

CONSTRUÇÃO DE UMA METODOLOGIA PARA MODELAGEM DE UMA ESTRUTURA PREDIAL DE OITO PAVIMENTOS NO SAP2000 V.19

Victor Renato Brito Guedes – victorguedes13@gmail.com

Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Faculdade de Engenharia Civil
Rua Augusto Corrêa s/n, Guamá.
66.075-900 – Belém – Pará

Juliana Monteiro Bernardes – julianam Bernardes@gmail.com

Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Faculdade de Engenharia Civil
Rua Augusto Corrêa s/n, Guamá.
66.075-900 – Belém – Pará

Arthur Clairefont Melo Couceiro – arthurcouceiro1@gmail.com

Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Faculdade de Engenharia Civil
Rua Augusto Corrêa s/n, Guamá.
66.075-900 – Belém – Pará

Salete Souza de Oliveira – salete@ufpa.br

Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Faculdade de Engenharia Civil
Rua Augusto Corrêa s/n, Guamá.
66.075-900 – Belém – Pará

Resumo: O uso de softwares de simulação computacional como ferramenta de auxílio ao ensino da engenharia civil no Brasil é uma medida interessante que tende a aproximar a formação do profissional a realidade e demanda do mercado. No âmbito da engenharia estrutural, a análise computacional de estruturas tem se aperfeiçoado e popularizado devido ao desenvolvimento de novas tecnologias, que possibilitam análises mais rápidas e mais complexas. O software SAP2000 é um dos mais populares no mercado brasileiro. Apesar de sua popularidade tanto em âmbito corporativo quanto educacional, o software apresenta deficiência quanto materiais didáticos em português. Esse trabalho tem a intenção de apresentar uma análise de um edifício de oito andares, em forma de tutorial, aspirando possibilitar um melhor entendimento e domínio técnico do Software.

Palavras-chave: Ensino na engenharia. Simulação computacional. SAP2000.

1 INTRODUÇÃO

Em um contexto de globalização e mercado de trabalho cada vez mais competitivo é de extrema importância o esforço de instituições de ensino de engenharia civil em aprimorar o currículo dos cursos, garantindo aos alunos se tornarem profissionais de excelentes habilidades técnicas e de alta capacidade crítico-analítico. Além disso, um dos maiores pilares para evolução da engenharia civil no mundo é a realização de obras cada vez mais econômicas, com menor degradação ambiental e que garantam sua eficiência técnica.

Diante do exposto a utilização de softwares de análise computacional de estruturas é uma opção extremamente interessante que se tem implementado no auxílio do ensino da engenharia estrutural. Segundo Silva (2009) esses têm finalidade de determinar a resposta da estrutura (deformações, solicitações resultantes, deslocamentos e outros) sob determinadas condições de contorno e carregamento. Resultando em um maior conhecimento do comportamento da estrutura, possibilitando assim o engenheiro desenvolver soluções mais precisas e econômicas para o projeto.

Esse trabalho se insere nesse contexto. O objetivo é fornecer ao leitor um texto que auxilie na utilização das ferramentas do software SAP2000, através da modelagem de um edifício exemplo de oito pavimentos. Tomou-se cuidado em estruturar uma metodologia didática e organizada, afim de facilitar o entendimento de cada passo para a análise da estrutura pelo programa.

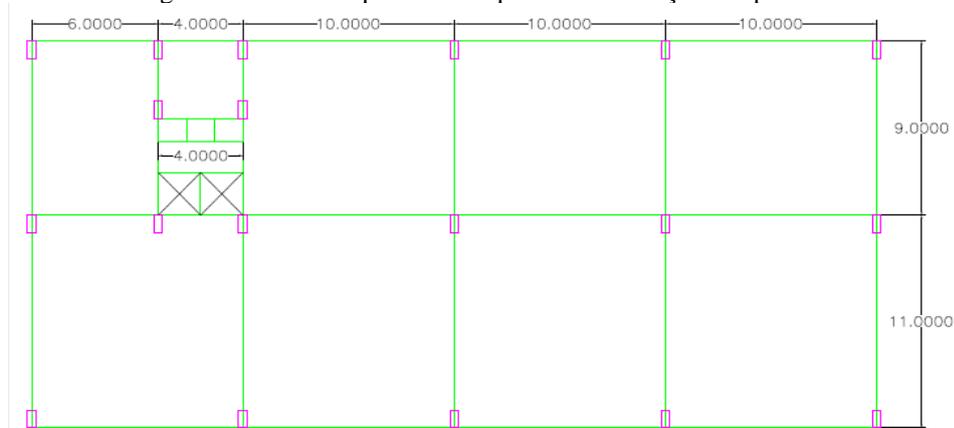
A principal motivação para a realização deste material se dar não só pela escassez de trabalhos sobre o tema, mas também pela importância do profissional responsável por realizar a modelagem entender como funciona a plataforma do programa, para que seja possível uma análise bem-sucedida da estrutura.

1.1 Características da estrutura analisada

Para análise no SAP2000 são necessárias todas as informações do projeto estrutural para a entrada de dados no programa, como por exemplo: caracterização dos materiais, geometria e dimensões dos elementos estruturais, carregamento a considerar, tipos de apoios e detalhes construtivos da estrutura proposta, entre outros.

O modelo estrutural em questão consiste em um pórtico espacial de 8 pavimentos-tipo, com as seguintes dimensões para os elementos estruturais: pilares de seção retangular de $0,40\text{ m} \times 0,90\text{ m}$, vigas de seção retangular de $0,25\text{ m} \times 0,60\text{ m}$ e lajes maciças com espessura de $0,15\text{ m}$. Os apoios serão engastados e serão considerados os seguintes carregamentos: peso próprio da estrutura, carga de utilização de $5,07\text{ kN/m}^2$ e carga de alvenaria de $5,00\text{ kN/m}$. As características dos materiais utilizados são as seguintes: módulo de elasticidade (E) de 30 GPa , coeficiente de Poisson (ν) de $0,2$ e peso específico do concreto armado (γ) de 25 kN/m^3 . A planta baixa da estrutura apresenta as cotas (em metros) disponíveis na Figura 1 e o pé direito de cada pavimento é de 4 m .

Figura 1 – Planta do pavimento tipo com localização dos pilares



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

2 LANÇAMENTO DA ESTRUTURA NO SAP2000 V. 19

O SAP2000 apresenta uma interface que possibilita a inserção do modelo estrutural diretamente no programa, através das coordenadas (x, y e z) e das distâncias entre os elementos estruturais, porém para modelos estruturais de planta baixa e corte transversal mais complexos torna-se difícil sua inserção diretamente no programa. Visando sanar essa dificuldade o modelo estrutural em questão foi primeiramente desenhado no software AutoCAD. Para isso utilizou-se o espaço de trabalho “3D basics” do AutoCAD e salvou o arquivo em *.dxf, único formato de arquivo aceito pelo Sap2000.

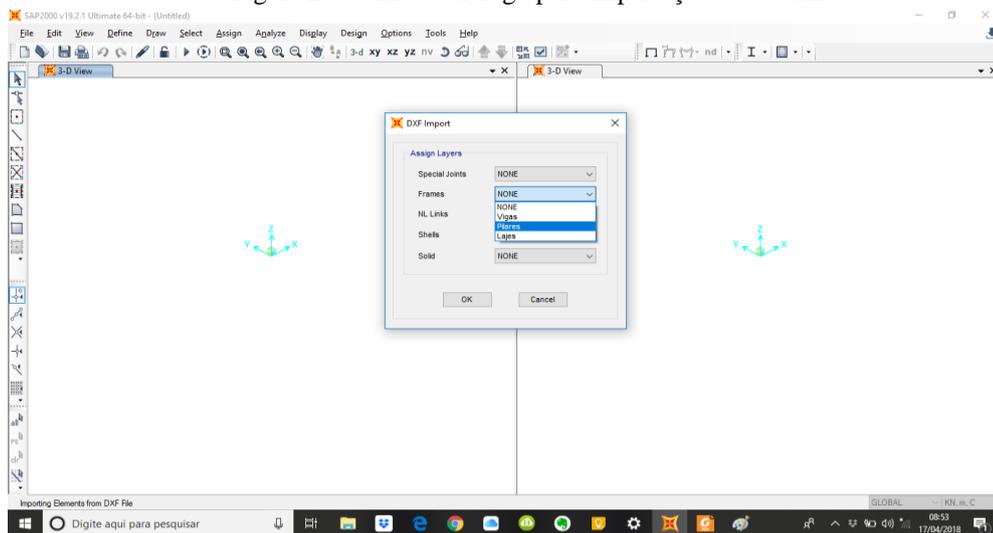
Para o desenho no AutoCAD é importante seguir dois passos: a utilização do comando “3Dface” no desenho das lajes da estrutura; e criar um layer específico para cada grupo de elementos estruturais (pilares, vigas e lajes).

2.1 Importação do modelo estrutural e criação de grupos de elementos

Antes de inserir o modelo estrutural no programa é necessário definir as unidades e o template que iremos trabalhar. Para isso ao iniciar o programa deve-se clicar em **File > New Model**, ao abrir a caixa de diálogo deve-se selecionar a opção “KN, m, C” para as unidades e a opção “Blank” para o template.

Para realizar a importação do modelo estrutural deve-se clicar em **File > Import > AutoCAD .dxf File** e em seguida é necessário selecionar o arquivo que deseja abrir. Selecionado o arquivo irá surgir uma caixa de diálogo “Import Information”, nessa caixa deve-se selecionar a direção Z, confirmar as unidades KN, m, C e clicar em **Ok**. Uma nova caixa de diálogo irá abrir “DXF Import”, nela devemos selecionar para a opção Frames o layer **Pilares**, como pode-se ver na Figura 2, e clicar em **Ok**.

Figura 2 – Caixa de diálogo para importação do desenho

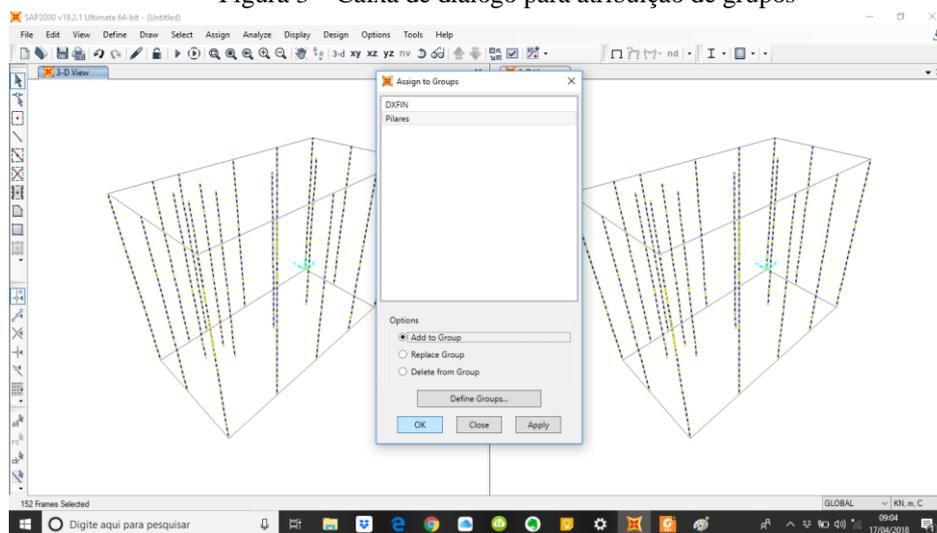


Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

As linhas referentes aos pilares irão aparecer na área de trabalho do programa, elas já estarão selecionadas, diante disso prosseguir para a criação de grupos de elementos ao clicar em **Define > Groups**, irá abrir uma caixa de diálogo “Define Group Names”, onde deve-se clicar em **Add a New Group**, que abrirá uma outra caixa “Group Definition”, nela deve-se determinar um nome para o grupo desejado, que no presente trabalho determinou-se **Pilares**, e

depois deve-se clicar em **Ok**. O grupo para os elementos pilares foi criado, o passo seguinte é atribuir os elementos do desenho ao grupo. Esse processo é importante, pois futuramente, quando a estrutura já estiver completamente inserida no programa, será mais fácil selecionar todas as peças referente a um grupo de elementos. Prosseguindo para a atribuição das peças ao grupo deve-se clicar em **Assign > Assign to Group ...** que abrirá uma caixa de diálogo "**Assign to Groups**", nela você deve selecionar o grupo já criado **Pilares** e mais abaixo selecionar a opção **Add to Group**, como mostra a Figura 3, em seguida clicar em **Ok**. O grupo **Pilares** foi criado e todos as peças estruturais referentes a pilares foram inseridas no grupo.

Figura 3 – Caixa de diálogo para atribuição de grupos



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

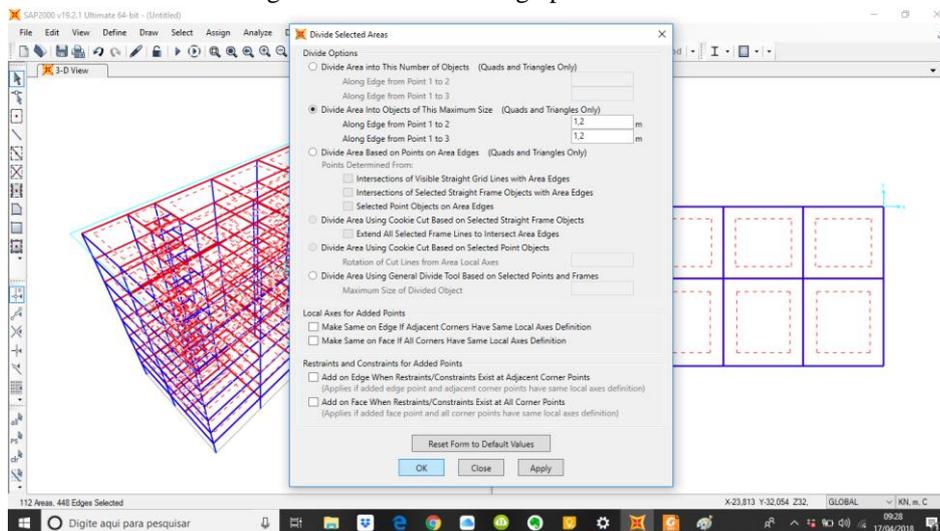
Agora deve-se repetir o mesmo processo para os dois elementos restantes (vigas e lajes). Na importação e criação e atribuição ao grupo para vigas será idêntico ao processo para o de pilares, mas na importação do grupo referente a lajes, na caixa de diálogo "**DXF Import**" ao em vez de selecionar o layer **Lajes** na opção **Frames**, como foi feito nos pilares e vigas, deve-se selecioná-lo na opção **Shells**. Isso ocorre devido ao fato de que a opção **frames** refere-se que o programa irá interpretar como um elemento de barra, que está correto para vigas e pilares, porém as lajes são elementos de casca (placa), e para o programa assim interpretá-lo deve-se indicar na opção **Shells**.

2.2 Discretização da malha das lajes

A etapa de discretização da malha das lajes, consiste em dividir a laje em domínios menores na intenção de obter resultados de maior precisão e fiabilidade. Para isso deve-se primeiramente selecionar todos os elementos de lajes de todos os pavimentos. Como anteriormente foi criado um grupo específico contendo todas as lajes o processo se torna muito mais fácil. Para selecionar as lajes deve-se clicar em **Select > Select > Groups**, que irá abrir uma caixa de diálogo "**Select by Groups**", nela deve-se selecionar a opção **Lajes** e em seguida clicar em **Select**.

O próximo passo consiste em dividir a área de cada laje em tamanhos iguais. Para isso deve-se clicar em **Edit > Edit Areas > Divide Areas**, que irá abrir uma caixa de diálogo "**Divide Selected Areas**", nela deve-se selecionar a opção "**Divide Area Into Objects of This Maximum Size**" e confirmar o valor de **1,2 m** para cada direção, como mostrado na Figura 4, e por fim clicar em **Ok**.

Figura 4 – Caixa de diálogo para divisão de áreas

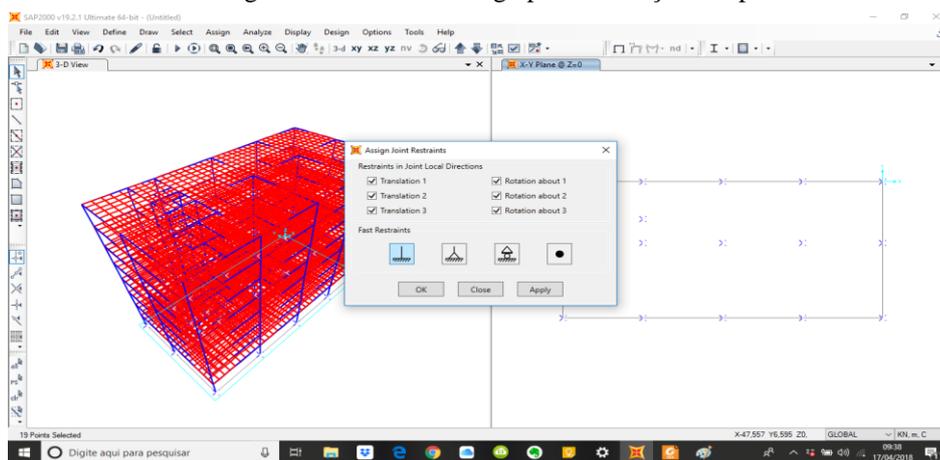


Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

3 DEFINIÇÃO DOS APOIOS DO PÓRTICO

Para definir os apoios do pórtico deve-se primeiramente selecionar todos os pontos onde serão introduzidas as restrições. Para isso basta colocar o modelo estrutural na visualização do plano XY em $Z=0$ e em seguida com o mouse selecionar todos os pontos de partida de pilares. Selecionados os pontos a definir as restrições deve-se clicar em **Assign > Joint > Restraints ...** que abrirá uma caixa de diálogo **“Assign Joint Restraints”**, então selecionar a primeira figura, referente ao apoio engastado, verificar se foi aplicado as restrições em todos as direções e clicar em **Ok**, conforme Figura 5.

Figura 5 – Caixa de diálogo para atribuição de apoios



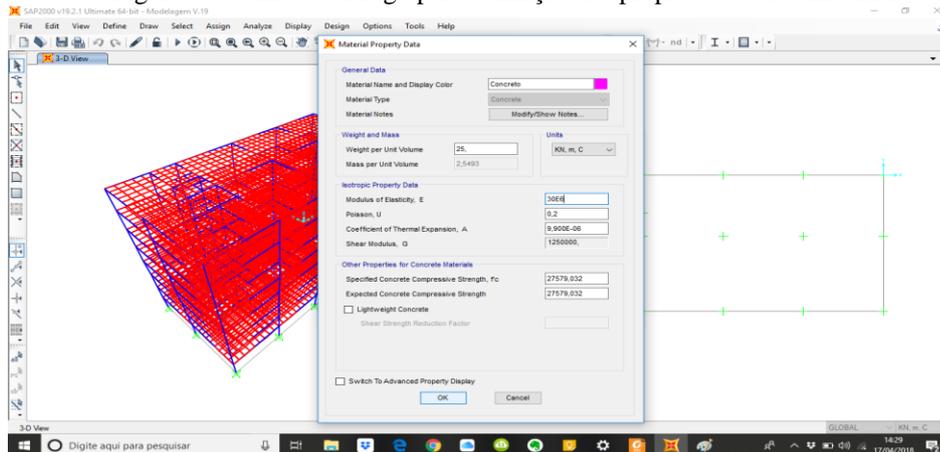
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

4 DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS

É necessário introduzir no programa as características dos materiais que estamos trabalhando. No presente trabalho estamos trabalhando somente com um tipo de material, o concreto com as propriedades apresentadas na introdução. Para definirmos o material no

programa deve-se clicar em **Define > Materials ...** que abrirá uma caixa de diálogo "**Define Materials**" onde deve-se clicar em **Add New Material**, dentro da caixa que abrirá devemos determinar em Region a opção **User** e em Material Type a opção **Concrete**, em seguida clicar em **Ok**, abrirá uma nova janela "**Material Property Data**", dentro dela devemos definir o nome do material como **Concreto**, o peso em específico no quadro "**Weight per Unit Volume**" de **25**, o módulo de elasticidade no quadro "**Modulus of Elasticity**" de **30E6** e o coeficiente de Poisson de **0,2**, como mostra a Figura 6, e por fim clicar em **Ok**.

Figura 6 – Caixa de diálogo para definição das propriedades dos materiais



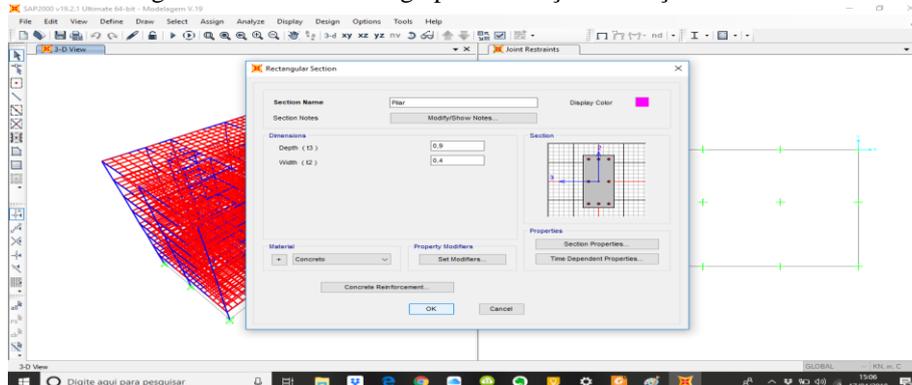
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

5 DEFINIÇÃO E ATRIBUIÇÃO DAS SEÇÕES DOS ELEMENTOS

5.1 Pilares

Para definir a seção dos pilares deve-se clicar em **Define > Section Properties > Frame Sections** que abrirá uma janela "**Frame Properties**", nela deve-se abrir a caixa **Add New Property** onde deve-se selecionar as opções **Concrete** e **Rectangular**, ao abrir dará acesso a uma outra caixa "**Rectangular Section**" que lhe permite introduzir informações sobre as propriedades dos pilares. Alterar o nome para **Pilar**, o Depth para **0,9**, o Width para **0,4** e o material para **Concreto**, como na Figura 7 e depois clicar em **Ok**.

Figura 7 – Caixa de diálogo para definição das seções dos elementos



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Definido a seção do pilar é necessário atribuir essa seção para os objetos do desenho, para isso deve-se selecionar todos os pilares do projeto em **Select > Select > Groups > Pilares** e por fim clicar em select e depois close. Agora que todos os pilares estão selecionados deve-se clicar em **Assign > Frame > Frame Sections ...**, então selecionar a opção **Pilar** e clicar em **Ok**.

5.2 Vigas

Para definir e atribuir a seção das vigas deve-se repetir o mesmo processo feito para determinar as seções dos pilares, porém deve-se alterar as dimensões Depth para **0,6** e Width para **0,25**.

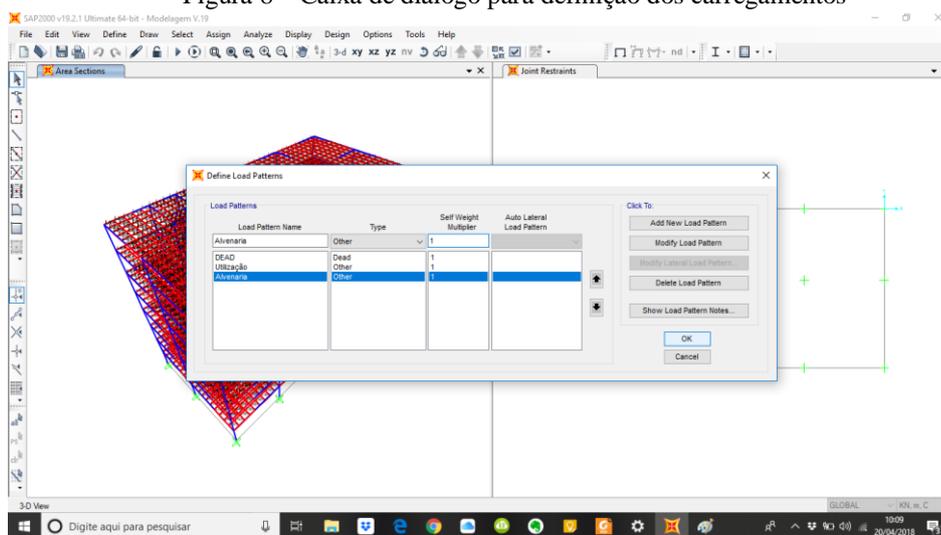
5.3 Lajes

Para as lajes deve-se clicar em **Define > Section Properties > Area Sections > Add New Section**, ao abrir a caixa de diálogo "**Shell Section Data**" alterar o nome para **Laje**, o type para **Shell-Thin**, membrane e bending para **0,15** e o material para **Concreto**. Em seguida deve-se selecionar o grupo de lajes e clicar em **Assign > Area > Sections ...** em seguida deve selecionar a opção **Laje** e clicar em **Ok**.

6 DEFINIÇÃO E ATRIBUIÇÃO DOS CARREGAMENTOS

Inserido o modelo estrutural e definido as propriedades da estrutura, faz-se necessário a definição e inserção do carregamento nos elementos estruturais. Inicialmente deve-se definir o padrão dos carregamentos clicando em **Define > Load Patterns ...**, ao abrir a caixa de diálogo deve-se definir o nome do carregamento, o tipo de carregamento, o multiplicador de peso e em seguida clicar em "**Add New Load Patterns**". Para o presente estudo adotaremos o peso próprio, que já vem inserido como Dead; a carga de utilização e a carga de alvenaria, como mostrado na Figura 8.

Figura 8 – Caixa de diálogo para definição dos carregamentos



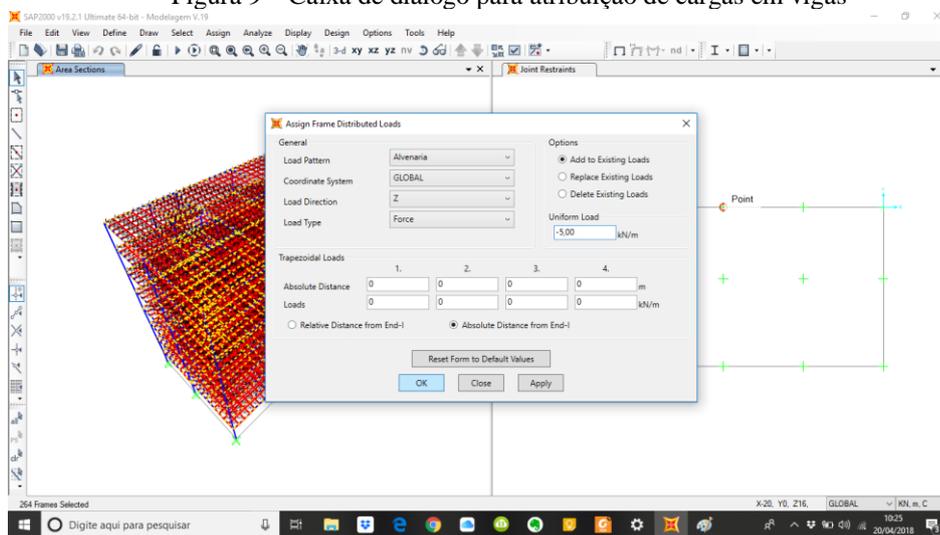
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Em seguida deve-se definir a combinação de cargas atuante na estrutura. Para isso deve-se clicar em **Define > Load Combinations > Add New Combo**, abrirá a caixa de diálogo "**Load**

Combinations Data", nela deve-se definir um nome para a combinação (COMB1) e selecionar a três cargas definidas anteriormente e em seguida clicar em **Ok**.

Por fim deve-se atribuir os carregamentos aos elementos estruturais. Para atribuir o carregamento das vigas deve-se inicialmente selecionar o grupo de vigas e depois clicar em **Assign > Frame Loads > Distributed ...**, na caixa "**Assign Frame Distributed Loads**" deve-se selecionar a opção de carregamento **Alvenaria**, a direção **Z**, as opções **Add to Existing Loads** e **Absolute Distance from End - I** e na seção "**Uniforme Load**" inserir o valor do carregamento com sinal negativo (**-5,00 kN/m**), representado a direção de aplicação da força, como mostrado na Figura 9 e depois clicar em **Ok**. Já para o carregamento disposto nas lajes deve-se selecionar o grupo referente a lajes e em seguida seguir o caminho **Assign > Area Loads > Uniforme (Shell)** que dará acesso a uma caixa de diálogo, nela deve-se selecionar a carga **Utilização**, a direção **Z**, a opção **Add to Existing Loads** e na seção "**Uniforme Load**" inserir o valor do carregamento com sinal negativo (**-5,07 kN/m²**) e depois clicar em **Ok**.

Figura 9 – Caixa de diálogo para atribuição de cargas em vigas



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

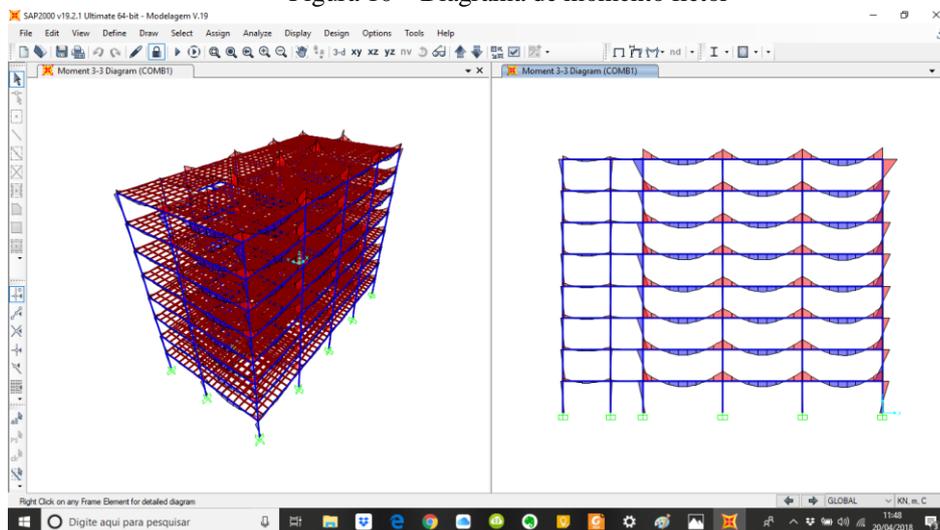
7 EXECUÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Por fim, depois de definidas todas as características referentes ao edifício e aos carregamentos, deve-se executar a análise da estrutura em questão. Para isso deve-se clicar em **Analyze > Set Analysis Options** e selecionar a opção **Space Frame**, para definir que o programa analise a estrutura como sendo um pórtico espacial, e depois clicar em **Ok**. Em seguida faz-se necessário definir as cargas que serão executadas, clicando em **Analyze > Set Load Cases to Run ...**, ao abrir a caixa de diálogo deve-se verificar se todas as cargas adicionadas estão definidas como **Run** no quadro "**Action**", e clicar em **Run Now** para executar a análise. Após o programa analisar totalmente a estrutura, ele apresentará automaticamente a deformação nos elementos estruturais.

Na opção **Display** será possível visualizar todos os resultados referente a análise estrutural como: gráficos de momento fletor, reações de apoio, solicitações nas lajes, diagrama de esforço cortante e outros. Por exemplo, para mostrar o diagrama de momento fletor deve-se clicar em **Display > Show Forces/Stresses > Frames/Cables/Tendos**, que abrirá uma caixa de diálogo "**Display Frame Forces/Stresses**", onde deve-se selecionar a opção em relação a combinação de cargas, no caso **COMB1** e a opção **Moment 3-3** e depois clicar em **Ok** e assim será possível

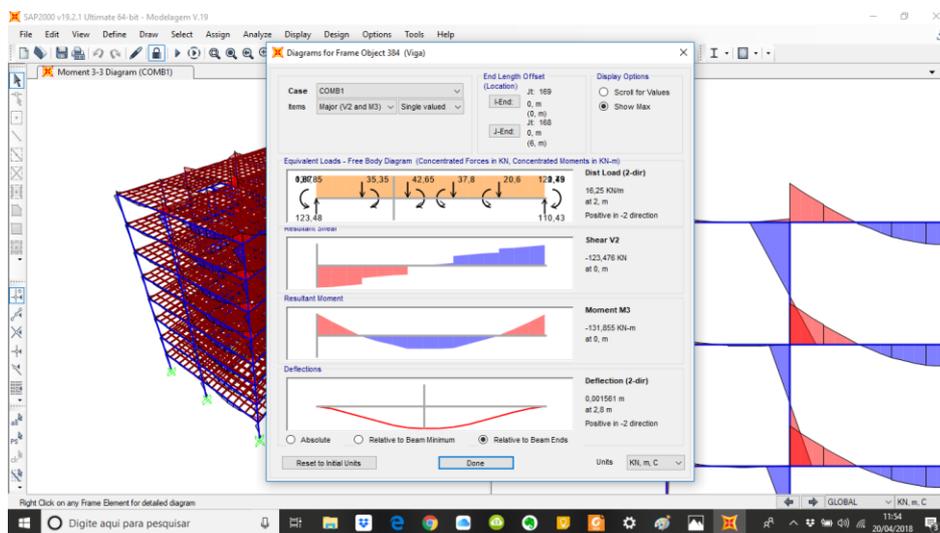
visualizar e analisar o diagrama, como mostrado na Figura 10. Vale ressaltar que para a obtenção de resultados numéricos (Figura 11), basta clicar com o botão direito do mouse em cima da viga ou pilar pretendido.

Figura 10 – Diagrama de momento fletor



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 11 – Visualização de soluções numéricas



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considera-se o objetivo principal deste trabalho alcançado, visto que se montou um tutorial claro, objetivo e organizado para a inserção e análise estrutural de um edifício de médio porte no software SAP2000.

Focou-se em trazer uma metodologia técnica de apoio ao uso de ferramentas do programa, porém a elaboração do método proporcionou uma reflexão sobre o quanto é necessário que para o manuseio correto de softwares de análise computacional, o engenheiro deve ter uma base

teórica bastante sólida dos conceitos físicos e matemáticos sobre as estruturas analisadas e sobre o funcionamento da programação do software.

Relevando assim a importância da inserção da tecnologia no ensino a engenharia, moldando desde cedo o profissional a pensar de forma integrada os conceitos teóricos e a simulação física de problemáticas reais, além de o ensinar a interpretar a visualização detalhada e as limitações existentes entre simulações e realidade. Capacitando-o para desenvolver soluções mais criativas, segura e de menor custo econômico e ambiental.

Recomenda-se para trabalhos futuros analisar de forma mais aprofundada estruturas em concreto pretendido, afim de criar um tutorial em português para inserção desse tipo estrutura no SAP2000.

REFERÊNCIAS

SILVA, Andréa Regina Dias da. **Sistema computacional para análise avançada estática e dinâmica de estruturas metálicas**. 2009. 322 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2009.

CONSTRUCTION OF A METHODOLOGY FOR THE MODELING OF A PREDIAL STRUCTURE OF EIGHT PAVEMENTS IN THE SAP2000 V.19

Abstract: *The use of computer simulation software as a tool to aid in the teaching of civil engineering in Brazil is an interesting measure that approximates the professional formation of reality and market demand. In the field of structural engineering, the computational analysis has been through constantly improvement and popularization due the development of new technologies, which allow faster and more complex analysis. The software SAP2000, is one of the most popular software's in the Brazilian market. Despite its popularity in both educational and corporative realities, the learning and mastering of the software is impaired because of the lack of educational material in Portuguese. This paper intends to show an analysis of an eight-store building, in the form of a tutorial, aspiring to allow a better understanding and mastery of the Software.*

Key-words: *Teaching in engineering. Computer simulation. SAP2000.*