Universidade Estadual Paulista – UNESP Faculdade de Engenharia de Bauru

Curso Temático – Responsável: Prof. Dr. Antonio Carlos Rigitano

CÁLCULO DE REAÇÕES DE APOIO E OBTENÇÃO DO TRAÇADO DE DIAGRAMAS DE ESFORÇOS SOLICITANTES COM O USO DO PROGRAMA FTOOL (Versão 2.11)

1. INTRODUÇÃO

Este Curso Temático trata da apresentação e do uso do programa Ftool para resolver exemplos de cálculo de reações de apoio e do traçado de diagramas de esforços solicitantes em estruturas admitidas como corpos rígidos, ou seja, sem a preocupação de analisar deslocamentos ou outros efeitos, conforme objeto da disciplina Isostática, do segundo ano do curso de Engenharia Civil da UNESP - Bauru.

O programa Ftool é um aplicativo desenvolvido pelo Prof. Luiz Fernando Martha da PUC-Rio, que pode ser encontrado no endereço <u>http://www.tecgraf.puc-rio.br/ftool/</u> juntamente com um manual detalhado de utilização, cuja leitura se recomenda pois as instruções aqui fornecidas são propositalmente resumidas.

A motivação que nos levou a esta atividade é que, ao logo do tempo que temos ministrado o tema, percebemos que a maior da dificuldade encontrada pelos estudantes é de aliar a interpretação da representação gráfica da estrutura ao comportamento mecânico, na verdade um problema de concepção estrutural que, geralmente, é pouco abordado nos cursos introdutórios de teoria das estruturas.

Assim sendo, serão utilizados recursos mínimos do programa, uma vez que a o a meta é obter respostas rápidas para criar um clima de segurança para que estudante possa estabelecer as próprias rotinas de cálculos manuais, formular outros exemplos nos quais eventuais dúvidas venham a persistir e resolver com rapidez um grande número de exercícios sugeridos na literatura, muitas vezes sem fornecimento de respostas.

Nessa linha é preciso observar que o Ftool é um programa desenvolvido com base na análise matricial de estruturas, assunto abordado em disciplina específica oferecida no quarto ano do nosso currículo, na qual os alunos poderão aproveitar e melhor compreender as outras opções oferecidas pelo aplicativo.

2. SEQÜÊNCIA PARA ANÁLISE DE VIGA NO FTOOL

Para introduzir o uso prático do Ftool, seja resolver a viga mostrada na Figura 1, na qual foram aplicadas algumas das ações mais comumente encontradas em exemplos clássicos da literatura técnica.



Figura 1 – Exemplo de viga com diversas ações aplicadas.

2.1 Entrada de dados da geometria da estrutura

Após instalar o programa em sua máquina, basta clicar no atalho Π para abrir a tela mostrada na Figura 2, na qual está indicado em vermelho o botão que dá início à entrada de dados para desenhar a estrutura.



Figura 2 – Tela inicial do Ftool.

Examine o problema e crie nós de interesse, obrigatoriamente nos quais estejam localizados apoios, ações, rótulas e outros nos quais se deseje, por exemplo, obter esforços solicitantes, os quais serão escritos na tela após o processamento.

A partir dessa providencia inicie a estrada das coordenadas cartesianas de cada nó, bastando para tanto clicar no ícone indicado na Figura 3, o que abrirá a janela apropriada mostrada na mesma Figura.

II Ftool - Two-Dimensional Frame Analysis Tool	
File Options Transform Display	
	/Combination: Single Case 🗾
RIA K Diagram	→ ! †!! ! !
Use the keyboard to enter line data.	Step: 0.00 m ++++
Enter with line coord Point 1 X = Point 1 Y = 0.000 Point 2 Y = 0.000 Tolerance = 0.001	Material Parameters NONE
H: 16.94 m V: 12.00 m X: Y: Grid X: 1.00 m Y: 1.00 m C Snap	

Figura 3 – Tela de entrada das coordenadas cartesianas dos nós.

Os resultados da entrada da primeira e da última coordenada são mostrados nas Figuras 4 e 5, respectivamente.

TT Ftool - Two-Dimer	nsional Frame Analysis To	ol		
File Options Transform	Display			
	na		Load Case/0	Combination: Single Case 🗾
<u>₽</u> I Δ <i>×</i> Π	4 👯 🎹 🖬 👔	Editing Mode: Creation	Diagram	✓ 4 ³ +II + 11↓ (15) h
Use the keyboard to enter	line data.			Step: 0.00 m
Image: Second secon	•	Enter with line coord Point 1 × = 2.000 Point 1 Y = 0.000 Point 2 × = 2.000 Point 2 Y = 0.000 Tolerance = 0.001 Ok Cancel	Y: 1.00 m C Snep	Material Parameters NONE V E: MPa Y: KN/m? c: 7°C

Figura 4 – Desenho do primeiro trecho da estrutura.

T Ftool - Two-Dimensional Frame Analysis Too	1	_ 🗆 🗙
	Load Case/	Combination: Single Case 👻
RIAMI 489.	Editing Mode: Creation JI	▼ 48+1+11↓Č15 km
Use the keyboard to enter line data.		Step: 0.00 m ++++
	Enter with line coord Point 1 × = 10.000 Point 1 Y = 0.000 Point 2 × = 10.000 Point 2 Y = 0.000 Tolerance = 0.001 Ok Cancel	Material Parameters NONE V P P P P E: MPa Y: kN/m? c: /*C

Figura 5 – Desenho final dos trechos da estrutura.

A partir deste ponto, deverão ser informados os dados referentes aos materiais com a qual a estrutura será construída.

Para introduzir esses dados, clique no ícone do lado esquerdo e depois do lado direito assinalados na Figura 6.

👖 Ftool - Two-Dimer	isional Frame Analysis Tool					
File Options Transform	i Display					
	n N				Load Case/(Combination: Single Case 💌
R I AM	1 田田 (1)	Editing Mode:	Selection	Π	Diagram	✓ 4 ³ + I + ↑ I ↓ ČIŠ ⊢
						Step: 0.00 m ++++ ++++
•					~	Material Parameters NONE 💌
×						<u> </u>

Figura 6 – Entrada de parâmetros dos materiais.

Esse procedimento abrirá uma janela, na qual será possível estabelecer uma numeração para o caso da estrutura estar constituída por trechos de diferentes materiais.

Como o interesse é a análise de corpo rígido, basta escolher a configuração defull do programa sem considerações mais detalhadas, uma vez que o objetivo é obter as reações e diagrama de esforços internos. Assim, basta classificar apenas um material (New Label 1) e clicar, por exemplo, Concreto, conforme mostra a Figura 7.

TI Ftool - Two-Dimensional	l Frame Analysis Tool					(
File Options Transform Displa	ay						
D 🖻 🖬 🚳 🖬 🔊 🖓	∩				Load Case/C	Combination: Sing	le Case 💌
	₩ <u>Ш</u> Щ !	Editing Mode:	Selection	11	Diagram	✓ 4 ^S +II+ 1	11 (15
						Step: 0.00 m	
					~	Mater	ial
/						Parame	eters
•						New La	bel:
						1	
						Stee	
X						Concre	ete
					_	Done	•
						Canc	el

Figura 7 – Entrada dos parâmetros dos materiais.

Na seqüência será aberta a janela da Figura 8, na qual basta clicar a opção "all" e assim todas as partes da estrutura serão constituídas do mesmo material.



Figura 8 – Definição do material e seus parâmetros para toda a estrutura.

A seguir devem ser informadas as propriedades geométricas das seções transversais, bastando para tanto clicar no ícone indicado na Figura 9.

∏ Ftool - Two-Dimensional Frame Analysis Tool							
File Options Transform	Display						
D 🗳 🖬 🎒 🖻	5 24						
RIAMM	4 😽 🎞 🖬 🚦						

Figura 9 – Tela inicial para entrada de propriedades geométricas.

Essa providência inicia a seqüência de opções mostrada na Figura 10, na qual se indicam os passos necessários para a adoção de uma seção quadrada de dimensões 10 x 10 cm em toda a estrutura.





Figura 10 - Entrada das propriedades geométricas das seções transversais.

A partir deste ponto serão introduzidas as condições dos suportes, no caso, apoio móvel, engastamento e rótula.

Assim, a Figura 11 indica os passos para inserir o apoio móvel, que se inicia clicando o cursor no nó (que ficará vermelho), em seguida no ícone apoio móvel, nas caixas relativas aos impedimentos dos deslocamentos e rotações, encerrando a aplicação com o ícone indicado à esquerda.

Π	tool - Two-D	imensional I	Frame Ana	lysis Tool	1					ſ	
File	Options Tran	isform Display									
D	🖻 🖪 🎒 🛙	b n a	я					Ŀ	oad Case/(Combination: Singl	e Case 💌
R	IAMI	<u>-</u>		₽.	Editing Mode:	Selection	Π	D)iagram	✓ 4 ^S +II+ ↑	11 (15
										Step: 0.00 m	
									^	Suppe Conditi	ort ons
Í										→ ₽	₽ 🥄
 ≝										Displac. X	Spring Kx
×										Displac. Y	Spring
										Rotation Z ↓ Free ↓ Fis	Spring
									=	Angle: 0	.0 deg
										Prescribed D	isplacem. -
										Dx	mm
9									_	Dy:	mm
0										Rz:	rad
Q										Spring Stiffne:	ss Values -
Q										Kx	kN/m
Q		•		•		•				Ky:	kN/m
A									~	Kz:	kNm/rad
	<			II					>		
	H: 16.94 m	V: 12.00 m	X:9.49m	Y:5.44m	G	rid X: 1.0	0 m Y:	1.00 m	🗖 Snap		

Figura 11 – Seqüência para inserir o apoio móvel.

Para inserir o engastamento e a rótula, veja as Figuras 12 e 13.

Π	tool - Two-Dimen	sional Frame	Analysis Tool					
File	Options Transform	Display						
D	🖻 🖬 🎒 🖻	n a					Load Case/(Combination: Single Case 💌
R	IAMM	☆ 👯 🆽 🗄	<u>11</u>]	Editing Mode:	Selection	Π	Diagram	- 4 ³ + I + ↑I↓ ₹I5 -
								Step: 0.00 m ++++ ++++
							^	Support Conditions
4								→ ₽ ₽ ₽
<u>⊢</u> ,⊣								Displac. X Spring
≡≡ ×								Displac. Y Spring
<u> </u>							\rightarrow	I Free IV Fix I Ky Rotation Z Spring
								🗆 Free 🔽 Fix 🔲 Kz
								Angle: 90.0 deg <
								Prescribed Displacem.
			+	+	•	•	=	Dx: mm
P		_						Dy: mm
8								Hz: rad
								Spring Stiffness Values
								Kur kN/m
								Kz: kNm/rad
H	e						~	
	H: 16.94 m V: 1	12.00 m X:	Y:	☐ Gri	d X: 1.00 m	Y: 1.00 m	☐ Snap	

Figura 12 – Seqüência para inserir o engastamento.



Figura 13 - Seqüência para inserir a rótula.

Após o encerramento desses passos, obtém-se na tela o desenho da estrutura mostrado na Figura 14.



Figura 14 – Desenho da estrutura.

2.2 Entrada de dados das ações

Para entrar a ação concentrada horizontal da Figura 1, inicie clicando nos ícones da esquerda e direita assinalados na Figura 15.

TI Ftool - Two-Dime	nsional Frame Analysis To	ol: ex_tut.ftl		
File Options Transfor	m Display			
	5 01		Load Case/0	Combination: Single Case 🗾
RIAME		Editing Mode: Selection	Diagram	✓ 4 ³ + 11 + ↑11 ₹115 H
				Step: 0.00 m ++++ ++++
	·	• •		Nodal Loading NONE V Solution Fx: kN Fy: kN Mz kNm

Figura 15 – Entrada de ação concentrada horizontal.

Em seguida, conforme a sequência da Figura 16, numere a ação como "New Label 1" e clique em "Done".

Escreva o valor da ação no quadro "Fx", clique no nó onde ela será aplicada e em seguida no comando indicado no lado direito, o que encerrará o processo de inserção da ação horizontal.



Figura 16 - Entrada de ação concentrada horizontal.

Para a entrada da carga concentrada vertical, siga a seqüência da Figura 17, iniciando com um clique no ícone que abrirá janela para numerar outra ação. Em seguida escreva em "New Label:" o número 2 e clique em "Done". Escreva o valor da ação no quadro "Fy", clique com o cursor no nó onde ela atua e encerre no ícone de inserção localizado no lado direito. O resultado encontra-se mostrado na Figura 18.



Figura 17 - Entrada de ação concentrada vertical.

TT F	tool - Two-Dimen	sional Fran	ne Analysis To	ol: ex_tut.ftl						
File	Options Transform	Display								
	🗳 日 🎒 🛍	5					Load Case/(Combinati	on: Single	Case 🔽
P	IAXT	<u> </u> ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	1 11 1	Editing Mode:	Selection	Π	Diagram	- 4	≶ + + † ↓	. <15
								Step:	0.00 m	
R							<u>^</u>		Nodal Loadin	a
$\left \right $								Γ	2	-
L.J									6 1	8 🕸
		¥.							₽₽₽₽	
<u> </u>		8						Fx	1	0.0 kN
	1.0 KN 🛆	•	•	•	•		1	Fy:	4	2.0 kN
							_	Mz:	1	0.0 kNm

Figura 18 – Ações horizontal e vertical.

Para adicionar o momento aplicado à esquerda da articulação, siga os passos indicados na Figura 19, cujo resultado está apresentado na Figura 20.

Flool - Two-Dimensional Fra File Options Transform Display Image: Image	Member End Moments NONE	Member End Moments New Label: 3 Done Cancel	Member End Moments 3 2 2 2 2 2 2 2 2 3 2 2 2 2 2 2 2 2 2
	Ma: kNm Mb: kNm		Mb: -3.0 kNm

Figura 19 – Ícones para entrada do momento.

T Ftool - Two-Dimen	sional Frame Ana	alysis Tool: e	x_tut.ftl				
File Options Transform	Display						
	n N					Load Case/0	Combination: Single Case 💌
RIAMM	本 👯 田 町	1	Editing Mode:	Selection	Π	Diagram	✓ 4 ³ + II + ↑ II ↓ ₹ II ⁵ ⊢
							Step: 0.00 m ++++ ++++
	30 KH	KNm (®					Member End Moments 3

Figura 20 – Ações horizontal, vertical e momento.

Para inserir a ação distribuída, clique nos ícones indicados na Figura 21, numerando como New Label: 4.

TT Ftool - Two-Dimen	isional Frame Analys	is Tool: ex_tut.ftl				
File Options Transform	Display					
	50 04			Load Case/Com	bination: Single	Case 🔽
<u>RIAMP</u>	ৢ৻ৠৣৣয়য়৾৾৾য়৾৾৾	Editing Mode: Selection	Π	Diagram	-↓\$ +↓+ ↑↓↓	. <u>₹15</u> ⊷
				SI	tep: 0.00 m	
× × ×					Uniform Loadin NONE	
		Uniform Loading				
		Now Labok				
		4 Done Cancel				

Figura 21 – Seqüência para entrada da ação distribuída.

Em seguida clique no trecho onde atua a ação, que será destacado em vermelho conforme mostra a Figura 22, finalizando o conjunto das ações aplicadas que se encontra na Figura 23.

T Ftool - Two-Dimen	sional Frame Analysis T	ool: ex_tut.ftl		
File Options Transform	Display			
	5 01		Load Case/	Combination: Single Case 💌
RIAMM	4 ₩ <u>II</u> #	Editing Mode: Selection	Diagram	✓ </td
				Step: 0.00 m ++++ ++++
	3.0 KNm (®			Uniform Loading 4 V K Direction C Global Local Qx: 0.00 kN/m Qy: -4.00 kN/m

Figura 22 – Trecho onde atua a ação uniformemente distribuída.



Figura 23 – Resultado final das ações aplicadas.

2.3 Obtenção dos diagramas de esforços solicitantes

A obtenção dos diagramas de esforços solicitantes é bastante simples, bastando clicar nos ícones indicados na Figura 24, providência que mostrará na tela os diagramas dos esforços normais, cortantes e fletores da Figura 25.

TT Ftool - Two-Dimens	sional Frame Analysis Tool:	ex_tut.ftl		
File Options Transform	Display			
	50		Load Cas	e/Combination: Single Case 👻
RIAMM	ৢ৻ৠঢ়য়য়৾৾য়	Editing Mode: Selection	Diagram	<u>- ∛ +I+ †I↓ ₹I5</u> +
				Step: 0.00 m

Figura 24 - Ícones para obter os esforços internos solicitantes.



Figura 25 – Diagramas dos esforços internos solicitantes.

2.4 Obtenção das reações de apoio

Para obter as reações de apoio, basta acionar os ícones indicados na Figura 26.



Figura 26 - Comandos para obter as reações de apoio.

As reações de apoio encontram-se na Figura 27, que encerram a análise pretendida.



Figura 27 - Reações de apoio e diagrama de momentos fletores.

3. OBSERVAÇÕES FINAIS

Uma análise mais atenta da Figura 7 mostra que, caso se faça um corte, M $_{(x=2,00)}$ = 0,3 x 2 = 0,6 kN m.

Observa-se, contudo, que o programa imprime resultados arredondados, pois na verdade a reação de apoio é 0,25 kN, valor que pode ser calculado manualmente de modo bastante simples.

Assim, vale destacar que, embora o erro seja pequeno, a interpretação do resultado do aplicativo é de responsabilidade do usuário e que essa conduta não pode ser realizada sem base teórica.

Outro exemplo é a questão da vinculação correta da estrutura. Assim, caso sejam introduzidos dados de uma viga hipostática, o programa emitirá o alerta que se encontra na Figura 28.

1.0 KN	₹ ?i 3.0 kNm		4.00 kN/m		
		Ftool Message Unstable Frame Please check frame sup hinge configuration, or condition that may caus	, port conditions, any other :e instability.		

Figura 28 – Mensagem emitida na análise de uma viga hipostática.

Concluindo, apenas para reforçar o que se tem alertado nas aulas de Isostática quanto ao uso de pacotes de programas de engenharia, segue parte do aviso que consta no manual de instruções do Ftool: "O usuário é responsável por toda ou qualquer conclusão feita com o uso do programa. Não existe nenhum compromisso de bom funcionamento ou qualquer garantia."