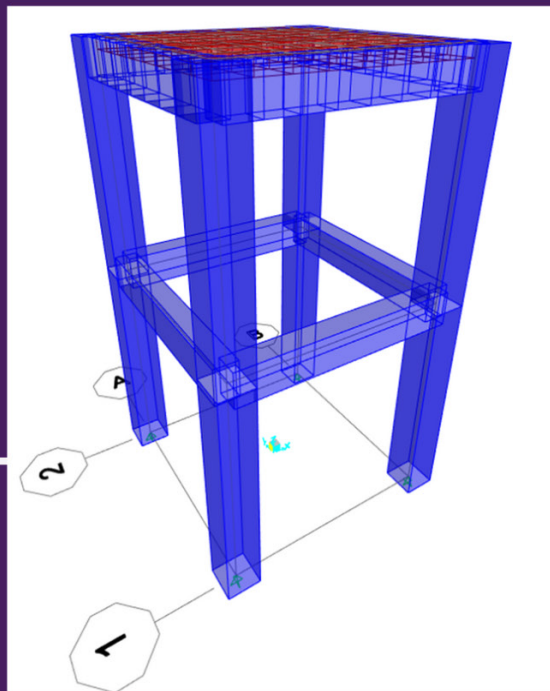


# Modelagem de Estruturas em SAP 2000®



Emerson Batista Gomes

# **MODELAGEM DE ESTRUTURAS EM SAP 2000®**



Todo o conteúdo apresentado neste livro é de responsabilidade do(s) autor(es).

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-SemDerivações 4.0 Internacional.

Nossa missão é a difusão do conhecimento gerado no âmbito acadêmico por meio da organização e da publicação de livros científicos de fácil acesso, de baixo custo financeiro e de alta qualidade!

Nossa inspiração é acreditar que a ampla divulgação do conhecimento científico pode mudar para melhor o mundo em que vivemos!

*Equipe RFB Editora*

Emerson Batista Gomes

# **MODELAGEM DE ESTRUTURAS EM SAP 2000®**

1ª Edição

Belém-PA  
RFB Editora  
2023



© 2023 Edição brasileira  
by RFB Editora  
© 2023 Texto  
by Autor  
Todos os direitos reservados

RFB Editora  
CNPJ: 39.242.488/0001-07  
www.rfbeditora.com  
adm@rfbeditora.com  
91 98885-7730

Av. Governador José Malcher, nº 153, Sala 12, Nazaré, Belém-PA,  
CEP 66035065

**Editor-Chefe**  
Prof. Dr. Ednilson Souza  
**Diagramação e capa**  
Worges Editoração  
**Imagem da capa**  
Canva.com

**Revisão de texto**  
Autor  
**Bibliotecária**  
Janaina Karina Alves Trigo Ra-  
mos  
**Produtor editorial**  
Nazareno Da Luz

**Catálogo na publicação**  
RFB Editora



M691

Modelagem de estruturas em sap 2000® / Emerson Batista Gomes. – Belém: RFB,  
2023.

Livro em PDF

88p.

ISBN: 978-65-5889-464-3

DOI: 10.46898/rfb.37b1707c-2341-4b50-ae22-ec90e4a48b20

1. Modelagem computacional. I. Gomes, Emerson Batista. II. Título.

CDD 510

Índice para catálogo sistemático

I. Matemática.

## **Conselho Editorial**

Prof. Dr. Ednilson Sergio Ramalho de Souza - UFOPA  
(Editor-Chefe)

Prof. Dr. Laecio Nobre de Macedo-UFMA

Prof<sup>a</sup>. Ma. Rayssa Feitoza Felix dos Santos-UFPE

Prof. Me. Otávio Augusto de Moraes-UEMA

Prof. Dr. Aldrin Vianna de Santana-UNIFAP

Prof<sup>a</sup>. Ma. Luzia Almeida Couto-IFMT

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Raquel Silvano Almeida-Unespar

Prof. Me. Luiz Francisco de Paula Ipolito-IFMT

Prof. Me. Fernando Vieira da Cruz-Unicamp

Prof. Dr. Carlos Erick Brito de Sousa-UFMA

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ilka Kassandra Pereira Belfort-Faculdade Laboro

Prof<sup>a</sup>. Dr. Renata Cristina Lopes Andrade-FURG

Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves-IFF

Prof. Dr. Clézio dos Santos-UFRRJ

Prof. Dr. Rodrigo Luiz Fabri-UFJF

Prof. Dr. Manoel dos Santos Costa-IEMA

Prof<sup>a</sup>. Ma. Adriana Barni Truccolo-UERGS

Prof. Me. Pedro Augusto Paula do Carmo-UNIP

Prof.<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Isabella Macário Ferro Cavalcanti-UFPE

Prof. Me. Alisson Junior dos Santos-UEMG

Prof. Me. Raphael Almeida Silva Soares-UNIVERSO-SG

Prof. Dr. Rodolfo Maduro Almeida-UFOPA

Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné-Faccrei

Prof. Me. Fernando Francisco Pereira-UEM

Prof. Dr. Deivid Alex dos Santos-UEL

Prof. Me. Antonio Santana Sobrinho-IFCE

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Maria de Fatima Vilhena da Silva-UFPA

Profa. Dra. Dayse Marinho Martins-IEMA

Prof. Me. Darlan Tavares dos Santos-UFRJ

Prof. Dr. Daniel Tarciso Martins Pereira-UFAM

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Elane da Silva Barbosa-UERN

Prof. Dr. Piter Anderson Severino de Jesus-Université Aix Marseille

# SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO .....	9
INTRODUÇÃO .....	11
CAPÍTULO 1	
CÁLCULOS PRELIMINARES .....	15
CAPÍTULO 2	
MODELANDO A ESTRUTURA NO SOFTWARE SAP 2000®.....	25
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	83
REFERÊNCIAS .....	85
ÍNDICE REMISSIVO.....	86
SOBRE O AUTOR .....	87



# APRESENTAÇÃO

Este documento tem por objetivo auxiliar na modelagem tridimensional de uma estrutura para caixa d'água com o emprego do SAP 2000®. O SAP 2000® é um programa de elementos finitos, com interface gráfica, que possibilita a modelagem, análise e dimensionamento de um vasto conjunto de situações de engenharia de estruturas.

O SAP 2000® possibilita o estudo de situações lineares simples como modelos 2D até modelos mais complexos que empregam análises não-lineares que podem ser estáticas ou dinâmicas, oferecendo para os engenheiros de estruturas um conjunto inteligente de ferramentas, bem como fluxos de trabalho mais eficientes.

A proposta deste trabalho toma como referências a ABNT NBR 6120/2019 de Ações para cálculo de estruturas de edificações, ABNT NBR 6123/88 de Forças devidas ao vento em edificações e o Manual de SAP 2000® V21.

O leitor verá neste trabalho uma apresentação didática com passo a passo desde a problematização da estrutura para caixa d'água até sua modelagem e análise das interações de esforços possibilitada pelo SAP 2000®.

Boa leitura e estudos!

O Autor.



# INTRODUÇÃO



**N**os parece óbvio que o provimento adequado de água, em quantidade e qualidade, é essencial para o desenvolvimento socioeconômico de uma nação. Sobretudo, devido aos reflexos diretos sobre as condições de saúde e de bem-estar da população. Entretanto, estima-se que 80% de todas as moléstias e mais de um terço dos óbitos dos países em desenvolvimento sejam causados pelo consumo de água contaminada, sendo que os excrementos humanos estão entre as principais causas dessa contaminação (FUNASA, 2006).

Embora o Brasil seja um país relativamente privilegiado em termos de disponibilidade hídrica global, dispondo de cerca de 50% do total dos recursos da América do Sul e 11% dos recursos mundiais, essa abundância é mal distribuída (BARBOSA & MATTOS, 2006). Isto ocorre porque um pouco mais de 71% do total de recursos hídricos do Brasil e mais de 36% de toda a América do Sul, concentram-se na região Amazônica.

O que *a priori* poderia se configurar como uma excelente notícia para os amazônidas, em termos práticos se converte em contradição, isto é, apesar de a região amazônica ser a mais abundante em recursos hídricos no Brasil, também é a região com os piores indicadores de saneamento do país (Idem). De acordo com o Ranking da Universalização do Saneamento no Brasil em 2019, da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), dos 449 municípios da Região Norte, somente 8,67%, ou seja, 38 municípios, têm condição de oferecer à população saneamento adequado.

Registre-se que as instituições governamentais, nos últimos quatro anos, têm se preocupado em manter informações em seus relatórios institucionais voltadas apenas aos dados atinentes aos consumos, concessões e planejamento financeiro. Excluem sistematicamente de seus registros as carências relativas à má distribuição do fornecimento de água e esgoto. Atualmente a falta de qualidade nas

informações e o insipiente diagnóstico dos índices de acesso ao saneamento básico, a despeito de como nos eram fornecidos os dados antes, pelos Anuários da Agência Nacional de Águas e Saneamento - ANA, tem prejudicado a ciência sobre os problemas sociais enfrentados por essas comunidades, e dificultado a proposição de projetos e pesquisas mais detalhadas sobre o assunto.

Destarte, o quadro embora pareça ter melhorado nos últimos anos, há indicativo de que cerca de 100 milhões de pessoas, isto é, 47% da população brasileira se utilize de estratégias alternativas para lidar com os seus dejetos, e cerca de 16% da população, ou seja, 35 milhões de pessoas, ainda não têm acesso à água tratada (G1, 2021). Destas, a maior parte é residente no Norte e Nordeste do Brasil.

Alheios às novas diretrizes governamentais e excluídos do processo de concessão de estações de distribuição de água, centenas de municípios seguem velhas estratégias para atender à sua população. Dentre as alternativas para obtenção e distribuição de água a captação direta dos rios ou a perfuração de poços artesianos são as mais usuais. Porém, sem o tratamento adequado ou, quando muito, com a adição de cloro nos reservatórios, elevando assim os números de doenças nestas localidades.

Pensando atender à demanda de construção de reservatórios de água, dentre outras iniciativas, desenvolvemos um projeto que contempla a estrutura de suporte para uma caixa d'água de três mil litros de água, a ser construída em uma comunidade em um município do interior do Estado.

A estrutura, de porte mediano, possui quatro fundações que sustentam quatro pilares de dimensões de 4,0 metros de altura, por 0,3 metros de largura, por 0,3 metros de profundidade (2 x 0,3 x 0,3). Os pilares estão dispostos nos vértices de uma região quadrada de

2,0 m<sup>2</sup>. Os pilares possuem dois níveis de percintas: a primeira à 2,0 metros do solo, concebidas para a sustentação e combate à flambagem e rotação dos pilares, com dimensões aproximadas de 2,0 m x 0,3 m x 0,25m; e a segunda situada à 4,0 m de altura, com a função de vigas para a sustentação da laje, construídas com as mesmas dimensões. A laje fora projetada para concreto armado, cobrindo uma área de 2,0 m<sup>2</sup> e com espessura de 0,1 m.



Fig. 1 - Estrutura de suporte para caixa d'água de referência para o projeto.  
Fonte: Prefeitura Municipal de Itacamari - MG.

# CAPÍTULO 1

## CÁLCULOS PRELIMINARES

## 1.1 CÁLCULO DAS CARGAS PERMANENTES E ACIDENTAIS

**D**e acordo com a norma NBR 6120 (2019) as cargas são classificadas em: carga permanente ( $C_g$ ) e carga acidental ( $C_q$ ). Sendo que a carga permanente é constituída pelo peso próprio da estrutura e pelo peso de todos os elementos construtivos fixos e instalações permanentes. Em contrapartida, a carga acidental é aquela que pode atuar sobre a estrutura em função de seu uso, como o peso de pessoas, móveis, ação do vento e materiais diversos.

Em nosso projeto constituem carga permanente o peso próprio da estrutura de suporte da caixa d'água, construída em concreto armado, e a carga da caixa d'água com a água. Como condições de contorno consideraremos a geometria e condições apresentadas na figura 2, abaixo:

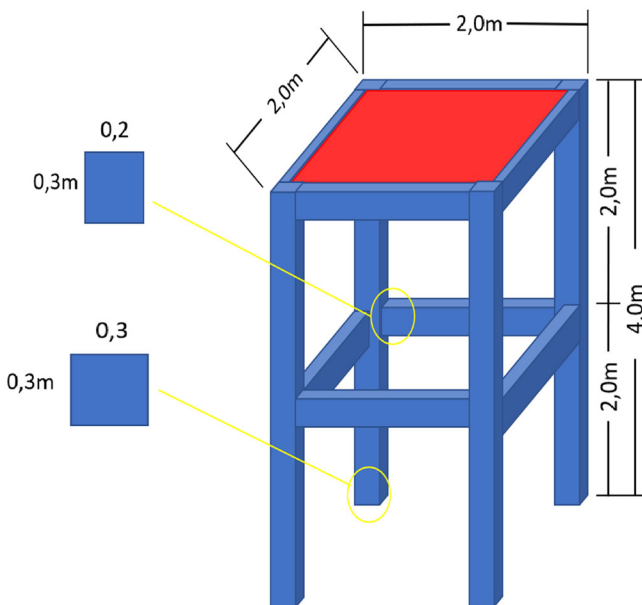


Fig. 2 - Condições de contorno - dimensões da estrutura.

Adotamos o valor de  $25 \text{ kN/m}^3$  para o peso específico do concreto armado de  $25 \text{ Mpa}$ . O volume da estrutura é dado por:

$$V_{\text{est}} = 4 \times \underbrace{(4,0 \times 0,3 \times 0,3)}_{\text{Pilares}} + 8 \times \underbrace{(2,0 \times 0,3 \times 0,2)}_{\text{Vigas}} + \underbrace{(2,0 \times 2,0 \times 0,1)}_{\text{Laje}}$$

$$V_{\text{est}} = 2,8 \text{ m}^3$$

Deste modo, a carga associada ao peso próprio da estrutura será de:

$$C_g = 25 \text{ kN/m}^3 \times 2,8 \text{ m}^3 = 70 \text{ kN}.$$

Esta deverá ser a carga aproximada que o SAP 2000® irá atribuir automaticamente ao peso próprio da estrutura ( $Dead = 70 \text{ kN}$ ). Deste modo, a carga permanente que adicionaremos será apenas da caixa d'água cheia.

Para o cálculo das cargas acidentais levamos em consideração a carga da caixa d'água cheia, de 3.000 litros, o peso da caixa d'água vazia, a massa de 240 kg referente à duas pessoas e eventuais materiais de manutenção do reservatório e a tenção atribuída à atuação do vento sobre a estrutura. Deste modo:

Peso específico da água:

$1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$ $1000 \text{ L} = 1 \text{ m}^3$
---

$$\rho_{H_2O} \cong 10 \text{ kN/m}^3$$

$$Vol = 3000 \text{ L} = 3 \text{ m}^3$$

$$\rho_{H_2O} = \frac{P}{Vol}$$

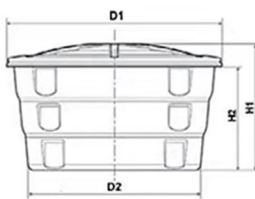
$$P = \rho_{H_2O} \cdot Vol$$

$$P = 10 \cdot 3 = 30 \text{ kN}$$

O peso e as dimensões da caixa d'água definidos pela fabricante:

$$P_{cxa} = 54,7 \text{ kg} \cong 0,547 \text{ kN}$$

### Itens da Linha de Caixas d'Água



Dimensões (mm)				
Cotas	1500	2000	3000	5000
D1	1702,2	1821,5	2155,0	2334,0
D2	1419,4	1520,3	1721,7	1823,6
h1	988,5	1113,7	1380,0	1905,0
h2	783,2	892,8	1124,1	1620,0
Código	22993372	22992058	22992066	22992074

Fig. 3 - Dimensões das caixas d'água Tigre.  
Fonte: Linha de caixas d'água residenciais Tigre.

Peso relativo aos homens e materiais de manutenção:

$$P_h = m \times g$$

$$P_h = 240 \text{ kg} \times 10 \text{ m}^2/\text{s} = 2.400 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} = 2,4 \text{ kN}$$

A atuação do vento sobre a estrutura será atribuída como fixa apenas para fins didáticos. Seu cálculo pode ser observado em conformidade com a normativa NBR 6123 de acordo com as características do ambiente e da estrutura a ser construída. Nosso trabalho assumiu as seguintes condições:

- ✓ A topografia de nossa área de construção se trata de um terreno plano, cujo fator topográfico seria  $S1 = 1$ ;
- ✓ A classe de nossa estrutura é classe A, pois nenhuma de suas dimensões excede 20 m;
- ✓ O fator  $S2$  seria de categoria VI, por se tratar de uma zona in-

teriorana, de bosques com muitas árvores, com uma cidade pequena ao redor e área industrial parcialmente desenvolvida. Para essas características temos um fator  $S_2 = 0,79$ , definido em norma na seguinte tabela:

10

NBR 6123/1988

**Tabela 2 - Fator  $S_2$**

z (m)	Categoria														
	I			II			III			IV			V		
	Classe			Classe			Classe			Classe			Classe		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
5	1,06	1,04	1,01	0,94	0,92	0,90	0,88	0,86	0,82	0,79	0,76	0,73	0,74	0,72	0,67
10	1,10	1,09	1,06	1,00	0,98	0,95	0,94	0,92	0,88	0,86	0,83	0,80	0,74	0,72	0,67
15	1,13	1,12	1,09	1,04	1,02	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	0,88	0,84	0,79	0,76	0,72
20	1,15	1,14	1,12	1,06	1,04	1,02	1,01	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,82	0,80	0,76
30	1,17	1,17	1,15	1,10	1,08	1,06	1,05	1,03	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87	0,85	0,82

Fig. 4 – Fator  $S_2$ .

- ✓ O fator que considera o grau de segurança e a vida útil da edificação foi tomado como  $S_3 = 0,95$  - Grupo 3, devido se tratar em uma estrutura com baixo fator de ocupação, em zona pouco urbanizada:

**Tabela 3 - Valores mínimos do fator estatístico  $S_3$**

Grupo	Descrição	$S_3$
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.)	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção	0,83

Figura 5 – Fator  $S_3$ .



- ✓ O vento médio considerado seria de  $V_0 = 30$  m/s, em correspondência à localização de nossa estrutura na zona hachurada do mapa da NBR 6123, a seguir:

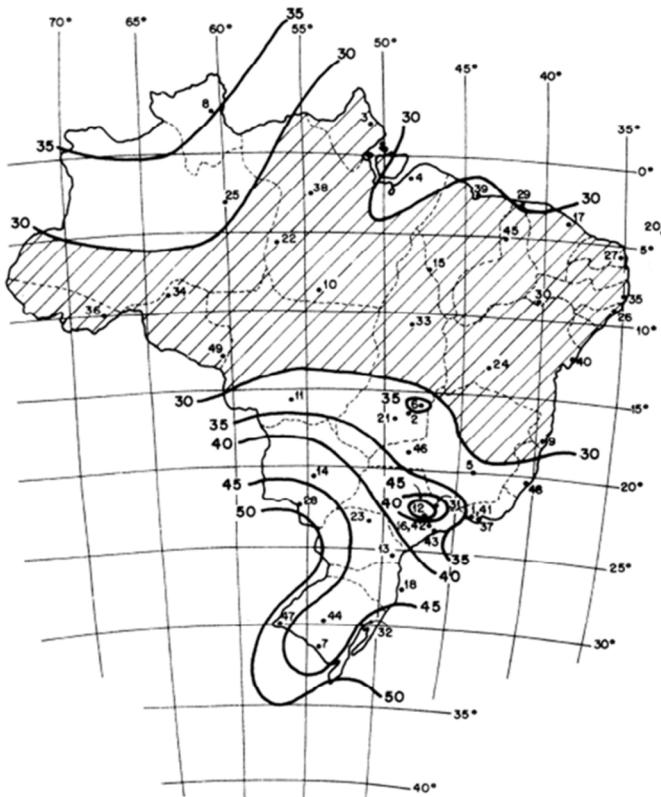


Fig. 6 - Velocidade do vento para fins de segurança.

- ✓ Com as informações obtidas, calculamos a velocidade característica  $V_k$  por meio da fórmula:

$$V_k = V_0 \times S_1 \times S_2 \times S_3$$
$$V_k = 30 \times 1 \times 0,79 \times 0,95$$
$$V_k = 22,515\text{m/s}$$

✓ A pressão do vento será dada por:

$$Q = q \times V_k^2$$

$$Q = 0,613 \times (22,515)^2$$

$$Q = 310,74 \text{ N/m}^2$$

Devido o tipo de estrutura, para a qual não prevemos fechamento de paredes e termos uma construção robusta com laje rígida de dimensões relativamente pequenas em relação ao conjunto, avaliamos que a equação que melhor define a força de arrasto do vento é a tratada no item 7.7.2. da NBR 6123, que nos informa que torres reticuladas de seção quadrada, com reticulados iguais em todas as faces, constituem casos especiais para os quais se pode determinar a forma global do vento diretamente, em que a força de arrasto é calculada por:

$$F_a = C_a \cdot Q \cdot A_e$$

Onde:  $A_e$  = área frontal efetiva de uma das faces reticulada.

$C_a$  é fornecido pelo gráfico 9 da NBR 6123.

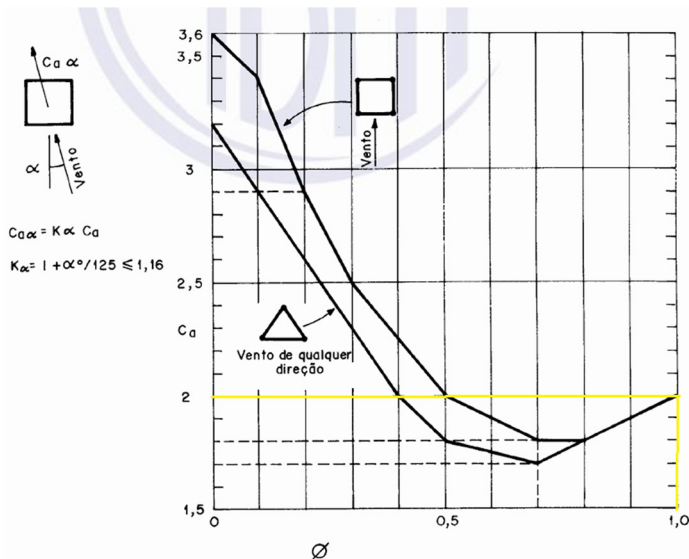


Fig. 7 - Definição do Coeficiente de arrasto do vento em torres reticuladas.

Em Flachsbart (1932) temos que o índice de área exposta é igual à área frontal efetiva do reticulado dividida pela área frontal da superfície limitada pelo contorno do mesmo reticulado, de modo que sua magnitude varie entre 0 e 1. Deste modo, para estruturas totalmente sólidas como a nossa, o índice de área exposta vale 1. O índice de área exposta é dado pela expressão:

$$\emptyset = \frac{A_e}{A_c}$$

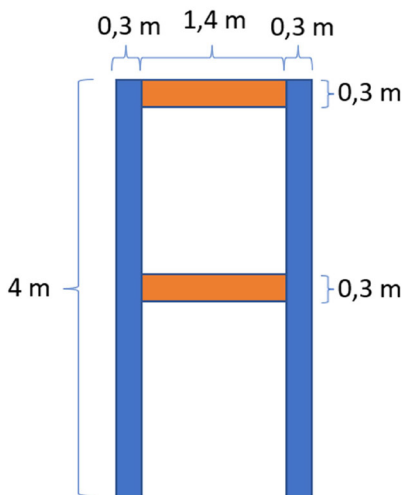
Onde:  $\emptyset$  = índice de área exposta

$A_e$  = área efetiva

$A_c$  = área total do contorno do reticulado.

Deste modo, para uma incidência de vento frontal sobre a estrutura, o coeficiente de arrasto é  $C_a = 2$ .

A área efetiva  $A_e$  de nossa estrutura é definida da seguinte forma:



$$A_e = 2 \times (0,3 \times 4) + 2 \times (0,3 \times 1,4)$$

$$A_e = 3,24m^2$$

Fig. 8 - Cálculo da área efetiva de incidência do vento.

Logo, aplicamos a fórmula simples para a força de arrasto:

$$F_a = C_a \cdot Q \cdot A_e$$

$$F_a = 2 \times 310,74 \text{ N/m}^2 \times 3,24 \text{ m}^2$$

$$F_a = 2013,59 \text{ N}$$

$$F_a = 2,01259 \text{ KN}$$

Dado que o diâmetro da caixa d'água é de aproximadamente 1,7 m, desconsideramos a forma circular da base da caixa. Deste modo, consideramos a carga acidental distribuída sobre a superfície da laje.

Nosso objetivo, a partir deste ponto, será o de construir um modelo estrutural para análise dos esforços internos da estrutura de suporte de uma caixa d'água, com base no Método dos Elementos Finitos (MEF) e auxílio do software SAP 2000® v 21.

Com esse modelo poderemos estimar os esforços internos atuantes na estrutura modelada, assim como suas deformações em função das cargas externas definidas. Com esse intuito, implementamos um modelo computacional simplificado para análise da estrutura supracitada, como acompanharemos a seguir seu passo a passo.

## 1.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE A ESTRUTURA A SER MODELADA

A estrutura de suporte da caixa d'água, ao ser submetida ao seu peso próprio e às condições de contorno consideradas neste trabalho sofre deformações, pelas quais nos é possível estimar quantitativamente o seu comportamento. Isto é, podemos estimar, com certa aproximação, como a estrutura vai trabalhar e em quais regiões estarão distribuídas as forças de tração e compressão (GUZON, 2009). Todavia, mesmo que não tenhamos em estudo uma estrutura geometricamente complexa, uma estimativa dos esforços internos só pode ser

obtida de forma quantitativa com a aplicação de um método numérico de cálculo.

Cientes de que para a estrutura em questão não encontraremos expressões analíticas relativamente simples que possam ser aplicadas para a apresentação de uma solução ao problema, optamos por uma discretização da estrutura, nos termos de Alves Filho (2000), para que fosse possível abordarmos o comportamento de cada componente individualmente visando obter um entendimento do comportamento do conjunto.

Diante deste contexto, a escolha pelo MEF se justifica pela possibilidade de discretização do meio contínuo a partir dos seguintes tópicos:

- ✓ O meio contínuo é dividido em um número finito de elementos;
- ✓ Sobre o contorno destes elementos se definem pontos (os nós) para avaliar a interação de um elemento como os outros que o rodeiam e com o meio exterior;
- ✓ Os deslocamentos destes nós são as incógnitas do problema;
- ✓ Escolhe-se um conjunto de funções de interpolação para representar o campo de deslocamentos interno em termos dos seus valores nodais.

O potencial do MEF reside no fato de que todo o procedimento pode ser programado de forma que possa ser executado computacionalmente (GUZON, 2009).

# CAPÍTULO 2

**MODELANDO A ESTRUTURA NO  
SOFTWARE SAP 2000®**

O SAP 2000® é um software de análise baseado no Método dos Elementos Finitos. A versão do SAP utilizada neste trabalho foi a versão 21, pela qual se admitiu um comportamento linear-elástico para a determinação das solicitações na estrutura modelada.



Fig. 9 – Software SAP 2000® v 21.

As etapas de modelagem serão aqui denominadas passos, os quais a partir daqui descrevemos os processos:

## PASSO 1

Ao abrir o SAP 2000® v 21, clicamos em *New Model* na barra de ferramentas.

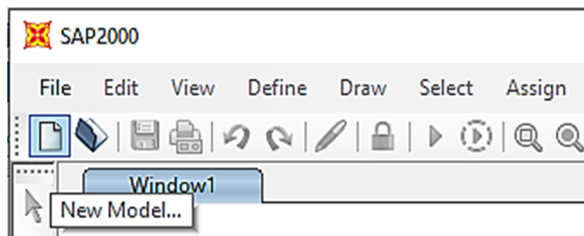


Fig. 10 – Comando *New Model*.

Na tela *New Model*, com o *Initialize Model from Default Settings* devidamente selecionado, definimos as unidades em *Default Units* como *KN, m, C* (Quilo newtons, metros, graus Célsius). Nossa intenção é a de plotar uma estrutura para suportar uma caixa d'água de 3 mil litros. Para isso, clicamos na opção *3D Frames*.

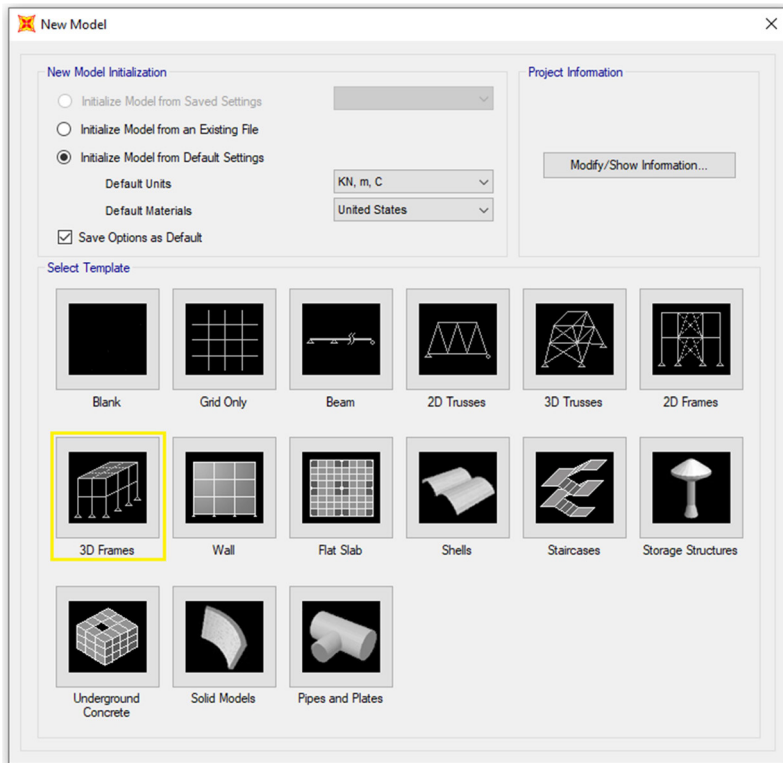


Fig. 11 - New Model.

## PASSO 2

Ao abrir a tela *3D Frame*, configuramos a estrutura modificando os valores em *Open Frame Building Dimensions* respectivamente para:

*Number of Stories* = 2

*Number of Bays, X* = 1



*Number of Bays, Y = 1*

*Story Height = 2*

*Bay Width, X = 2*

*Bay Width, Y = 2*

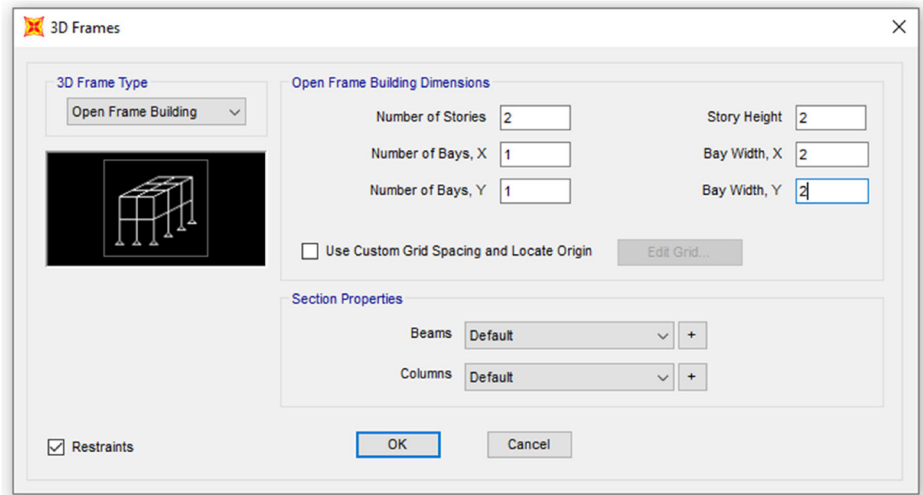


Fig. 12 - 3D Frames.

A estrutura formada automaticamente quando clicamos em *Ok* foi o modelo simplificado de nossa estrutura.

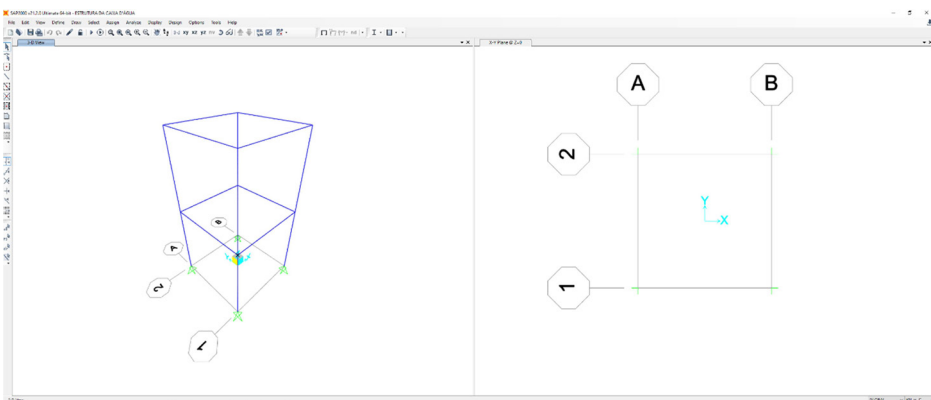


Fig. 13 - Modelo 3d da estrutura.

### PASSO 3

Neste passo definimos o tipo de material da estrutura. Neste momento, clicamos em *Define* no menu de ferramentas e depois em *Materials*.

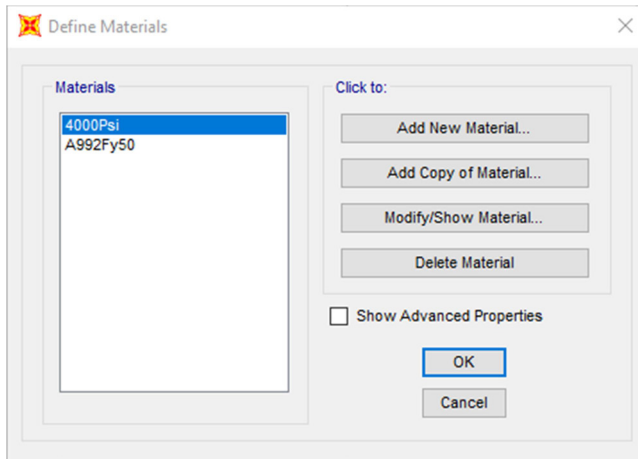


Fig. 14 - Define Materials.

A tela *Define Materials* abre, por padrão, com a caracterização dos materiais *concreto* e *aço* segundo as normatizações americanas. Para que os materiais estejam de acordo com as normas brasileiras, devemos configurá-los. Deste modo, clicamos em *Add New Material ...* para adicionarmos um novo material. Este procedimento abrirá a tela *Add Material Property*, na qual atribuímos as seguintes propriedades:

*Region = User*

*Material Type = Concrete*

Clicamos em *Ok* para confirmar.

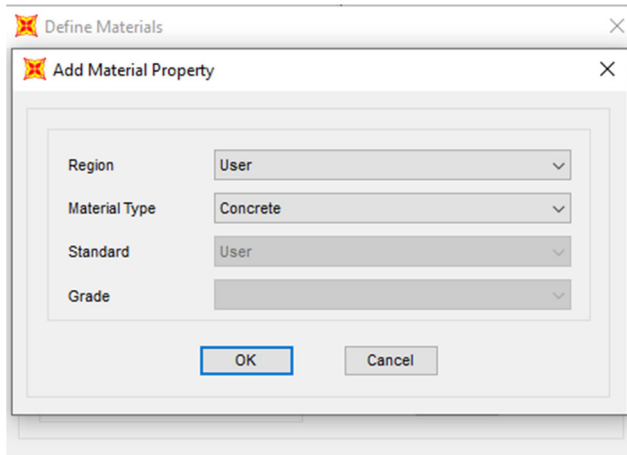


Fig. 15 – Add Material Property.

Neste momento nos foi disponibilizada a tela *Material Property Data*. Nesta tela atribuímos um nome para o material. No caso, chamamos de C25. Em seguida lhes atribuímos as seguintes configurações:

*Weight per Unit Volume* = 25 (que corresponde a 25 Mpa)

*Modulus Of Elasticity, E* = 19.600.000 (que é resultado do cálculo estabelecido no item 8 da Norma NBR 6118 em virtude do *fck* e tipo de agregado que utilizamos)<sup>1</sup>

*Poisson, U* = 0,2 (para efeito do estudo computacional não alteramos o valor em tela)

*Coefficient Of Thermal Expansion, A* = 1E-06 (para efeito do estudo computacional não alteramos o valor em tela)

*Specified Concrete Compressive Strength, f'c* = 25000 (convertido do *fck* = 25 Mpa)

*Expected Concrete Compressive Strength* = 25000 (idem)

<sup>1</sup> Na NBR 6118 temos que o módulo de elasticidade para o caso em tela nos é dado por  $E_{ci} = \alpha_i \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}} = 0,7 \times 5600 \times \sqrt{25} = 1966 \text{ Mpa} = 1,96 \times 10^7 \text{ kNm}^{-2}$

Depois que definirmos as configurações do material, clicamos em *Ok*, e passamos ao próximo passo.

### PASSO 4

Neste momento definimos os elementos das seções. Para isso selecionamos *Define* na barra de ferramentas, depois *Selection Properties*, em seguida *Frame Sections*.

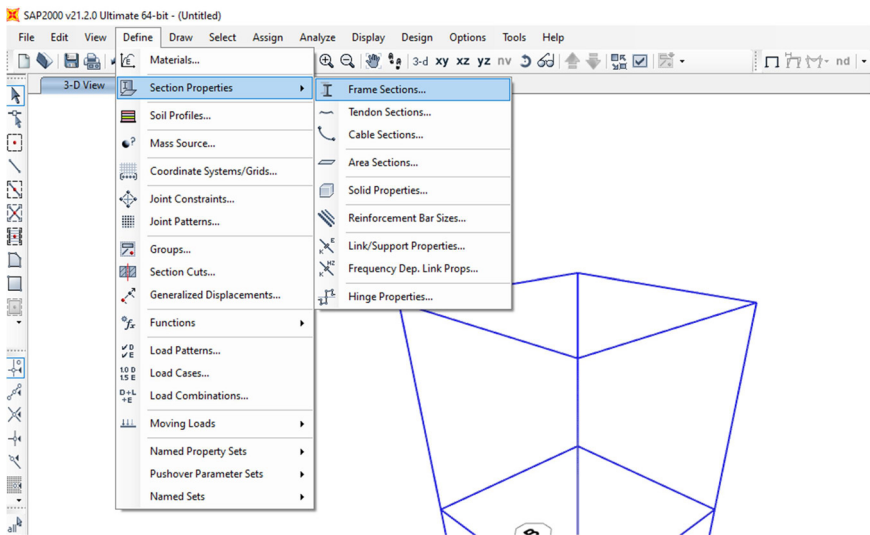


Fig. 17 – Define\_Selection Properties\_Frame Sections.

Na tela *Frame Properties* que se abre, clicamos em *Add New Property* para podermos definir as propriedades das seções.

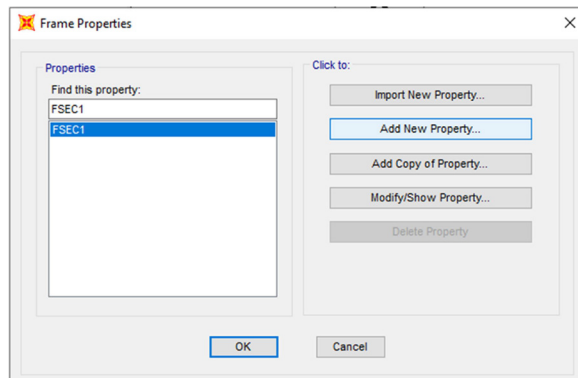


Fig. 18 – Frame Properties.

A tela que se abre é a *Add Frame Section Property*. Neste momento selecionamos em *Frame Section Type* a opção *Concrete*.

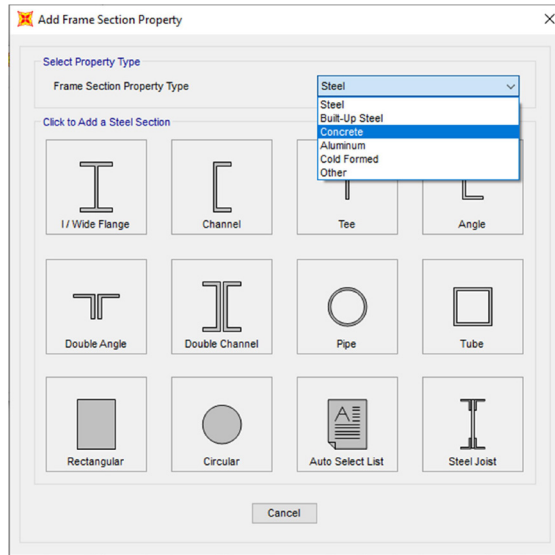


Fig. 19 – Add Frame Section Property.

A seleção desta opção nos remete à tela de escolha da configuração da geometria da seção das estruturas que serão utilizadas. Ao que escolhemos a opção *Rectangular*.

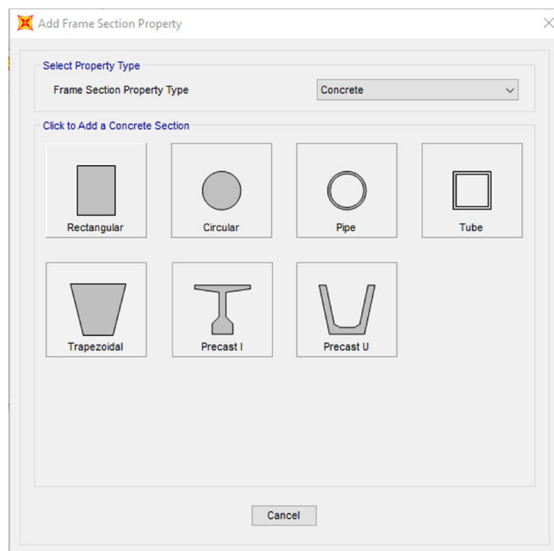


Fig. 20 – Frame Section Property Type Concrete.

Na nova tela que se abre, de denominação *Rectangular Section*, em *Section Name* nomeamos o que a configuração de seção de nossos pilares de concreto. O nome escolhido foi P30x30. Em *Dimensions* definimos em *Depth (t3)* o que viria a ser a altura da seção. Ao que lhe atribuímos o valor 0,3 (em metros). O mesmo valor foi atribuído à *Wadth (t2)* que corresponde à base da seção de 0,3 m, visto tratar-se de uma seção de forma quadrada. Observamos a esta altura que em *Material* a estrutura já estava configurada para o valor C25, como havíamos definido anteriormente. Clicamos em *Ok* ao final.

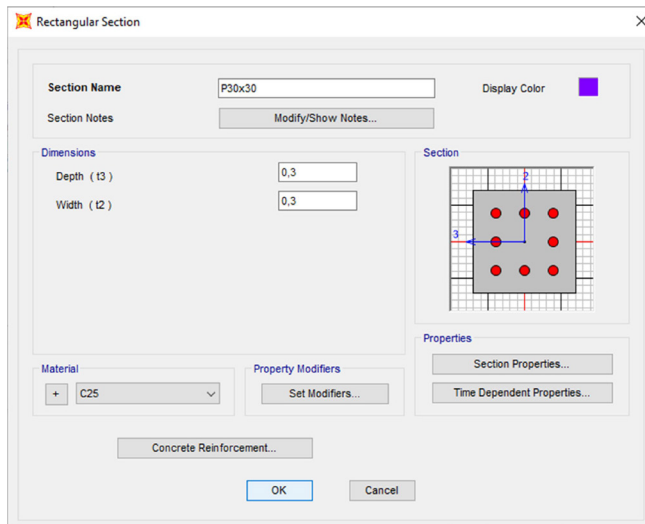


Fig. 21 - Rectangular Section Pilares.

Repetimos o processo para a configuração da seção das vigas. Selecionamos *Add New Property*, em *Frame Section Type* mantemos *Concrete* e clicamos em *Rectangular*. Em *Section Name* renomeamos a seção como V20x30, e em *Depth (t3)* atribuímos o valor 0,3 e em *Width (t2)* atribuímos o valor 0,2. A seção assumirá a forma geométrica de um retângulo de 0,2 m x 0,3 m. Clicamos em *Ok* para finalizar a configuração da seção das vigas.

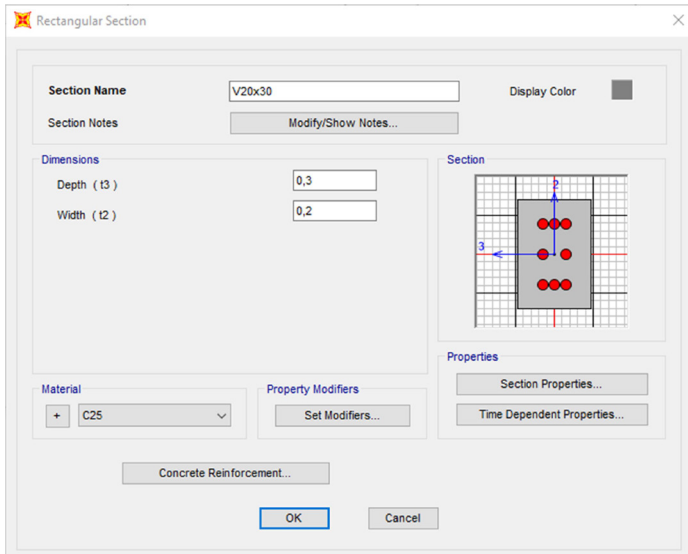


Fig. 22 – Rectangular Section Vigas.

Para finalizar este passo definimos nosso elemento de casca, isto é, nossa laje. Para isso, selecionamos *Define*, depois *Section Properties* e em seguida *Area Sections*.

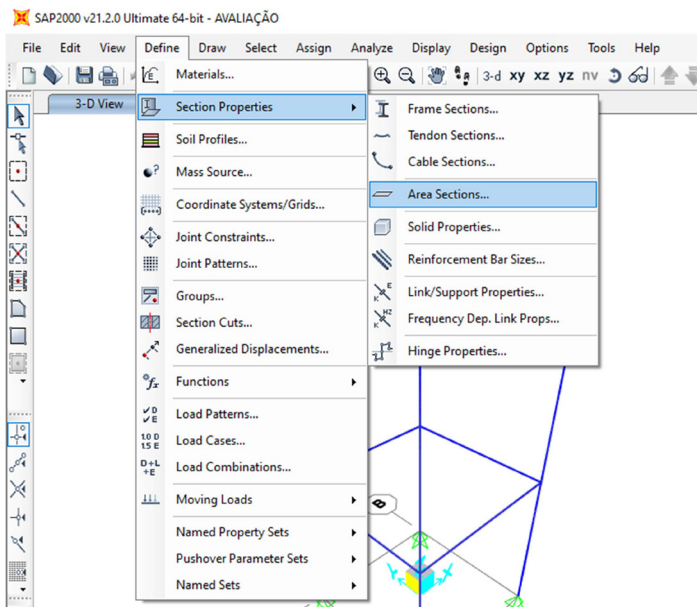


Fig. 23 – Define\_Section Propoerties\_Area Sections.

O procedimento abrirá a tela *Area Sections*, na qual definiremos nossa casca. Para isso, em *Select Section Type To Add* garantimos que seja selecionada a opção *Shell*, então clicamos em *Add New Section*.

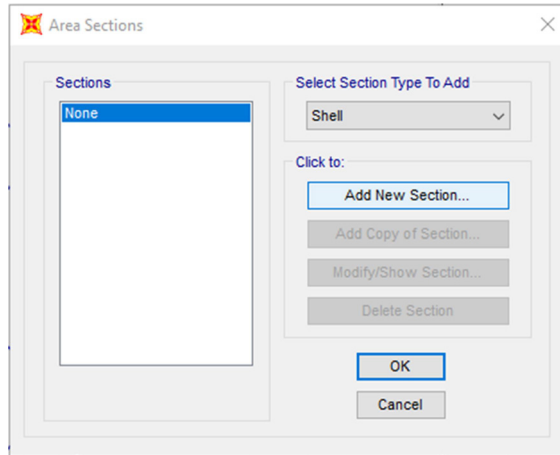


Fig. 24 – Area Section\_Shell.

Na tela aberta de nome *Shell Section Data*, e em *Section Name* nomeamos a casca por  $Lh=10$ , que significa que nossa laje, de estrutura relativamente fina, de possui 0,1 m de espessura. Esta característica também foi observada na marcação da opção *Shell – Thin* em *Type*. Em *Thickness* definimos o valor 0,1 tanto para *membrane* como para a flexão em *Deding*. Observamos que o material é o mesmo dos pilares e vigas, isto é, C25. Para finalizar clicamos em *Ok* e em *Area Sections* clicamos em *Ok* novamente.



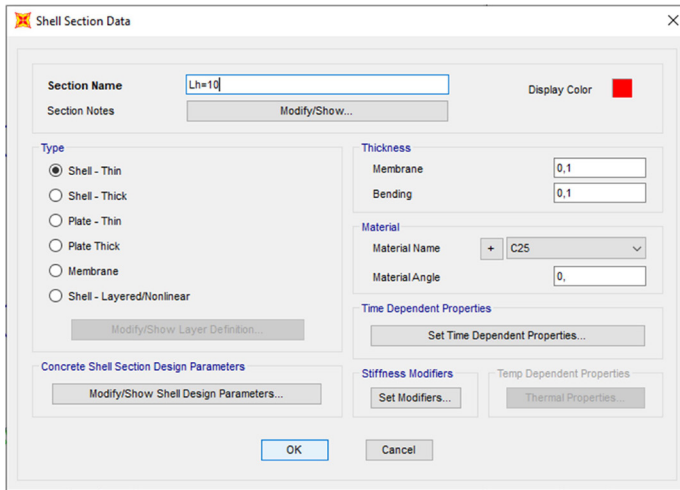


Fig. 25 – Shell Section Date\_Laje.

## PASSO 5

Neste passo definimos os carregamentos do sistema. O SAP 2000® já nos apresenta automaticamente a definição do peso próprio da estrutura. Deste modo, precisamos apenas definir as demais cargas permanente e acidental. Para isso selecionamos o item *Define* na barra de ferramentas, depois *Load Patterns*.

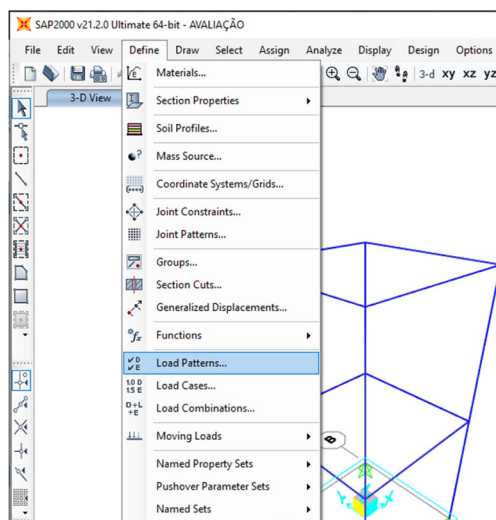


Fig. 26 – Define\_Load Patterns.

Este procedimento nos abre a tela *Define Load Patterns*. Em *Load Patterns Name* a opção de nome *Dead* já está definida, que significa que o *Peso Próprio* ou *Peso Morto* já é considerado pelo sistema. Definimos então a *Carga Permanente*, atribuindo este nome em *Load Pattern Name*, em *Type* selecionamos *Other* e em *Self Weight Multiplier* atribuímos o valor 0 para que o SAP 2000® não recalcule o peso próprio novamente para este carregamento.

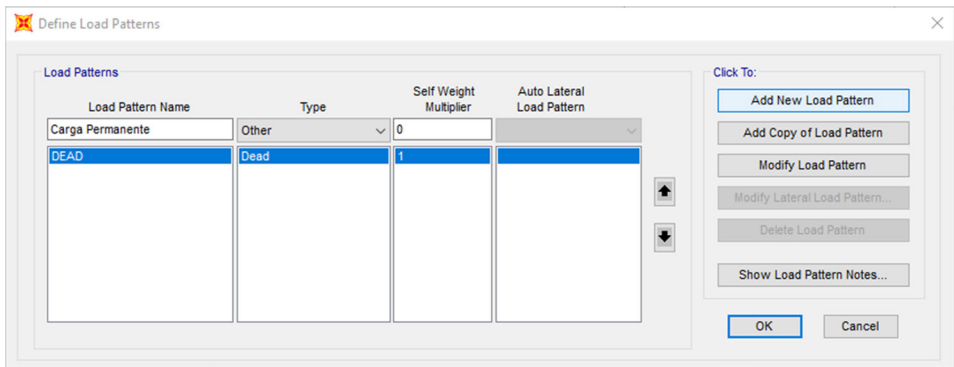


Fig. 27 – Define Load Patterns\_Carga Permanente.

Clicando em *Add New Load Pattern* o Carregamento Permanente é criado. Neste caso o que criamos é a definição para o sistema de um possível carregamento permanente, isto é, apenas um nome que o sistema reconheça.

Executamos procedimento análogo para definição do carregamento acidental. Em *Load Pattern Name* damos o nome de *Carga Acidental*, em *Type* selecionamos a opção *Other* e em *Self Weight Multiplier* atribuímos o valor 0. Clicando em *Add New Load Pattern* o Carregamento Acidental é criado. Clicamos em *Ok* para finalizar.

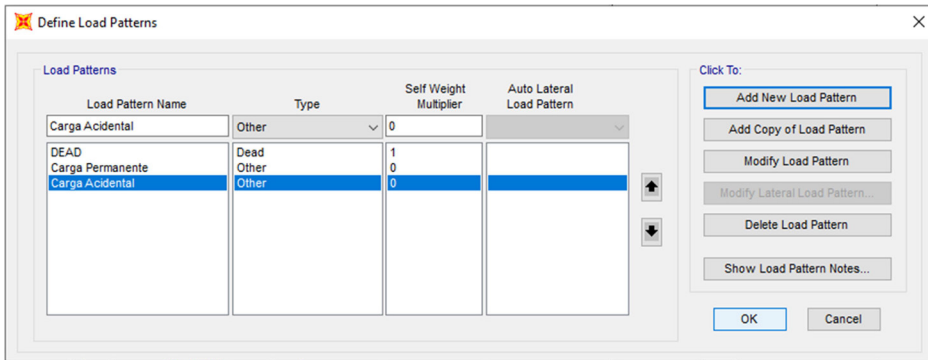


Fig. 28 – Define Load Patterns\_Carga Acidental.

Executamos procedimento análogo para definição do carregamento referente à força do vento. Em *Load Pattern Name* damos o nome de Vento, em *Type* selecionamos a opção *Live* e em *Self Weight Multiplier* atribuímos o valor 0. Clicando em *Add New Load Pattern* o Carregamento do vento é criado. Clicamos em *Ok* para finalizar.

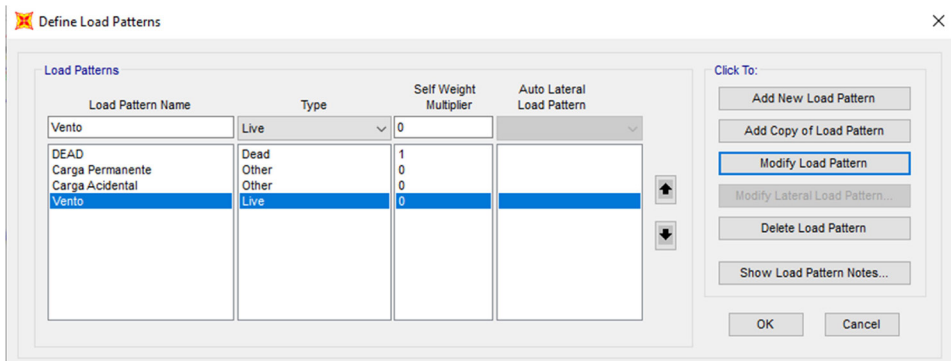


Fig. 29 – Define Load Patterns\_Carga do Vento.

## PASSO 6

Adicionadas as principais cargas que uma estrutura costuma ter, passamos a definir suas principais combinações, como por exemplo, as combinações de limite último (ELU) e combinações de limite de serviço (ELS). Para isso selecionamos na barra de ferramentas o item *Define*, depois *Load Combinations*.

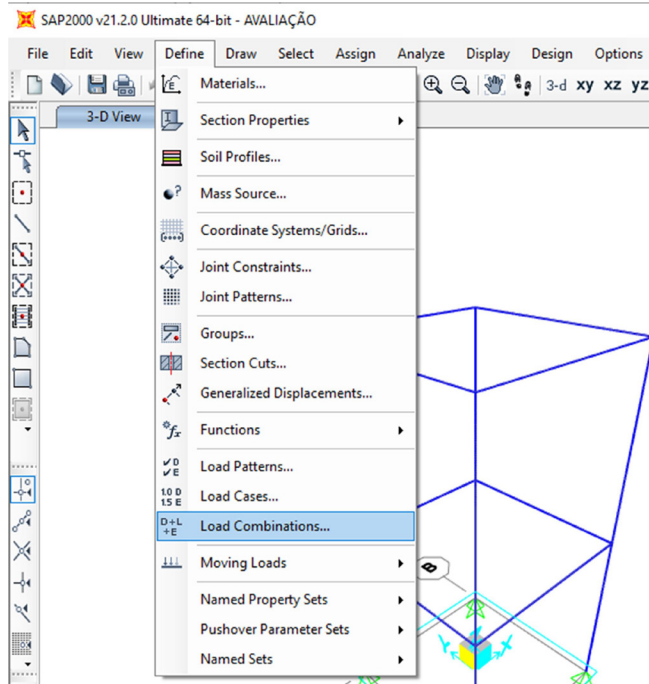


Fig. 30 – Define\_Load Combinations.

Na tela *Define Load Combinations* clicamos em *Add New Combo*.

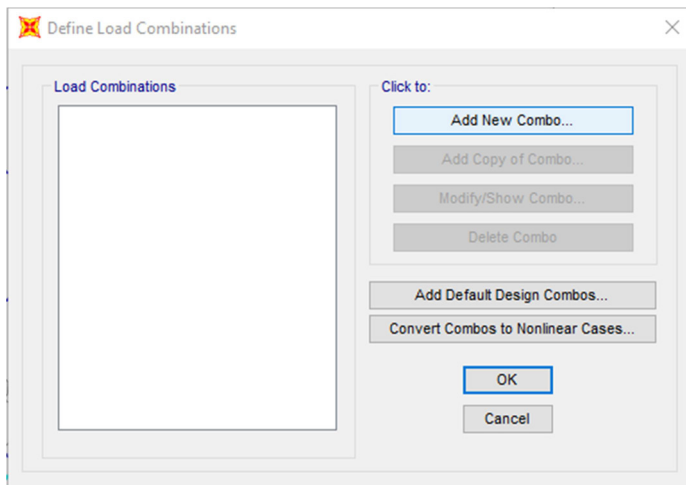


Fig. 31 – Define Load Combinations\_Add New Combo.

Este procedimento abre a tela *Load Combination Data*, onde nomeamos a combinação em *Load Combination Name* por ELU, referindo-se ao Estado Limite Último. Em *Load Case Name* definimos as cargas que participam do ELU, como o peso próprio *Dead*, que fora definido em *Load Case Type* como *Linear Static* e em *Scale Factor* com valor 1,4. Clicamos em Add para acrescentar a carga à combinação do sistema. Realizamos procedimento análogo para acrescentarmos as cargas Permanente, Acidental e Vento.

The screenshot shows the 'Load Combination Data' dialog box. The 'Load Combination Name' is 'ELU' and the 'Load Combination Type' is 'Linear Add'. The 'Options' section includes 'Convert to User Load Combo' and 'Create Nonlinear Load Case from Load Combo'. The 'Define Combination of Load Case Results' section contains a table with the following data:

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
Vento	Linear Static	1,4
DEAD	Linear Static	1,4
Carga Permanente	Linear Static	1,4
Carga Acidental	Linear Static	1,4
Vento	Linear Static	1,4

Buttons for 'Add', 'Modify', and 'Delete' are located to the right of the table. The 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom of the dialog.

Fig. 32 – Load Combination Data\_ELU.

Com essas informações o SAP 2000® é capaz de rodar as combinações de cargas caso necessitemos. Além disso, podemos modificar o fator de escala de 1,4 para outro valor se julgarmos necessário.

Passamos então à configuração da combinação para o Estado Limite de Serviço. Para isso, clicamos em *Add New Combo*, depois nomeamos a combinação como ELS, acrescentamos as cargas *Dead*, *Permanente* e *Acidental* em *Load Case Name*, atribuindo-lhes a propriedade *Load Case Type* como *Linear Static* e o *Scale Factor* com o valor 1, 1 e 0,3

para as cargas respectivamente. Acrescentamos cada uma clicando em *Add* e finalizamos clicando em *Ok*.

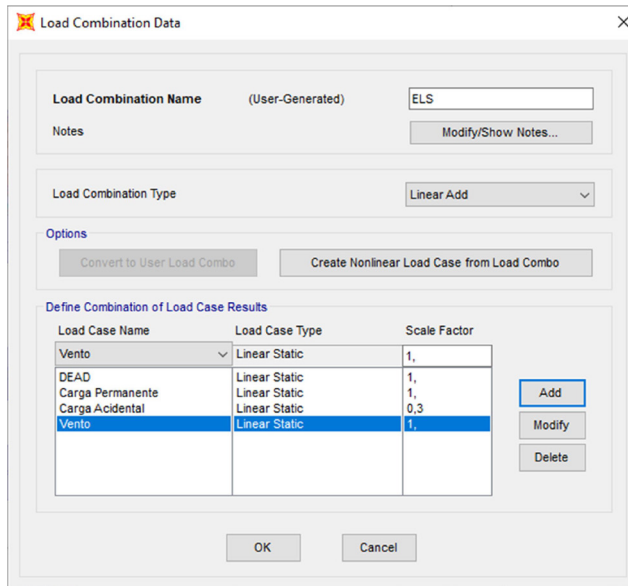


Fig. 33 - Load Combination Date\_ELS.

## PASSO 7

Devidamente definidos os elementos estruturais e suas propriedades passamos ao processo efetivo de modelagem. Iniciamos pelos pilares, clicando no ícone *Draw Frame/Cable* na barra lateral à esquerda.

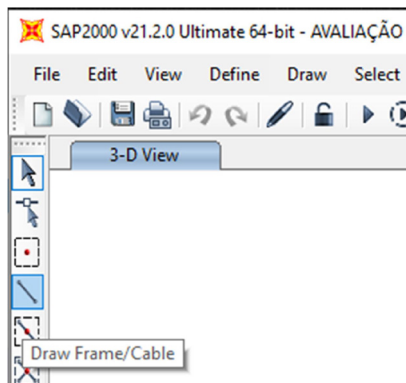
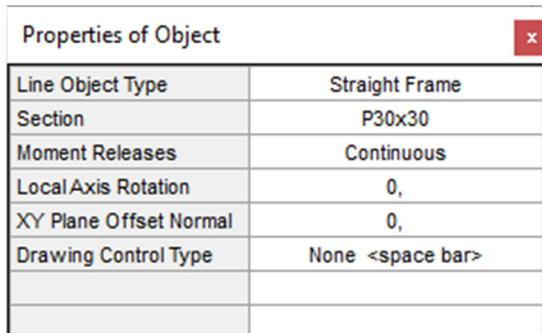


Fig. 34 - Draw Frame/Cable.

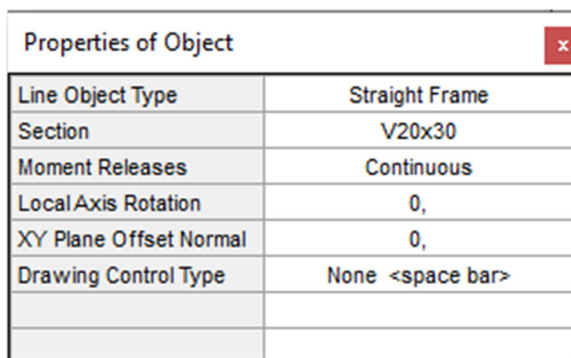
Este comando abrirá a tela *Properties of Object*, na qual selecionamos a opção P30x30 em Section para modelarmos nossos pilares. Neste momento tomamos o cuidado para selecionarmos com esta propriedade apenas os pilares, clicando com o botão esquerdo do mouse de nó em nó da base até o topo de cada pilar, dando um duplo clique para finalizar cada pilar.



Properties of Object	
Line Object Type	Straight Frame
Section	P30x30
Moment Releases	Continuous
Local Axis Rotation	0,
XY Plane Offset Normal	0,
Drawing Control Type	None <space bar>

Fig. 35 - Properties of Object\_P30x30.

Analogamente modelamos as vigas de sustentação dos pilares e de apoio da laje. Selecionamos novamente *Draw Frame/Cable* na barra lateral à esquerda e na tela *Properties of Object* selecionamos V20x30 em Section.



Properties of Object	
Line Object Type	Straight Frame
Section	V20x30
Moment Releases	Continuous
Local Axis Rotation	0,
XY Plane Offset Normal	0,
Drawing Control Type	None <space bar>

Fig. 36 - Properties of Object\_V20x30.

Modelamos então as vigas.

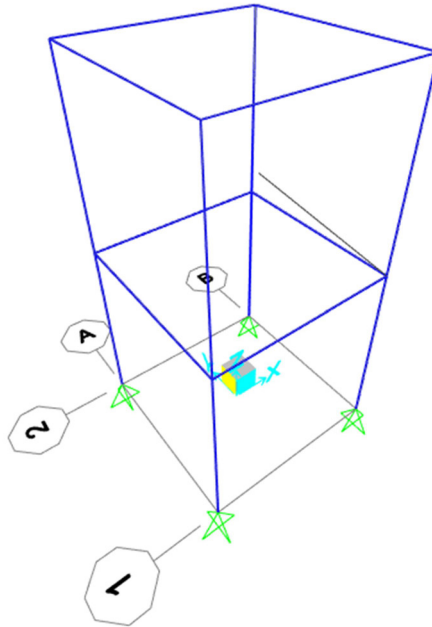


Fig. 37 - Modelando as vigas.

Modelados os pilares e vigas faltava-nos lançarmos a laje. Existem muitas formas de se modelar essa estrutura da laje. Contudo, nos foi conveniente prático utilizarmos a opção *Draw Rectangular Area* que se localiza na barra lateral à esquerda.

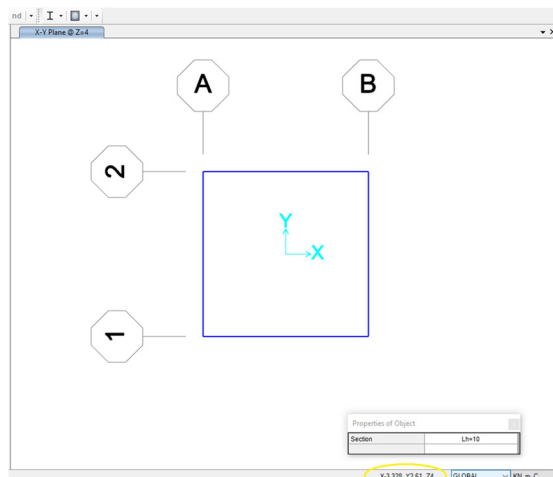


Fig. 38 - Properties of Object\_Lh=10.



Neste ponto é importante destacar que para uma boa modelagem, ativamos a tela secundária e selecionamos o nível Z4 para construção da laje. Em *Properties of Object* vemos que a única opção disponível para *Section* é a configuração  $Lh = 10$ , pois esta é a única configuração de casca que definimos. Clicamos em um no vértice do quadrado e arrastamos até o nó diagonalmente oposto. Observemos a imagem com a indicação característica de aplicação da casca ao modelo da estrutura.

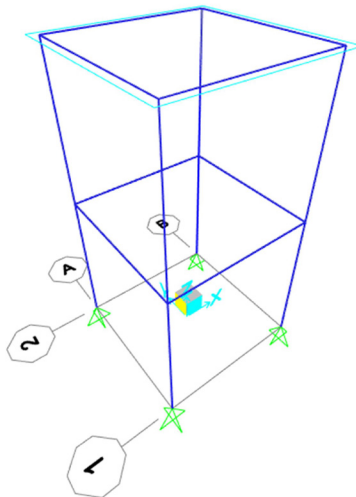


Fig. 39 - Modelagem da Estrutura de Suporte da Caixa D'Água.

## PASSO 8

Uma vez modelada a laje, devemos atribuir uma malha a ela. Para isso clicamos sobre a laje com o ícone *Set Select Mode* ativo e a mesma nos apresenta uma marcação tracejada, indicando estar pronta para que possamos definir a malha.

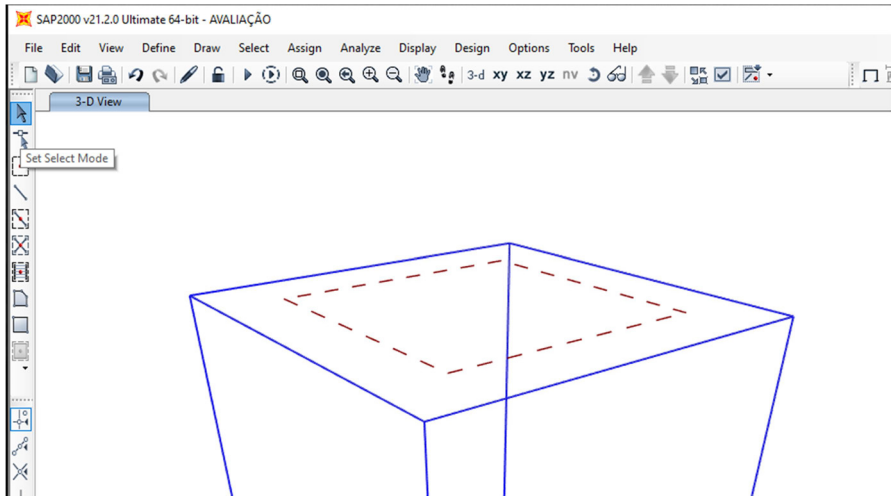


Fig. 40 – Seleção da laje para configuração da malha.

Na barra de ferramentas clicamos em *Edit*, depois *Edit Areas* e então em *Divide Areas*.

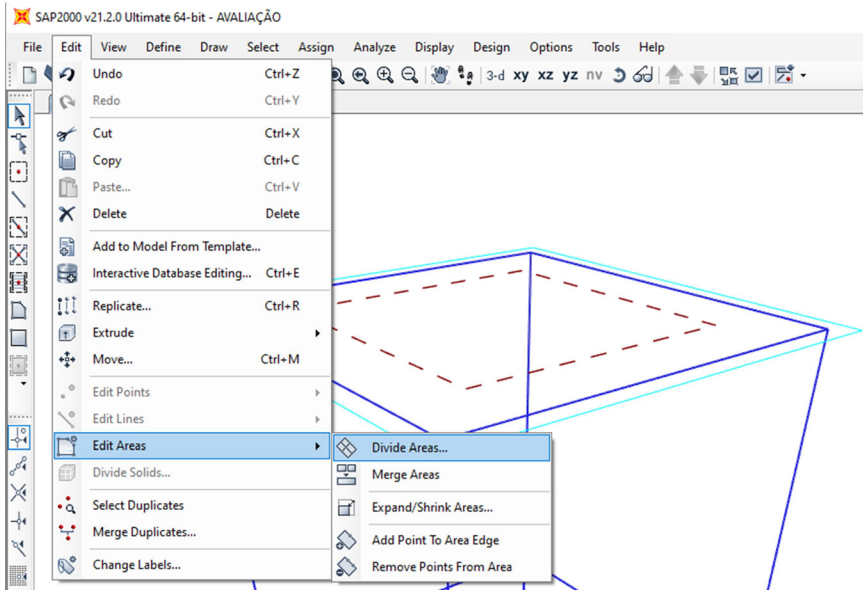


Fig. 41 – Edit\_Edit Areas\_Divide Areas.

A tela aberta foi *Divide Selected Areas*, na qual definimos em *Divide Options* a opção *Divide Area into Objects of This Maximum Size*, em que atribuímos os valores 0,25 e 0,25, respectivamente, aos itens

Along Edge from Point 1 to 2 e 1 to 3. Clicamos em *Apply* para aplicar e *Ok* para finalizar o comando.

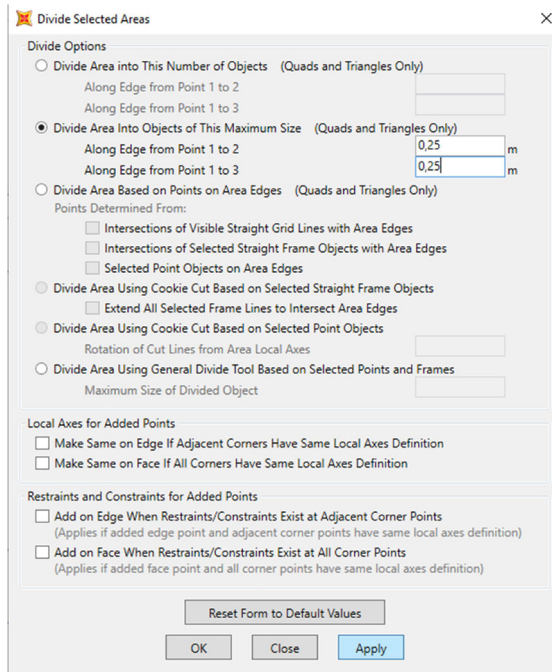


Fig. 42 – Divide Selected Areas.

O resultado é uma laje com subdivisões de área em que definimos uma grande quantidade de nós que nos auxiliarão na observação do comportamento da laje.

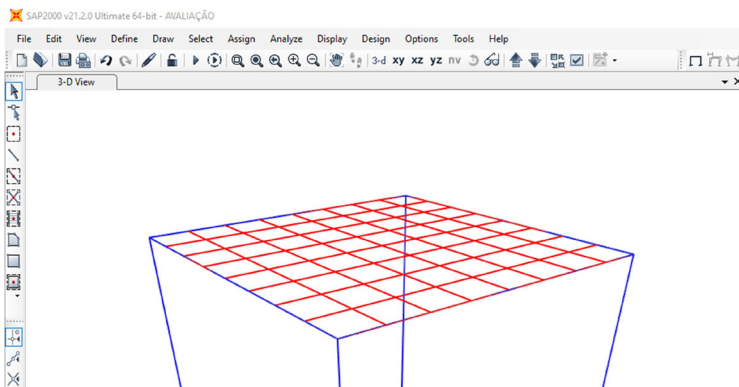


Fig. 43 – Subdivisões da laje.

## PASSO 9

Uma questão que levantamos nesta fase é: como podemos visualizar essa estrutura de modo encorpado? Pois o que víamos até então era uma estrutura de elementos lineares. Para solucionar a questão, selecionamos *Set Display Options* na barra de ferramentas.



Fig. 44 – Set Display Options.

Na tela que se abre selecionamos a aba *General Options* e em *View Type* clicamos em *Extrude*, depois em *Apply* e *Ok* para finalizar.

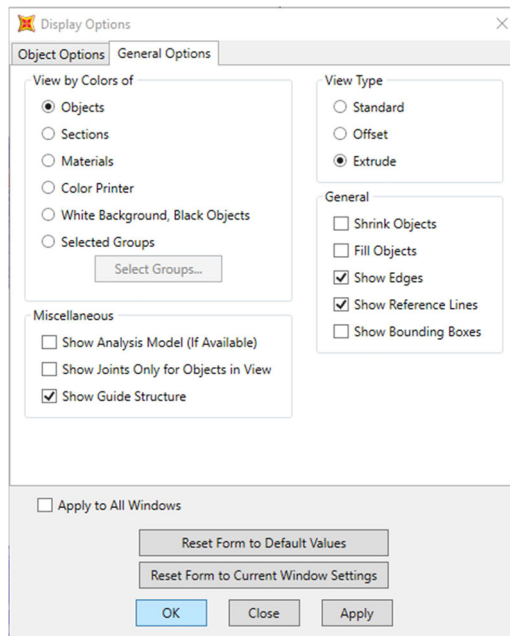


Fig. 45 – Display Options\_Extrude.

Com a extrusão observamos que a estrutura formada possui alguns ajustes a serem feitos, dentre os quais: 1) A estrutura está organizada pelo eixo central de cada elemento; 2) As seções da laje precisam ser redefinidas, pois as barras não estão ajustadas de acordo com os nós da laje; 3) A armadura das vigas e pilares estão definidas para o material aço e precisam estar definidas para o concreto C25, conforme descrevemos inicialmente; e 4) Definir os gêneros de apoio dos pilares e da laje sobre as vigas que a sustentam. O próximo passo será o de ajuste dessas inconsistências de modelagem.

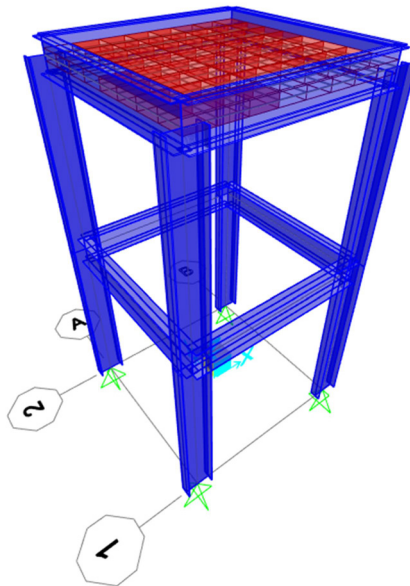


Fig. 46 - Extrusão da estrutura para ajustes.

## PASSO 10

Para ajustar as vigas de sustentação da laje ao nível do topo dos pilares, primeiro selecionamos a laje.

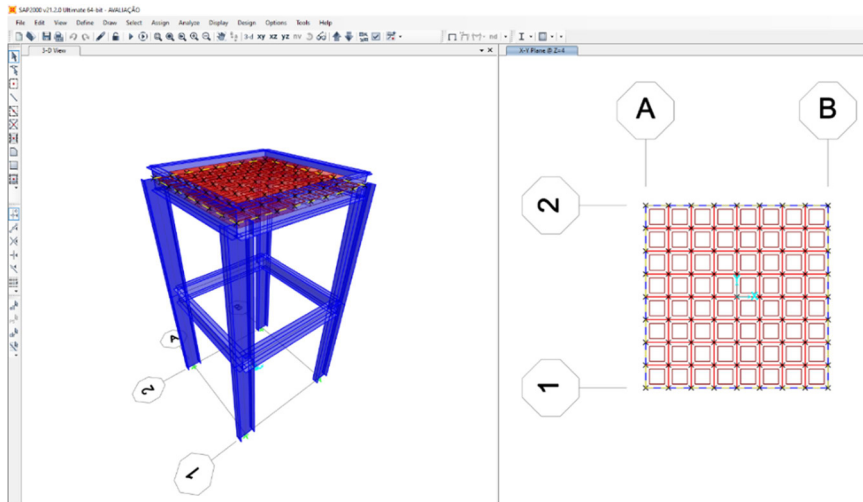


Fig. 47 - Seleção da laje.

Depois clicamos em *Assign*, depois área e em seguida *Area Thickness Overwrites (Shells)*.

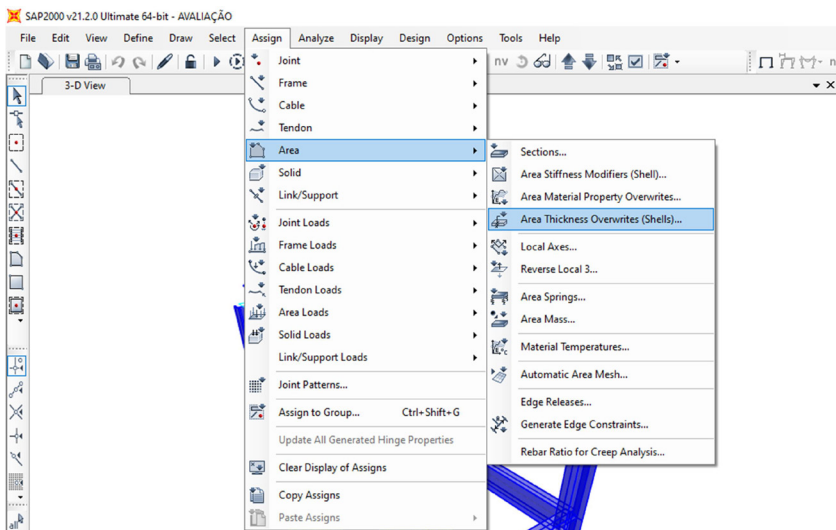


Fig. 48 - Assign\_Area\_Area Thickness Overwrites (Shells).

Esta seleção abrirá a tela *Assign Area Thickness and Joint Offset Overwrites*, onde selecionamos a opção *User Defined Joint Offsets Specified by Points*. Em *Joint Offset* atribuiremos o valor -0,05, que nos indicará que a laje será rebaixada de 0,05m. Aplicamos esta configuração para cada vértice do quadrado da laje, indicando para isso o valor -0,05 para cada valor de *Point Number*. Ao final clicamos em *Apply* para confirmar a modificação, depois em *Ok* para finalizar.

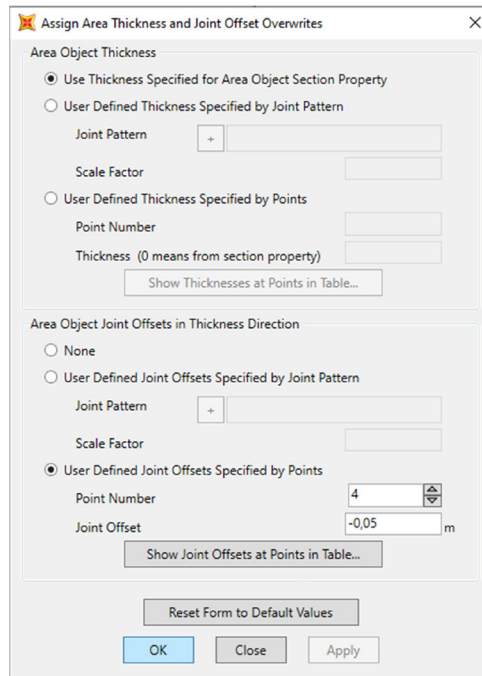


Fig. 49 - Assign Area Thickness and Joint Offset Overwrites.

Para o rebaixamento da viga de sustentação da laje clicamos em *Assign*, depois *Frame* e então em *Insertion Point*.

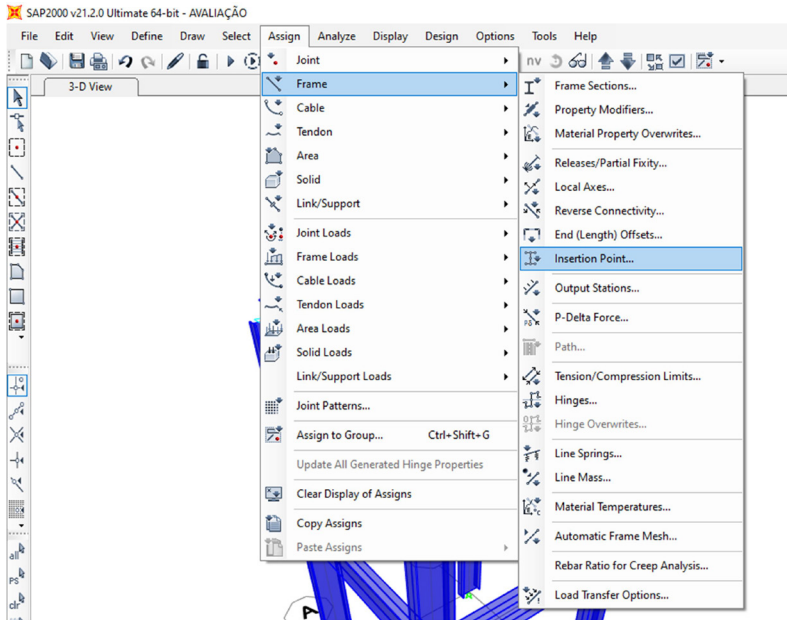


Fig. 50 – Assign\_Frame\_Insertion Point.

Na tela *Assign Frame Insertion Point* definimos em *Cardinal Point* a opção 8 (top Center), que plotará nossa estrutura de vigas ajustadas ao topo dos pilares.

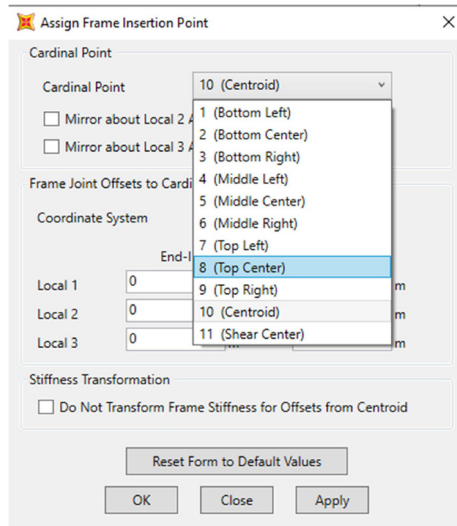


Fig. 51 - Assign Frame Insertion Point.



Clicamos em *Apply* para confirmar a configuração e em *Ok* para finalizar. Observemos que a laje ficou bem ajustada.

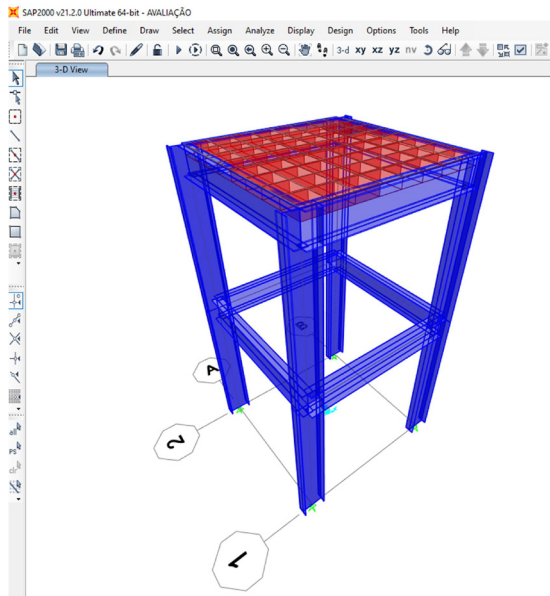


Fig. 52 – Laje ajustada.

O próximo processo foi o de ajustamento das barras de cordo com os nós da laje. Para isso selecionamos a laje, e na barra de ferramentas clicamos em *Edit*, depois *Edit Lines* e em seguida *Divide Frames*.

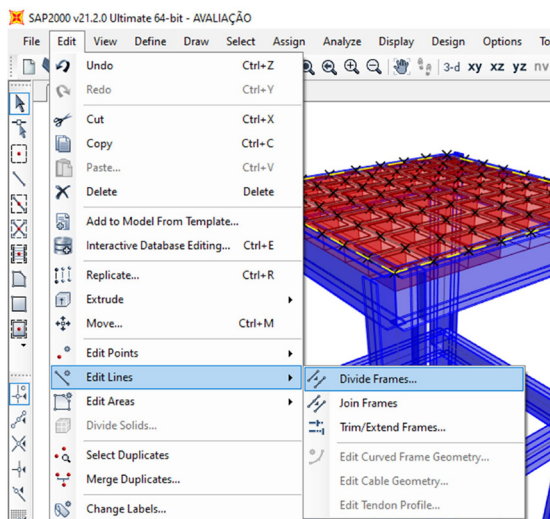


Fig. 53 – Edit\_Edit Lines\_Divide Frames.

Esta seleção abrirá a tela *Divide Selected Frames*. Nesta tela selecionamos o item *Break at Intersection with Selected Joints, Straight Frames, Area Edges and Solid Edges*.

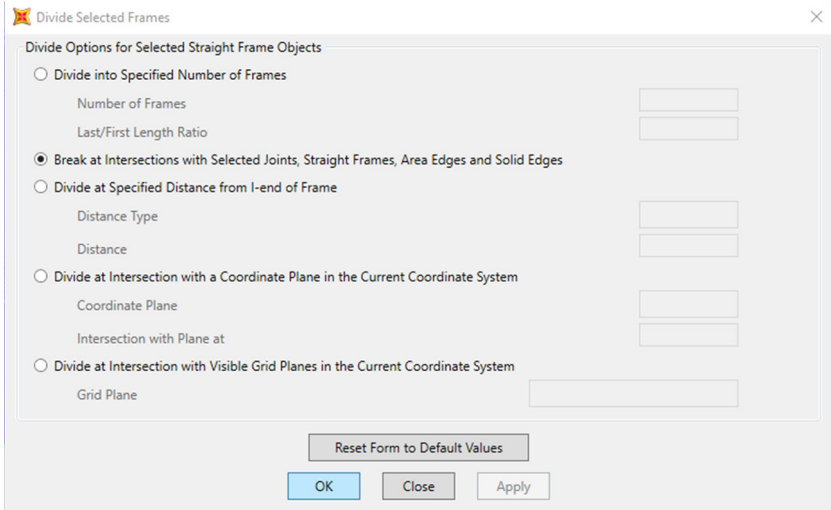


Fig. 54 – Divide Selected Frames.

Esta configuração garante que cada nó da seção também seja um nó em nossas vigas.

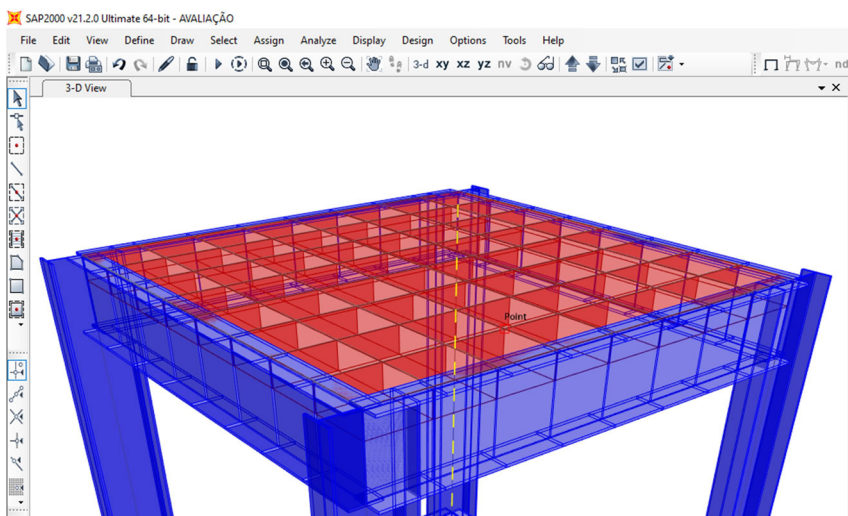


Fig. 55 – Malha da laje configurada.

Agora o processo foi o de definir nossa estrutura de pilares, vigas e laje em concreto C25. Para isso, selecionamos primeiramente as vigas de sustentação da laje, clicamos na barra de ferramentas em *Assign*, depois *Frame* e então *Frame Sections*.

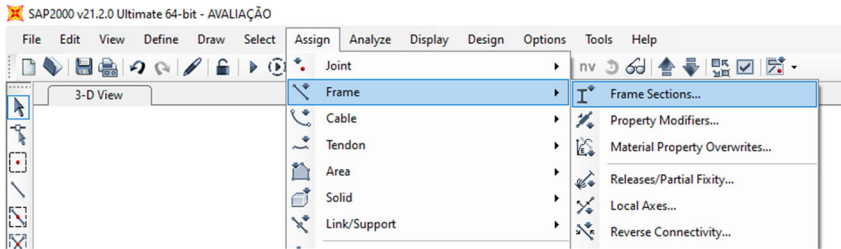


Fig. 56 – Assing\_Frame\_Frame Sections.

Na tela *Assign Frame Sections* que se abre selecionamos a opção V20x30 que corresponde ao material e seção de nossas vigas, depois clicamos em *Apply* para confirmar e em *Ok* para finalizar.

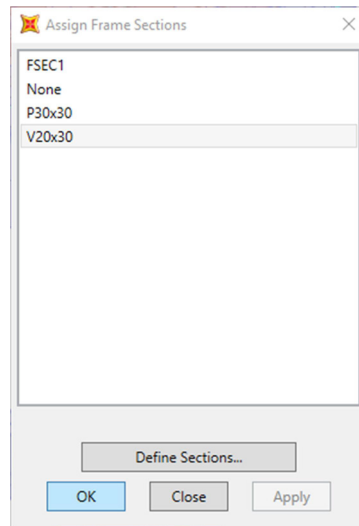


Fig. 57 – Assing Frame Sections\_Vigas de Suporte Laje.

Procedimento semelhante é empregado para as vigas de suporte dos pilares. O resultado foi o seguinte:

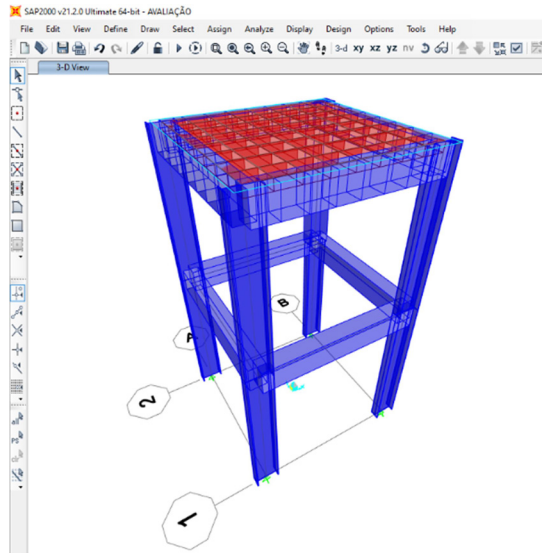


Fig. 58 – Configuração das vigas de concreto\_V20x30.

Para ajuste dos pilares os selecionamos e clicamos na barra de ferramentas em *Assign*, depois *Frame* e então *Frame Sections*.

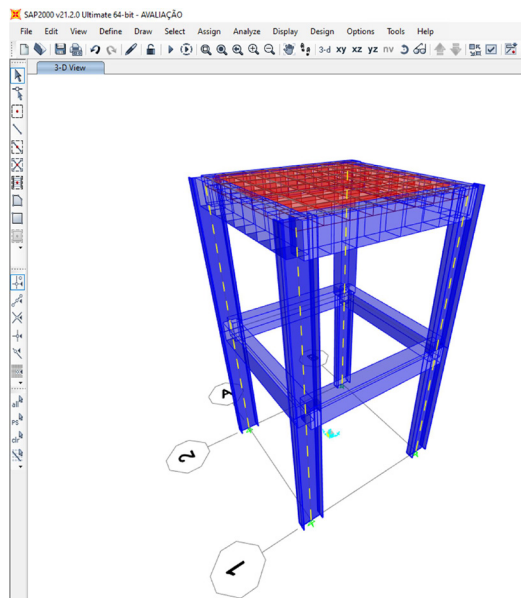


Fig. 59 – Seleção dos pilares.

Na tela *Assign Frame Sections* que se abre selecionamos a opção P30x30 que corresponde ao material e seção de nossos Pilares, depois clicamos em *Apply* para confirmar e em *Ok* para finalizar.

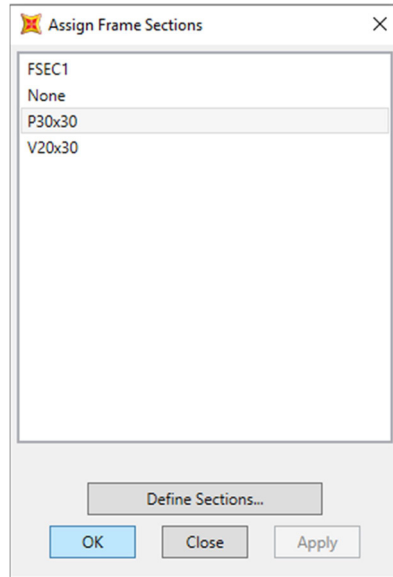


Fig. 60 – Assing Frame Sections\_Pilares.

O resultado obtido foi.

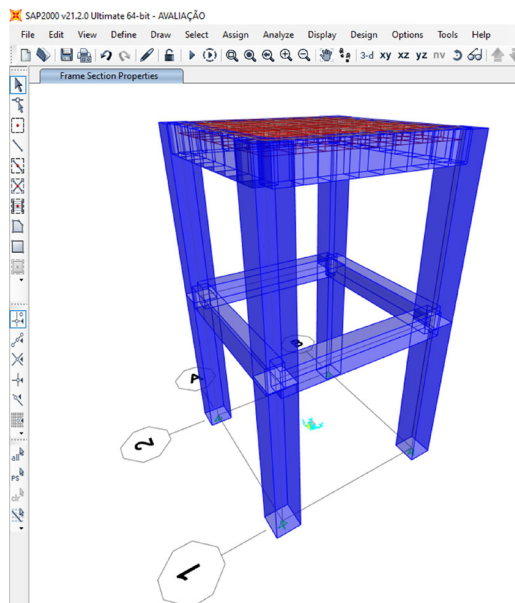


Fig. 61 – Pilares configurados.

Por último precisamos definir os apoios dos pilares da laje sobre as vigas. Para os apoios dos pilares, selecionamos as bases dos dos pilares no nível Z0.

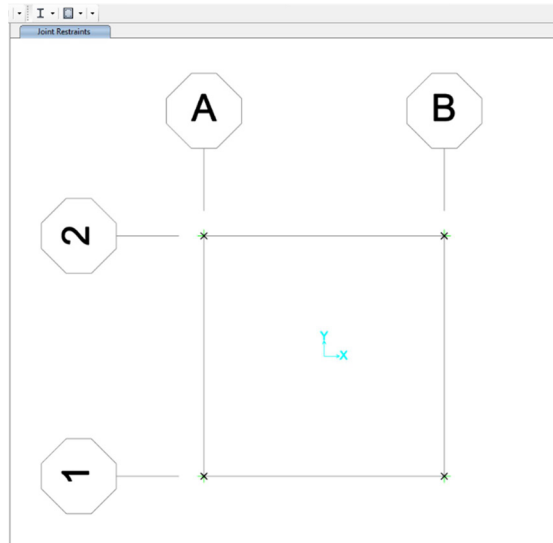


Fig. 62 – Seleção das bases dos pilares.

Na barra de ferramentas acionamos *Assign, Joint, Restraints*.

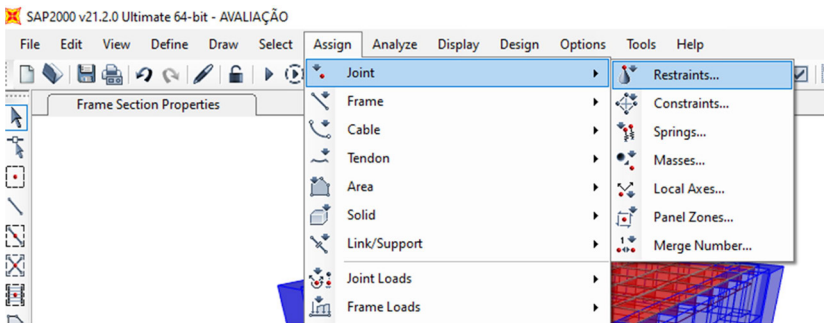


Fig. 63 – Assign\_Joint\_Restraints.

Na janela *Assign Joint Restraints* marcamos as opções de fixação de translações e clicamos em *Fixed* para indicar apoios para nossos pilares. Clicamos em *Apply* e *Ok* para finalizarmos o comando.

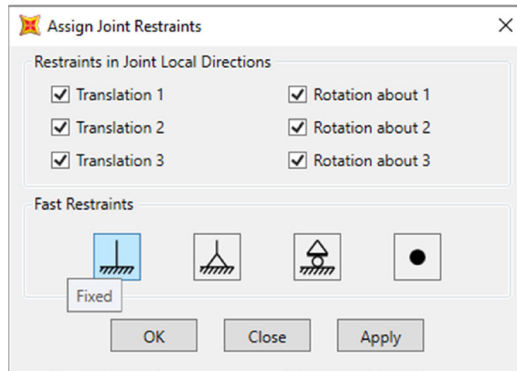


Fig. 64 – Configuração dos apoios dos pilares.

Para os apoios da laje sobre as vigas selecionamos as bordas da laje em Z4.

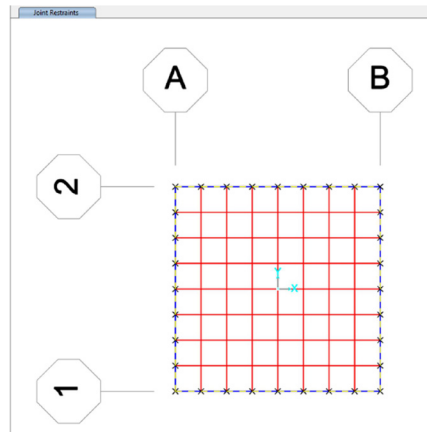


Fig. 65 – Seleção das bordas da laje.

Selecionamos então a janela *Assign Joint Restraints* e marcamos as opções de fixação de translações e clicamos em *Pinned* para indicar apoios de primeiro gênero para nossa laje. Clicamos em *Apply* e *Ok* para finalizarmos o comando.

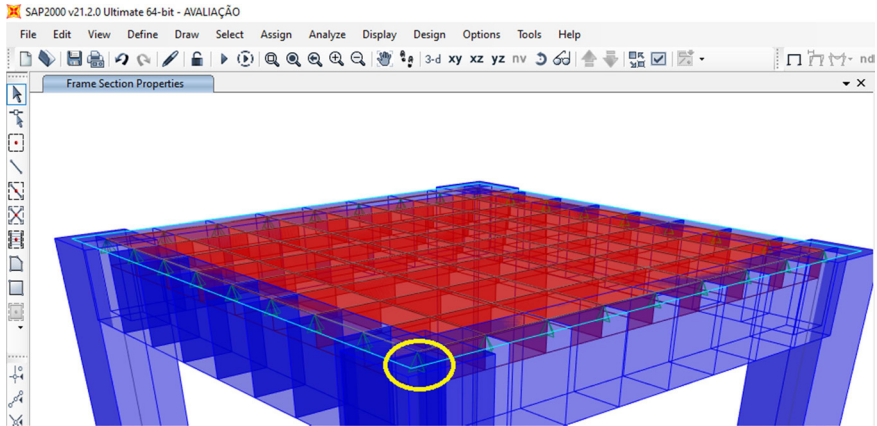


Fig. 66 – Apoios de primeiro gênero da laje definidos.

## PASSO 11

Com nossa estrutura devidamente modelada, precisamos lançar as cargas sobre ela. Para isso, selecionamos a laje arrastando o mouse com o botão esquerdo acionado. Na barra de ferramentas clicamos em *Assign*, depois *Area Loads* e então em *Uniform (Shell)*.

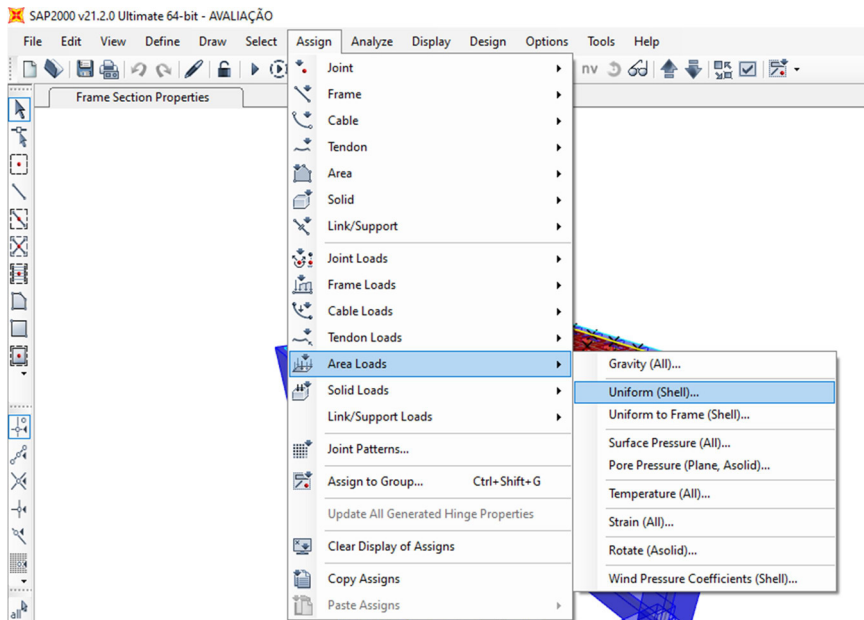


Fig. 67 – Assign\_Area Loads\_Uniform (Shell).



Na tela *Assign Area Uniform Loads*, selecionaremos a opção *Carga Permanente* em *Load Pattern*, *GLOBAL* em *Coordinate System*, visto tratar-se de uma carga distribuída sobre a laje, e em *Load Direction* selecionaremos *Gravity*, visto que a carga é vertical para baixo, isto é, no sentido da gravidade. Em *load* atribuímos o valor do somatório de todas as cargas que poderiam incidir sobre a estrutura, isto é, o peso da água da caixa d'água, o peso da caixa d'água e o peso dos trabalhadores e suas ferramentas de manutenção. Este somatório é dado por:

$$\begin{aligned} Cg &= P + P_{cxa} \\ Cg &= 30 \text{ kN} + 0,547 \text{ kN} \\ Cg &= 30,547 \text{ kN} \end{aligned}$$

Como a área da base da laje é de  $4 \text{ m}^2$ , tem-se:

$$\text{Load} = \frac{30,547 \text{ kN}}{4 \text{ m}^2} \cong 7,64 \text{ kNm}^{-1}$$

Definidos estes valores e configurações clicamos em *Apply* e depois em *Ok* para finalizar.

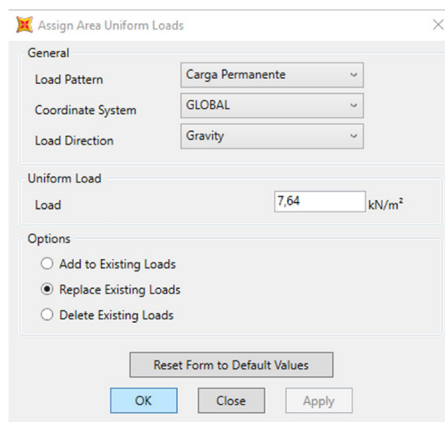


Fig. 68 – Lançamento da carga permanente.

Observemos que as cargas aparecem definidas sobre a laje indicando para o eixo Z o valor  $-7,64 \text{ kNm}^2$ .

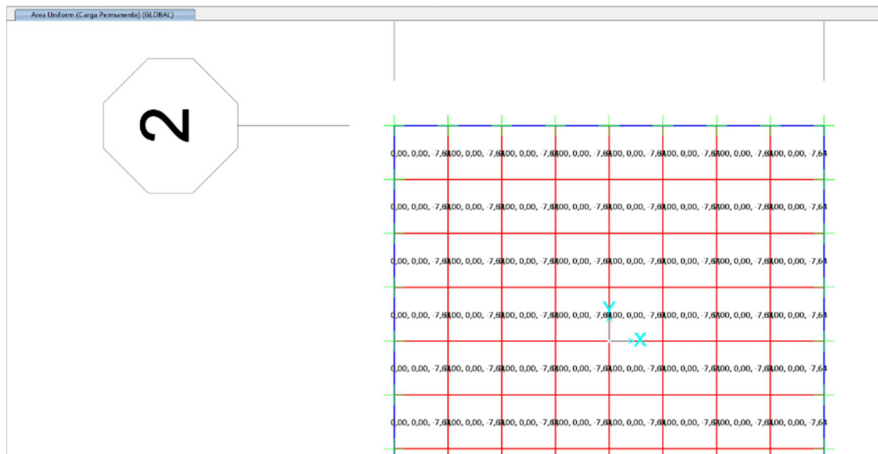


Fig. 69 – Carga distribuída sobre a laje.

Essa informação da atribuição das cargas também pode ser observada clicando-se com o botão direito do mouse sobre uma das subáreas da laje. Esta ação abrirá a tela *Object Model – Area Information*, em que clicamos na aba *Loads* para visualizar a informação sobre a carga aplicada sobre a laje.

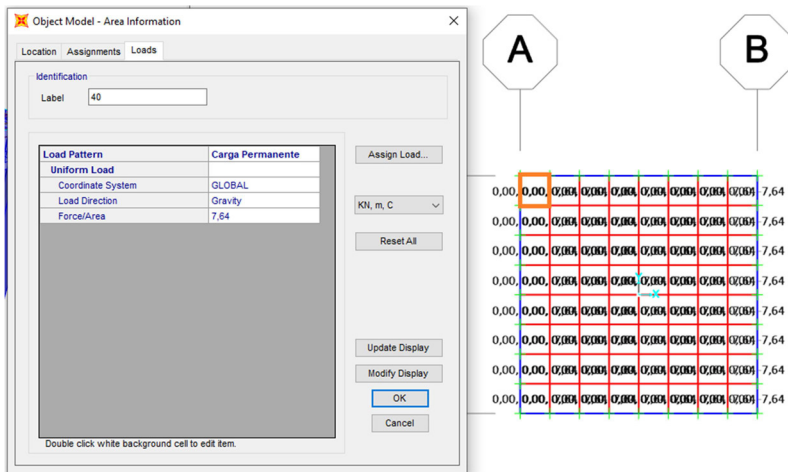


Fig. 70 – Object Model – Area Information.

Outra forma interessante de visualizar essas cargas é desabilitando o *Extrude* e acionando na barra de ferramentas o ícone *Show Area Loads*.

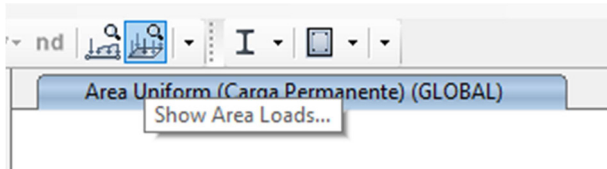


Fig. 71 - Show Area Loads.

Esta opção abrirá a tela *Show Area Load*, onde selecionamos *Carga Permanente* em *Load Pattern Name*, e em *Load Type* selecionamos *Uniform Loads Contours*, em que ativamos *GLOBAL* em *Coord System* e *Gravity* em *Direction*.

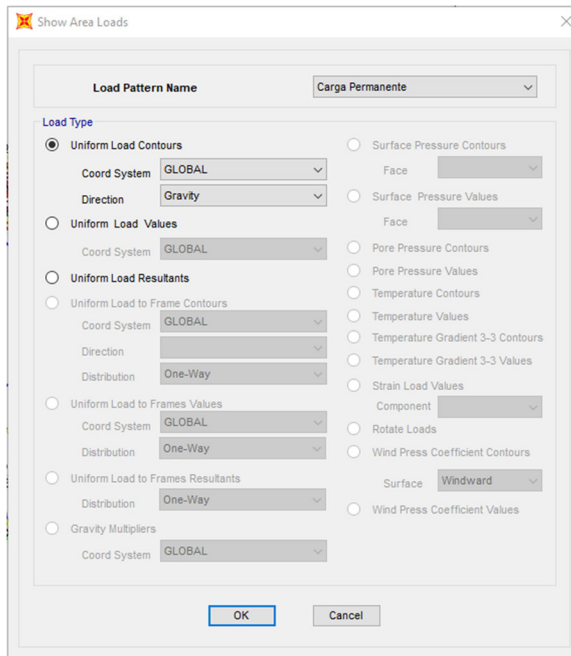


Fig. 72 - Show Area Loads\_Carga Permanente.

Clicamos em *Ok* para finalizar e visualizar o resultado.

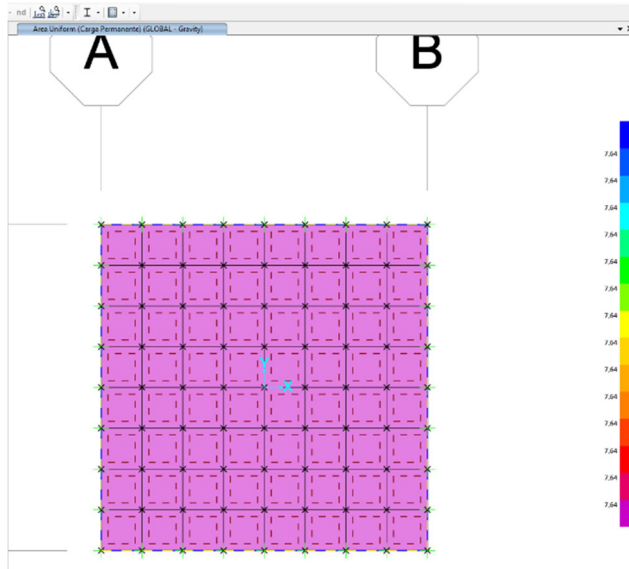


Fig. 73 – Atributo de Carga Permanente da laje.

Neste momento passamos à tarefa de atribuir a carga distribuída accidental à estrutura. Para isso, selecionamos a laje novamente, clicamos em *Assign*, depois *Area Loads*, e então em *Uniform (Shell)*. Na tela *Assign Area Uniform Loads* definimos *Carga Permanente* para *Load Pattern*, *GLOBAL* para *Coordinate System* e *Gravity* para *Load Direction*. Em *Load* atribuímos o valor da carga por metro quadrado referente ao peso dos homens e ferramentas de manutenção da caixa d’água. O valor a ser definido será:

$$C_q = \frac{P_h}{4m^2}$$

$$C_q = \frac{2,4kN}{4m^2}$$

$$C_q = 0,6kNm^{-2}$$

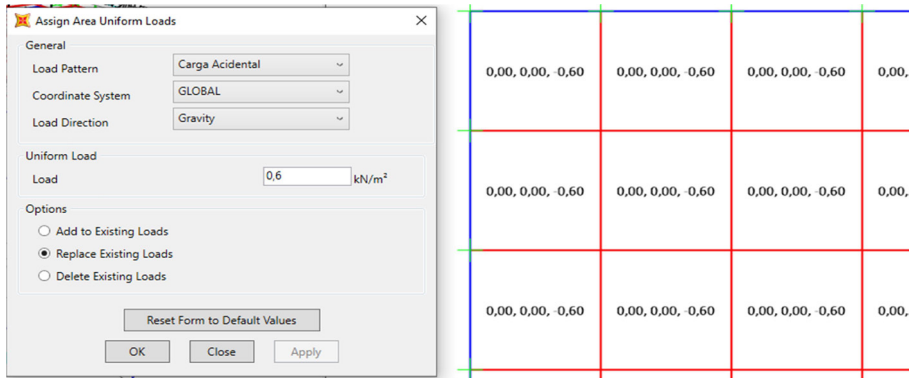


Fig. 74 – lançamento da carga acidental.

Para verificar a carga acidental clicamos em *Show Area Loads*, selecionamos *Carga Acidental* em *Load Pattern Name* e configuramos *Coord System* para *GLOBAL*, *Direction* para *Gravity* e clicamos em *Ok* para finalizar.

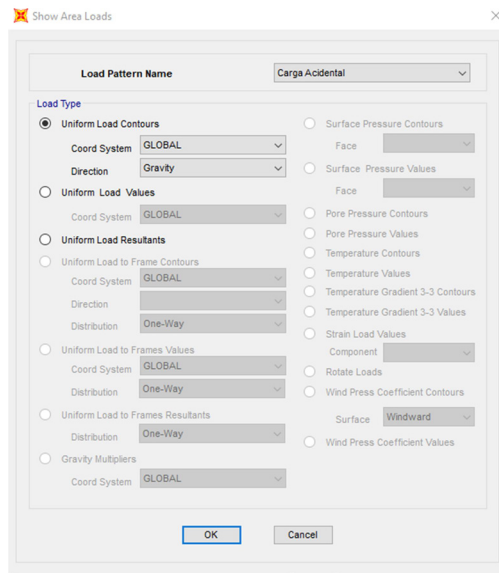


Fig. 75 - Show Area Loads\_Carga Acidental.

Obtemos o seguinte resultado.

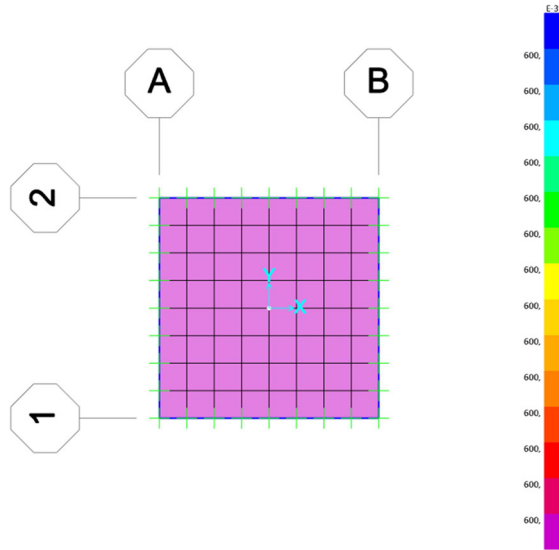


Fig. 76 - Atributo de Carga Acidental da laje.

Atribuímos agora a carga de arrasto do vento à estrutura. Para isso, selecionamos os elementos da face da estrutura que receberão o atributo vento e na barra de ferramentas selecionamos *Assign*, depois *Frame Loads* e então *Distributed*.

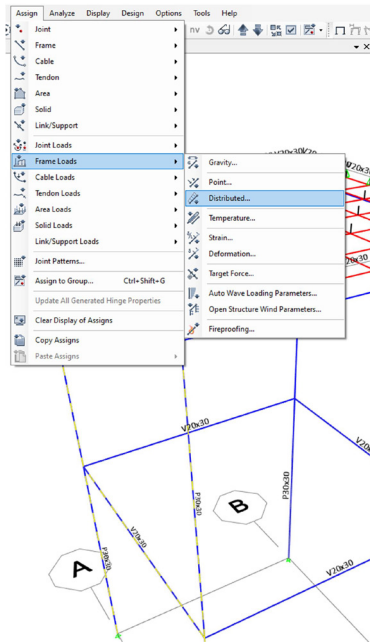


Fig. 77 – Assign\_Frame Loads\_Dristibuted.

Na tela *Assign Frame Dristibuted Loads* que se abre, configuramos *Load Pattern* com a opção *Vento*, *Coordinate System* como *GLOBAL*, *Load Direction* como *Y*, *Load Type* como *Force* e em *Uniform Load* atribuímos a força do vento que calculamos inicialmente, isto é, o valor de  $2,01359 \text{ kN}$ . Clicamos em *Apply* e em *Ok* para finalizar.

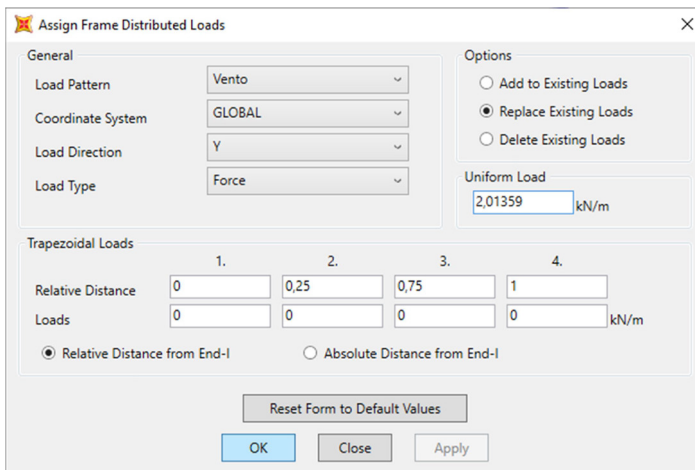


Fig. 78 – Atributo da carga de vento sobre a estrutura.

## PASSO 12

Finalizados os atributos e modelagem de nossa estrutura, rodamos nosso modelo para gerar nossos resultados. Para isso, clicamos em *Run Analysis* no menu de ferramentas.

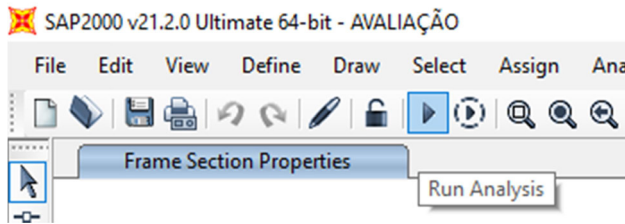


Fig. 79 – Run Analysis.

Esta opção abrirá a tela *Set Load Cases to Run*. Esta tela nos mostra todas as cargas isoladas que definimos para o trabalho e uma automática, a *MODAL*. Clicando em *Run Now* o modelo será rodado.

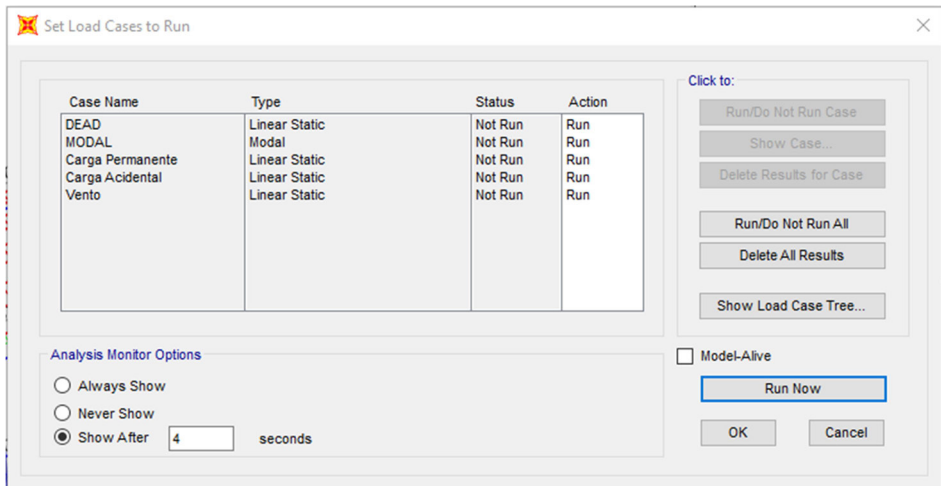


Fig. 80 – Set Load Cases to Run.

Como já havíamos salvado o projeto no computador os modelos gerados foram salvos na pasta em que salvamos o projeto. Depois disso o SAP 2000® nos retorna um relatório sobre a estrutura com a análise completa sobre a estrutura.



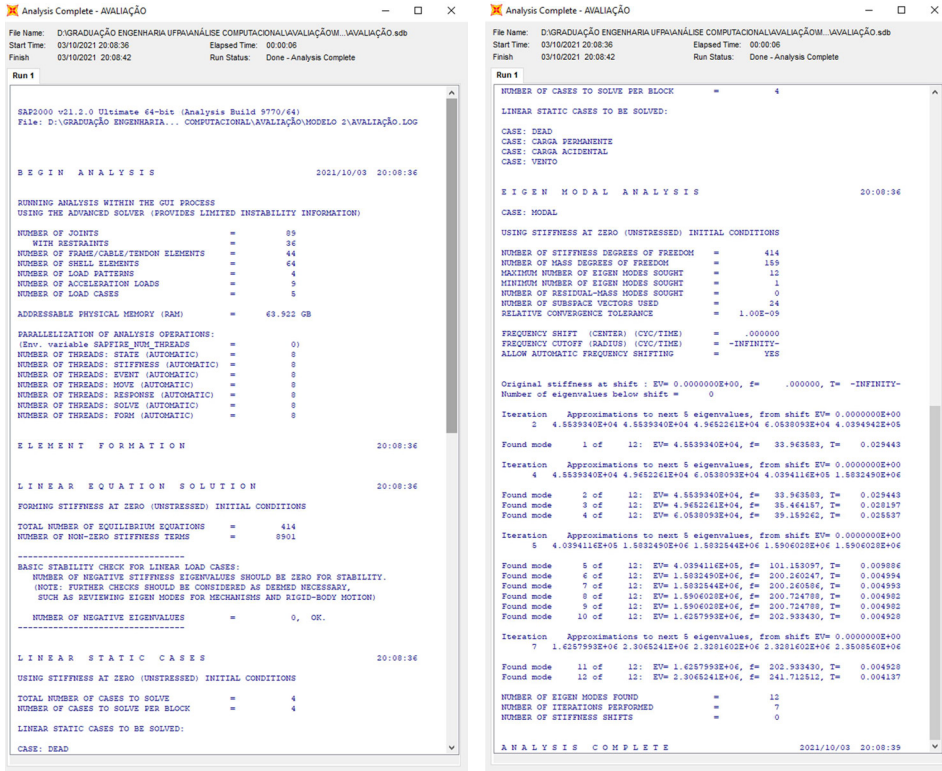


Fig. 81 – Analysis Complete – AVALIAÇÃO.

Para avaliarmos os resultados do modelo selecionamos os ícones com aparência de pórticos na barra de ferramentas. O primeiro da esquerda para a direita é o *Show Undeformed Shape*.

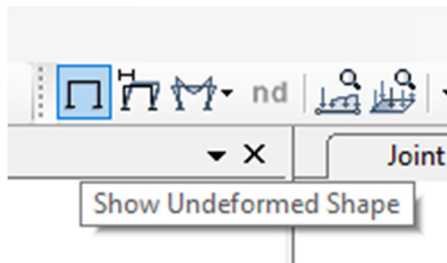


Fig. 82 - Show Undeformed Shape.

Esta opção nos apresenta a estrutura sem nenhuma deformação.

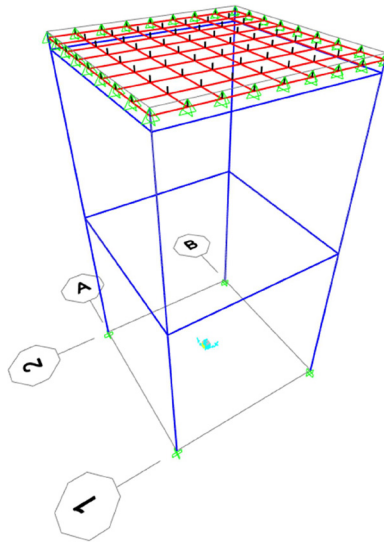


Fig. 83 - Estrutura indeformada.

O segundo ícone, *Show Deformed Shape*, nos abre a tela *Display Deformed Shape*.

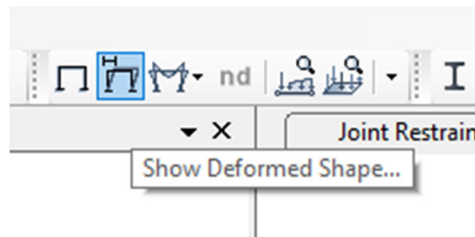


Fig. 84 - Show Deformed Shape.

Em *Display Deformed Shape*, escolhemos uma das cargas ou combinações que desejamos avaliar sobre a estrutura em *Case/Combo Name*. Clicamos em *Apply* e *Ok* para visualizar os resultados.

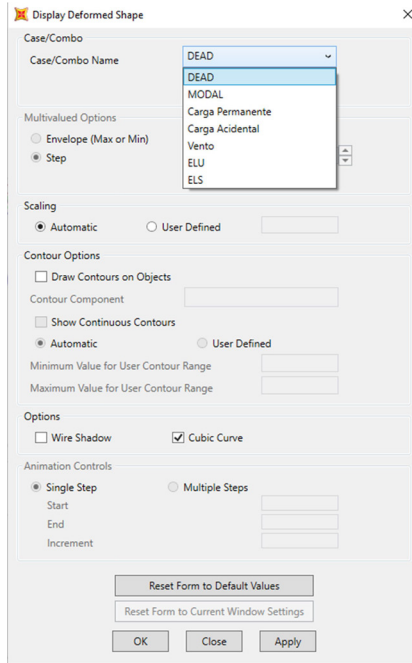


Fig. 85 - Display Deformed Shape.

Abaixo ilustramos a seqüência de resultados para a estrutura.

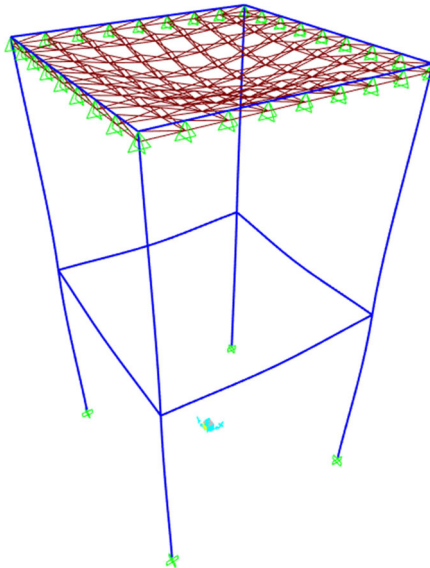


Fig. 86 - Display Deformed Shape\_DEAD.

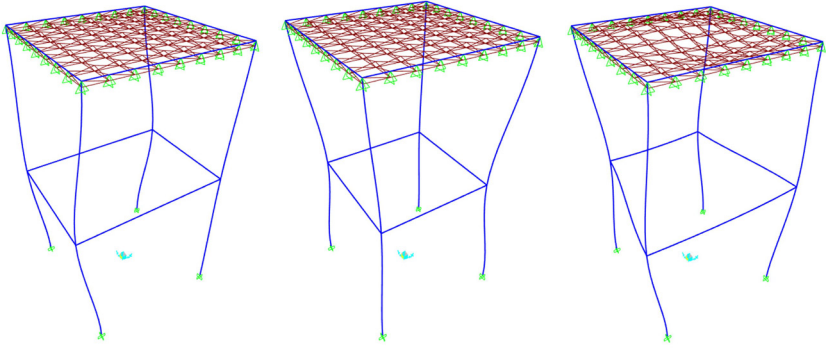


Fig. 87 - Display Deformed Shape\_MODAL.

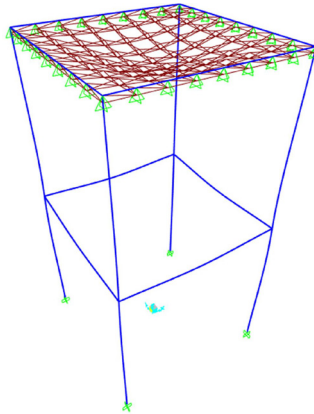


Fig. 88 - Display Deformed Shape\_Carga Permanente.

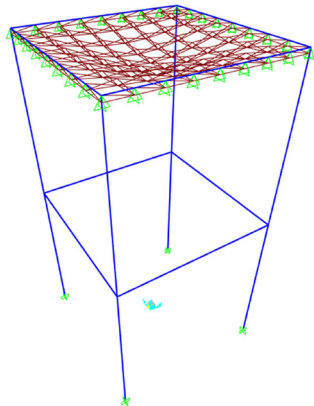


Fig. 89 - Display Deformed Shape\_Carga Acidental.

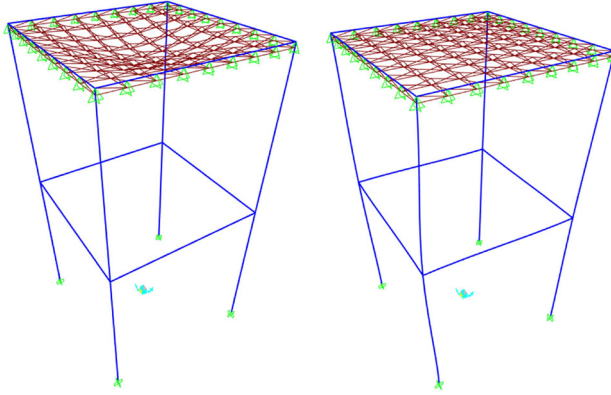


Fig. 90 - Display Deformed Shape\_Vento.

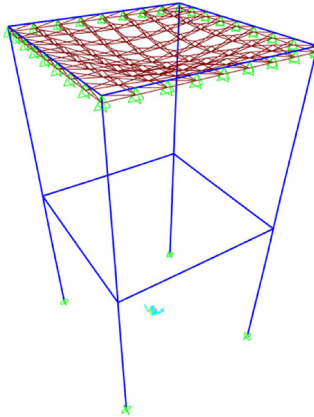


Fig. 91 - Display Deformed Shape\_ELU.

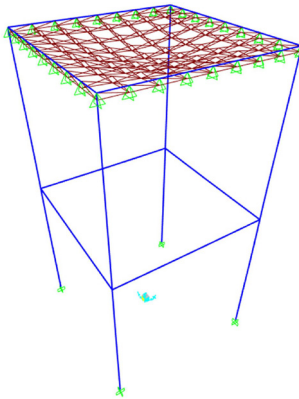


Fig. 92 - Display Deformed Shape\_ELS.

No terceiro ícone, *Show Forces/Stresses*, podemos realizar um variado número de avaliações.

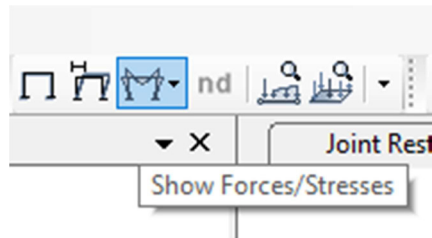


Fig. 93 - Show Forces/Stresses.

Registramos alguns resultados obtidos em *Show Forces/Stresses\_Frames/Cables/Tendons*.

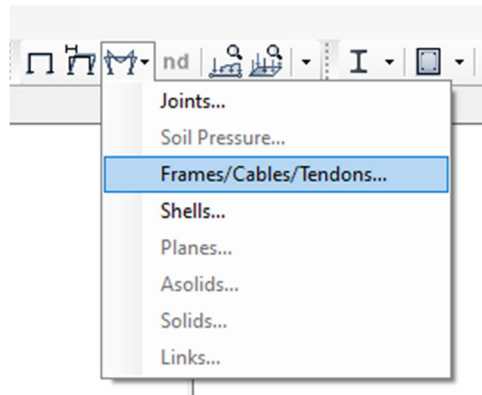


Fig. 94 - Show Forces/Stresses\_Frames/Cables/Tendons.

Ao executar o processo acima referido abrimos a tela *Display Frame Forces/Stress*. Nesta tela selecionamos a carga ou uma combinação de cargas. Em *Options for Display* selecionamos *Show Values* para que tenhamos a visualização dos valores das cargas aplicadas.

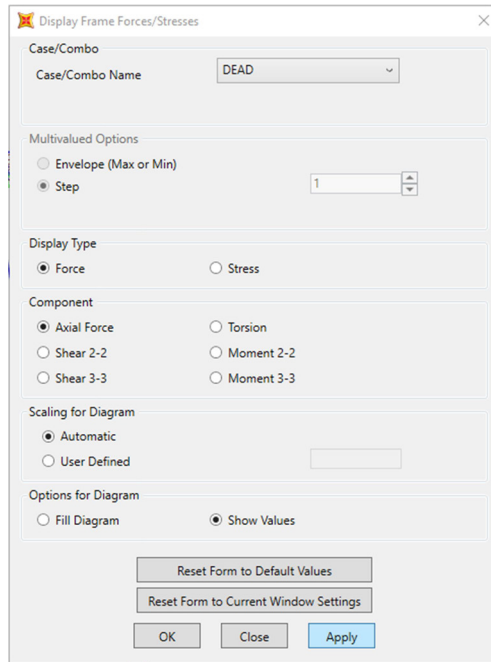


Fig. 95 – Display Frame Forces/Stresses.

Seguem alguns exemplos de resultados por este processo.

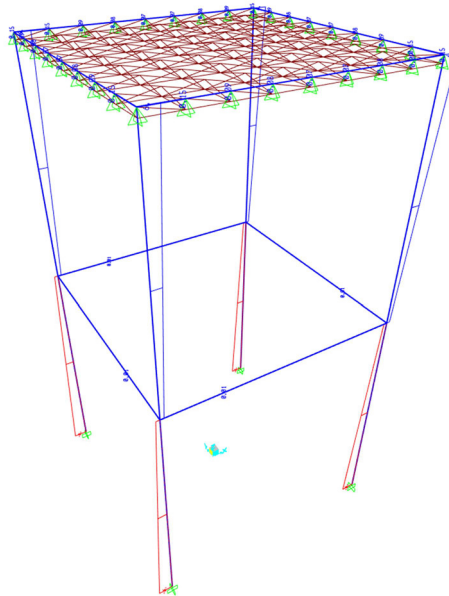


Fig. 96 – Display Frame Forces/Stresses\_DEAD.

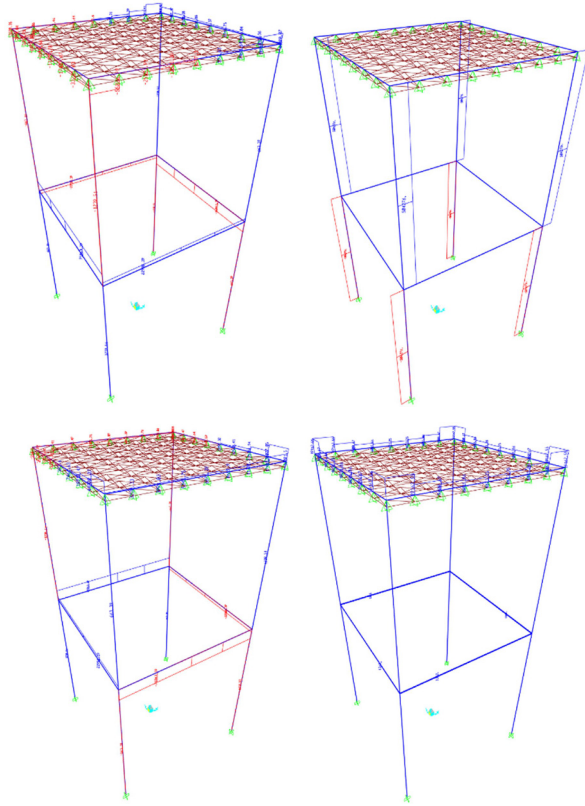


Fig. 97 - Display Frame Forces/Stresses\_MODAL.

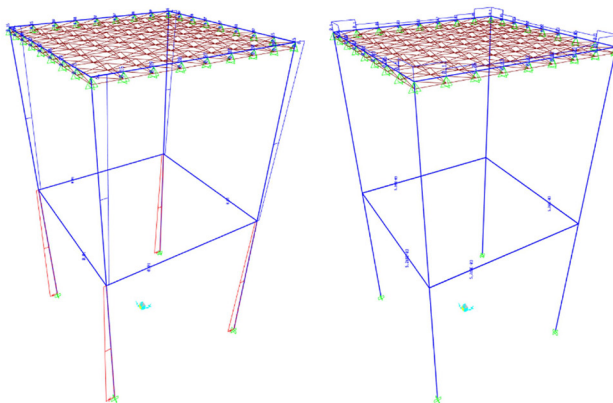


Fig. 98 - Display Frame Forces/Stresses\_Carga Permanente.



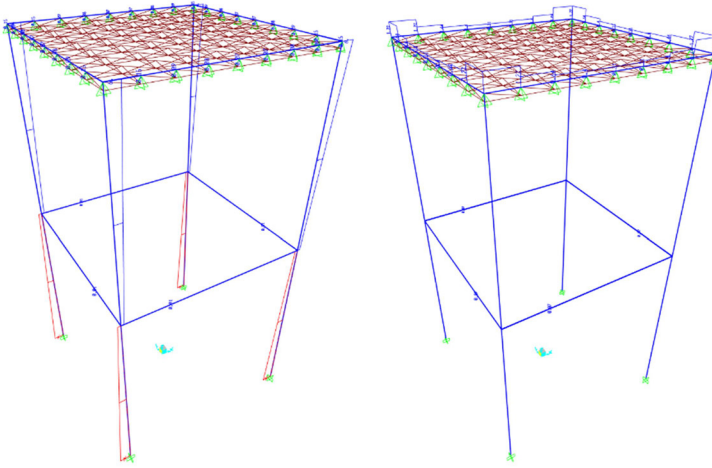


Fig. 99 - Display Frame Forces/Stresses\_Carga Acidental.

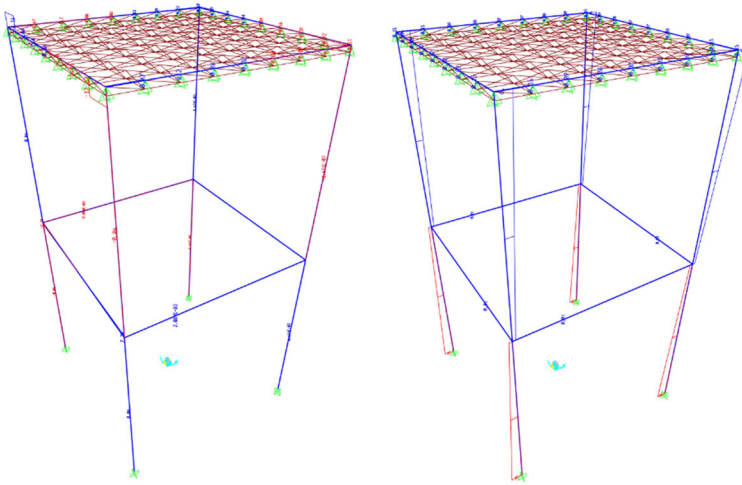


Fig. 100 - Display Frame Forces/Stresses\_Vento.

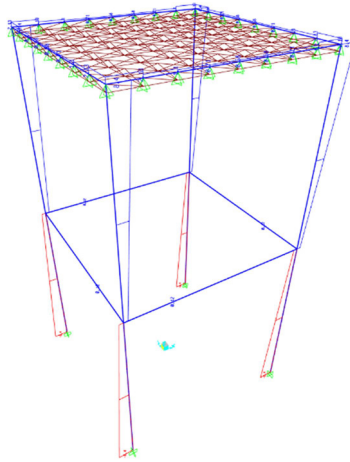


Fig. 101 - Display Frame Forces/Stresses\_ELU.

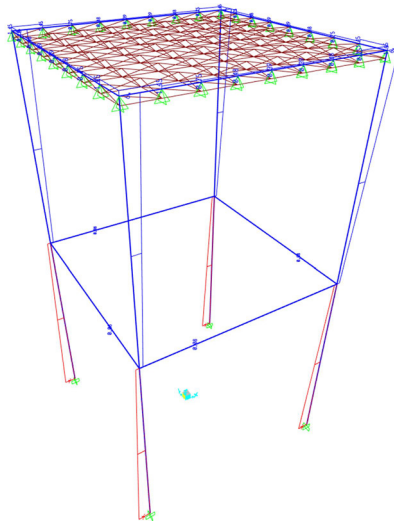


Fig. 102 - Display Frame Forces/Stresses\_ELS.

Em *Show Forces/Stresses\_Shells* acessamos outro ambiente com inúmeras opções de combinações de cargas e combinações que influem sobre a laje.

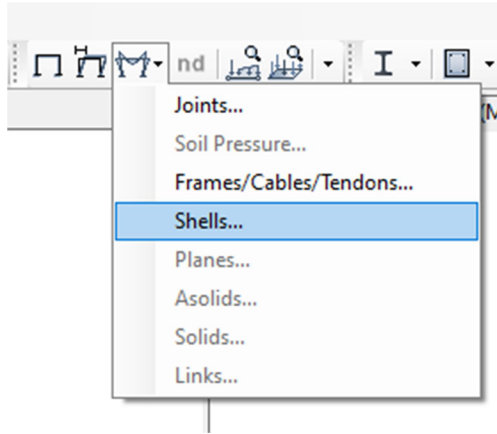


Fig. 103 – Show Forces/Stresses\_Shells.

Por meio do processo apresentado, acessamos a tela *Display Shell Stresses*, que nos possibilita habilitar seleções de cargas ou combinações em *Case/Combo Name*, além de podermos selecionar os tipos de resultados que queremos consultar em *Componente Type* e mais especificamente em *Component*. Clicamos em *Apply* e *Ok* para visualizar os resultados.

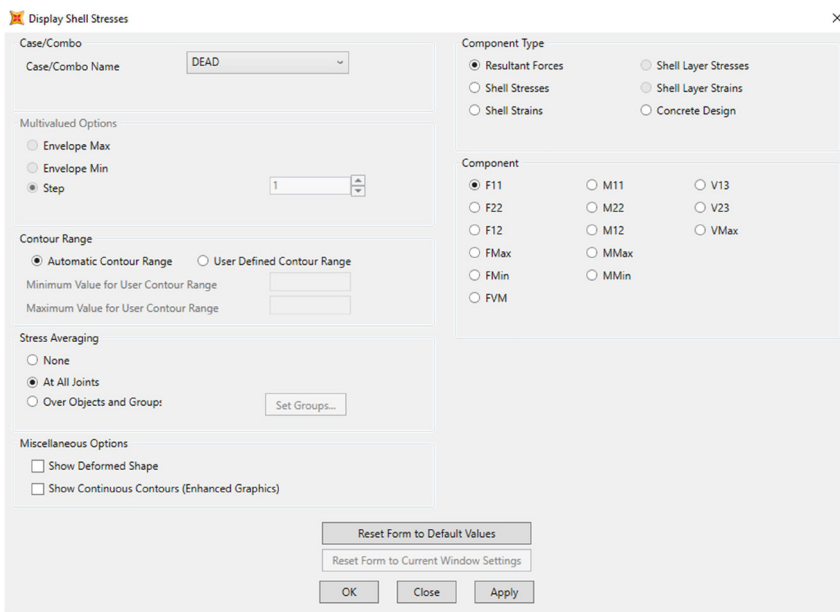


Fig. 104 – Display Shell Stresses.

Visualizemos algumas opções de resultados por meio deste processo.

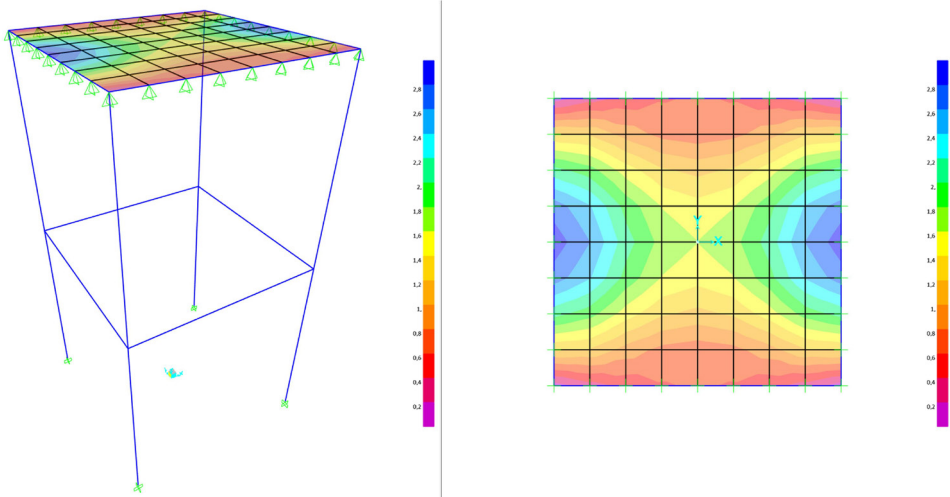


Fig. 105 - Display Shell Stresses\_F11\_DEAD.

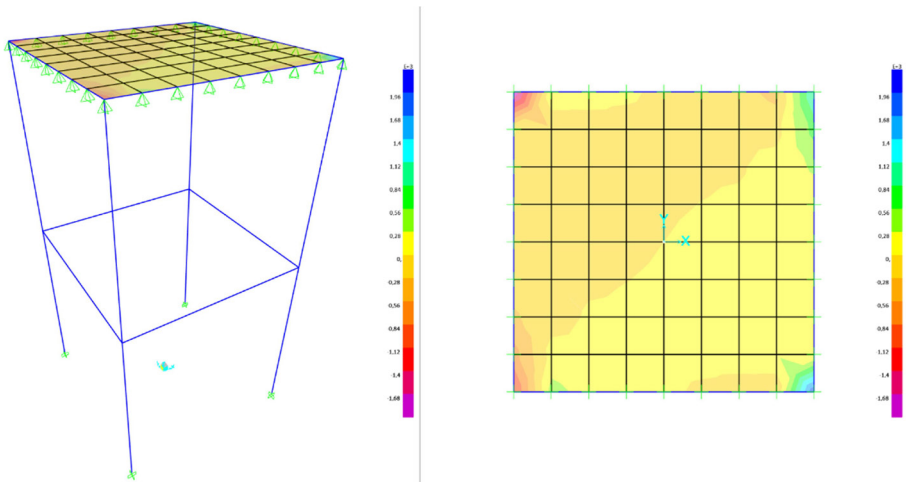


Fig. 106 - Display Shell Stresses\_M11\_MODAL.

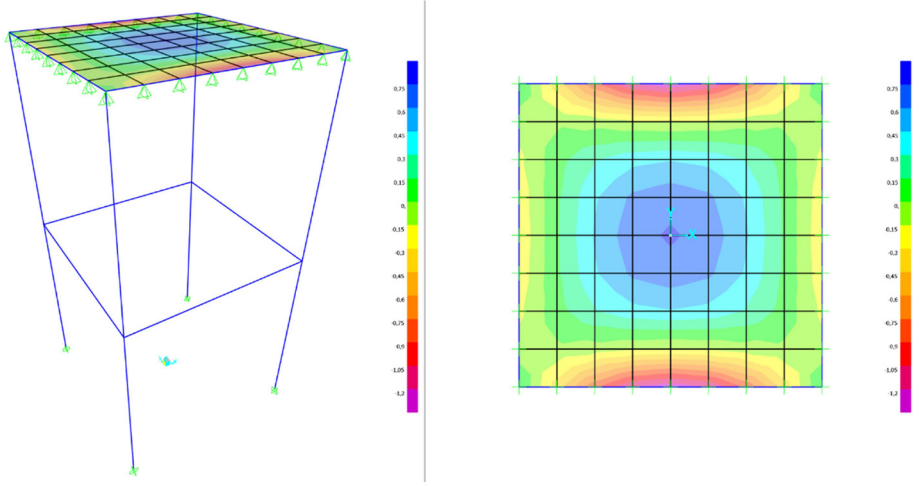


Fig. 107 - Display Shell Stresses\_M22\_Carga Permanente.

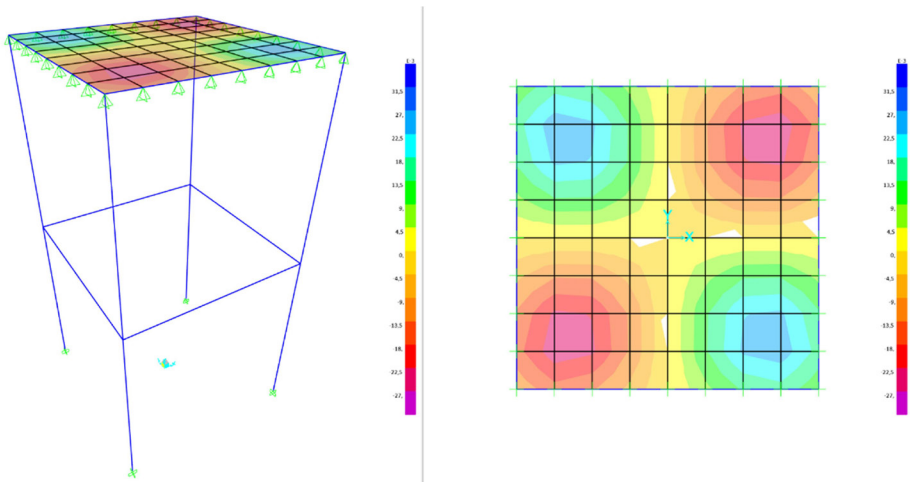


Fig. 108 - Display Shell Stresses\_M12\_Carga Acidental.

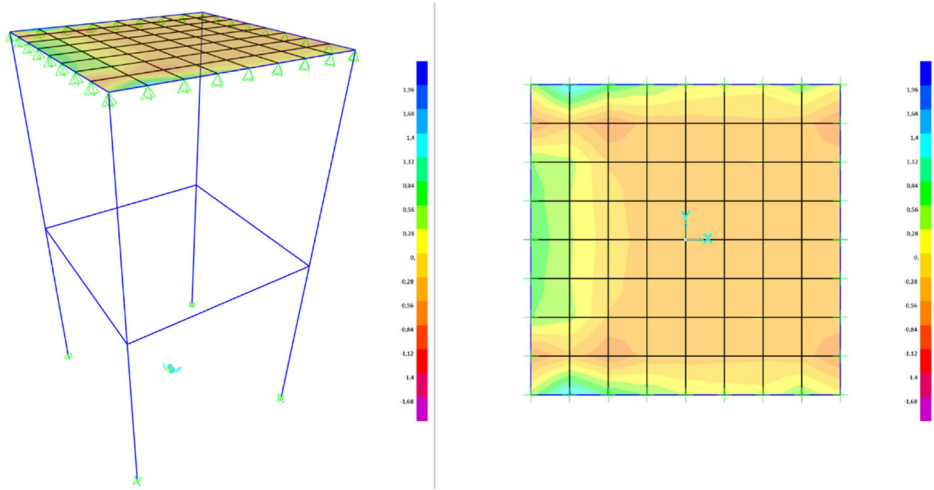


Fig. 109 - Display Shell Stresses\_F12\_Vento.

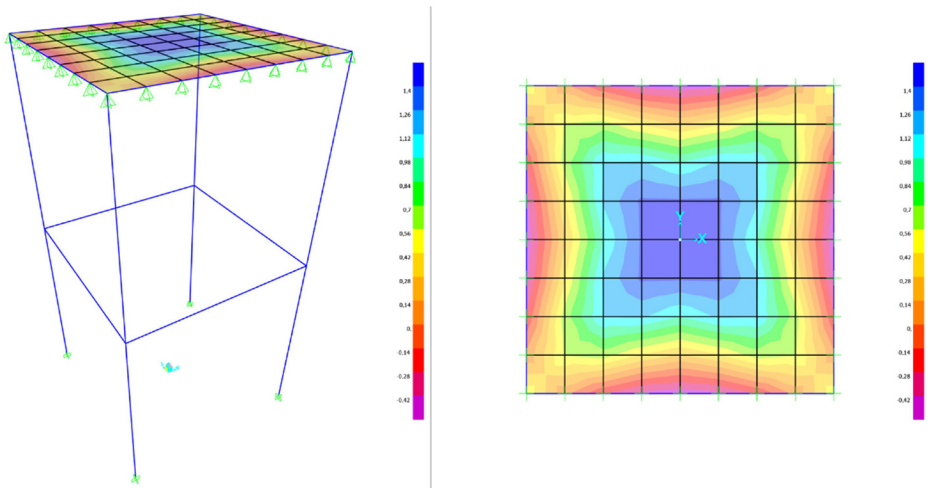


Fig. 110 - Display Shell Stresses\_M Max\_ELU.

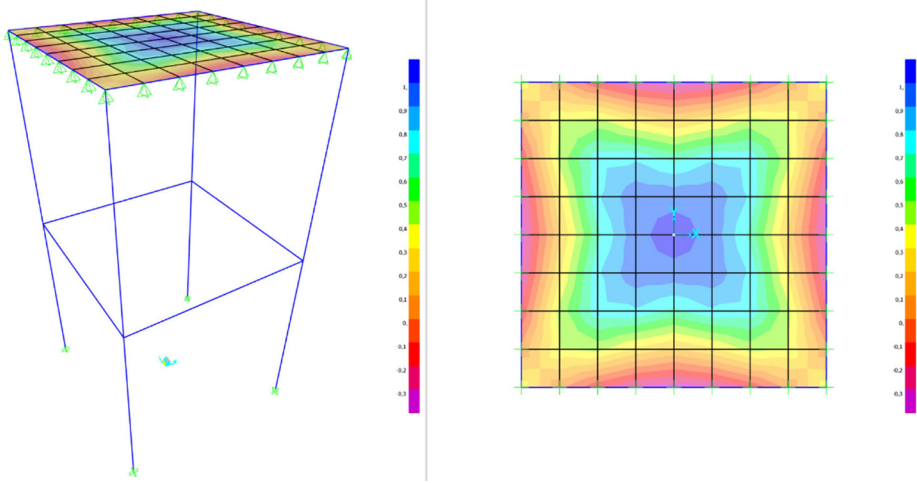


Fig. 111 - Display Shell Stresses\_M Max\_ELS.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS



O objetivo de modelar a estrutura para caixa d'água em SAP 2000®, submetida aos carregamentos de vento, carga permanente e carga acidental conforme metodologias propostas pela NBR 6120 e NBR 6123, foi atingido. Este estudo nos oferece importantes aprendizados, sobretudo relacionados à importância da aplicação do Método dos Elementos Finitos sendo possibilitado por meio do software SAP 2000®.

Uma exploração mais exaustiva sobre os resultados da estrutura modelada não pode ser realizada em virtude das limitações teóricas a respeito de certos objetivos e procedimentos, visto não serem objeto deste trabalho e não termos tido a oportunidade de estudá-las a fundo, ao que recomendamos leituras complementares. Sobretudo, alinhadas às estruturas de concreto e estruturas de aço.

Cientes de termos cumprido o objetivo de iniciar o leitor no Programa SAP 2000® e no objeto da Análise Computacional, agradecemos a oportunidade de partilharmos os resultados de nossos estudos e auxiliando o leitor na entrada ao mundo virtual da Engenharia Civil.

## REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 6123/1988 – Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

ABNT. **NBR 6120/2019 – Ações para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. (Revizada)

ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Ranking ABES da Universalização do Saneamento 2019**. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2019. Disponível em <Ranking\_2019.pdf (abes-dn.org.br)>.

BARBOSA, C. M. S; MATTOS, A. **Problemática da gestão das águas nas grandes cidades do Brasil**. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2006.

FUNASA, FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (Brasil). **Manual de saneamento**. 3.ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

G1 – Jornal Online. **Raio X do saneamento no Brasil: 16% não têm água tratada e 47% não têm acesso à rede de esgoto**. Reportagem disponível em: <Raio X do saneamento no Brasil: 16% não têm água tratada e 47% não têm acesso à rede de esgoto | Economia | G1 (globo.com)>.

GUZON, Fabiano Daniel. **Determinação dos esforços e armaduras de uma estrutura em concreto armado: comparação com resultados obtidos com aplicação de método simplificado**. TCC (Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul). Porto Alegre – RS: UFRGS, 2009.

## ÍNDICE REMISSIVO

### C

Carga 41, 42, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 75, 79, 80, 84

Cargas 20, 21, 27, 40, 42, 44, 45, 63, 64, 65, 66, 71, 73, 77, 81, 82

### E

Educação 91

Estrutura 13, 17, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 37, 39, 40, 42, 47, 48,  
51, 52, 55, 58, 63, 64, 67, 69, 70, 71, 73, 74, 88, 89

### F

Ferramentas 13, 30, 33, 35, 40, 42, 49, 51, 56, 58, 59, 61, 63, 64, 66, 67, 69, 71, 72

### L

Laje 18, 25, 27, 38, 39, 46, 47, 48, 49, 50, 52, 53, 54, 56, 57, 58, 61, 62, 63, 64, 65, 67, 69,  
81

### P

Permanente 41, 44, 64, 66, 67, 75, 79, 84

Peso 20, 21, 22, 27, 40, 41, 44, 64, 67

Pilares 17, 18, 37, 39, 45, 46, 47, 52, 53, 55, 58, 59, 61, 62

### V

Vento 13, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 42, 69, 70, 88, 89

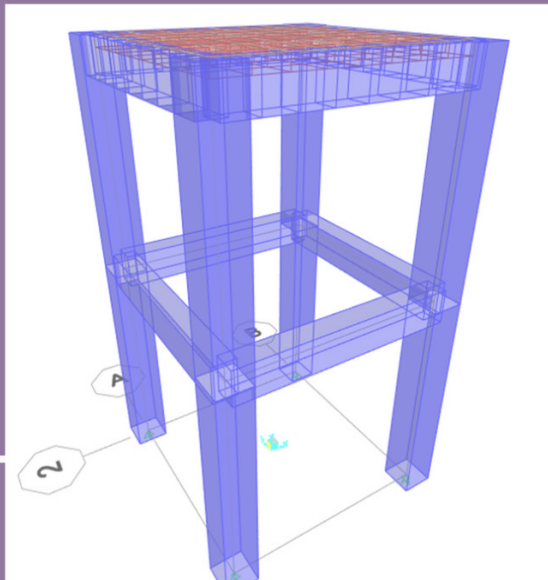
Vigas 18, 37, 39, 46, 47, 52, 53, 55, 57, 58, 59, 61, 62

## **SOBRE O AUTOR**

### **Emerson Gomes**

É Doutor em Educação em Ciências e Matemática pelo Programa REAMEC - UFMT/UFPA (2014), Mestre em Educação em Ciências e Matemáticas pela Universidade Federal do Pará - UFPA / NPADC (2005), Especialista em História e Cultura Afro-Brasileira - UNIFAHE (2021) e Licenciado em Matemática pela Universidade Federal do Pará - UFPA (2002). Professor Adjunto do Departamento de Matemática Estatística e Informática da Universidade do Estado do Pará - DMEI-UEPA. Leciona Cálculo Diferencial e Integral no Centro de Ciências Naturais e Tecnologias e Prática do Ensino da Matemática no Centro de Ciências Sociais e Educação da UEPA. É Coordenador de Área de Matemática do Residência Pedagógica - UEPA Campus X. Coordena o Grupo Colaborativo de Educação Matemática e Educação Afro-Brasileira - GCEM-EAB, e é pesquisador dos grupos de pesquisa TRANSFORMAR e GEDIM do PPGECEM/UFPA. É Professor Colaborador do Programa de Mestrado em Educação em Ciências e Matemática - PPGECEM da UNIFESPA. Tem experiência na área de Educação Matemática, com ênfase em Formação de Professores, atuando principalmente nos seguintes temas: Prática de Ensino da Matemática, Modelagem Matemática, Matemática para as Engenharias, História da Matemática e Matemática para os Anos Iniciais. Tem desenvolvido atividades técnicas de Planejamento e Avaliação em Educação Profissional com ênfase em Políticas Públicas, Gestão Governamental, Formação de Professores e Avaliação da Aprendizagem.

# Modelagem de Estruturas em SAP 2000®



RFB Editora

Home Page: [www.rfbeditora.com](http://www.rfbeditora.com)

Email: [adm@rfbeditora.com](mailto:adm@rfbeditora.com)

WhatsApp: 91 98885-7730

CNPJ: 39.242.488/0001-07

Av. Governador José Malcher, nº 153, Sala 12,  
Nazaré, Belém-PA, CEP 66035065

