



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Exemplo de aplicação do método N2 proposto no EC8 – Pórtico 2D

Parte 3



André Belejo, Rita Bento e Carlos Bhatt

FUNDEC

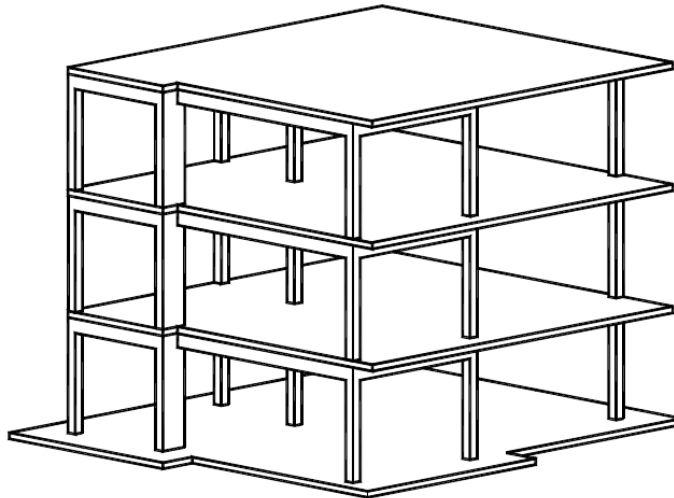


Exemplo de aplicação do método N2 proposto no EC8 – Pórtico 2D

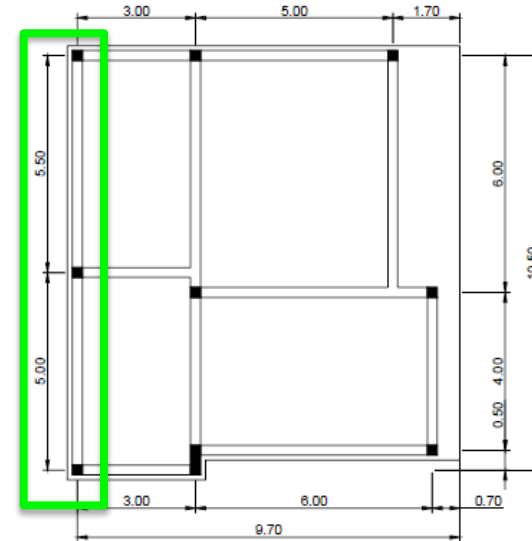
1. **Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000**
2. Definição da Curva de Capacidade Resistente da Estrutura, recorrendo ao SAP2000
3. Definição da Acção Sísmica
4. Definição do sistema de IGL equivalente
5. Desempenho Sísmico do sistema de IGL equivalente
6. Desempenho Sísmico da Estrutura – sistema de nGL



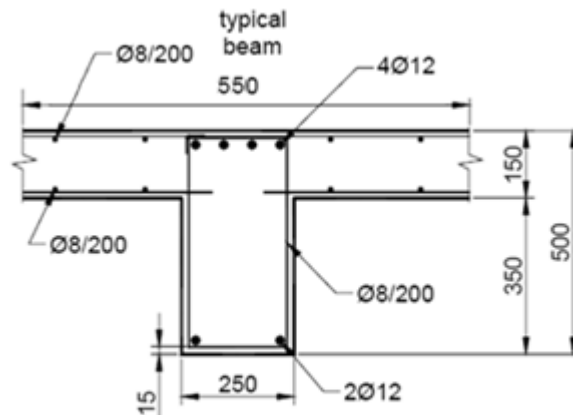
1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000



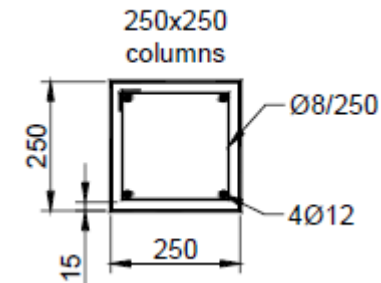
Edifício SPEAR



Identificação do Pórtico Bidimensional



Vigas

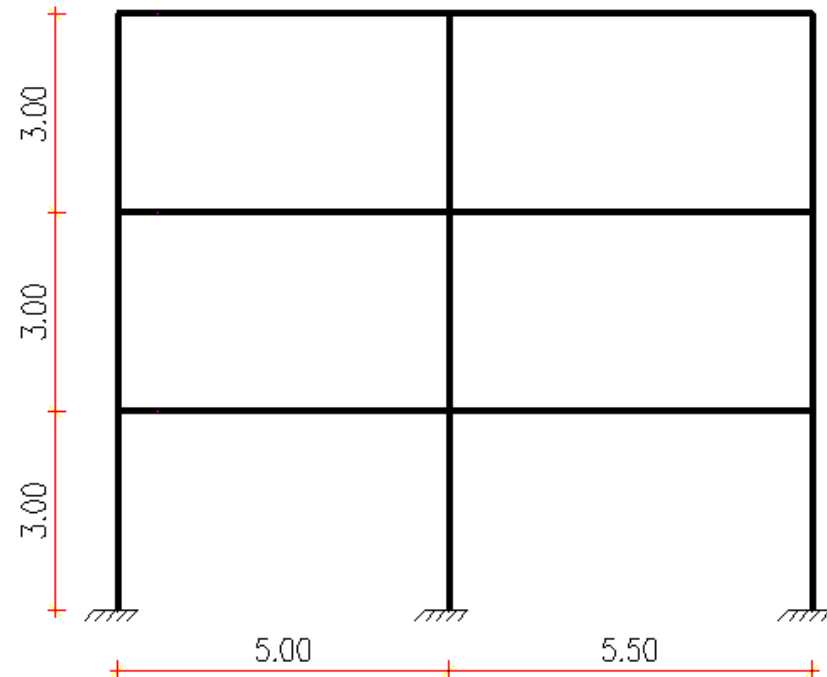


Pilares



1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

- Estrutura constituída por três pisos
- Distância de 3 metros entre pisos
- Vãos de 5 e 5,50 metros
- Encastramentos na Base

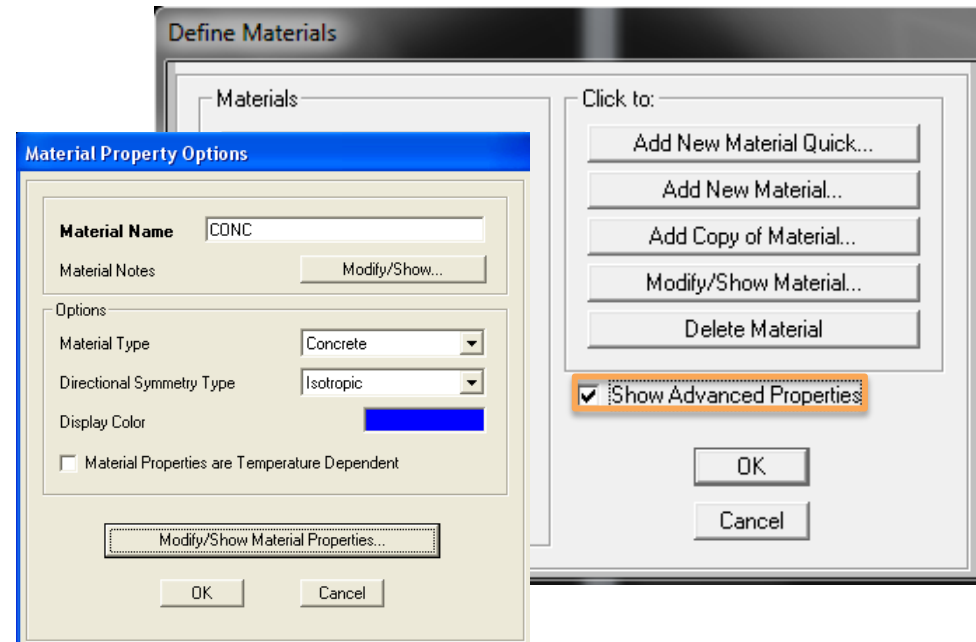




1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

- Definição do Betão

Betão: C25/30



Os valores correspondentes à resistência dos materiais a introduzir no programa deverão corresponder aos **valores médios**



1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

• Definição do Betão

Betão: C25/30

Pelo EC2:

- $f_{cm} = 33 \text{ MPa}$
- $E_{cm} = 31 \text{ GPa}$
(slide seguinte)

O valor do módulo de Elasticidade a introduzir deverá ser o valor tangente, que segundo o EC2:
 $E_c = 1,05E_{cm} = 32,55 \text{ GPa}$

Aceder às Propriedades Não Lineares dos Materiais

Material Property Data

Material Name: CONC | Material Type: Concrete | Symmetry Type: Isotropic

Modulus of Elasticity: E = 32550000

Weight and Mass: Weight per Unit Volume = 0, Mass per Unit Volume = 0 | Units: KN, m, C

Poisson's Ratio: U = 0,2

Coeff of Thermal Expansion: A = 9,900E-06

Shear Modulus: G = 13562500

Other Properties for Concrete Materials:

Specified Concrete Compressive Strength, f'_c : 33000

Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor: 0,9588

Advanced Material Property Data:

Nonlinear Material Data... | Material Damping Properties...

Time Dependent Properties... | Thermal Properties...

OK | Cancel

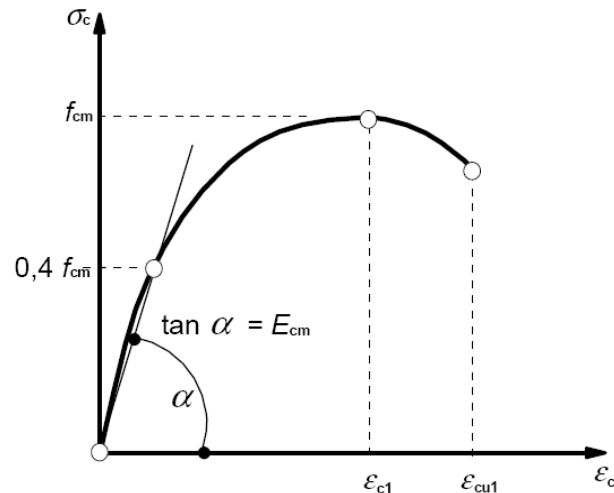
Peso do Material é nulo, pois este é englobado na massa atribuída a cada nó



1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

- Definição do Betão

Modelo de Mander (Betão Não confinado)



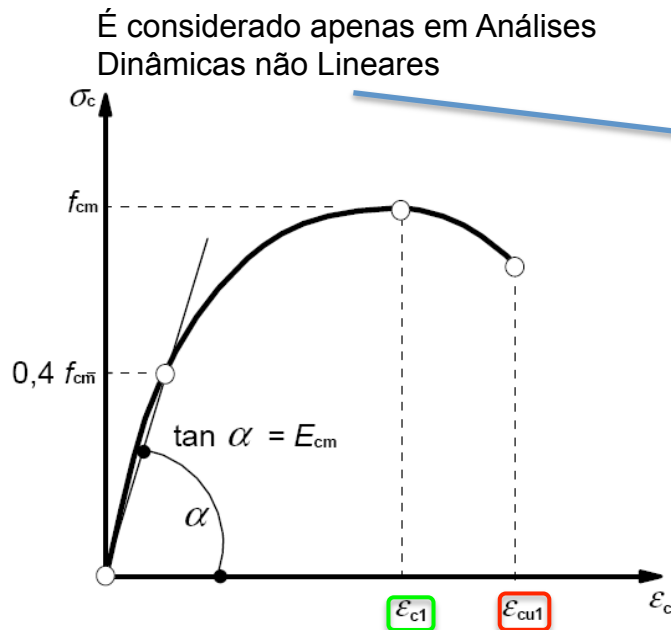
Quadro 3.1 do EC2 – parte 1

Classes de resistência do betão														
f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
$f_{ck,cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105
f_{cm} (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98
f_{cm} (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0
$f_{ck,0,05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5
$f_{ck,0,95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6
E_{cm} (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44
ϵ_{c1} (‰)	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8
ϵ_{cu1} (‰)				3,5						3,2	3,0	2,8	2,8	2,8
ϵ_{c2} (‰)					2,0					2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
ϵ_{cu2} (‰)						3,5				3,1	2,9	2,7	2,6	2,6
n					2,0					1,75	1,6	1,45	1,4	1,4
ϵ_{c3} (‰)						1,75				1,8	1,9	2,0	2,2	2,3
ϵ_{cu3} (‰)							3,5			3,1	2,9	2,7	2,6	2,6

1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

- Definição do Betão

Modelo de Mander (Betão Não confinado)



Nonlinear Material Data

Edit

Material Name: CONC Material Type: Concrete

Hysteresis Type: Takeda

Drucker-Prager Parameters: Friction Angle: 0, Dilatational Angle: 0

Units: KN, m, C

Stress-Strain Curve Definition Options:

- Parametric Mander
- User Defined

 Convert To User Defined

Parametric Strain Data:

- Strain At Unconfined Compressive Strength, f_c : 2,100E-03
- Ultimate Unconfined Strain Capacity: 3,500E-03
- Final Compression Slope (Multiplier on E): 0

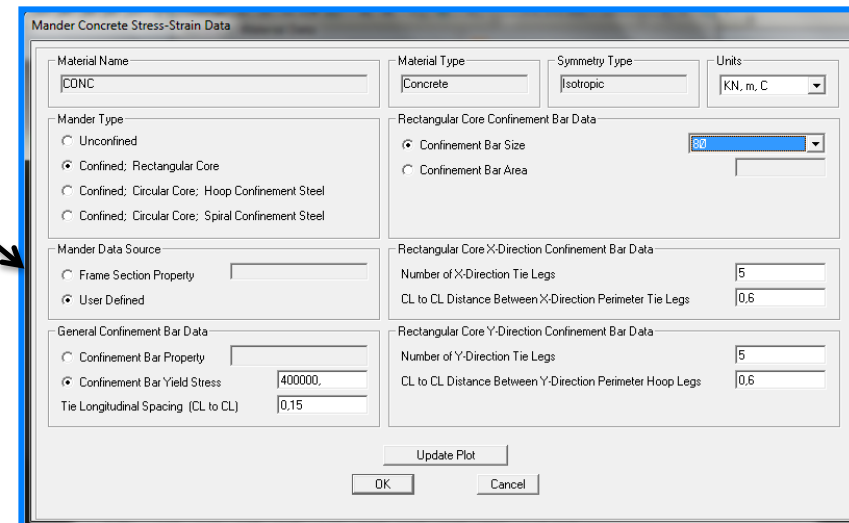
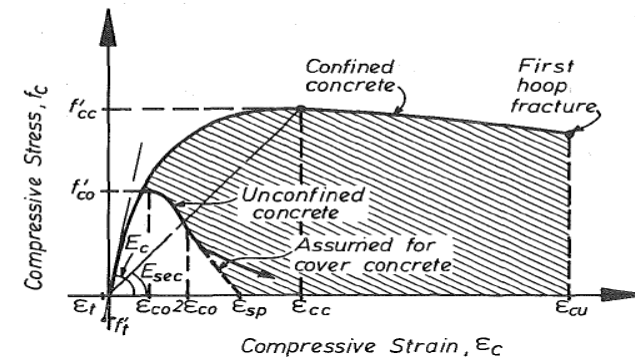
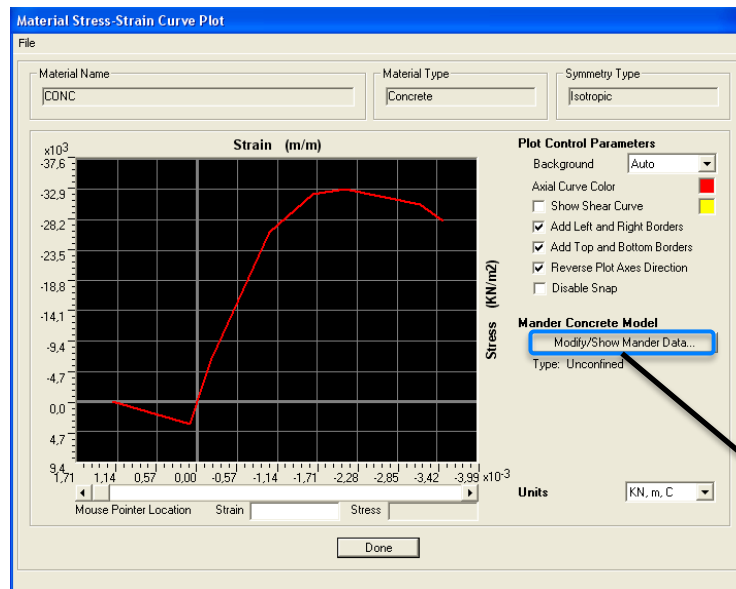
 Show Stress-Strain Plot...

OK Cancel

1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

- Definição do Betão

Modelo de Mander (Betão não Confinado)



$$f_t = 0,62\sqrt{f'_c} \text{ (Concrete07 – Chang e Mander's Model)}$$

$$\varepsilon_t = \frac{F_t}{E_c}$$

Para betão confinado, mantendo os valores de betão não confinado



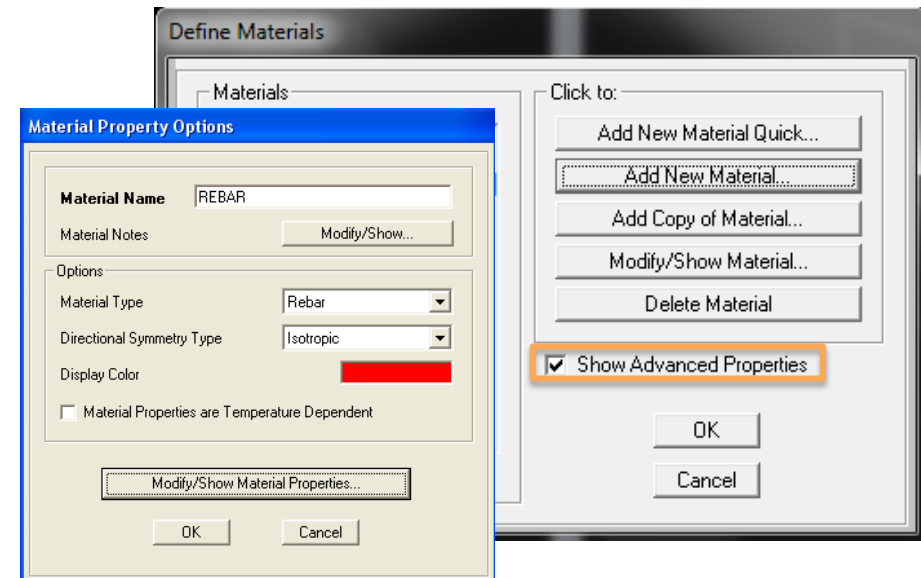
1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

- Definição do Aço

Aço: A400

$f_{yk} = 400 \text{ MPa}$

$E = 210 \text{ GPa}$



1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

• Definição do Aço

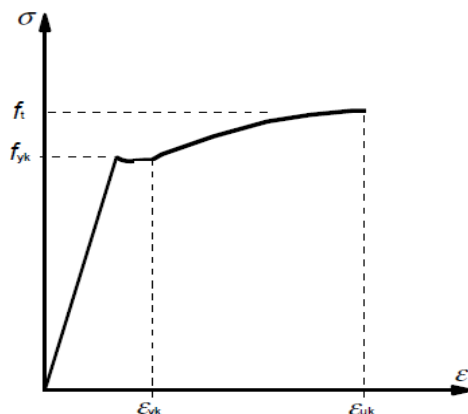
Aço: A400 (Classe B)

$f_{yk} = 400 \text{ MPa}$

$E = 210 \text{ GPa}$

(Quadro NA I do EC2 -1)

Armaduras	Classe (ver o Quadro C.1)
A400 ou A500 NR de ductilidade especial	C
A400 ou A500 NR	B
A500 ER	A



(Quadro C1 no EC2 -1)

Forma do produto	Varões e fios			Redes electrossoldadas			Requisito ou valor do quantilho (%)
	A	B	C	A	B	C	
Classe							-
Valor característico da tensão de cedência f_{yk} ou $f_{0,2k}$ (MPa)	400 a 600						5,0
Valor mínimo de $k = (f_t/f_{yk})$	$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$ $< 1,35$	$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$ $< 1,35$	10,0
Valor característico da extensão à tensão máxima, ϵ_{uk} (%)	$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	10,0
Aptidão à dobragem	Ensaio de dobragem/desdobragem			-			
Resistência ao corte	-			$0,3 A f_{yk}$ (A é a área do fio)			Mínimo
Tolerância máxima da massa nominal (varão ou fio isolado) (%)	Dimensão nominal do varão (mm)						5,0
	≤ 8			$\pm 6,0$			
	> 8			$\pm 4,5$			

Pelo EC2 tem-se que:

$$f_t \geq 1.08 f_{yk} \Leftrightarrow f_t \geq 432 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{uk} \geq 5.0\%$$

Seguindo [Pipa 1993]:

$$f_t = 161 + 0.88 f_{yk} \Leftrightarrow f_t \approx 513 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{uk} = 23.8 - 0.0244 \sigma_y \Leftrightarrow \epsilon_{uk} \approx 14\%$$

$$\epsilon_{yk} = 5.93 - 0.0077 \sigma_y \Leftrightarrow \epsilon_{yk} \approx 2,8\%$$

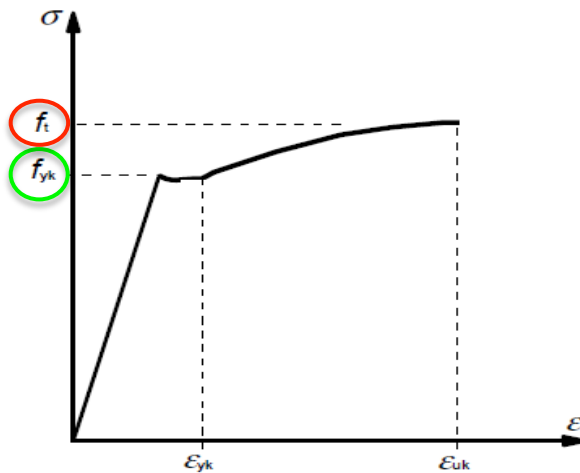
1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

- Definição do Aço

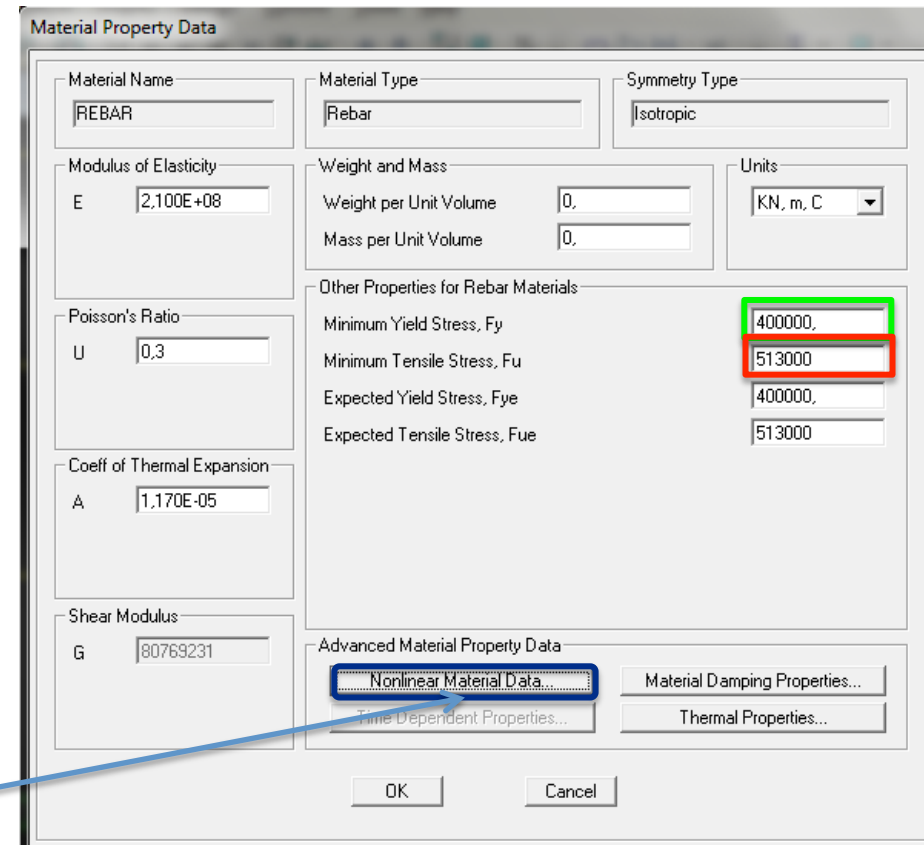
Aço: A400 (Classe B)

$f_{yk} = 400 \text{ MPa}$

$E = 210 \text{ GPa}$



Aceder às Propriedades Não Lineares dos Materiais



Peso do Material é nulo, pois este é englobado na massa atribuída a cada nó

1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

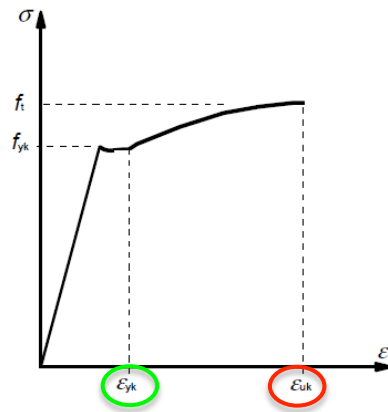
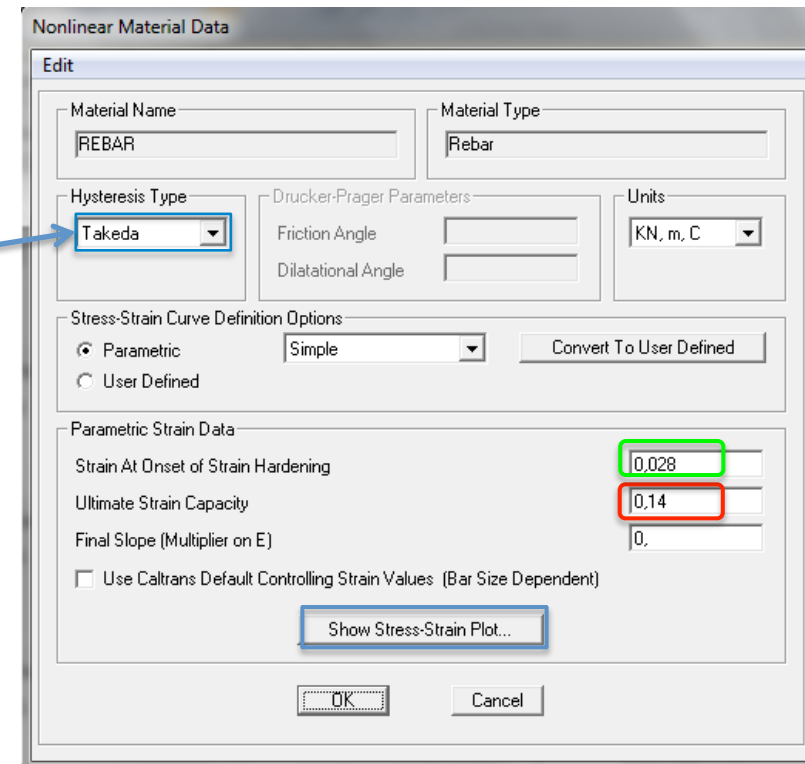
- Definição do Aço

Aço: A400 (Classe B)

$f_{yk} = 400 \text{ MPa}$

$E = 210 \text{ GPa}$

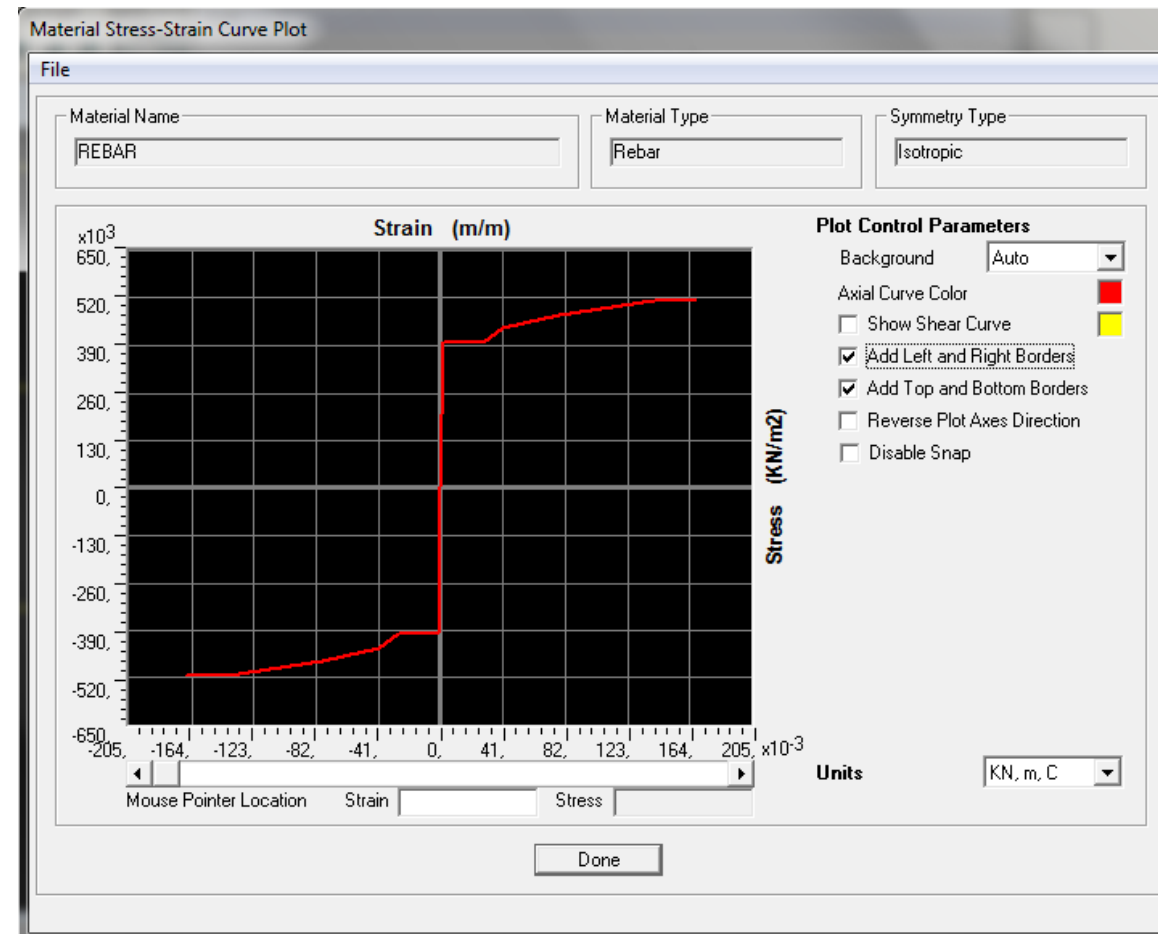
Tal como o Betão é contabilizado apenas em Análises Dinâmicas não Lineares



1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

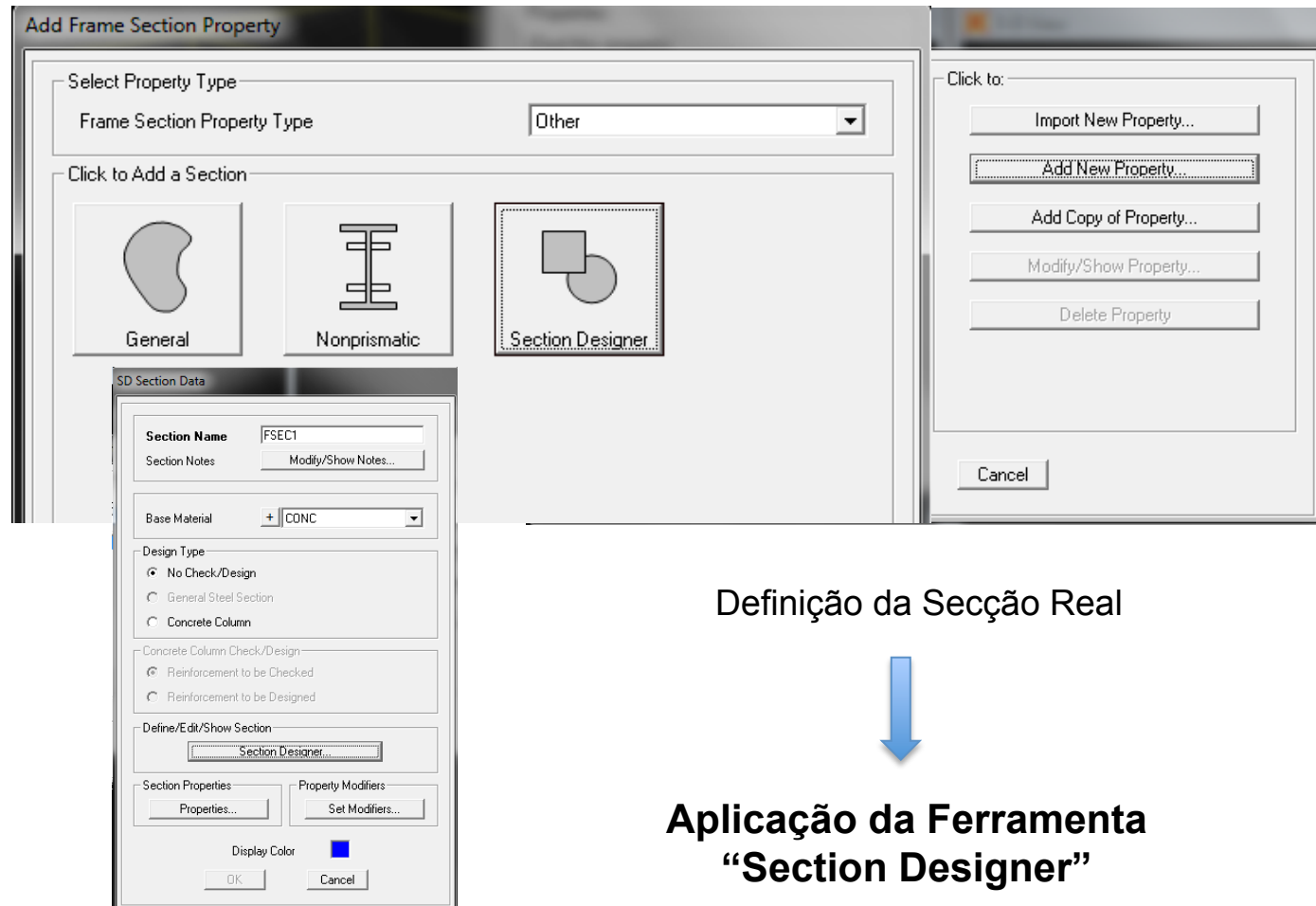
- Definição do Aço





1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

- **Definição das Secções dos elementos da Estrutura: Vigas e Pilares**

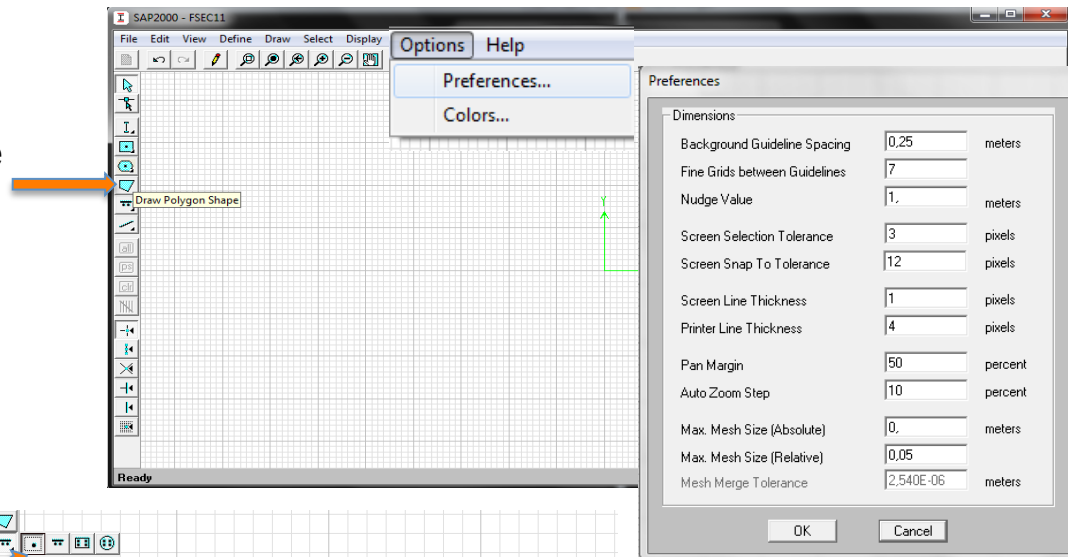




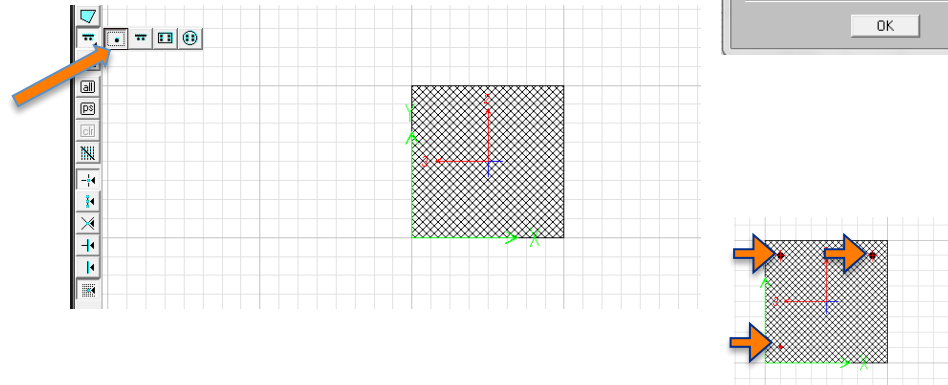
1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

- Definição das Secções dos elementos da Estrutura: Vigas e Pilares

Desenho da secção envolvente
cujo material base é o Betão



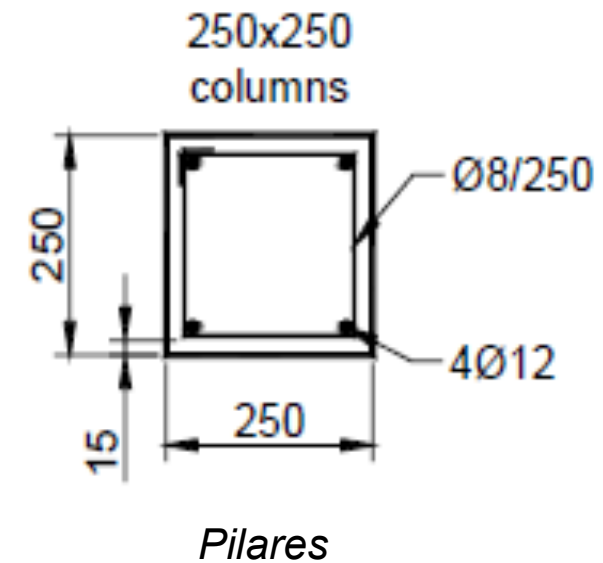
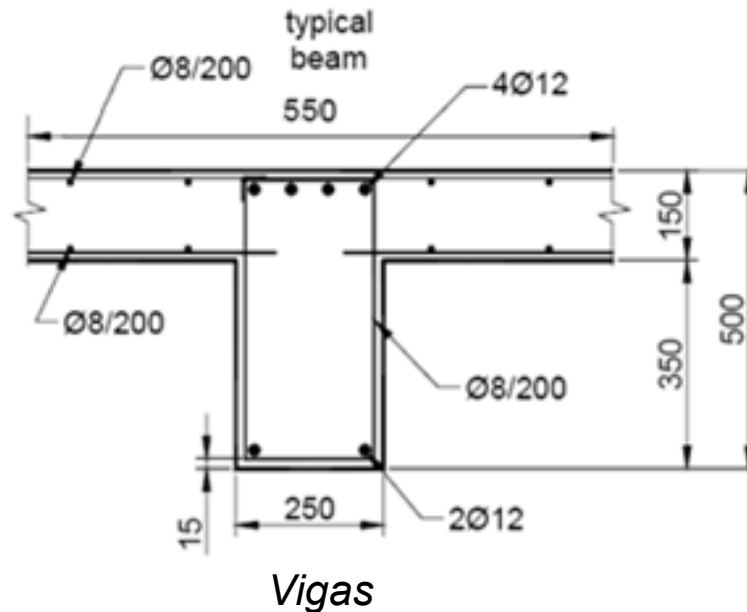
Desenho das Armaduras





1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

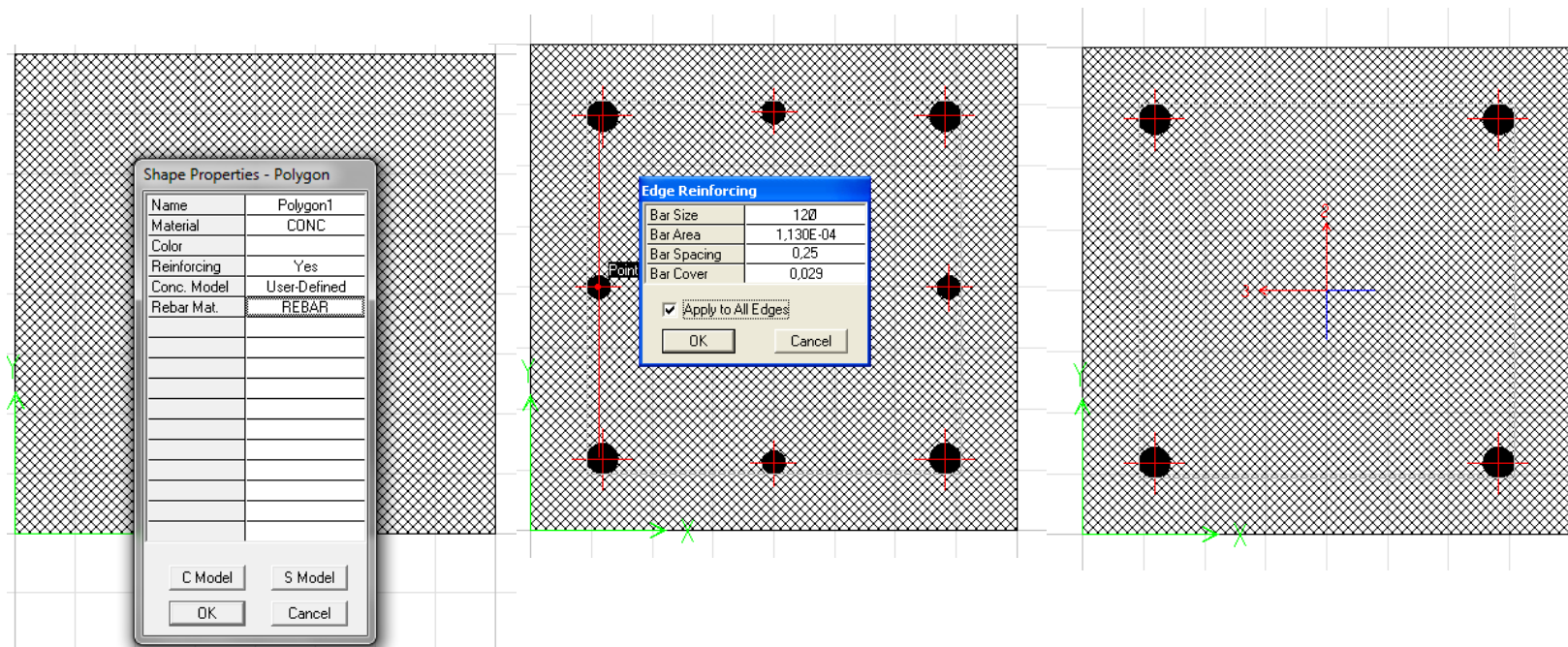
- Definição das Secções dos elementos da Estrutura: Vigas e Pilares



1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

- Definição das Secções dos elementos da Estrutura: Vigas e Pilares

Em alternativa, existe a opção da colocação das armaduras ser efectuada de forma automática



1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

- Definição das Secções dos elementos da Estrutura: Vigas e Pilares

The image shows a grid-based interface for defining structural shapes. A square section is defined with a mesh and four reinforcement bars (indicated by red crosses). Two dialog boxes are open:

Shape Properties - Reinforcing

Name	SingleBar2
Rebar Mat.	REBAR
X Center	0,0313
Y Center	0,2188
Bar Size	12Ø
Bar Area	1,130E-04

Shape Properties - Polygon

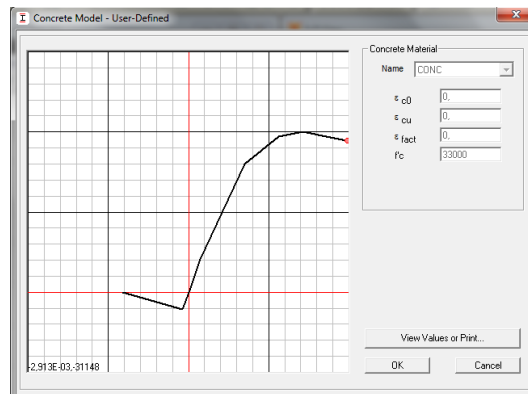
Name	Polygon1
Material	CONC
Color	
Reinforcing	No
Conc. Model	User-Defined

1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

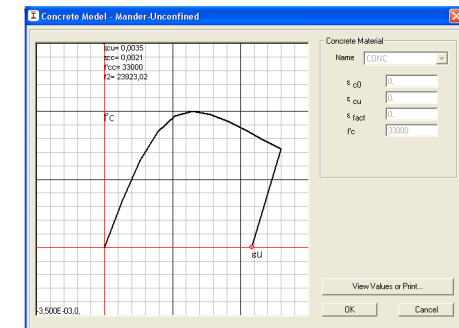
- Definição das Secções dos elementos da Estrutura: Vigas e Pilares

Relações Constitutivas dos Materiais, definidos pelo “Section Designer”

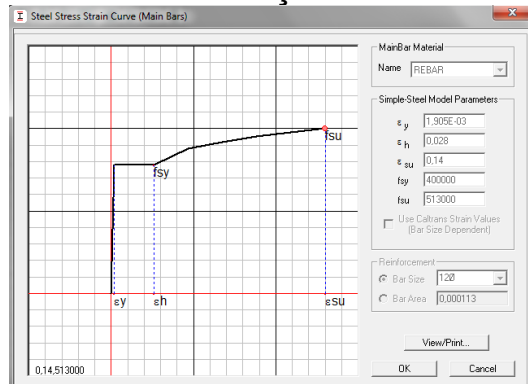
Betão



Se na definição dos materiais não for convertido para “User Defined” será esta relação, a considerada no SD



Aço

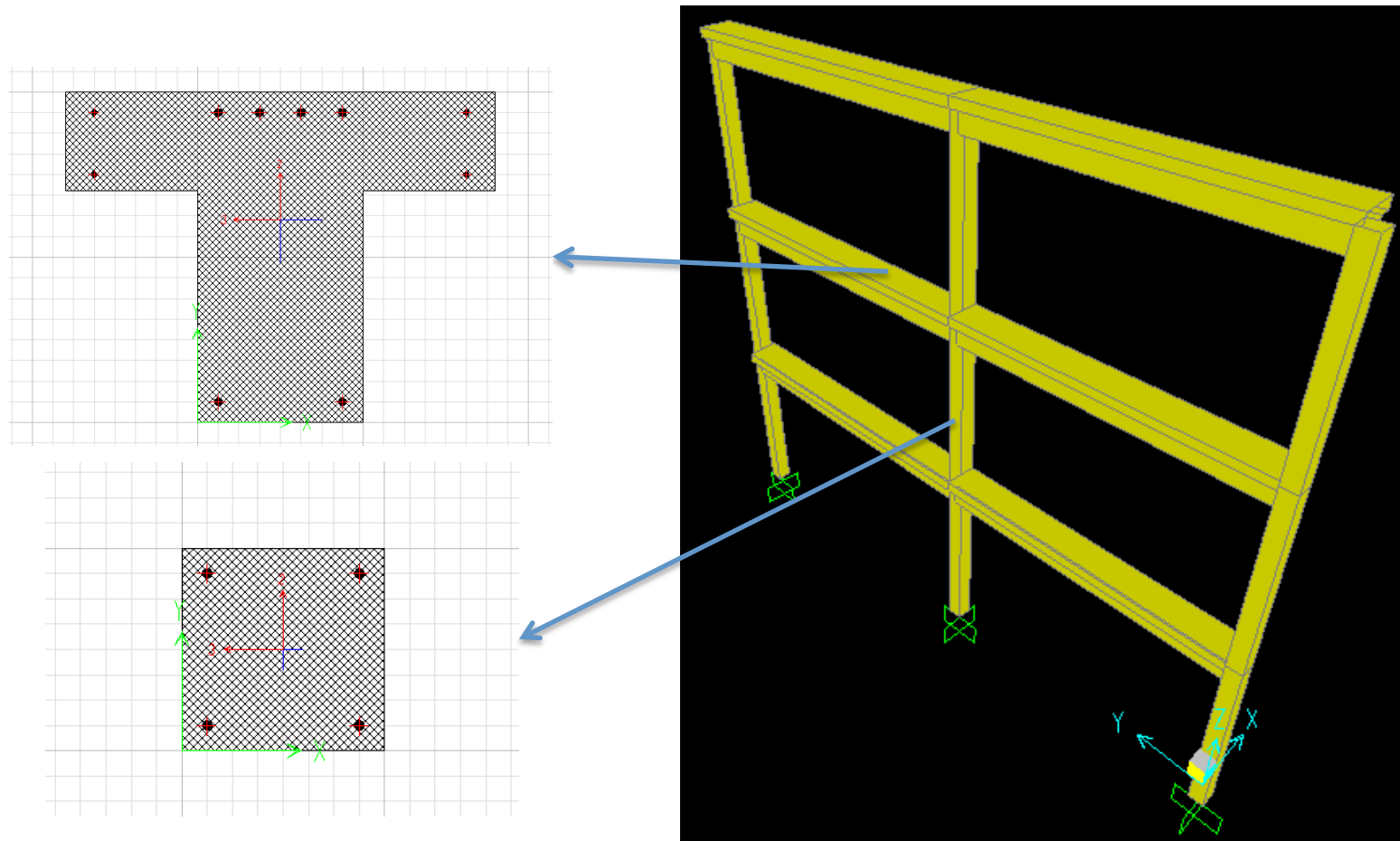


Se para o Betão for atribuído comportamento de Mander, o módulo “section designer” define a relação constitutiva automaticamente, apresentando o comportamento descrito por Mander para extensões até $2\varepsilon_{c0}$, e a partir daqui, comportamento linear até atingir tensão nula para a extensão máxima.



1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

- Definição das Secções dos elementos da Estrutura: Vigas e Pilares

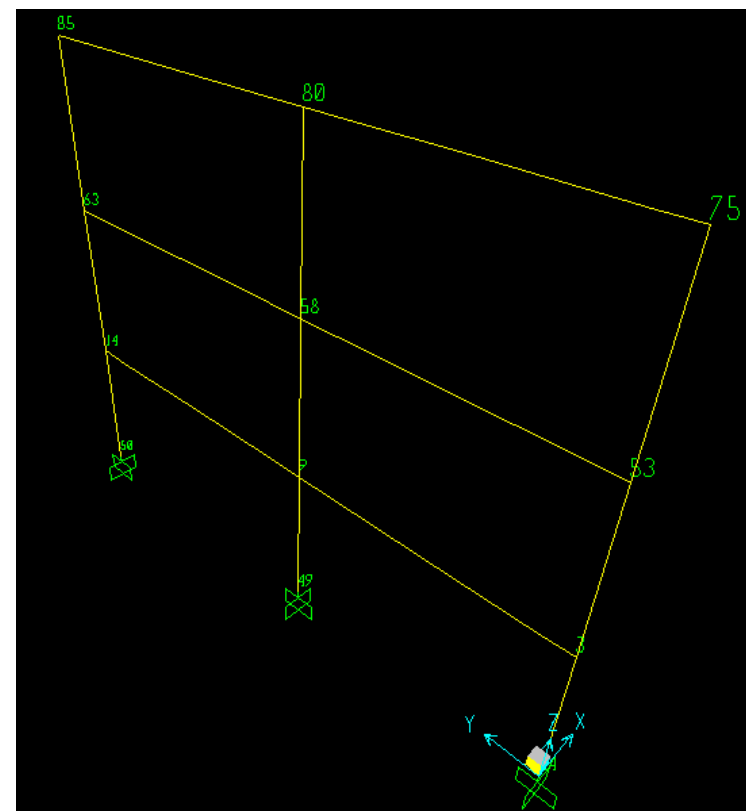




1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

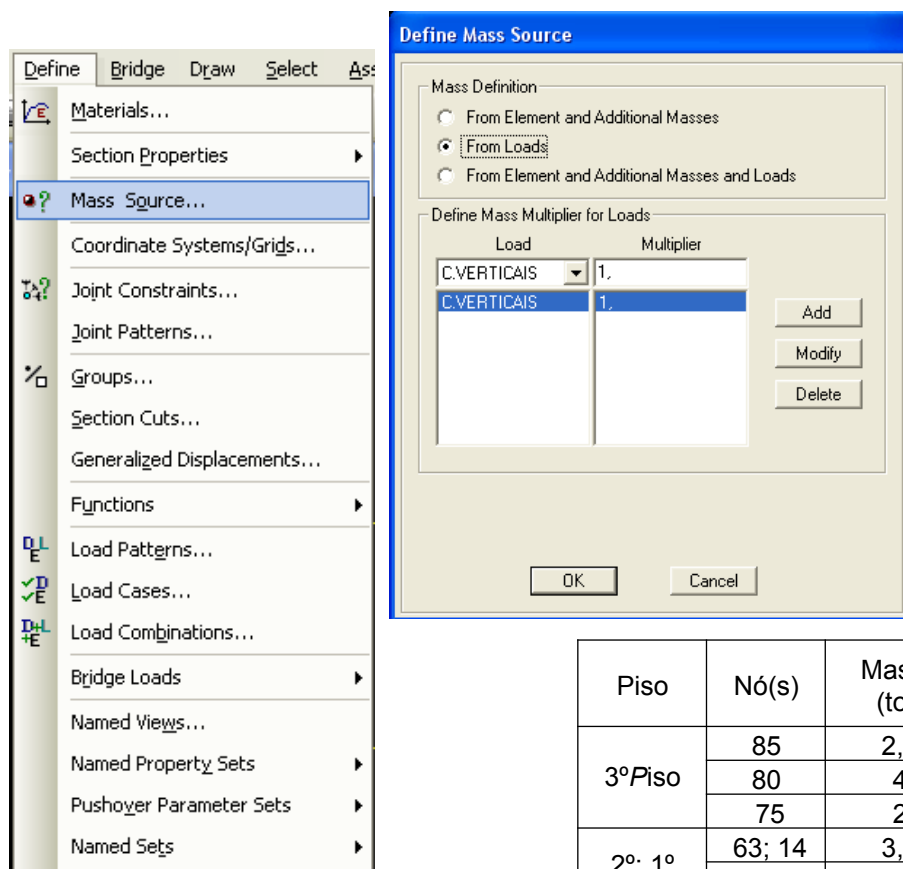
- Definição da massa da estrutura e das Cargas gravíticas nos vários nós

Piso	Nó(s)	Carga Gravítica (kN)
3º Piso	85	28,45
	80	39,24
	75	19,62
2º; 1º Pisos	63; 14	33,55
	58; 9	48,07
	53; 3	22,56

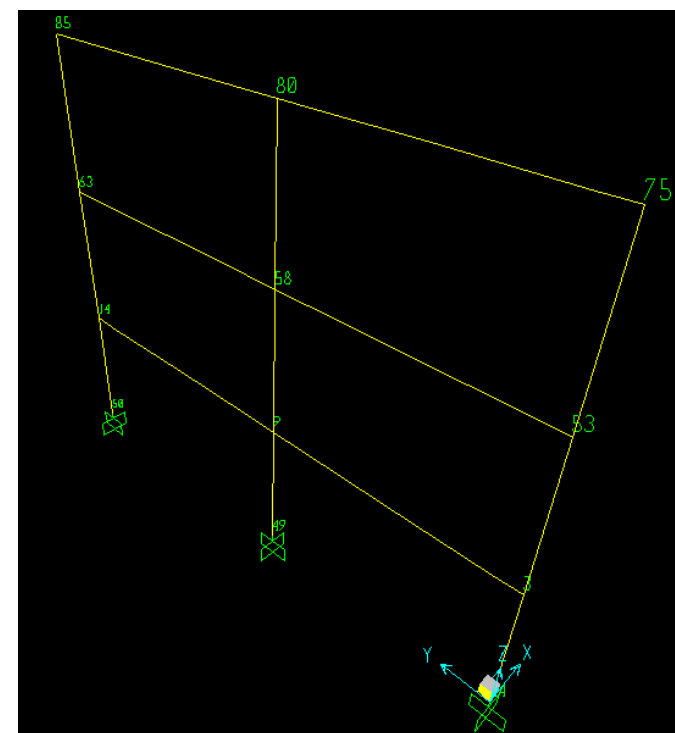


1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

- Definição da massa da estrutura e das Cargas gravíticas nos vários nós



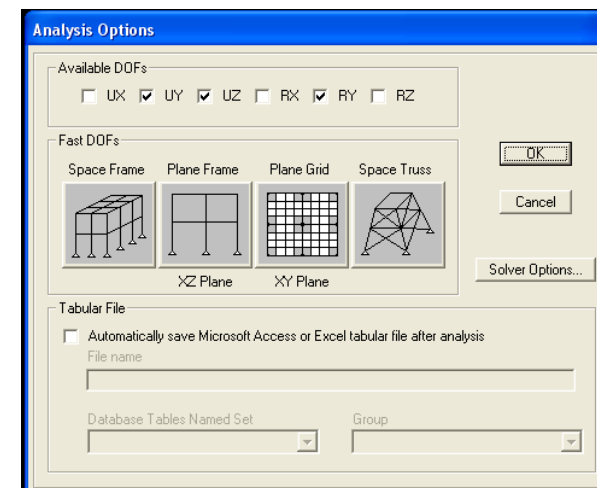
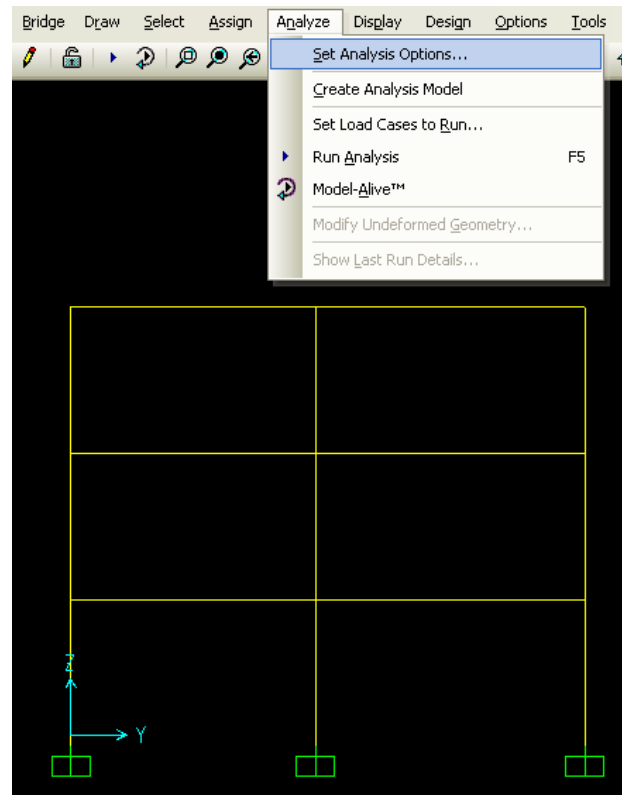
Piso	Nó(s)	Massa (ton)
3º Piso	85	2,9
	80	4
	75	2
2º, 1º Pisos	63; 14	3,4
	58; 9	4,9
	53; 3	2,3





1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

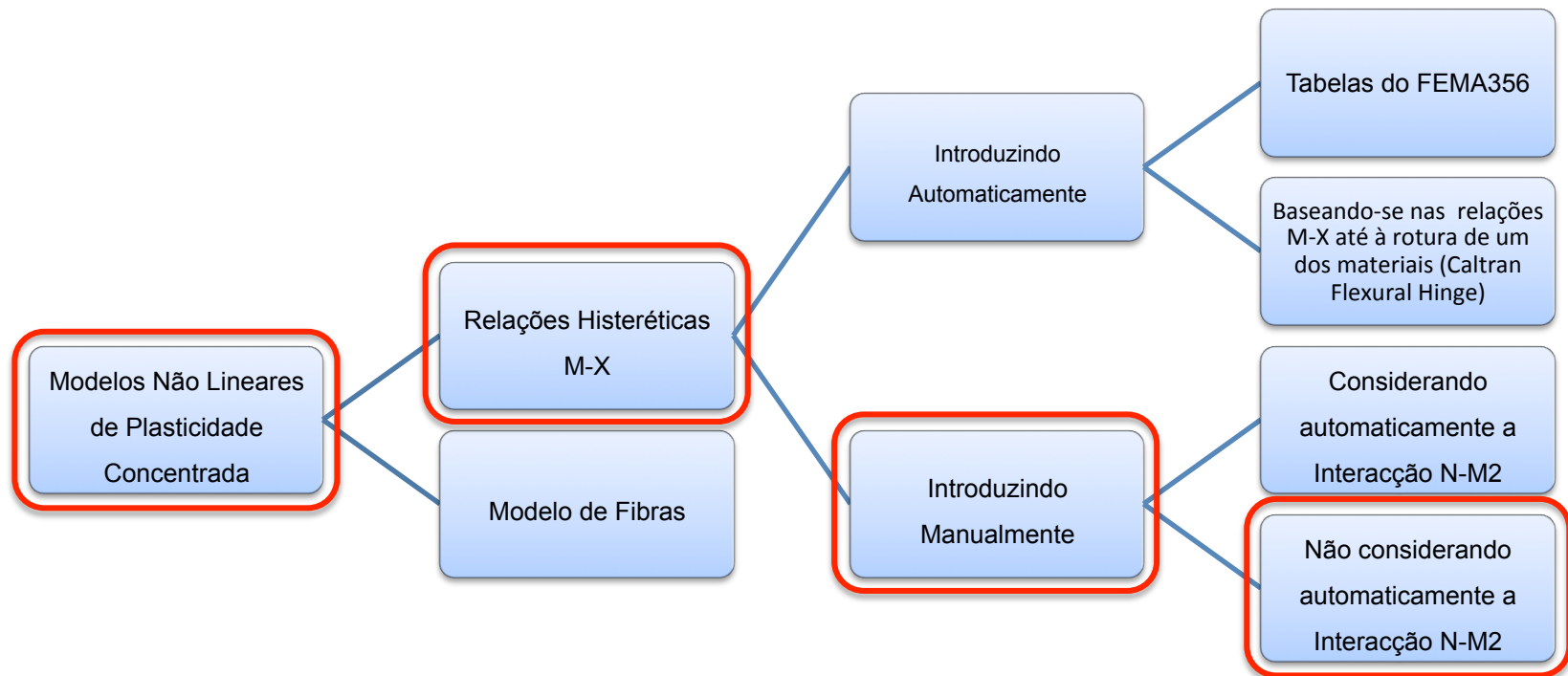
Tratando-se de uma Estrutura Plana, deve restringir-se as várias análises ao plano da Estrutura.



1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

- **Definição das relações Momento-Curvatura/Rotação nas extremidades de todas as Vigas e Pilares**

No SAP2000, para obter resposta não linear, apenas é possível modelar a estrutura com recurso a modelos de plasticidade concentrada:



1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

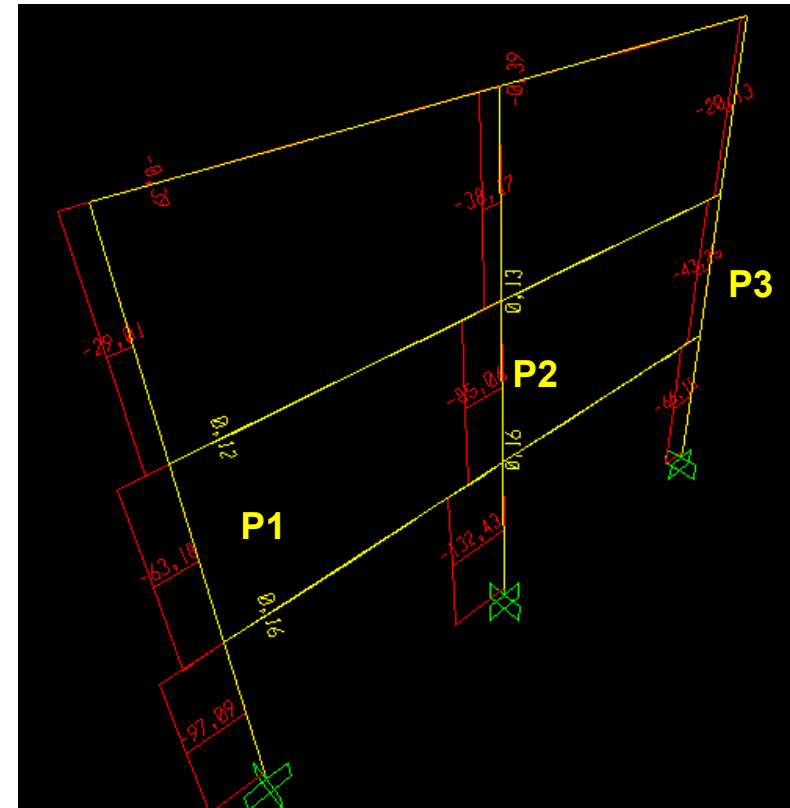
- Definição das relações Momento-Curvatura/Rotação nas extremidades de todas as Vigas e Pilares

Introduzindo manualmente, não considerando automaticamente a Interação N-M2

Análise das Cargas verticais

	N (P1) [kN]	N (P2) [kN]	N (P3) [kN]
Piso 2	29,01	38,17	20,13
Piso 1	63,18	85,06	43,25
Piso 0	97,09	132,43	66,15

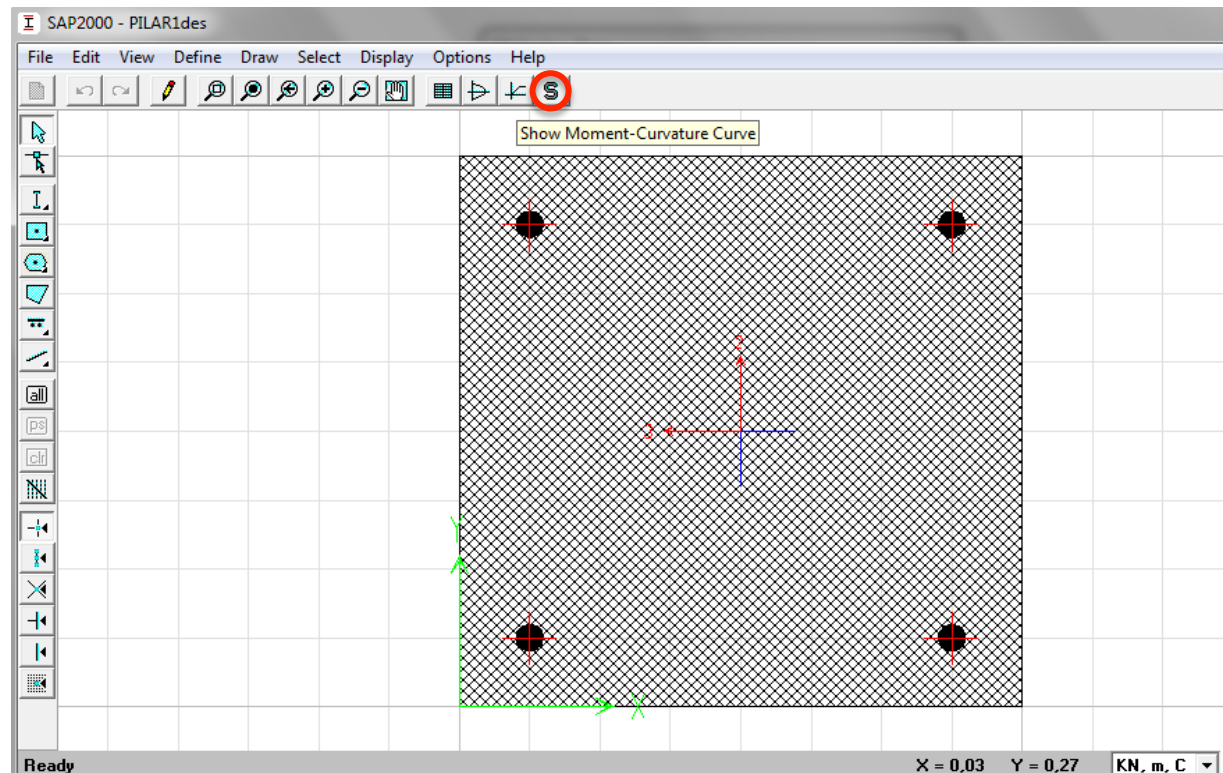
O valor do Esforço Normal terá de ser considerado na definição da relação Momento-Curvatura em cada secção



1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

- Definição das relações Momento-Curvatura/Rotação nas extremidades de todas as Vigas e Pilares

Introduzindo manualmente, não considerando automaticamente a Interacção N-M2



Relação Momento-
Curvatura da Secção



1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

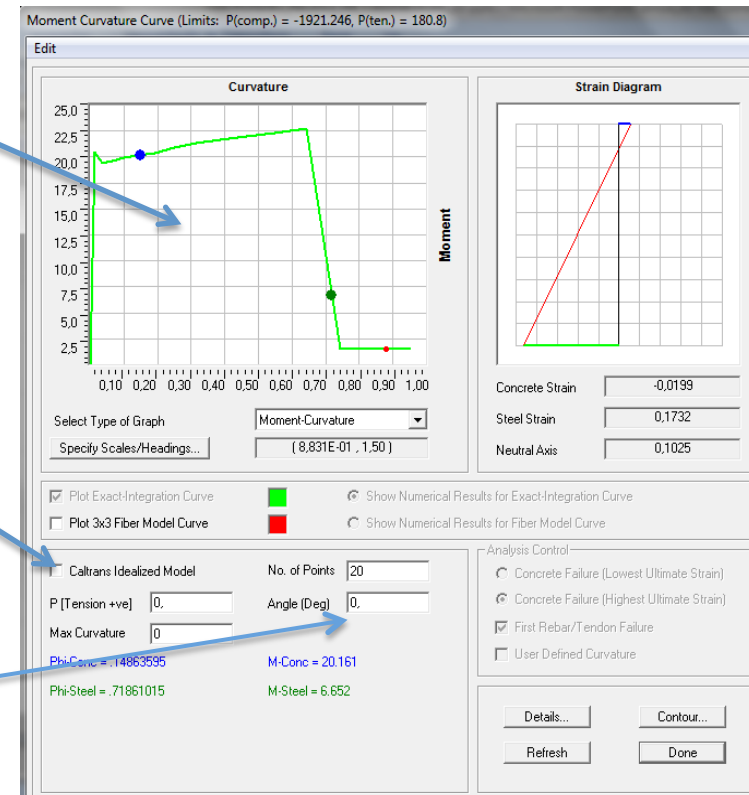
- Definição das relações Momento-Curvatura/Rotação nas extremidades de todas as Vigas e Pilares

Introduzindo manualmente, não considerando automaticamente a Interacção N-M2

Pontos de rotura dos Materiais:
Azul – Betão
Verde - Aço

Define a Curva Bilinear até à curvatura última (rotura de um dos Materiais)

Define sobre que eixo são os valores de Momentos obtidos





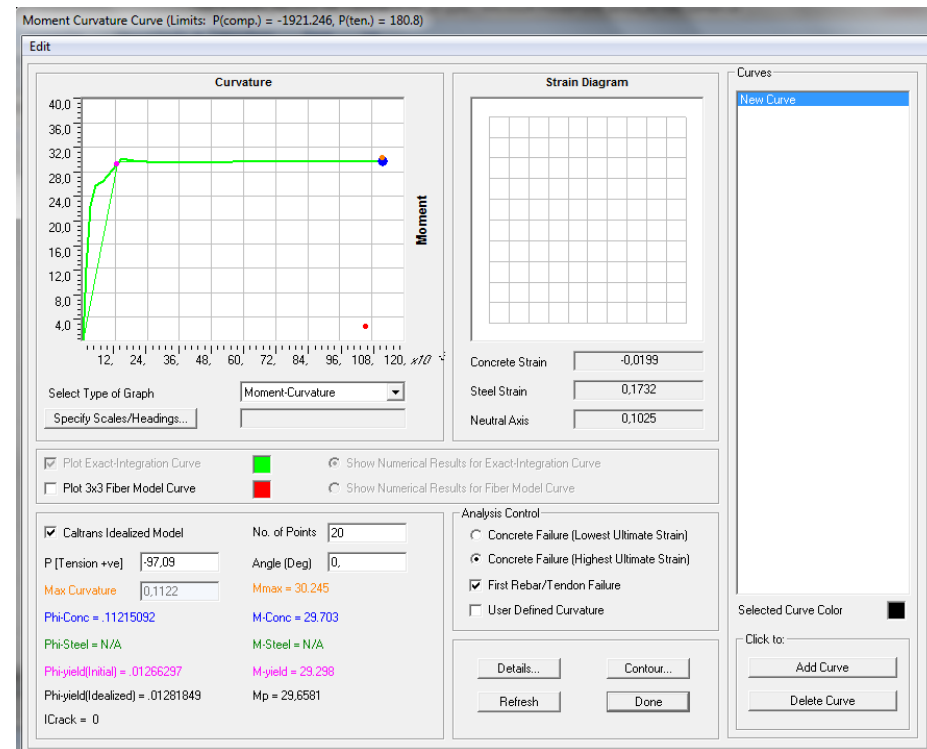
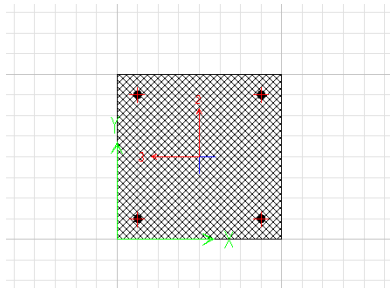
1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

- **Definição das relações Momento-Curvatura/Rotação nas extremidades de todas as Vigas e Pilares**

Introduzindo manualmente, não considerando automaticamente a Interacção N-M2

Pilares:

- Introdução do valor do Esforço Axial devido às Cargas Gravíticas
- Angulo 0° , 90° , 180° ou 270° (secção quadrada bissimétrica)



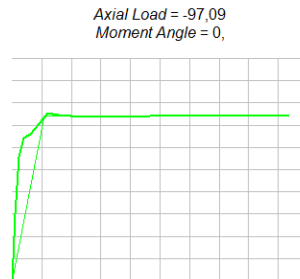


1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

- Definição das relações Momento-Curvatura/Rotação nas extremidades de todas as Vigas e Pilares

Introduzindo manualmente, não considerando automaticamente a Interação N-M2

MOMENT CURVATURE (M-φ) GRAPH - KN, m, C



Results For Exact-Integration

$\phi_y(\text{Initial}) = 0,0127$
 $M_y = 29,2983$
 $\phi_y(\text{Idealized}) = 0,0128$
 $M_p = 29,6581$
 $I_{crack} = 7,108E-05$
 $\phi_{concrete} = 0,1122$
 $M_{concrete} = 29,7032$
 $\phi_{steel} = \text{N/A}$
 $M_{steel} = \text{N/A}$

Concrete Strain	Neutral Axis	Steel Strain	Tendon Strain	Concrete Compression	Steel Compression	Steel Tension	Prestress Force	Net Force	Curvature	Moment
-4,643E-05	0,	-4,643E-05	0,	-92,6114	-4,4069	0,	0,	-97,0183	0	1,866E-04
-1,808E-04	-0,0434	5,397E-05	0,	-92,8646	-6,993	2,5615	0,	-97,0961	0,001074	12,0297
-3,521E-04	-6,191E-03	2,349E-04	0,	-95,5341	-12,7382	11,1479	0,	-97,1243	0,002684	22,2157
-5,105E-04	0,0193	5,462E-04	0,	-106,009	-17,0732	25,9218	0,	-97,1603	0,004832	25,7256
-6,490E-04	0,0387	9,947E-04	0,	-124,6798	-19,6715	47,2096	0,	-97,1417	0,007516	26,3472
-7,919E-04	0,0512	1,556E-03	0,	-149,3853	-21,6848	73,8596	0,	-97,2104	0,0107	28,3026
-9,338E-04	0,0606	2,236E-03	0,	-164,6567	-22,8549	90,4	0,	-97,1116	0,0145	30,2452
-1,049E-03	0,0691	3,060E-03	0,	-165,6377	-21,9845	90,4	0,	-97,2222	0,0188	29,7914
-1,174E-03	0,0753	3,992E-03	0,	-166,9465	-20,7225	90,4	0,	-97,269	0,0236	29,5987
-1,308E-03	0,0799	5,032E-03	0,	-168,4743	-19,1407	90,4	0,	-97,215	0,029	29,5152
-1,452E-03	0,0834	6,180E-03	0,	-170,3326	-17,2367	90,4	0,	-97,1693	0,0349	29,4982
-1,606E-03	0,0862	7,435E-03	0,	-172,5362	-15,0006	90,4	0,	-97,1367	0,0413	29,5216
-1,771E-03	0,0884	8,796E-03	0,	-175,0388	-12,4952	90,4	0,	-97,134	0,0483	29,5666
-1,950E-03	0,0901	0,0103	0,	-177,6489	-9,8757	90,4	0,	-97,1246	0,0558	29,6097
-2,144E-03	0,0914	0,0118	0,	-180,3815	-7,1365	90,4	0,	-97,118	0,0639	29,6512
-2,355E-03	0,0925	0,0135	0,	-183,0758	-4,439	90,4	0,	-97,1148	0,0725	29,6883
-2,585E-03	0,0933	0,0153	0,	-185,637	-1,8695	90,4	0,	-97,1065	0,0816	29,7019
-2,836E-03	0,0939	0,0171	0,	-188,034	0,	90,9381	0,	-97,0959	0,0913	29,7102
-3,109E-03	0,0944	0,0191	0,	-190,3554	0,	93,0702	0,	-97,2852	0,1015	29,7287
-3,405E-03	0,0947	0,0211	0,	-192,1483	0,	94,9502	0,	-97,1981	0,1122	29,7032

Curvature	Moment Actual	Moment Ideal	Area b/w curves
0,0127	29,2983	29,2983	0,
0,0128	29,3787	29,6581	2,173E-05
0,0145	30,2452	29,6581	-2,579E-04
0,0188	29,7914	29,6581	-1,547E-03
0,0236	29,5987	29,6581	-1,784E-04
0,029	29,5152	29,6581	5,430E-04
0,0349	29,4982	29,6581	8,942E-04
0,0413	29,5216	29,6581	9,551E-04
0,0483	29,5666	29,6581	7,958E-04
0,0558	29,6097	29,6581	5,259E-04
0,0639	29,6512	29,6581	2,227E-04
0,0725	29,683	29,6581	-7,721E-05
0,0816	29,7019	29,6581	-3,134E-04
0,0913	29,7102	29,6581	-4,632E-04
0,1015	29,7287	29,6581	-6,256E-04
0,1122	29,7032	29,6581	-6,210E-04
			SUM =
			-1,250E-04



1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

- **Definição das relações Momento-Curvatura/Rotação nas extremidades de todas as Vigas e Pilares**

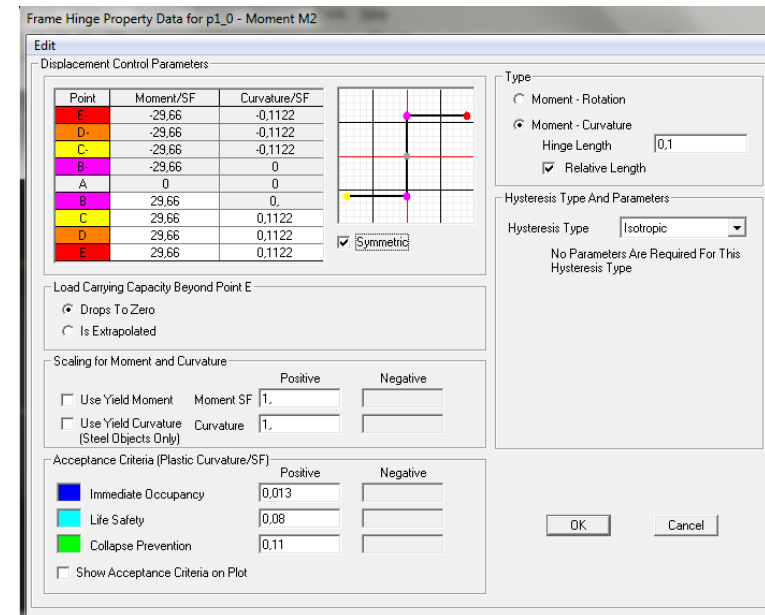
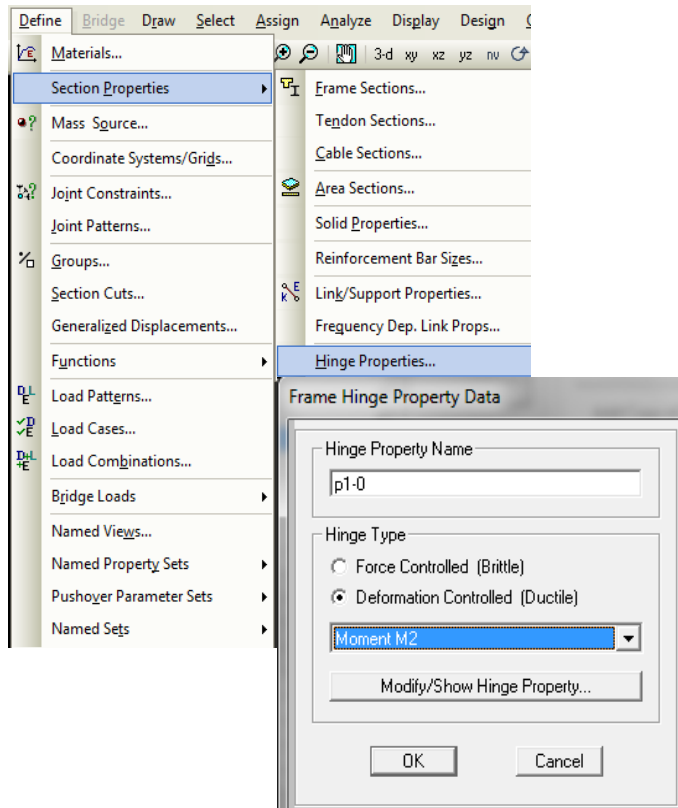
Introduzindo manualmente, não considerando automaticamente a Interacção N-M2

Elemento	Mp (kN)	ϕ_{conc}	$\phi_y(\text{idealized})$
p1_0	29,66	0,1122	0,0128
p1_1			
p1_2			
p2_0			
.			
.			
.			

1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

- Definição das relações Momento-Curvatura/Rotação nas extremidades de todas as Vigas e Pilares

Introduzindo manualmente, não considerando automaticamente a Interacção N-M2



IO – Valor da Curvatura, quando se atinge o Momento de Cedência

LS – Valor não superior a $\frac{3}{4}$ do valor último de Curvatura

CP – Valor último de Curvatura



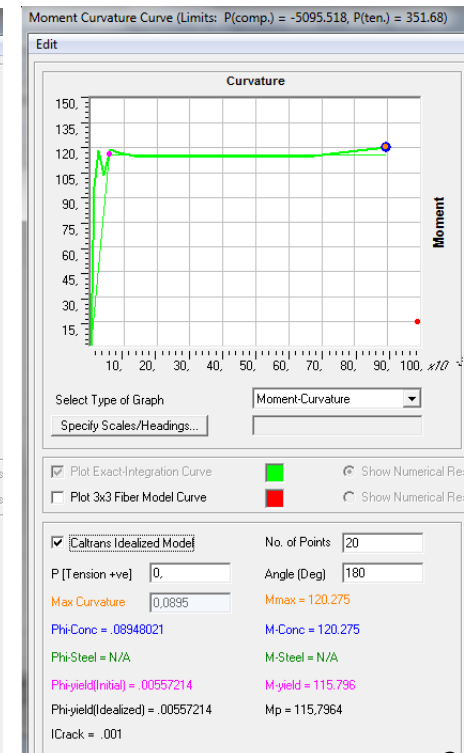
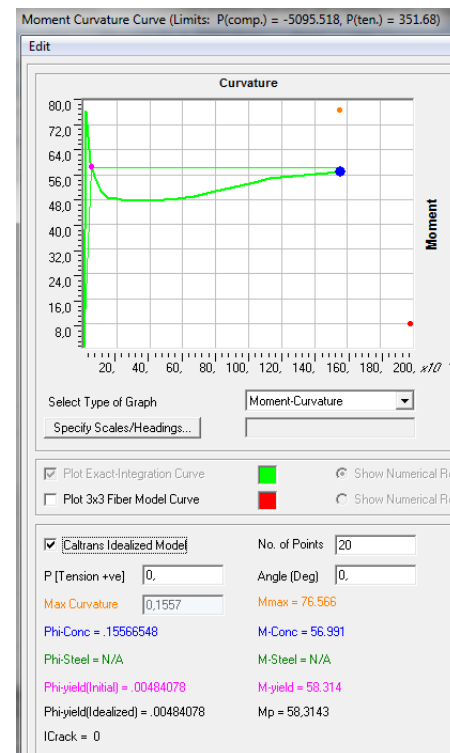
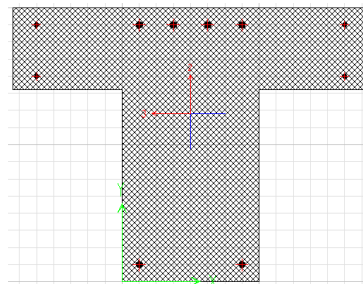
1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

- Definição das relações Momento-Curvatura/Rotação nas extremidades de todas as Vigas e Pilares

Introduzindo manualmente, não considerando automaticamente a Interacção N-M2

Vigas:

- Esforço Axial é desprezável
- Para avaliar o Momento Positivo na secção da viga introduz-se Ângulo 0° , (Momento M3 positivo).
- Para o Momento Negativo da secção da viga, introduz-se o Ângulo 180° (Momento M3 negativo)





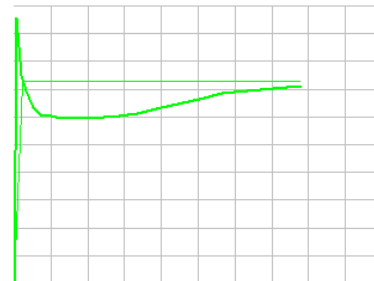
1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

- Definição das relações Momento-Curvatura/Rotação nas extremidades de todas as Vigas e Pilares

Introduzindo manualmente, não considerando automaticamente a Interacção N-M2

MOMENT CURVATURE ($M-\phi$) GRAPH - KN, m, C

Axial Load = 0,
Moment Angle = 0,

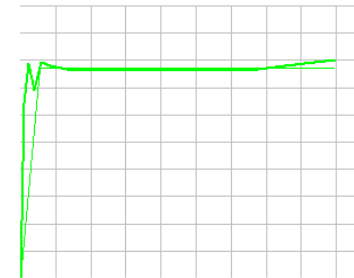


Results For Exact-Integration

$\phi_y(\text{Initial}) = 5,572\text{E-}03$
 $M_y = 115,7964$
 $\phi_y(\text{Idealized}) = 5,572\text{E-}03$
 $M_o = 115,7964$
 $I_{\text{crack}} = 6,384\text{E-}04$
 $\phi_{\text{concrete}} = 0,0895$
 $M_{\text{concrete}} = 120,2746$
 $\phi_{\text{steel}} = \text{N/A}$
 $M_{\text{steel}} = \text{N/A}$

MOMENT CURVATURE ($M-\phi$) GRAPH - KN, m, C

Axial Load = 0,
Moment Angle = 180,



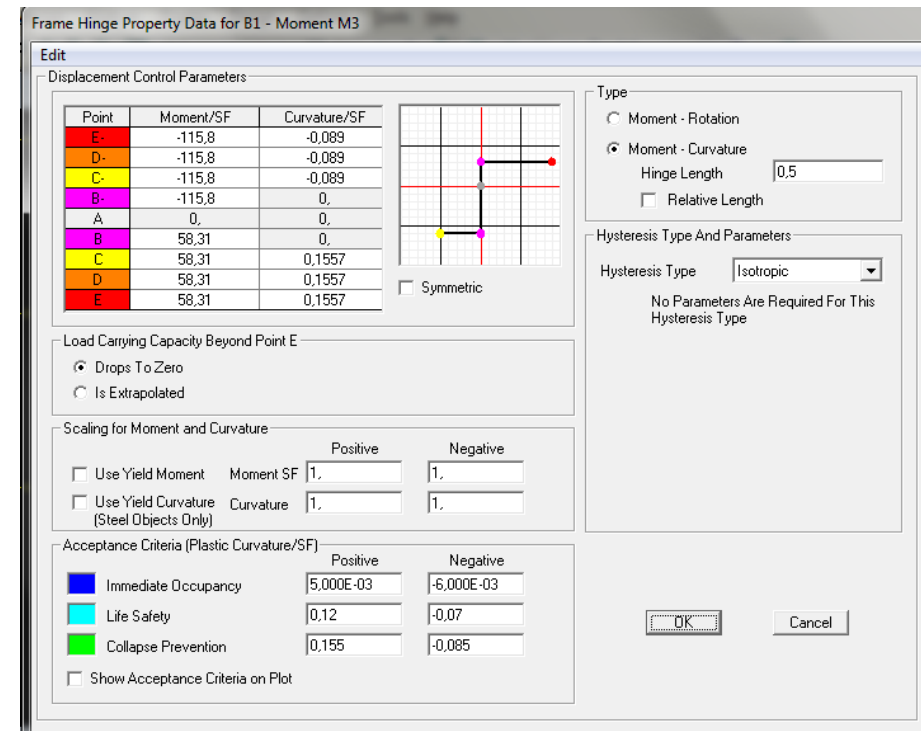
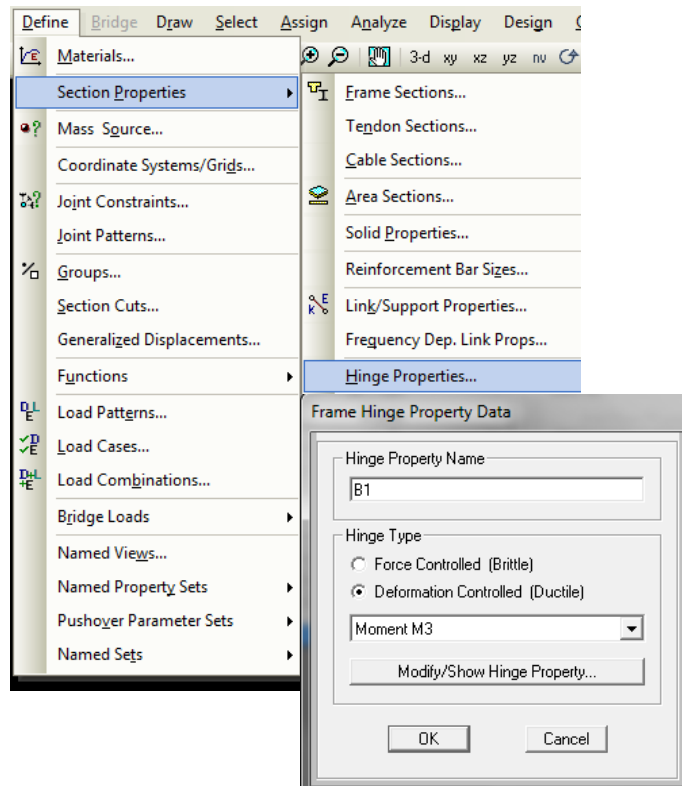
Results For Exact-Integration

$\phi_y(\text{Initial}) = 4,841\text{E-}03$
 $M_y = 58,3143$
 $\phi_y(\text{Idealized}) = 4,841\text{E-}03$
 $M_o = 58,3143$
 $I_{\text{crack}} = 3,701\text{E-}04$
 $\phi_{\text{concrete}} = 0,1557$
 $M_{\text{concrete}} = 56,991$
 $\phi_{\text{steel}} = \text{N/A}$
 $M_{\text{steel}} = \text{N/A}$

1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

- Definição das relações Momento-Curvatura/Rotação nas extremidades de todas as Vigas e Pilares

Introduzindo manualmente, não considerando automaticamente a Interacção N-M2

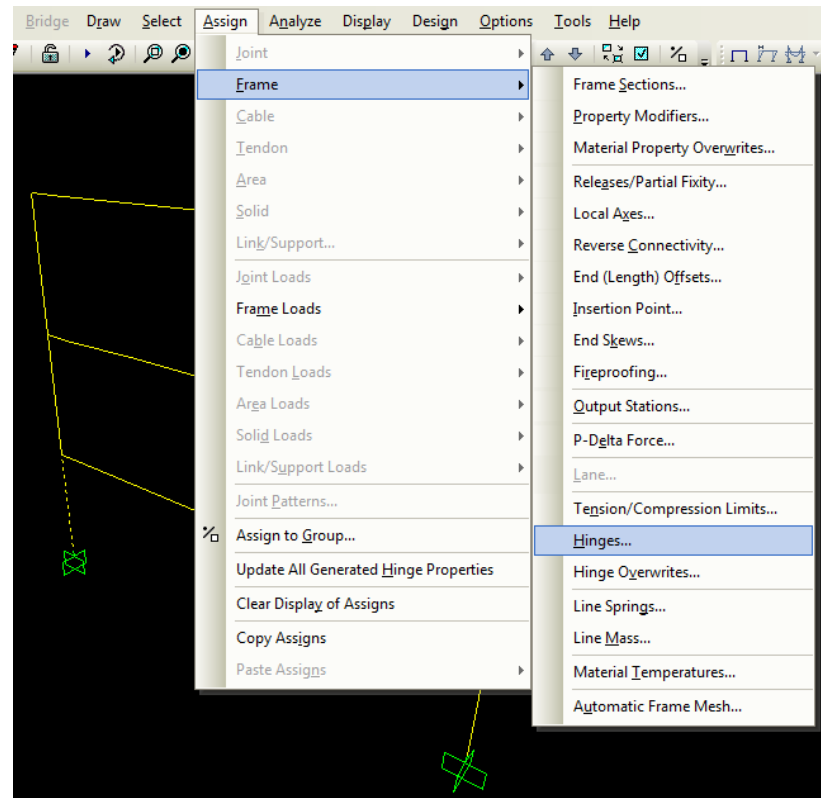




1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

- **Definição das relações Momento-Curvatura/Rotação nas extremidades de todas as Vigas e Pilares**

Introduzindo manualmente, não considerando automaticamente a Interacção N-M2

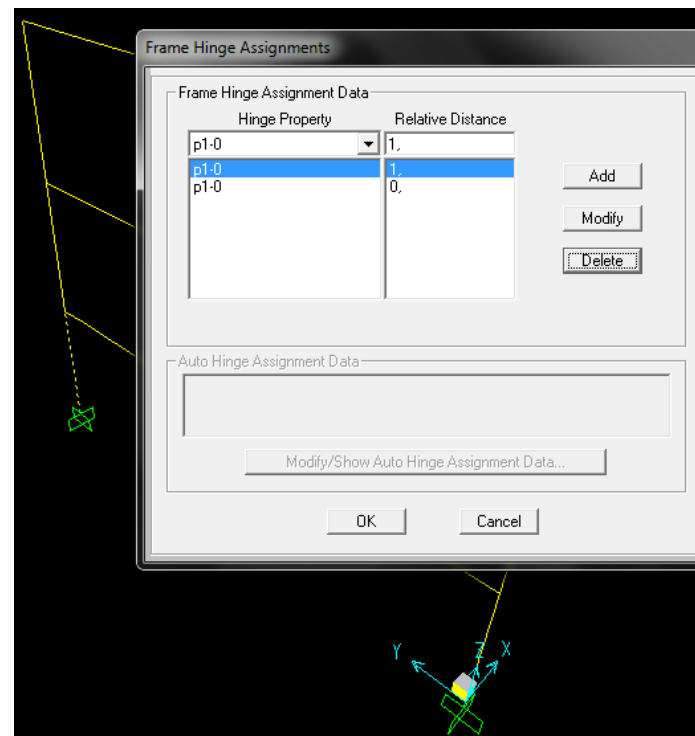




1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

- **Definição das relações Momento-Curvatura/Rotação nas extremidades de todas as Vigas e Pilares**

Introduzindo manualmente, não considerando automaticamente a Interacção N-M2

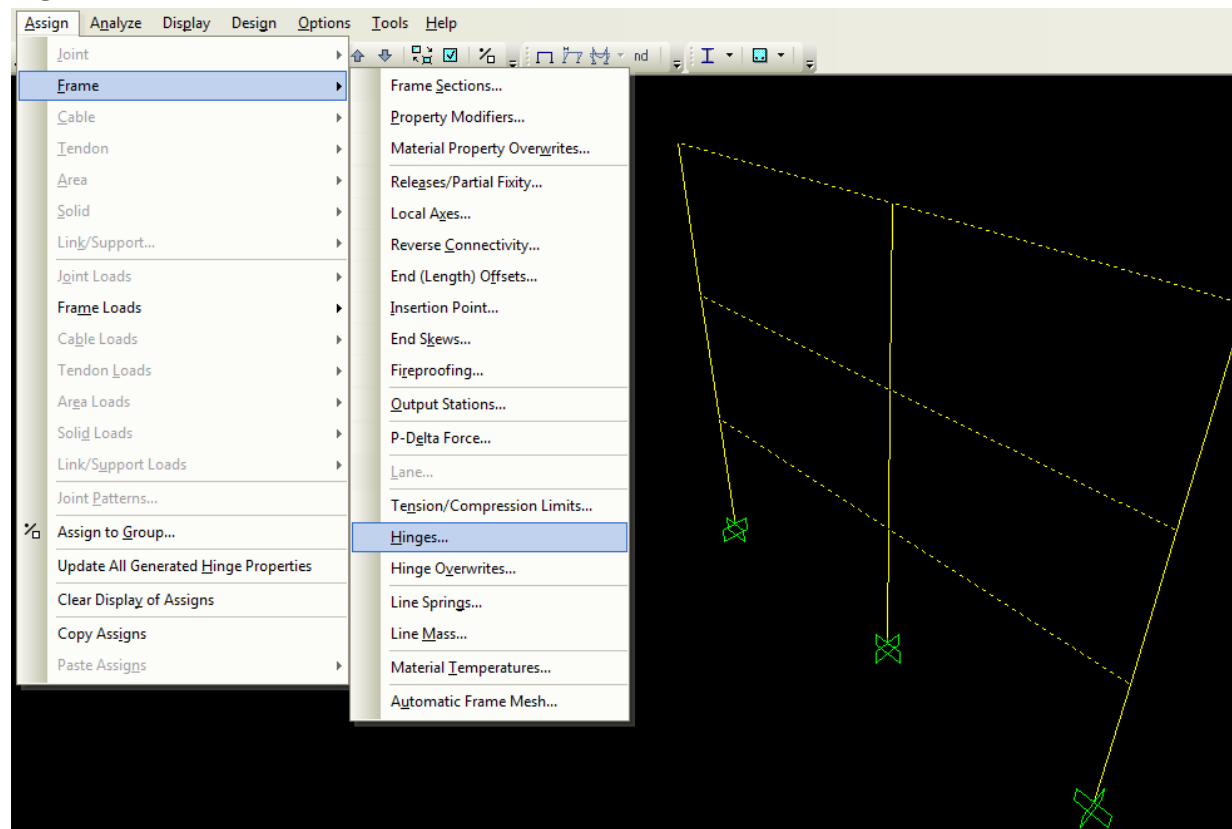




1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

- Definição das relações Momento-Curvatura/Rotação nas extremidades de todas as Vigas e Pilares

Introduzindo manualmente, não considerando automaticamente a Interação N-M2

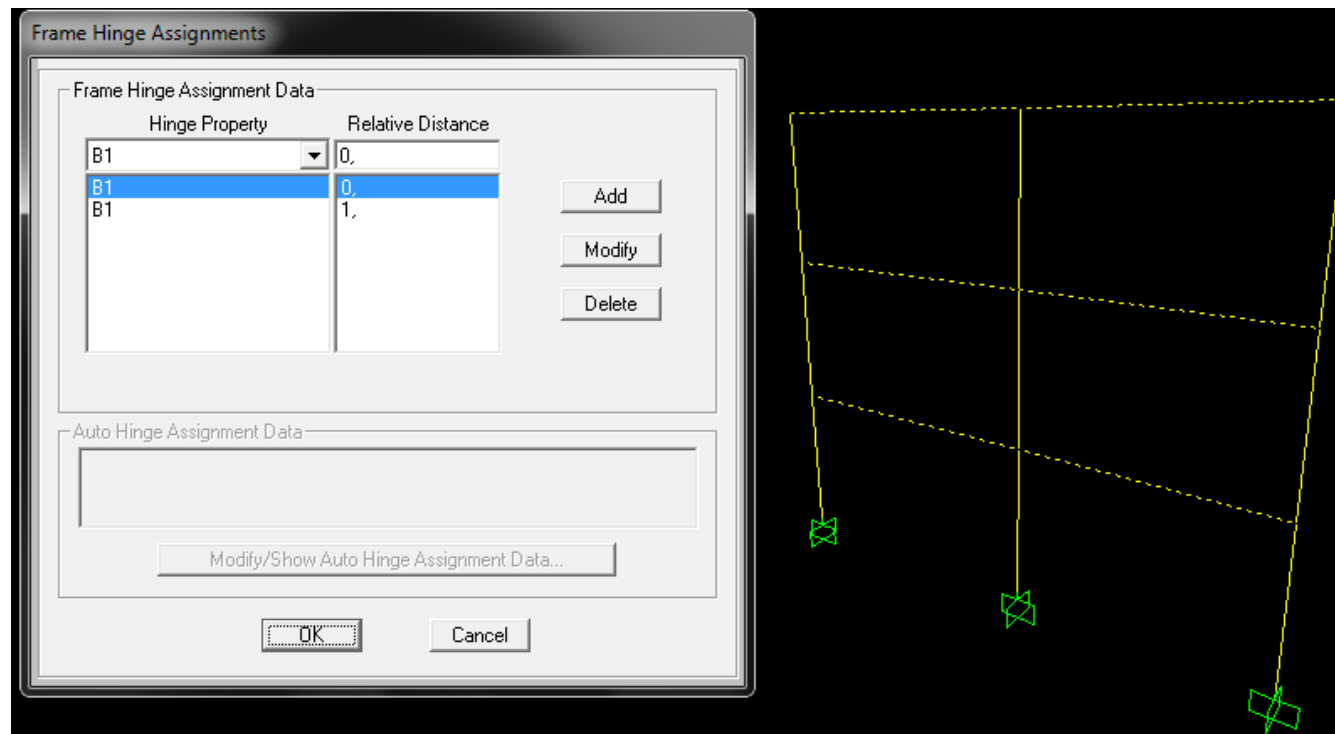




1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

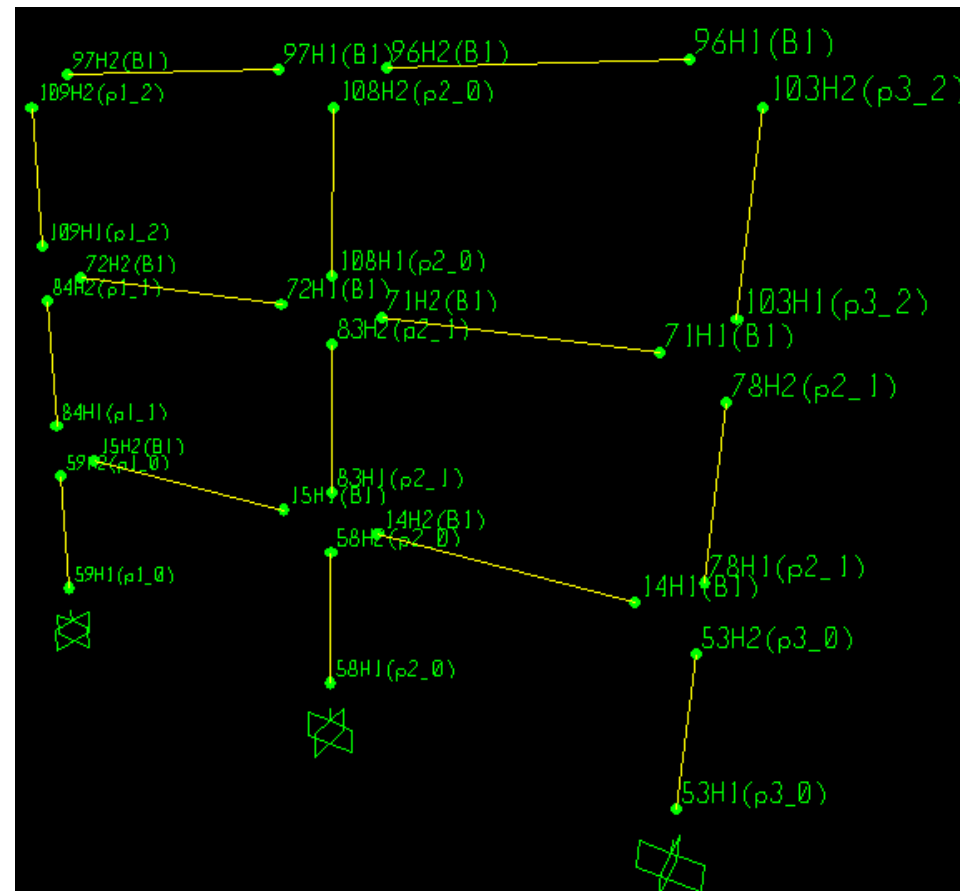
- Definição das relações Momento-Curvatura/Rotação nas extremidades de todas as Vigas e Pilares

Introduzindo manualmente, não considerando automaticamente a Interação N-M2



1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

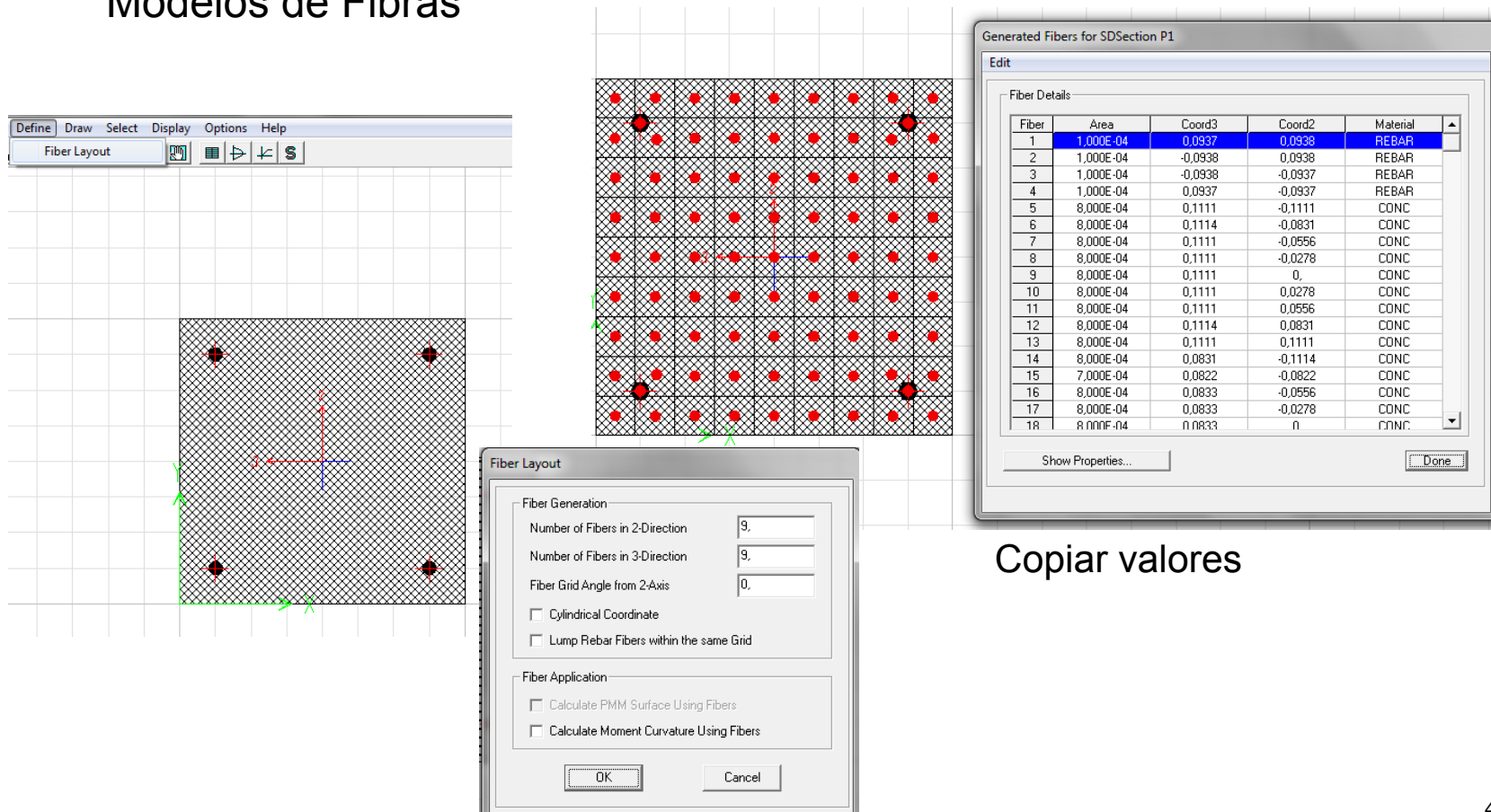
- Definição das relações Momento-Curvatura/Rotação nas extremidades de todas as Vigas e Pilares



1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

- Definição das relações Momento-Curvatura/Rotação nas extremidades de todas as Vigas e Pilares

Modelos de Fibras



The image shows the SAP2000 Fiber Layout tool interface. It includes a menu bar (Define, Draw, Select, Display, Options, Help) and a toolbar. The main workspace displays a grid of fibers (red dots) on a cross-section. A dialog box titled "Fiber Layout" is open, showing the following settings:

Fiber Generation

- Number of Fibers in 2-Direction: 9
- Number of Fibers in 3-Direction: 9
- Fiber Grid Angle from 2-Axis: 0
- Cylindrical Coordinate
- Lump Rebar Fibers within the same Grid

Fiber Application

- Calculate PMM Surface Using Fibers
- Calculate Moment Curvature Using Fibers

Buttons: OK, Cancel

Another dialog box titled "Generated Fibers for SDSection P1" is open, showing a table of fiber details:

Fiber	Area	Coord3	Coord2	Material
1	1,000E-04	0,0937	0,0938	REBAR
2	1,000E-04	-0,0938	0,0938	REBAR
3	1,000E-04	-0,0938	-0,0937	REBAR
4	1,000E-04	0,0937	-0,0937	REBAR
5	8,000E-04	0,1111	-0,1111	CONC
6	8,000E-04	0,1114	-0,0831	CONC
7	8,000E-04	0,1111	-0,0556	CONC
8	8,000E-04	0,1111	-0,0278	CONC
9	8,000E-04	0,1111	0	CONC
10	8,000E-04	0,1111	0,0278	CONC
11	8,000E-04	0,1111	0,0556	CONC
12	8,000E-04	0,1114	0,0831	CONC
13	8,000E-04	0,1111	0,1111	CONC
14	8,000E-04	0,0831	-0,1114	CONC
15	7,000E-04	0,0822	-0,0822	CONC
16	8,000E-04	0,0833	-0,0556	CONC
17	8,000E-04	0,0833	-0,0278	CONC
18	8,000E-04	0,0833	0	CONC

Buttons: Show Properties..., Done

Copiar valores



1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

- Definição das relações Momento-Curvatura/Rotação nas extremidades de todas as Vigas e Pilares

Modelos de Fibras

The screenshot displays the SAP2000 interface with several dialog boxes open for defining hinge properties and fiber data. The 'Define Frame Hinge Properties' dialog is the primary focus, showing the 'Frame Hinge Property Data' sub-dialog where the hinge name is 'p1-0' and the type is 'Fiber P-M2-M3'. The 'Fiber Definition Data' dialog is also open, showing a table of fiber properties.

Fiber	Area	Coord3	Coord2	Material
1	1,000E-04	0,0937	0,0938	REBAR
2	1,000E-04	-0,0938	0,0938	REBAR
3	1,000E-04	-0,0938	-0,0937	REBAR
4	1,000E-04	0,0937	-0,0937	REBAR
5	8,000E-04	0,1111	-0,1111	CONC
6	8,000E-04	0,1114	-0,0831	CONC
7	8,000E-04	0,1111	-0,0556	CONC
8	8,000E-04	0,1111	-0,0278	CONC
9	8,000E-04	0,1111	0	CONC
10	8,000E-04	0,1111	0,0278	CONC
11	8,000E-04	0,1111	0,0556	CONC
12	8,000E-04	0,1114	0,0831	CONC
13	8,000E-04	0,1111	0,1111	CONC
14	8,000E-04	0,0831	-0,1114	CONC
15	7,000E-04	0,0822	-0,0822	CONC
16	8,000E-04	0,0833	-0,0556	CONC

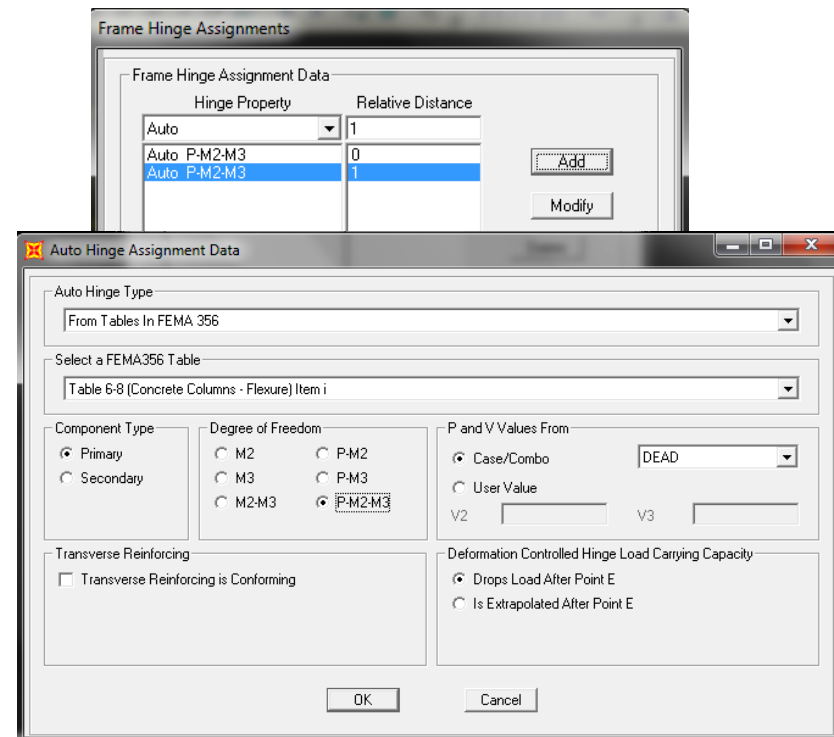
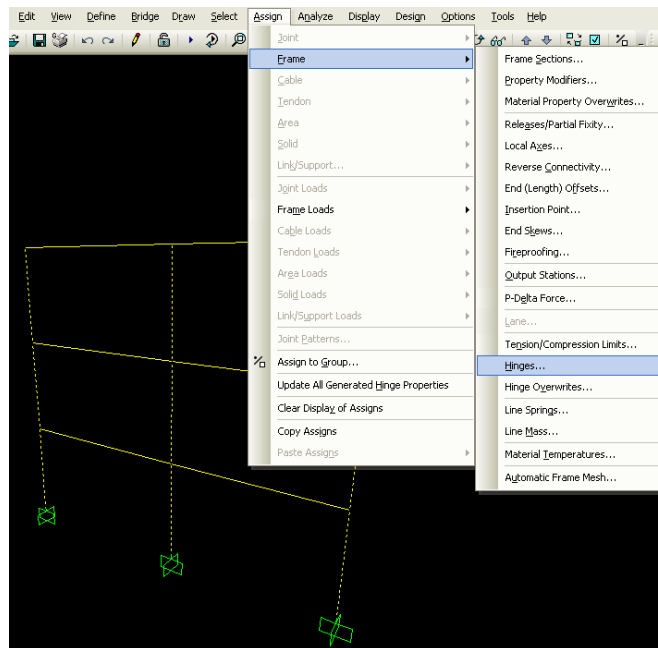
The 'Fiber Definition Options' dialog shows 'User Defined' selected and 'Relative Length' checked with a value of 0,1. The 'Fiber Definition Data' dialog shows a grid of fibers and a 'Fiber Definition Data' table.

Colar valores

1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

- Definição das relações Momento-Curvatura/Rotação nas extremidades de todas as Vigas e Pilares

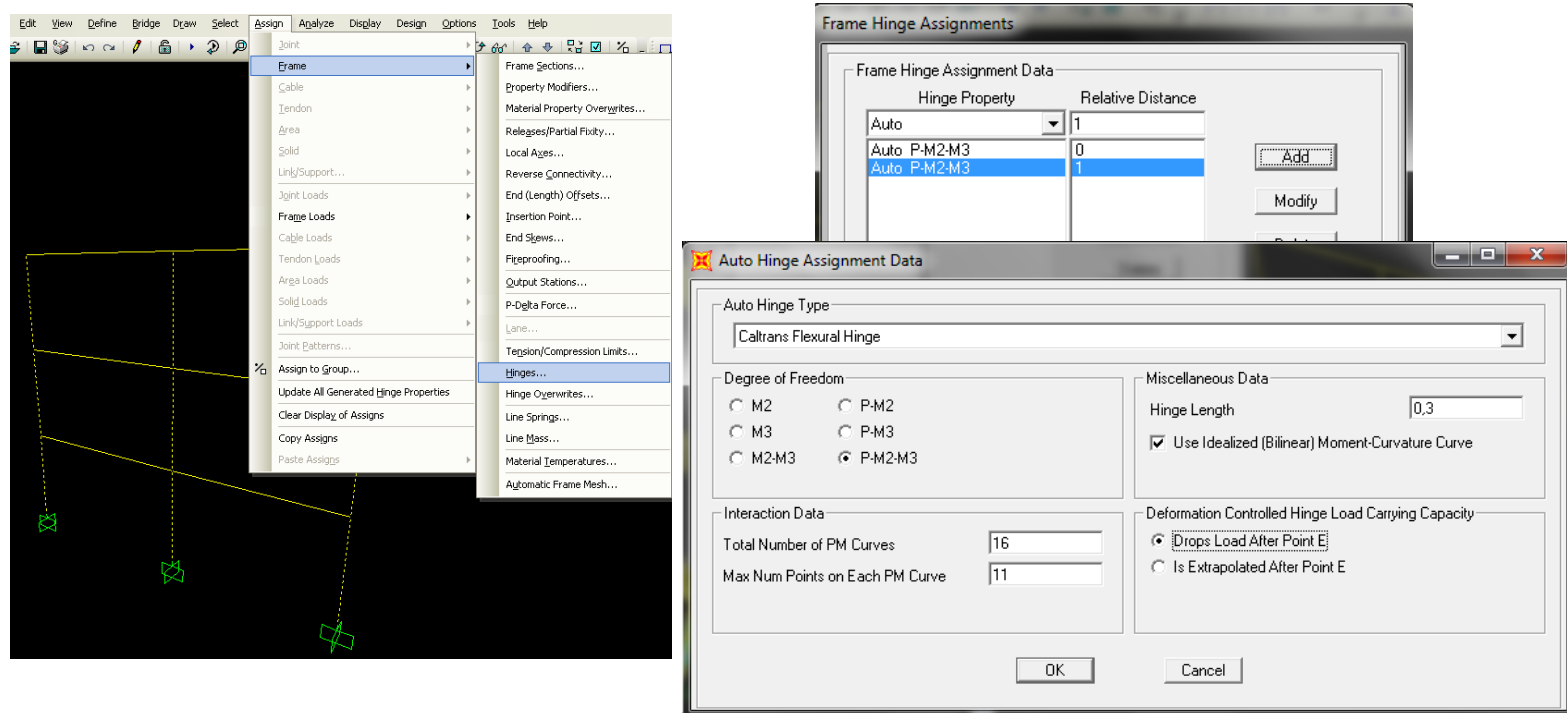
Introduzindo automaticamente através das tabelas do FEMA356



1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

- Definição das relações Momento-Curvatura/Rotação nas extremidades de todas as Vigas e Pilares

Introduzindo automaticamente baseando-se nas relações M-X até à rotura de um dos materiais (*Caltran Flexural Hinge*)

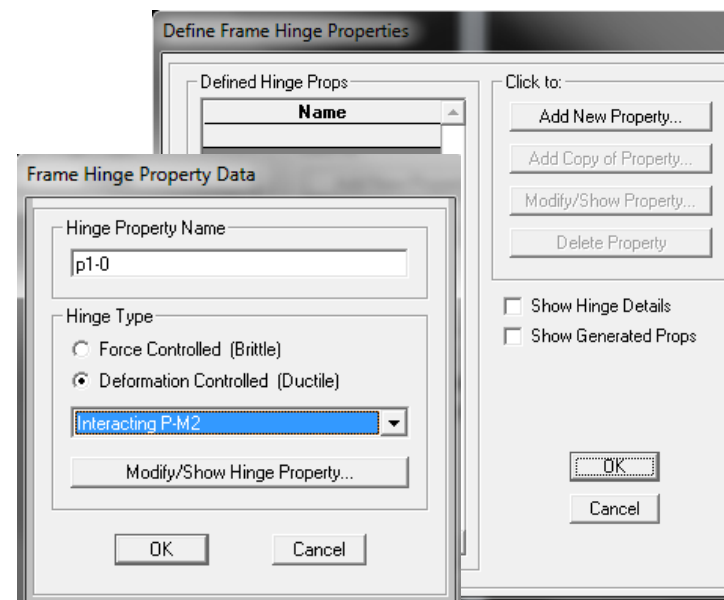
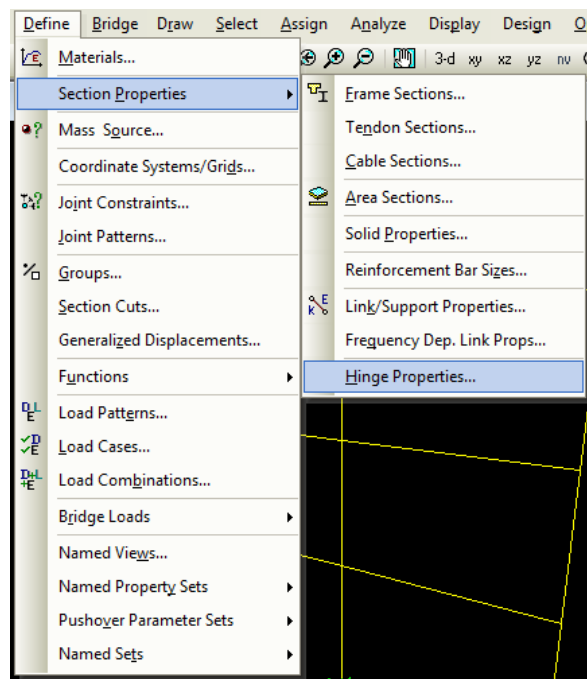




1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

- **Definição das relações Momento-Curvatura/Rotação nas extremidades de todas as Vigas e Pilares**

Introduzindo manualmente, considerando automaticamente a interacção N-M2 nos pilares





1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

- Definição das relações Momento-Curvatura/Rotação nas extremidades de todas as Vigas e Pilares

Introduzindo manualmente, considerando automaticamente a interacção N-M2 nos pilares

Frame Hinge Property Data for p1-0 - Interacting P-M2

Hinge Specification Type

Moment - Rotation

Moment - Curvature

Hinge Length: 0,1

Relative Length

Scale Factor for Curvature (SF)

SF is Equal to Yield Curvature (Steel Objects Only)

User SF: 1

Load Carrying Capacity Beyond Point E

Drops To Zero Is Extrapolated

Symmetry Condition

Moment Curvature Dependence is Symmetric

Moment Curvature Dependence is Not Symmetric

Requirements for Specified Symmetry Condition

1. Specify curve at angle of 0°.

Axial Forces for Moment Curvature Curves

Number of Axial Forces: 6

Modify/Show Axial Force Values...

Curve Angles for Moment Curvature Curves

Number of Angles: 1

Modify/Show Angles...

Modify/Show Moment Curvature Curve Data...

Modify/Show P-M2 Interaction Surface Data...

OK Cancel

Axial Forces for p1-0 - Interacting P-M2

Edit

This Number of Axial Force Values Is Specified

Number of Axial Forces: 6

Axial Force Data

	Axial Force
1	750
2	-500
3	-250
4	-100
5	-50
6	0

KN, m, C

Order Rows

OK

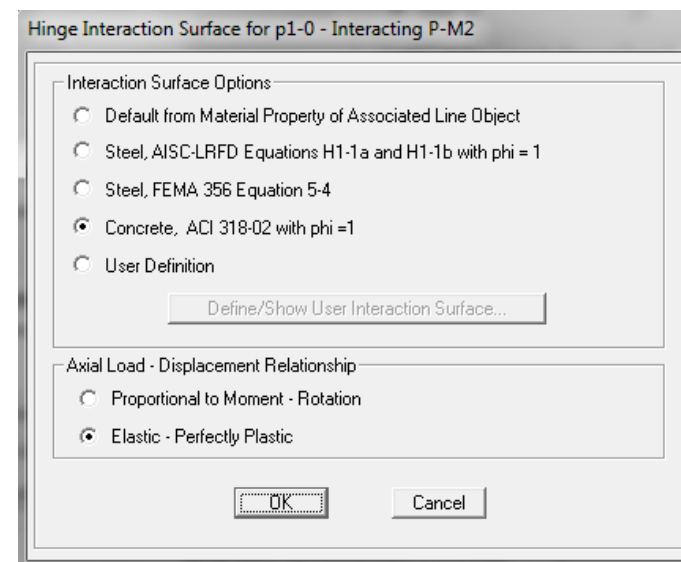
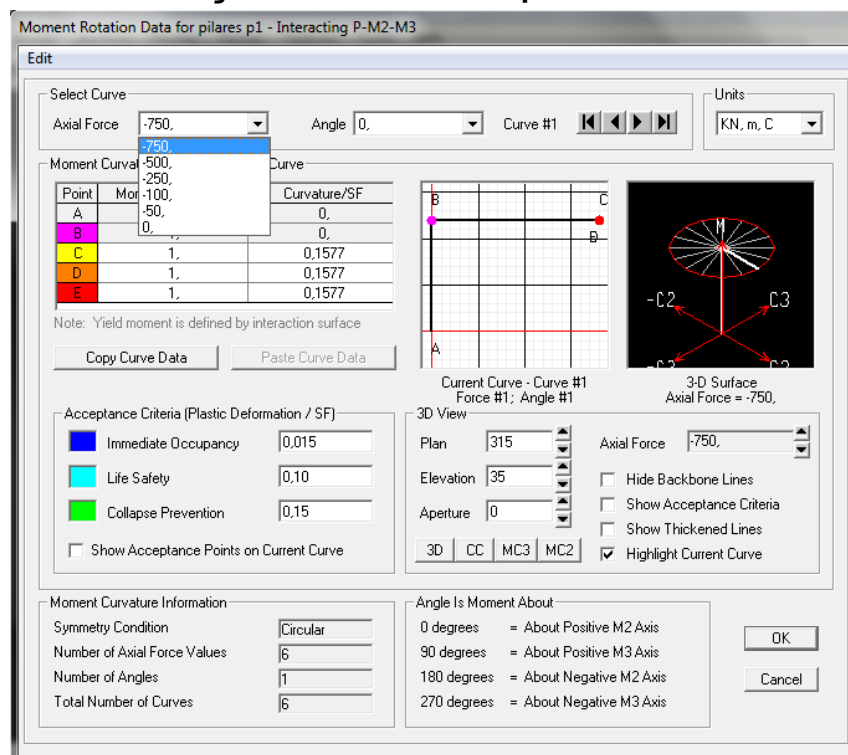
Cancel



1. Modelação da Estrutura atendendo ao comportamento não linear de todos os seus elementos estruturais - SAP2000

- Definição das relações Momento-Curvatura/Rotação nas extremidades de todas as Vigas e Pilares

Introduzindo manualmente, considerando automaticamente a interacção N-M2 nos pilares





2. Definição das Curvas de Capacidade Resistente da Estrutura, recorrendo ao SAP2000

- **Carregamento Lateral**

Carregamento do tipo “Modal”

Força Lateral aplicada num determinado nó proporcional à massa que lhe está atribuída e ao deslocamento modal normalizado (ou do próprio nó ou do CM do piso a que pertence) em relação a um nó de controlo

Carregamento do tipo “Uniforme”

Força Lateral aplicada num determinado nó proporcional à massa

2. Definição das Curvas de Capacidade Resistente da Estrutura, recorrendo ao SAP2000

- Carregamento Lateral

Carregamento do Tipo “Modal” efectuado manualmente

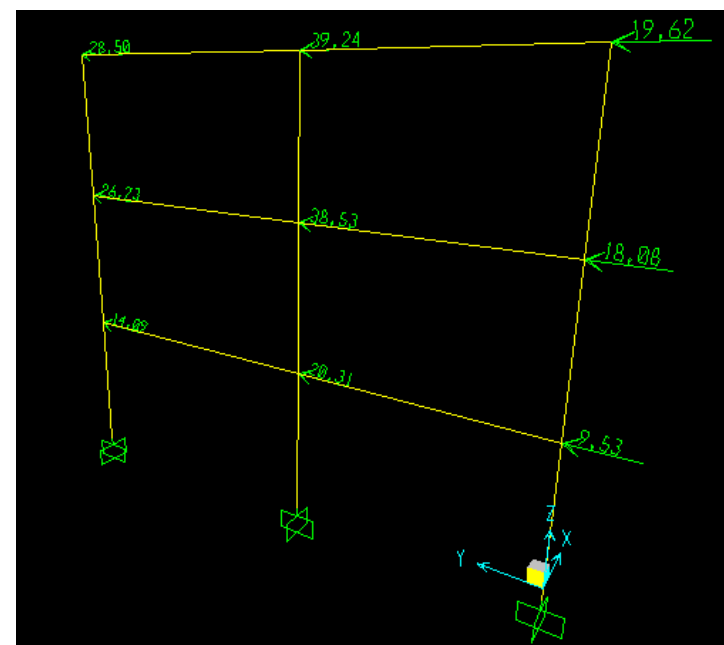
Os deslocamentos considerados serão apenas os deslocamentos do centro de massa de cada piso e não o deslocamento em cada ponto como é considerado automaticamente pelo programa.

Na estrutura bidimensional este procedimento não conduz a diferenças significativas na curva de capacidade ao contrário do que se verificaria numa Estrutura tridimensional.

1º modo		
Piso	$u_{i,CM}$ (m)	ϕ_i
3	0,238	1
2	0,191	0,802
1	0,101	0,423

$$P_i = \rho m_i \phi_i$$

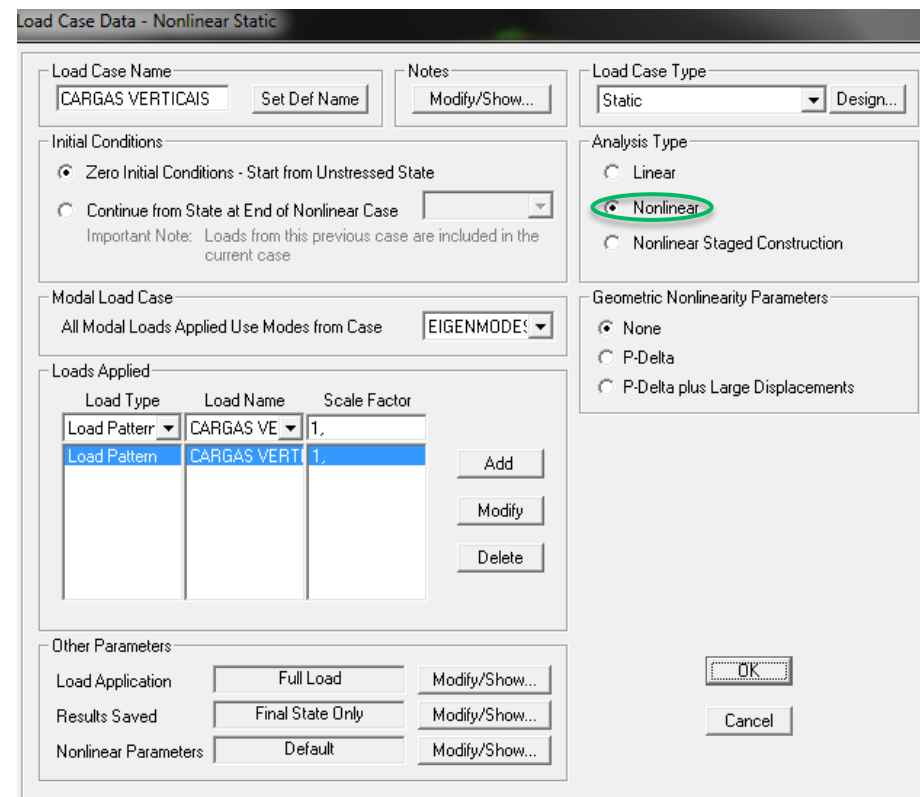
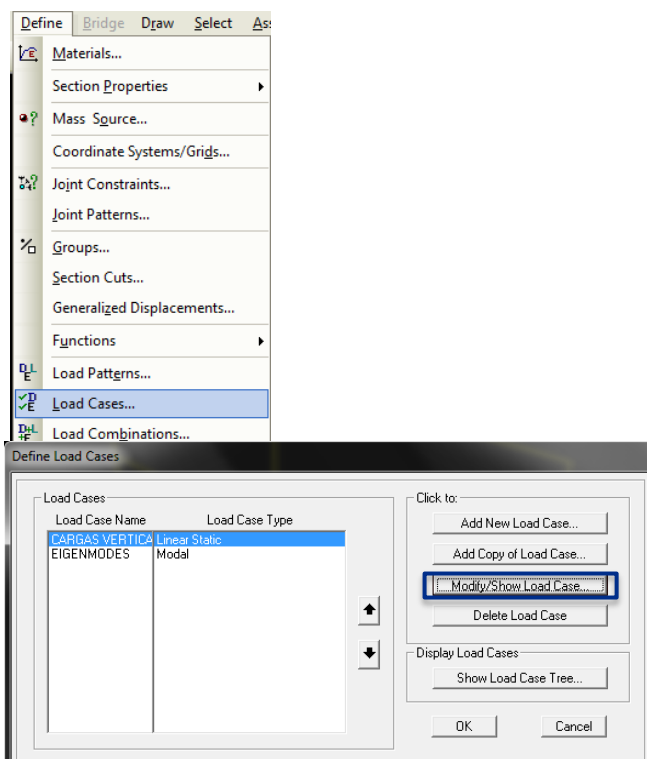
Piso	Nó	Massa (ton)	Força seg.x (kN)
3º Piso $\phi_i=1$	85	2,9	28,45
	80	4	39,24
	75	2	19,62
2º Piso $\phi_i=0,802$	63	3,4	26,23
	58	4,9	38,53
	53	2,3	18,08
1º Piso $\phi_i=0,423$	14	3,4	14,09
	9	4,9	20,31
	3	2,3	9,53



2. Definição das Curvas de Capacidade Resistente da Estrutura, recorrendo ao SAP2000

- **Execução de uma Análise *Pushover***

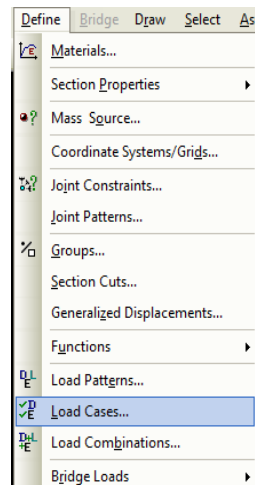
Alterar o tipo de análise correspondente às cargas verticais para “Não Linear”.



2. Definição das Curvas de Capacidade Resistente da Estrutura, recorrendo ao SAP2000

- Execução de uma Análise *Pushover*

Criação de um novo caso de Análise

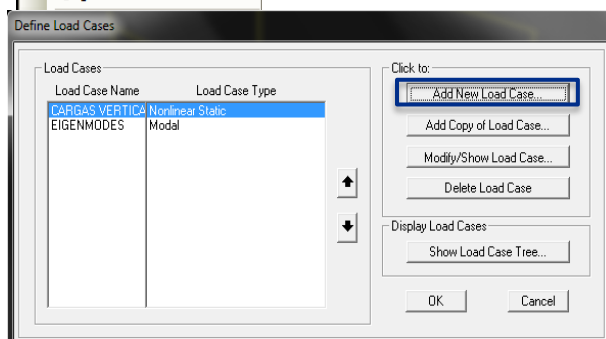


Carregamento Modal:

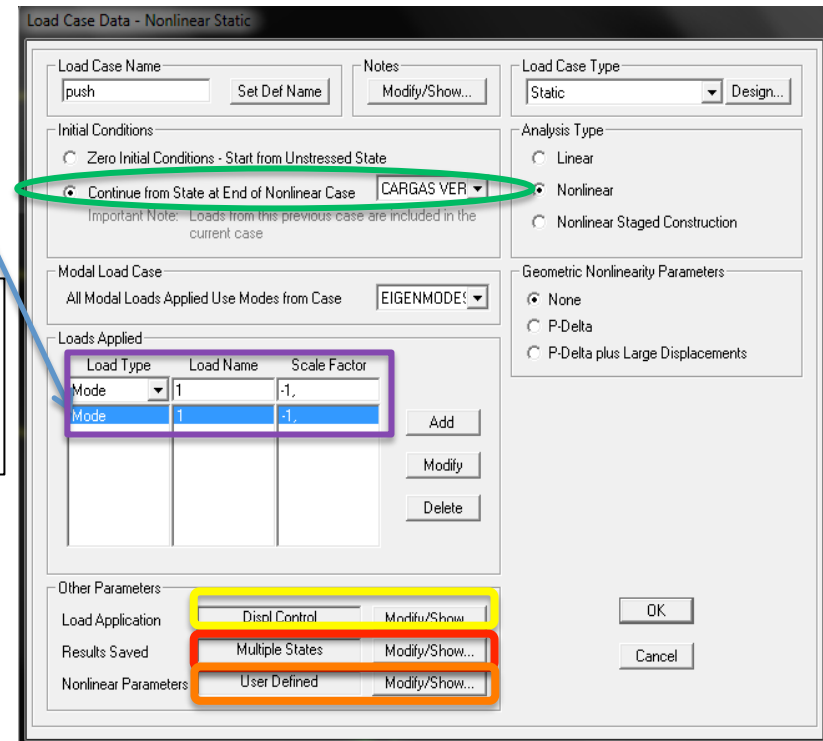
Número do Modo ao qual correspondem os deslocamentos

No caso de se optar por um carregamento do tipo uniforme ter-se-ia:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Accel	UY	-1.
Accel	UY	-1.



Realiza-se com a estrutura já sob o efeito das Cargas Verticais



E ainda se a opção recair pelo carregamento aplicado manualmente ter-se-ia:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	C.LATERAIS	1
Load Pattern	C.LATERAIS	1



2. Definição das Curvas de Capacidade Resistente da Estrutura, recorrendo ao SAP2000

- **Obtenção da Curva de Capacidade (Deslocamento no Nó de controlo; Força de Corte Basal)**

Valores definidos pelo utilizador com o objectivo de otimizar a análise (pode haver necessidade de aumentar o número de passos caso ocorram problemas de convergência)

Quanto maiores os valores indicados, mais refinada será a curva de capacidade e maior será o número de *outputs* da análise

A análise acaba quando o deslocamento do nó de controlo atingir o valor indicado



2. Definição das Curvas de Capacidade Resistente da Estrutura, recorrendo ao SAP2000

- **Obtenção da Curva de Capacidade (Deslocamento no Nó de controlo; Força de Corte Basal)**

The screenshot shows the 'Solution Control' dialog box in SAP2000, divided into two sections: 'Solution Control' and 'Target Force Iteration'. Each parameter is annotated with an arrow pointing to its value and a checkbox indicating its function.

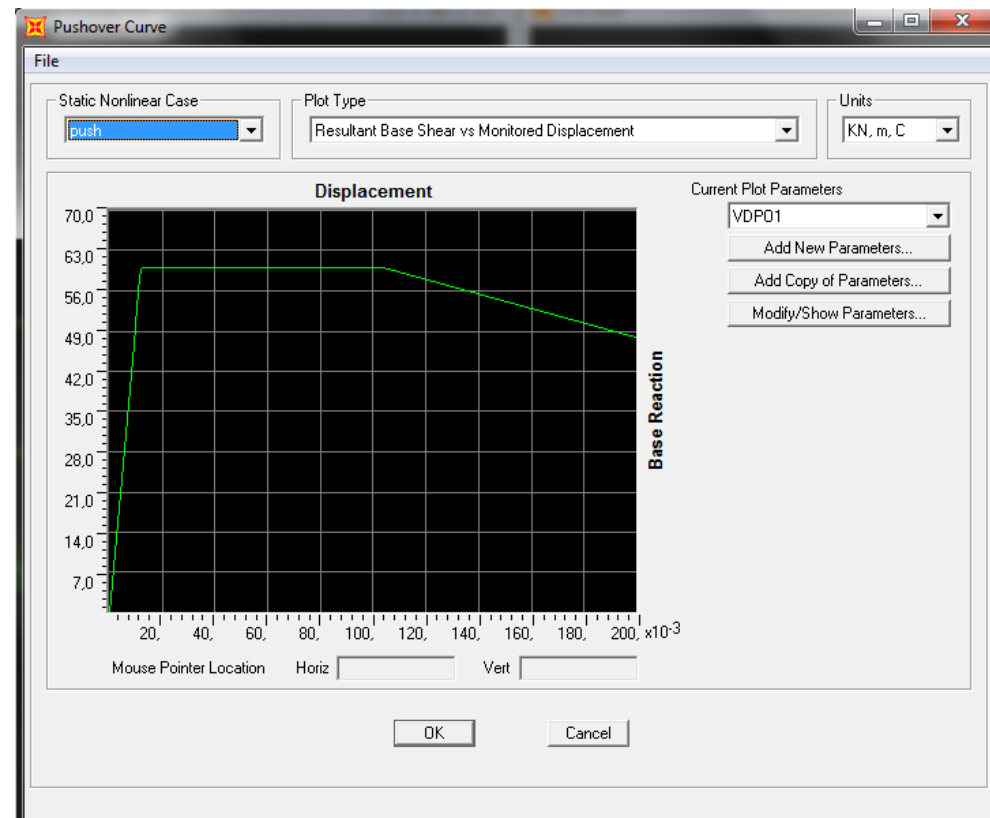
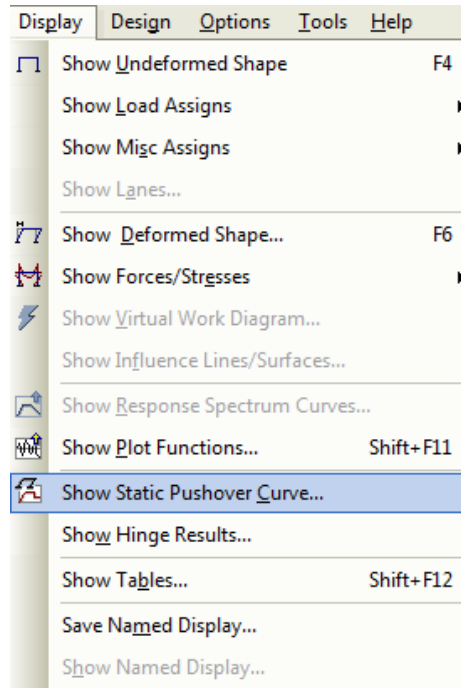
Parameter	Value	Annotation
Maximum Total Steps per Stage	200	<input type="checkbox"/> Controla o tempo de análise
Maximum Null (Zero) Steps per Stage	100	<input type="checkbox"/> Número excessivo pode indicar que análise está parada devido a problemas numéricos
Maximum Constant-Stiff Iterations per Step	40	<input type="checkbox"/> Para cada etapa de análise, começa com iterações do tipo "constant-stiffness" e se não convergir, o programa adopta iterações do tipo "Newton-Raphson (tangent-stiffness)"
Maximum Newton-Raphson Iter. per Step	40	
Iteration Convergence Tolerance (Relative)	1,000E-04	<input type="checkbox"/> Tolerância usada para controlar o erro relativamente à intensidade da força aplicada na estrutura
Use Event-to-event Stepping	Yes	<input type="checkbox"/> É muito eficaz e tende a reduzir o número de iterações necessária
Event Lumping Tolerance (Relative)	0,01	<input type="checkbox"/> Margem de erro usada para determinar os estados de uma rótula plástica.
Max Line Searches per Iteration	20	<input type="checkbox"/> Não é usado em análises estáticas lineares tendo por base o controlo do deslocamento, o que é o caso
Line-search Acceptance Tol. (Relative)	0,1	
Line-search Step Factor	1,618	
Maximum Iterations per Stage	100	<input type="checkbox"/> Deformação é imposta de forma iterativa até corresponder à Força pretendida.
Convergence Tolerance (Relative)	0,01	<input type="checkbox"/> Margem de erro em relação à força pretendida
Acceleration Factor	1,	<input type="checkbox"/> Factor que condiciona a deformação imposta resultante da diferença entre a força pretendida e a força real aplicada na estrutura
Continue Analysis If No Convergence	No	



2. Definição das Curvas de Capacidade Resistente da Estrutura, recorrendo ao SAP2000

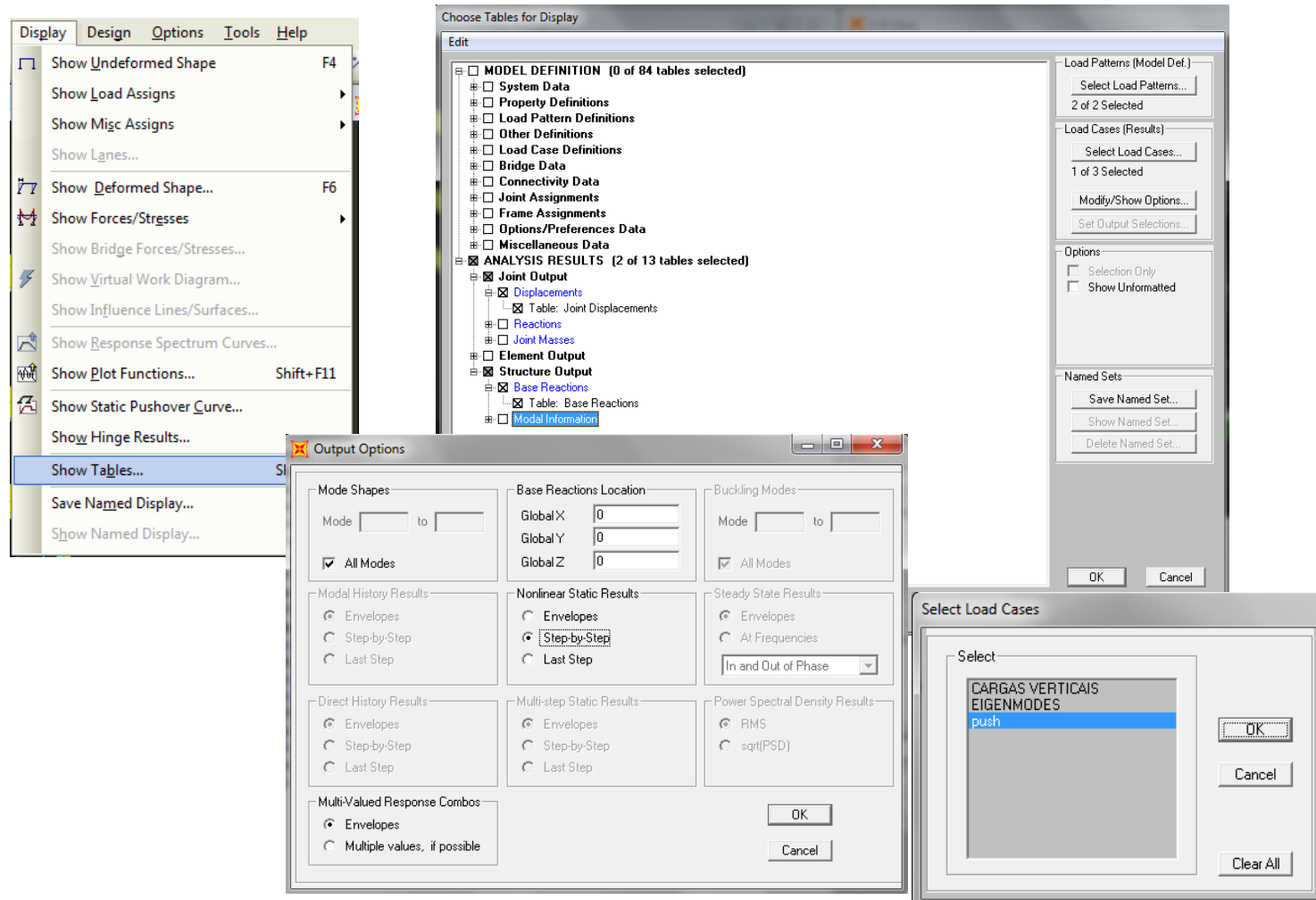
- Obtenção da Curva de Capacidade (Deslocamento no Nó de controlo; Força de Corte Basal)

❖ Efectuar Análise



2. Definição das Curvas de Capacidade Resistente da Estrutura, recorrendo ao SAP2000

- Obtenção da Curva de Capacidade (Deslocamento no Nó de controlo; Força de Corte Basal)



The screenshot displays the SAP2000 software interface with several dialog boxes open. On the left, the 'Display' menu is open, showing options like 'Show Tables...'. The 'Choose Tables for Display' dialog is active, showing a tree view of model and analysis results. The 'ANALYSIS RESULTS' section is expanded, with 'Joint Output' and 'Structure Output' selected. The 'Output Options' dialog is also open, showing various result options such as 'Mode Shapes', 'Base Reactions Location', and 'Nonlinear Static Results'. The 'Nonlinear Static Results' section has 'Step-by-Step' selected. The 'Select Load Cases' dialog is open, showing a list of load cases with 'push' selected.

2. Definição das Curvas de Capacidade Resistente da Estrutura, recorrendo ao SAP2000

- Obtenção da Curva de Capacidade (Deslocamento no Nó de controlo; Força de Corte Basal)

Joint Displacements

File View Format-Filter-Sort Select Options

Units: As No

Format Table...
Filter Table...
Sort Table...
Maximize Form Size (Toggle) Ctrl+M
Reset Default Column Widths
Remove Splits

StepNum	U1	U2	U3	R1
Unitless	m	m	m	Radians
0	0	0.000007547	-0.000098	-0.00002
1	0	-0.000626	-0.000104	0.000042
2	0	-0.00126	-0.00011	0.000104
3	0	-0.001893	-0.000115	0.000167
4	0	-0.002527	-0.000121	0.000229
5	0	-0.00316	-0.000127	0.000291
6	0	-0.003794	-0.000133	0.000353
7	0	-0.004289	-0.000138	0.000402
8	0	-0.00496	-0.000142	0.000438
9	0	-0.005182	-0.000143	0.000447
10	0	-0.005948	-0.000143	0.000454
11	0	-0.007448	-0.000143	0.000454
12	0	-0.008948	-0.000143	0.000454
13	0	-0.010448	-0.000143	0.000454
14	0	-0.011948	-0.000143	0.000454
15	0	-0.013448	-0.000143	0.000454
16	0	-0.014948	-0.000143	0.000454
17	0	-0.016448	-0.000143	0.000454
18	0	-0.017948	-0.000143	0.000454
19	0	-0.019448	-0.000143	0.000454

Record: 1 of 888

Add Tables... Done

Modify/Show Database Table Format

Format Filter Sort

Filter Type

None

Quick

Basic

Advanced

Quick Filter

Field: Joint

Operator: =

Value: 80

Database Table Filters

Joint Displacements

File View Format-Filter-Sort Select Options

Export Current Table

Display Current Table

Print Current Table as Text File

Export All Tables

Display All Tables

Print All Tables as Text File

Save Current Table Format to Table Formats File

Save All Table Formats to Table Formats File

Apply Format from File to Current Table

Apply Formats from File to All Tables

Add Tables

Remove Current Table

Close Form

To Excel

To Access

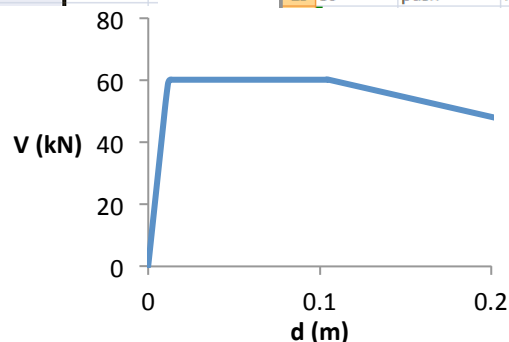


2. Definição das Curvas de Capacidade Resistente da Estrutura, recorrendo ao SAP2000

- Obtenção da Curva de Capacidade (Deslocamento no Nó de controlo; Força de Corte Basal)

1	TABLE: Base Reactions						
2	OutputCase	CaseType	StepType	StepNum	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
3	Text	Text	Text	Unitless	KN	KN	KN
4	push	NonStatic	Step	0	-1,019E-13	2,062E-14	295,281
5	push	NonStatic	Step	1	-9,952E-14	7,79	295,274
6	push	NonStatic	Step	2	-9,712E-14	15,58	295,268
7	push	NonStatic	Step	3	-9,472E-14	23,369	295,261
8	push	NonStatic	Step	4	-9,232E-14	31,159	295,254
9	push	NonStatic	Step	5	-8,992E-14	38,949	295,248
10	push	NonStatic	Step	6	-8,752E-14	46,739	295,241
11	push	NonStatic	Step	7	-8,565E-14	52,829	295,236
12	push	NonStatic	Step	8	-8,379E-14	58,59	295,231
13	push	NonStatic	Step	9	-8,35E-14	59,297	295,23
14	push	NonStatic	Step	10	-8,319E-14	60,085	295,23
15	push	NonStatic	Step	11	-8,319E-14	60,085	295,23
16	push	NonStatic	Step	12	-8,319E-14	60,085	295,23
17	push	NonStatic	Step	13	-8,319E-14	60,085	295,23
18	push	NonStatic	Step	14	-8,319E-14	60,085	295,23
19	push	NonStatic	Step	15	-8,319E-14	60,085	295,23
20	push	NonStatic	Step	16	-8,319E-14	60,085	295,23
21	push	NonStatic	Step	17	-8,319E-14	60,085	295,23
22	push	NonStatic	Step	18	-8,319E-14	60,085	295,23
23	push	NonStatic	Step	19	-8,319E-14	60,085	295,23
24	push	NonStatic	Step	20	-8,319E-14	60,085	295,23
25	push	NonStatic	Step	21	-8,319E-14	60,085	295,23

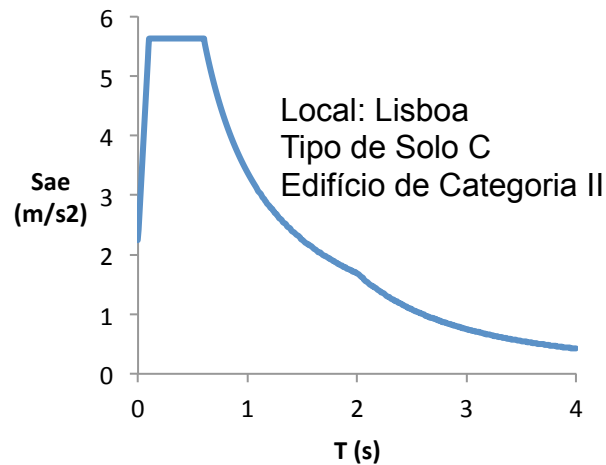
1	TABLE: Joint Displacements								
2	Joint	OutputCase	CaseType	StepType	StepNum	U1	U2	U3	
3	Text	Text	Text	Text	Unitless	m	m	m	
4	80	push	NonStatic	Step	0	0,000055	-0,000377		
5	80	push	NonStatic	Step	1	-0,001445	-0,000376		
6	80	push	NonStatic	Step	2	-0,002945	-0,000375		
7	80	push	NonStatic	Step	3	-0,004445	-0,000374		
8	80	push	NonStatic	Step	4	-0,005945	-0,000373		
9	80	push	NonStatic	Step	5	-0,007445	-0,000372		
10	80	push	NonStatic	Step	6	-0,008945	-0,000371		
11	80	push	NonStatic	Step	7	-0,010117	-0,00037		
12	80	push	NonStatic	Step	8	-0,011429	-0,00037		
13	80	push	NonStatic	Step	9	-0,011734	-0,00037		
14	80	push	NonStatic	Step	10	-0,012596	-0,00037		
15	80	push	NonStatic	Step	11	-0,014096	-0,00037		
16	80	push	NonStatic	Step	12	-0,015596	-0,00037		
17	80	push	NonStatic	Step	13	-0,017096	-0,00037		
18	80	push	NonStatic	Step	14	-0,018596	-0,00037		
19	80	push	NonStatic	Step	15	-0,020096	-0,00037		
20	80	push	NonStatic	Step	16	-0,021596	-0,00037		
21	80	push	NonStatic	Step	17	-0,023096	-0,00037		
22	80	push	NonStatic	Step	18	-0,024596	-0,00037		
23	80	push	NonStatic	Step	19	-0,026096	-0,00037		
24	80	push	NonStatic	Step	20	-0,027596	-0,00037		
25	80	push	NonStatic	Step	21	-0,029096	-0,00037		



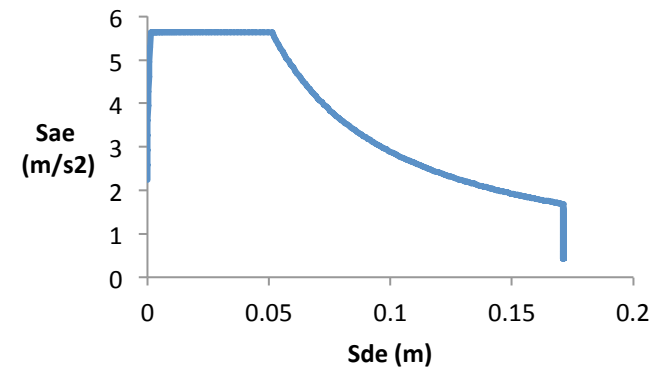
3. Definição da Acção Sísmica

- **Determinação dos Espectros Elástico e Inelástico no formato ADRS (*Acceleration Displacement Response Spectrum*)**

Partindo do Espectro de Resposta Elástico no formato habitual: aceleração vs período

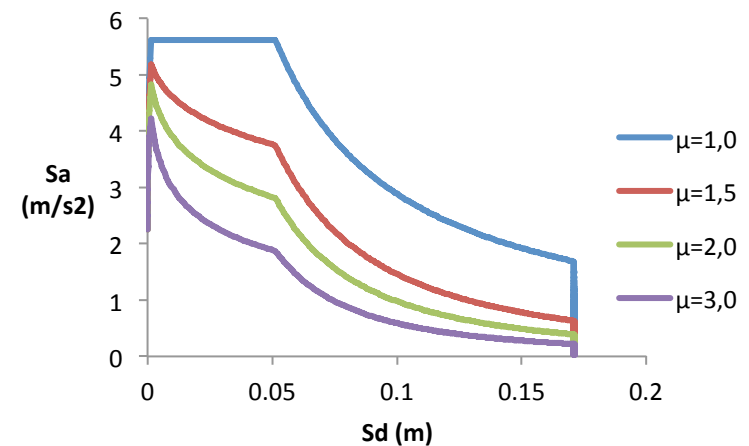


$$S_{ae} = \frac{4\pi^2}{T^2} S_{de}$$



$$S_a = \frac{S_{ae}}{q_u} \quad S_d = \frac{\mu}{q_u} S_{de}$$

$$q_u = \begin{cases} (\mu - 1) \frac{T}{T_c} + 1 & T < T_c \\ \mu & T \geq T_c \end{cases}$$

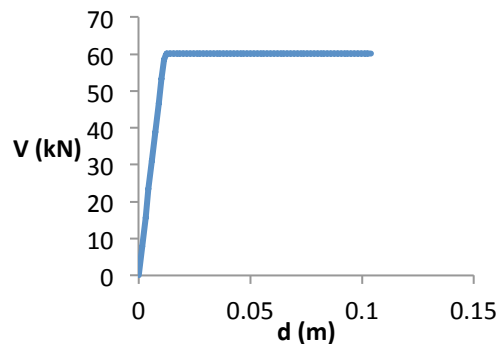


4. Definição do Sistema de 1GL equivalente

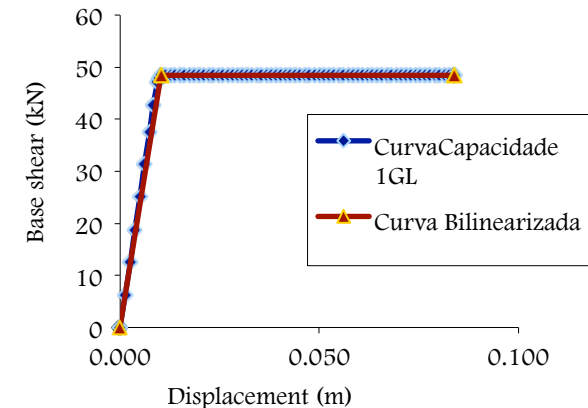
- Cálculo do Factor de Transformação, Γ

$$\Gamma = \frac{\sum_i m_i \phi_i}{\sum_i m_i \phi_i^2} = \frac{m^*}{\sum_i m_i \phi_i^2} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\Gamma = 1,242}$$

- Obtenção da Curva de Capacidade para o sistema de 1GL equivalente



$$F^* = \frac{V}{\Gamma} \quad d^* = \frac{\Delta_{\text{topo}}}{\Gamma}$$



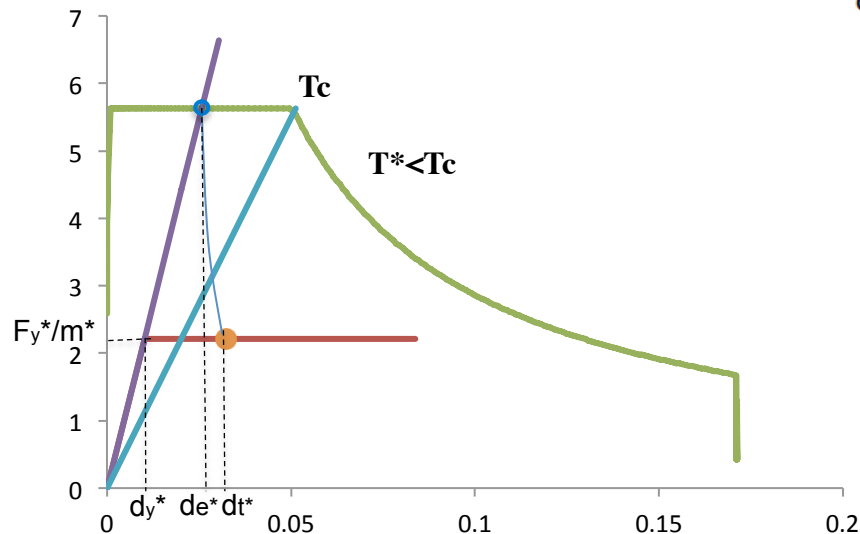
- Cálculo do Período elástico do sistema de 1GL equivalente

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{m^* d_y^*}{F_y^*}} \quad \Rightarrow \quad \boxed{T^* = 0,43 \text{ s}}$$

5. Desempenho Sísmico do sistema de 1GL equivalente

- **Determinação do deslocamento objectivo**

Juntando no mesmo gráfico Aceleração vs. Deslocamento Espectral (formato *ADRS*) a curva de capacidade resistente de 1GL e o espectro de resposta:



$$d_e^* = S_{ae}(T^*) \left[\frac{T^*}{2\pi} \right]^2 \rightarrow \boxed{d_e^* = 0,026\text{m}}$$

Como $T^* < T_c$ e $F_y^*/m^* < S_e(T^*)$:

$$d_t^* = \frac{d_e^*}{q_u} \left(1 + (q_u - 1) \frac{T_c}{T^*} \right) \geq d_e^* \rightarrow \boxed{d_t^* = 0,032\text{ m}}$$

em que:

$$q_u = \frac{S_{ae}}{S_a} = \frac{S_{ae}}{F_y^*/m^*} = \frac{S_{ae} m^*}{F_y^*} \rightarrow \boxed{q_u = 2,544}$$

Métodos Executados no SAP2000:

FEMA440: $\Delta_{\text{topo}} = 0,038\text{ m}$

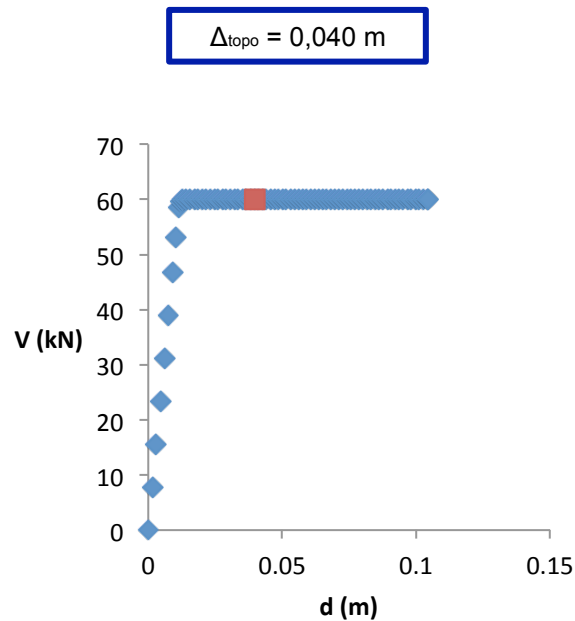
ATC-40: $\Delta_{\text{topo}} = 0,044\text{ m}$

$$\Delta_{\text{topo}} = \Gamma d_t^* \rightarrow \boxed{\Delta_{\text{topo}} = 0,040\text{ m}}$$



6. Desempenho Sísmico da Estrutura - sistema de nGL

- Avaliação do desempenho Sísmico da Estrutura



Joint Displacements

File View Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Joint Displacements

Filter: Joint = '80'

Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	StepType Text	StepNum Unitless	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians
80	push	NonStatic	Step	10	0	0,012619	-0,000384	-0,000048
80	push	NonStatic	Step	11	0	0,014119	-0,000384	-0,000048
80	push	NonStatic	Step	12	0	0,015619	-0,000384	-0,000048
80	push	NonStatic	Step	13	0	0,017119	-0,000384	-0,000048
80	push	NonStatic	Step	14	0	0,018619	-0,000384	-0,000048
80	push	NonStatic	Step	15	0	0,020119	-0,000384	-0,000048
80	push	NonStatic	Step	16	0	0,021619	-0,000384	-0,000048
80	push	NonStatic	Step	17	0	0,023119	-0,000384	-0,000048
80	push	NonStatic	Step	18	0	0,024619	-0,000384	-0,000048
80	push	NonStatic	Step	19	0	0,026119	-0,000384	-0,000048
80	push	NonStatic	Step	20	0	0,027619	-0,000384	-0,000048
80	push	NonStatic	Step	21	0	0,029119	-0,000384	-0,000048
80	push	NonStatic	Step	22	0	0,030619	-0,000384	-0,000048
80	push	NonStatic	Step	23	0	0,032119	-0,000384	-0,000048
80	push	NonStatic	Step	24	0	0,033619	-0,000384	-0,000048
80	push	NonStatic	Step	25	0	0,035119	-0,000384	-0,000048
80	push	NonStatic	Step	26	0	0,036619	-0,000384	-0,000048
80	push	NonStatic	Step	27	0	0,038119	-0,000384	-0,000048
80	push	NonStatic	Step	28	0	0,039619	-0,000384	-0,000048
80	push	NonStatic	Step	29	0	0,041119	-0,000384	-0,000048

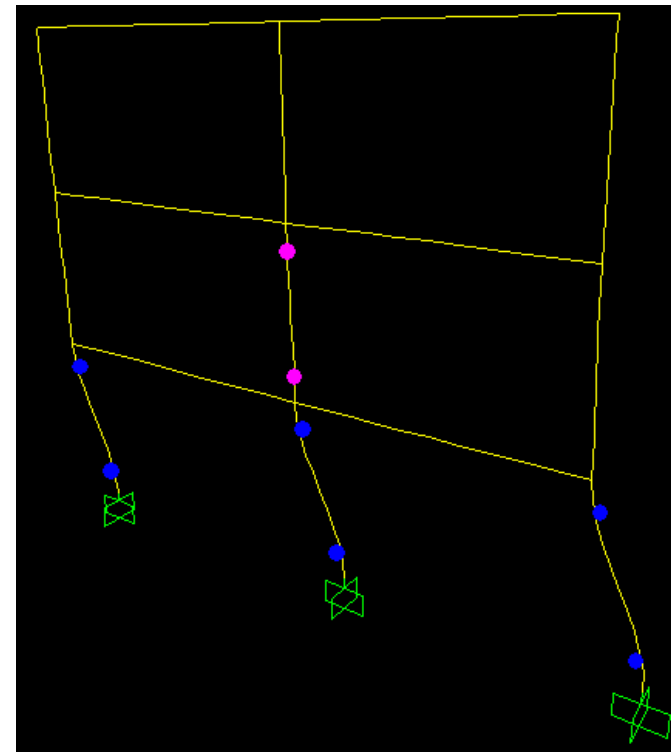
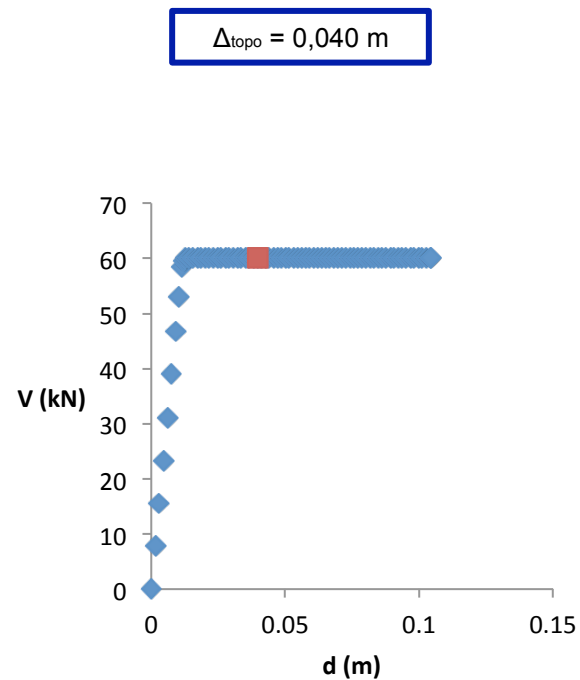
Record: 29 of 74

Add Tables... Done



6. Desempenho Sísmico da Estrutura - sistema de nGL

- Avaliação do desempenho Sísmico da Estrutura





6. Desempenho Sísmico da Estrutura - sistema de nGL

- Avaliação do desempenho Sísmico da Estrutura

Esforço Transverso resistente:

➤ATC40

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_c = 35\lambda \left(k + \frac{N}{2000A_g} \right) \sqrt{f'_c} b_w d$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{0.6s}$$

➤EC2

Menor dos valores:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot \theta$$

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta)$$

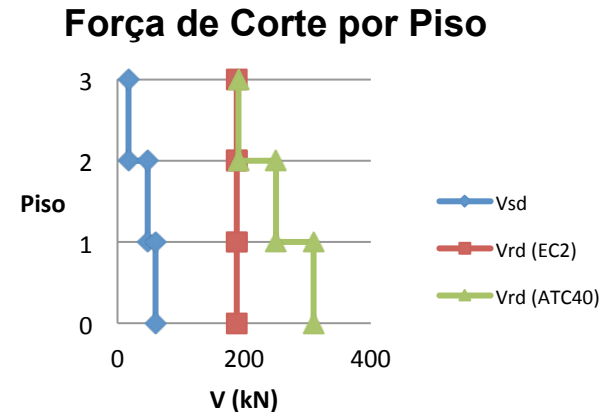
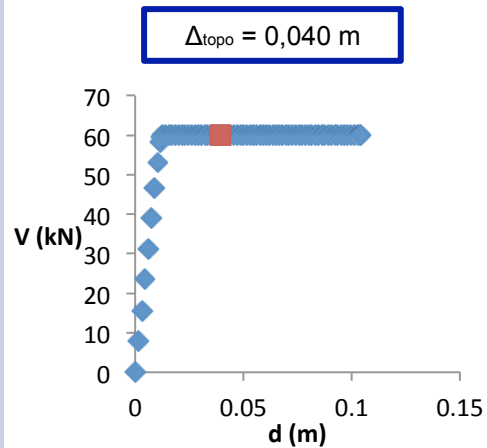
Limitação de Deslocamentos relativos entre pisos (EC8)

$$d_r v \leq 0,005 h$$

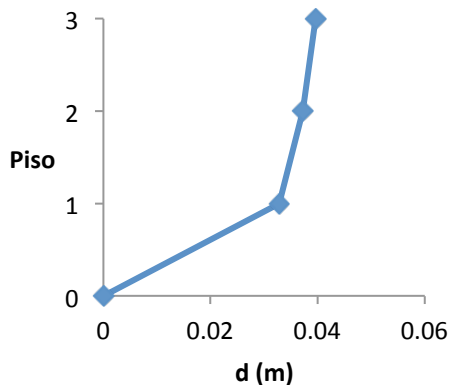


6. Desempenho Sísmico da Estrutura - sistema de nGL

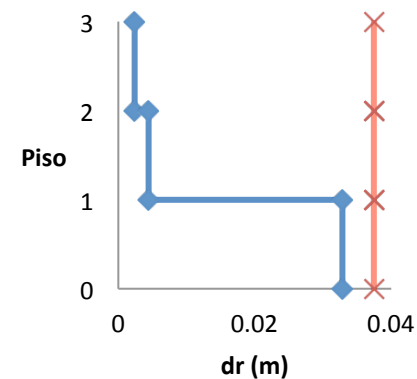
- Avaliação do desempenho Sísmico da Estrutura



Deslocamento de cada Piso



Deslocamentos Relativos nos vários pisos



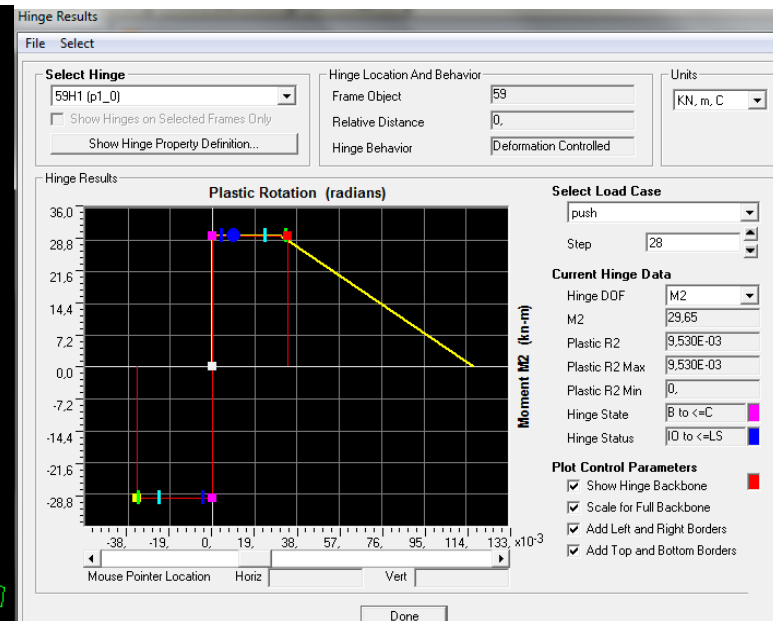
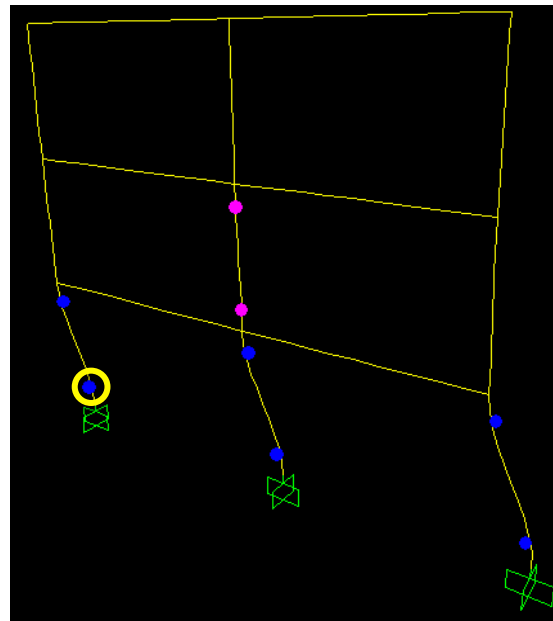
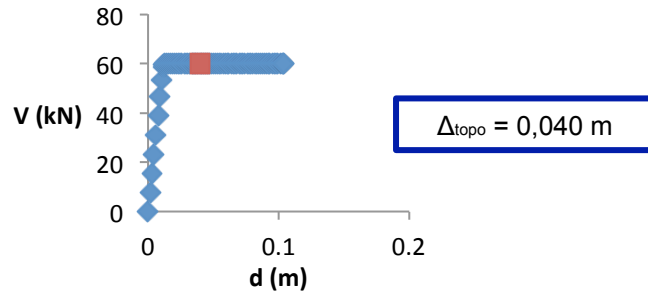
Estado limite de serviço (elementos não estruturais frágeis)



6. Desempenho Sísmico da Estrutura - sistema de nGL

- Avaliação do desempenho Sísmico da Estrutura

Comportamento das Rótulas Plásticas





INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Exemplo de aplicação do método N2 proposto no EC8 – Pórtico 2D

Parte 3



André Belejo, Rita Bento e Carlos Bhatt

FUNDEC