Nó : 3	7.7623	4.0122	-19.2596
Elemento: 3			
Nó : 3	-9.0236	0.0000	-19.5264
Nó : 4	9.0236	0.0000	19.5264
Elemento: 4			
Nó : 4	-7.7623	4.0122	19.2596
Nó : 5	7.7623	-4.0122	52.9594
Elemento: 5			
Nó : 5	16.7858	-3.3665	-62.5514
Nó : 6	-16.7858	3.3665	1.9540
Elemento: 6			
Nó : 1	944.9910	4.4260	1.9540
Nó : 7	-944.9910	-4.4260	62.1558
Elemento: 7			
Nó : 7	940.6223	-5.7399	-61.9651
Nó : 8	-940.6223	5.7399	-21.1768

Elemento: 8			
Nó : 8	926,4415	6,7124	35,4206
Nó : 9	-926,4415	-6,7124	61,8073
Elemento: 9			
Nó : 9	938,9606	-8,4192	-59,9063
Nó : 10	-938,9606	8,4192	-62,0456
Elemento: 10			
Nó : 10	938,9606	8,4192	62,0456
Nó : 11	-938,9606	-8,4192	59,9063
Elemento: 11			
Nó : 11	926,4415	-6,7124	-61,8073
Nó : 12	-926,4415	6,7124	-35,4206
Elemento: 12			
Nó : 12	940,6223	5,7399	21,1768
Nó : 13	-940,6223	-5,7399	61,9651
Elemento: 13			
Nó : 6	944,9910	-4,4260	-1,9540
Nó : 13	-944,9910	4,4260	-62,1558
Elemento: 14			
Nó : 2	-8,1440	7,4904	51,9842
Nó : 7	8,1440	-7,4904	-0,1907
Elemento: 15			
Nó : 2	30,2258	-6,9337	-61,5763
Nó : 8	-30,2258	6,9337	-34,3126
Elemento: 16			
Nó : 3	-10,0094	0,4410	7,2458
Nó : 8	10,0094	-0,4410	-1,1478
Elemento: 17			
Nó : 8	48,8442	4,0843	21,2166
Nó : 14	-48,8442	-4,0843	52,3002
Elemento: 18			
Nó : 9	-18,4250	-6,7980	-1,9010
Nó : 14	18,4250	6,7980	-45,1045
Elemento: 19			
Nó : 3	-0,2588	6,2555	31,5401
Nó : 14	0,2588	-6,2555	54,9690
Elemento: 20			
Nó : 10	30,7295	-8,9239	-61,2468
Nó : 14	-30,7295	8,9239	-62,1647
Elemento: 21			
Nó : 10	30,7295	8,9239	61,2468
Nó : 15	-30,7295	-8,9239	62,1647
Elemento: 22			
Nó : 4	-0,2588	-6,2555	-31,5401
Nó : 15	0,2588	6,2555	-54,9690
Elemento: 23			
Nó : 11	-18,4250	6,7980	1,9010
Nó : 15	18,4250	-6,7980	45,1045
Elemento: 24			
Nó : 12	48,8442	-4,0843	-21,2166
Nó : 15	-48,8442	4,0843	-52,3002

Elemento: 25			
Nó : 4	-10,0094	-0,4410	-7,2458
Nó : 12	10,0094	0,4410	1,1478
Elemento: 26			
Nó : 5	30,2258	6,9337	61,5763
Nó : 12	-30,2258	-6,9337	34,3126
Elemento: 27			
Nó : 5	-8,1440	-7,4904	-51,9842
Nó : 13	8,1440	7,4904	0,1907





UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

Câmpus de Ilha Solteira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Av. Brasil Centro, 56
15385-000 Ilha Solteira - SP
www.dec.feis.unesp.br

