



ELABORAÇÃO DE UM TUTORIAL DO SAP 2000 V.18 PARA ANÁLISE ESTRUTURAL DE UM PÓRTICO 3D DE CONCRETO.

Marcelo R. Cardoso – mrchardoso@gmail.com

Rogério A. F. Cunha – rogeriocunhaengenharia@gmail.com

Salete Souza de Oliveira – salete@ufpa.br

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

CEP: 66.075-900 – Belém – Pará

Resumo: O presente trabalho tem por objetivo apresentar um tutorial do SAP 2000 v.18 - Structural Analysis Program, para análise estrutural de um pórtico de concreto. O SAP 2000 é um software para análise estrutural utilizando o método dos elementos finitos, desenvolvido pela empresa americana **CSI – Computers&Structures Inc.** e comercializado no Brasil pela empresa **Multiplus Softwares Técnicos in.** O SAP 2000 é amplamente utilizado na análise estrutural de edificações de pequeno e grande porte, bem como pontes, viadutos, barragens, entre outras estruturas. Apesar de ser uma importante ferramenta de análise, observa-se a dificuldade dos alunos de Engenharia Civil no aprendizado de tal programa, como também a escassez de material em português que apresente de forma didática alguns comandos básicos e tutoriais de auxílio para utilização do programa. Visando contribuir para diminuir essas dificuldades, desenvolveu-se o presente trabalho, no qual foi realizada a análise de uma edificação comercial de dois pavimentos, construída em concreto, visando encontrar as reações nos apoios, valores máximos de deflexão, momento fletor e esforço cortante nas lajes, vigas e pilares que compõe a estrutura a fim de estudar seu comportamento.

Palavras-chave: SAP 2000, Análise Estrutural, Pórtico 3D.

1. INTRODUÇÃO

A fase de análise estrutural é importante para se obter a idealização do comportamento da estrutura para os diferentes carregamentos que a mesma possa ser exposta em situações reais. Para se alcançar essa idealização se utiliza de métodos numéricos, pois a obtenção de soluções analíticas exatas para estruturas complexas é praticamente impossível. Atualmente a aplicação do método numérico conhecido como Método dos Elementos Finitos (MEF) em associação com computadores com elevada capacidade de processamento para conseguir soluções aproximadas, tem sido amplamente utilizada.

O SAP 2000 é um software de análise estrutural amplamente utilizado por profissionais da área de Engenharia e que apresenta excelentes resultados. Está baseado no Método dos Elementos finitos (MEF), que implica na divisão do domínio a ser analisado em subdomínios, designados por elementos, que se ligam entre si em pontos chamados nós. Assim, as soluções

Organização



Promoção





são formuladas para cada elemento e a seguir são combinadas para obter a solução para o domínio geral (ALVES, 2007). Existem licenças do SAP 2000 disponíveis em várias Instituições de Ensino Superior.

Diante do exposto e tendo em vista a importância do SAP 2000 na complementação dos estudos dos graduandos em Engenharia Civil, desenvolveu-se um tutorial para análise de um pórtico 3D de concreto armado, estrutura muito comum no cotidiano dos estudantes e profissionais de Engenharia Civil.

2. LANÇAMENTO DA ESTRUTURA NO SAP 2000 V. 18

O SAP 2000 analisa uma estrutura através da descrição do modelo estrutural. Os passos para a descrição do modelo estrutural seguem a definição das unidades padrões, objetos e elementos, classificação em grupos de objetos e elementos, verificação do sistema de coordenadas (x,y,z), determinação das propriedades dos elementos (seção, tipo de material), determinação dos casos de carregamentos (peso próprio e sobrecargas), casos a serem analisados, combinações, definições de projetos e definições de saída de dados.(VELOZA,2009). No presente tutorial a estrutura a ser analisada é um pórtico de concreto com dois pavimentos, três vãos na direção X e quatro vãos na direção Y. Os apoios são engastados. Na análise será considerado o peso próprio da estrutura e as sobrecargas da alvenaria de 5,07 kN/m e do piso de 1,5 kN/m², apresentando as seguintes características: material concreto com peso específico de 25 kN/m³; vigas e pilares com a mesma seção retangular (20 cm x 30 cm) com módulo de elasticidade E= 30 GPa; comprimento de vãos na direção X (4m, 4m, 5m) e na direção Y (4m, 4m, 3m, 3m); a altura do pé direito é 3 m e a espessura das lajes igual a 12 cm.

2.1 Definição do modelo do pórtico

Ao iniciar o SAP 2000 clicar no canto direito inferior da tela e mudar as unidades de medida para **kN, m, C**. Em seguida clicar em **File > New Model**, para criar um novo modelo estrutural, selecionando a opção **3D Frame** que significa pórtico 3D. Ao escolher o modelo **3D Frame**, será aberta uma caixa de diálogo onde se devem modificar os valores do pé direito (**Story Height**), número de pavimentos (**Number of Stories**), número de vãos na direção x (**Number of Bays, X**), número de vãos na direção y (**Number of Bays, Y**), conforme apresenta a Figura 1, em seguida após a inserção dos valores do pórtico, selecionar a opção **User custom Grid Spacing And Locate Origin > Edit Grid** para localizar a origem do pórtico no plano espacial marque **Restraints**, isto é, determinar as restrições.

A seguir alterar os valores dos espaçamentos entre os vãos **X Grid Data**, de acordo com o projeto a ser analisado. Na direção X utilizar os vãos com valores de 4m, 4m e 5m. Na direção Y utilizar os vãos com valores de 4m, 4m, 3m e 3m. No primeiro quadro considerar o ponto A na ordenada 0 e ir somando as medidas dos vãos na direção X para determinar as ordenadas dos pontos B, C e D. No segundo quadro considerar o ponto 1 na ordenada zero e repetir o procedimento anterior para determinar as ordendas dos pontos 2, 3, 4 e 5, conforme Figura 2.



Figura 1: Caixa de diálogo para entrada de dados do modelo estrutural de um pórtico.

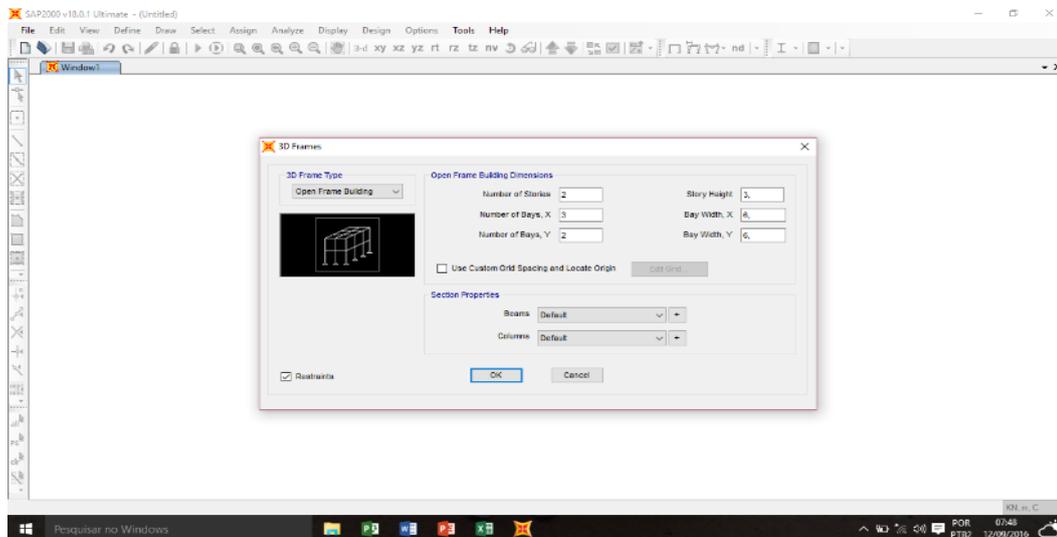
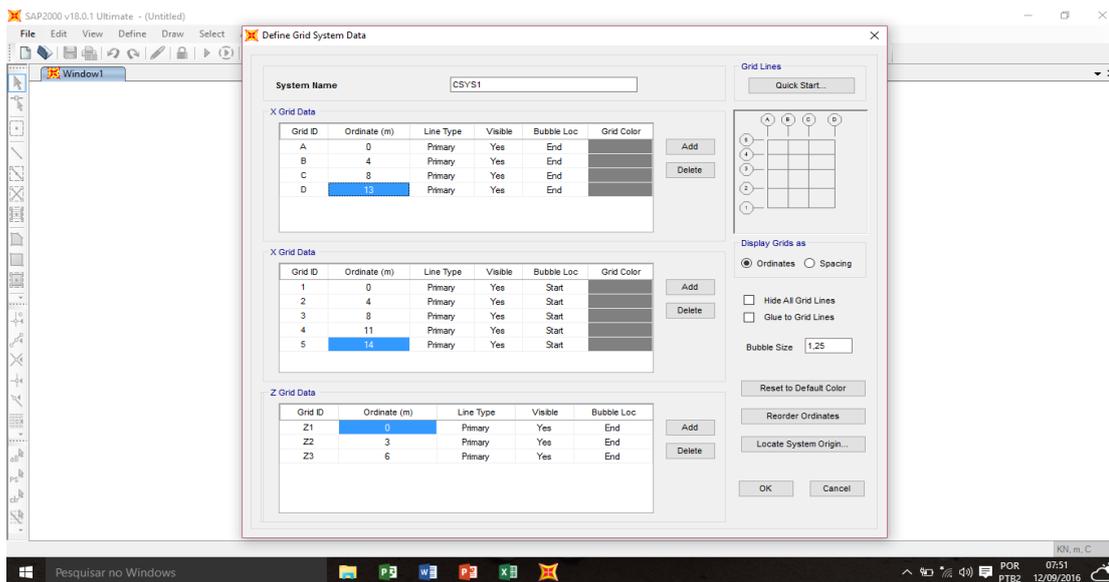


Figura 2 - Caixa de diálogo para entrada dos dados dos vãos da edificação.



3. DEFINIÇÃO DAS PROPRIEDADES DA SEÇÃO DAS VIGAS DO PÓRTICO

Na tabela *3D Frame*, clicar em *Beams(+)*, que significa viga, para abrir a caixa *Frame Properties*. Em seguida altera-se as propriedades das vigas. Em seguida clicar em *Add New Property*, para adicionar novas propriedades. Nesse procedimento será alterado as seções das vigas do pórtico, selecionando a opção *Concrete > Retangular*, pois as vigas são de concreto e tem seção retangular de 20cm x 30cm. Em seguida indicar um nome para a seção em *Section Name*

Organização



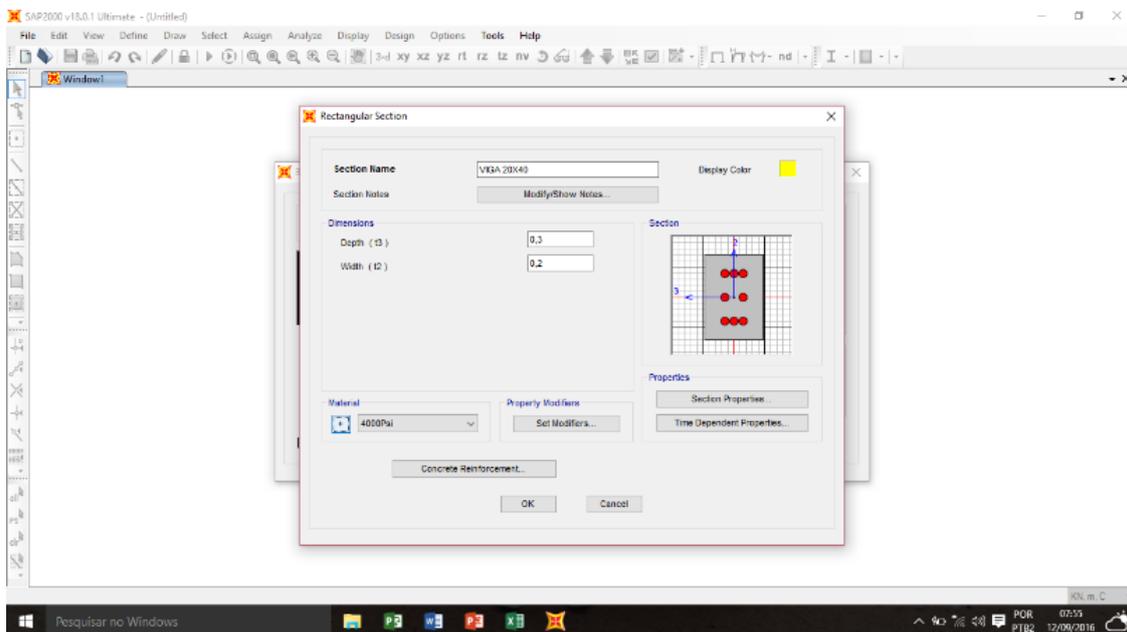
Promoção





e alterar as medidas da seção da viga para $Depth=0,3$ e $Width=0,2$, conforme Figura 3.

Figura3- caixa de diálogo para alterar a seção da viga.



Após abrir a caixa de diálogo *Add Material Property*, selecionar as opções: em *Regiones* escolher *User* e em *Material Type* escolher *Concrete*. Em seguida clicar em *Ok*. Após inserir os dados na tabela anterior irá abrir a próxima caixa de diálogo *Material Property Data*, alterando o nome do material para concreto. Muda-se o peso específico *Weight per Unit Volume* para 25 kN/m^3 e o módulo de elasticidade *Modulus of Elasticity* para $30 \times 10^6 \text{ GPa}$ ($30\text{E}6$). Em seguida clicar em *Ok*. Após o programa retornar para a caixa de diálogo *Material Property Data*, deve-se selecionar o material criado (*Concreto*) e clicar em *Ok*.

4. DEFINIÇÃO DAS PROPRIEDADES DA SEÇÃO DOS PILARES DO PÓRTICO

Ao retornar para caixa de diálogo *3D Frame*, selecionar (+) ao lado da opção *Columns* para alterar as seções e propriedades dos pilares do pórtico, conforme Figura 4. Após abrir a caixa de diálogo *Frame Property* clicar em *Add New Property* para adicionar a seção e as propriedades dos pilares. Pode-se mudar da seção para **Pilar 20x30**. Em seguida adicionar as dimensões do pilar (*Depth 0,3 m ; Widht 0,2 m*).

Em *Material* clicar em (+) e selecionar o material concreto que já foi criado anteriormente. Por fim selecionar *Ok*. Ao retornar para caixa de diálogo *3D Frame*, selecionar (**Pilar 20x30**) em *Columns* e confirmar clicando em *Ok*. Após ter realizado os passos anteriores e possível visualizar o modelo estrutural, conforme Figura 5. Selecionar as vigas e colunas de 3, 4, 5 e A, B, C e apaga-las, pois são inexistentes no projeto a ser analisado.



Figura4 - Caixa de diálogo 3D Frame,SAP 2000 v.18.

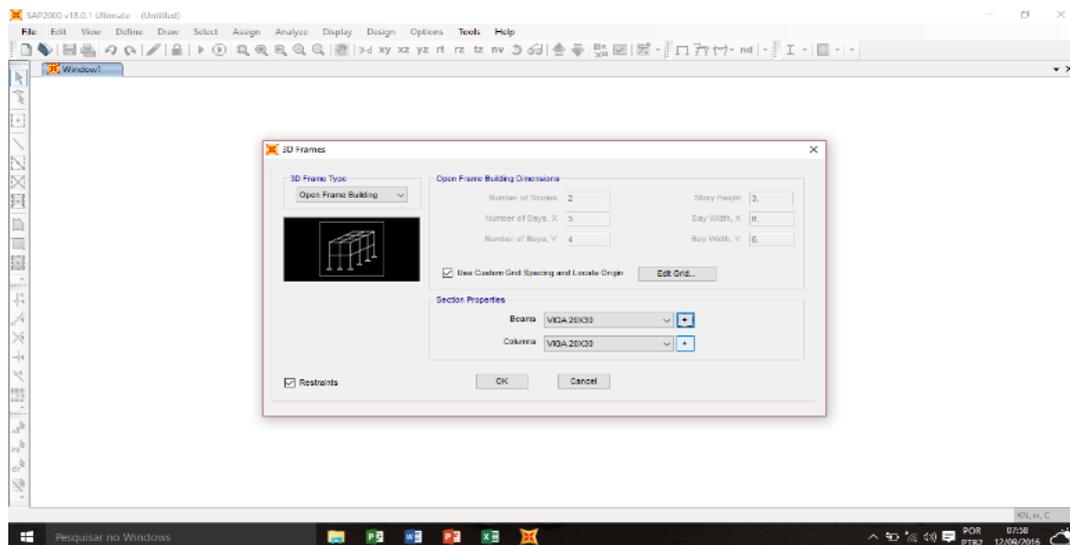
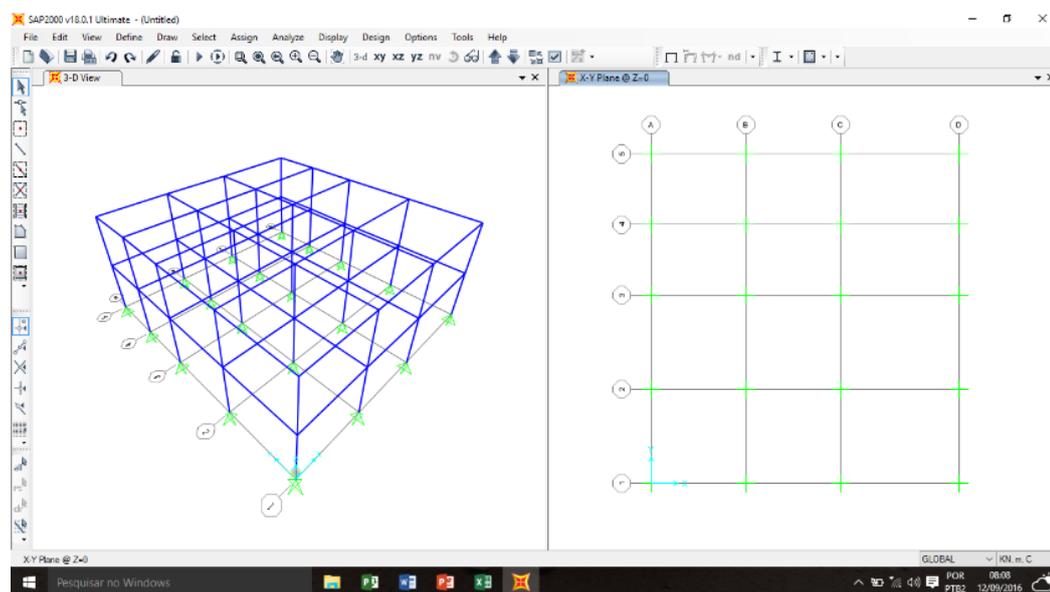


Figura 5 - Pórtico elaborado, imagem do SAP 2000. v.18.

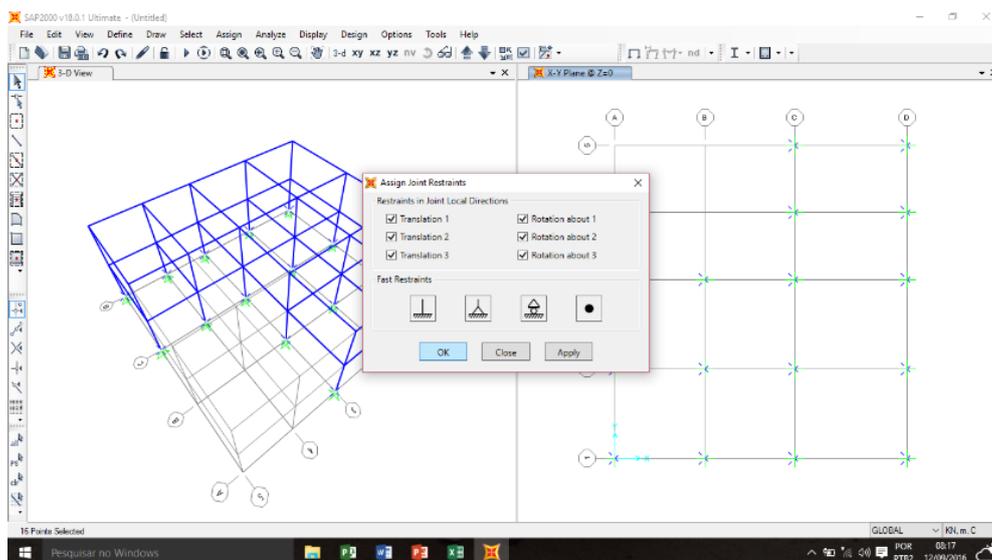


5. DEFINIÇÃO DOS APOIOS DO PÓRTICO

Para se definir os apoios, selecionar os pontos que serão destinados aos apoios e na vista a direita (*X-Y Plane @ Z=0*), clicar nos pontos onde estão localizados os apoios do pórtico. Em seguida aplicar os apoios e clicar em *Assign > Joint > Restraints*, que significa atribuir restrições comuns, e ao abrir a caixa de diálogo, selecionar o primeiro apoio com restrição em rotação e translação em todas as direções, pois todos apoios estão engastados, conforme Figura 6.



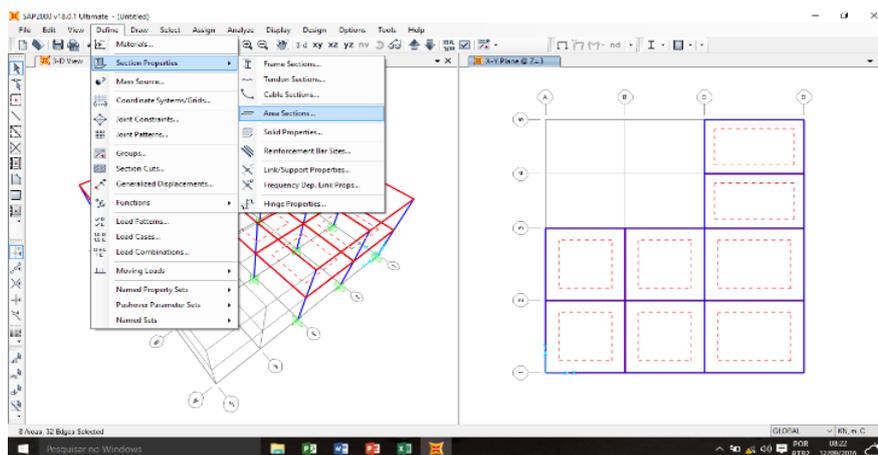
Figura 6 - Caixa de diálogo para determinação dos apoios.



6. DEFINIÇÃO DAS LAJES E SUAS PROPRIEDADES.

Para criar as lajes da edificação selecionar o plano *xy*, e clicar na caixa de ferramentas *Draw*em seguida selecionar a opção *Draw Rectangular Area*.Em seguida, selecionar os pontos que deseja tornar uma área clicando nos vértices opostos de cadaretângulo que forma as lajes de cada pavimento, começando pela laje do 1º pavimento. A seguir são definidas as propriedades e seções das lajes, selecionando as mesmas por meio de um clique com o botão direito do mouse clicando a seguir em *Define >Section Properties > Area Sections* para definir as propriedades das seções das lajes,conforme a Figura7. Em seguida, selecionar *Add New Section*, que abrirá uma caixa de diálogo para inserir os dados da seção,*Shell Section Data*. Nessa caixa muda-se o nome da seção para *Lajee* em seguida os valores de *Membrane* e *Bending* para 0,12 m, ou seja, a espessura da laje é de 12 cm. Selecionar a opção *Shell-Thin*, isto é, casca fina e escolher o material concreto. Por fim clicar em OK.

Figura7- Barra de ferramenta *Define*.



Organização

Promoção



No projeto real há uma marquise. Para se desenhar as vigas das marquises do pórtico clicarem **Draw > Draw Frame/ Cable/ Tendon**. Em seguida prosseguir ao desenho das vigas e criação das lajes usando o mesmo procedimento anterior para criação das lajes dos pavimentos. Para modificar as propriedades e seções das lajes das marquises seleciona-se as áreas da marquise e em seguida clicar em **Assign > Area > Sections** e escolher a laje de 12cm já criada anteriormente.

7. INSERÇÃO DE CARGAS

Diante dos passos anteriores, basta inserir o carregamento. Para mudar os padrões de carga clicar em **Define > Load Patterns** adicionando-se **Alvenaria > Other > 1; Carga de Utilização > Other > 1; Piso > Other > 1**, conforme Figura 8. Em seguida cria-se uma combinação de cargas que irão atuar no pórtico. Essa combinação de cargas será usada na execução do programa para verificar os esforços atuantes devido a essa combinação. A seguir clicar em **Define > Load Combinations** para definir uma nova combinação de cargas, e ao abrir a caixa de diálogo **Load Combinations Dat**, selecionar as cargas criadas. Para aplicar cargas as vigas da estrutura clica-se em **Select > Properties > Frame Sections**, selecionando assim as vigas que receberão as cargas de alvenaria, a qual foi calculada em 5,07 kN/m. Após a aplicação dessa carga, é possível visualiza-la na estrutura conforme a Figura 9.

Figura 8- Tabela para definir padrões de carga.

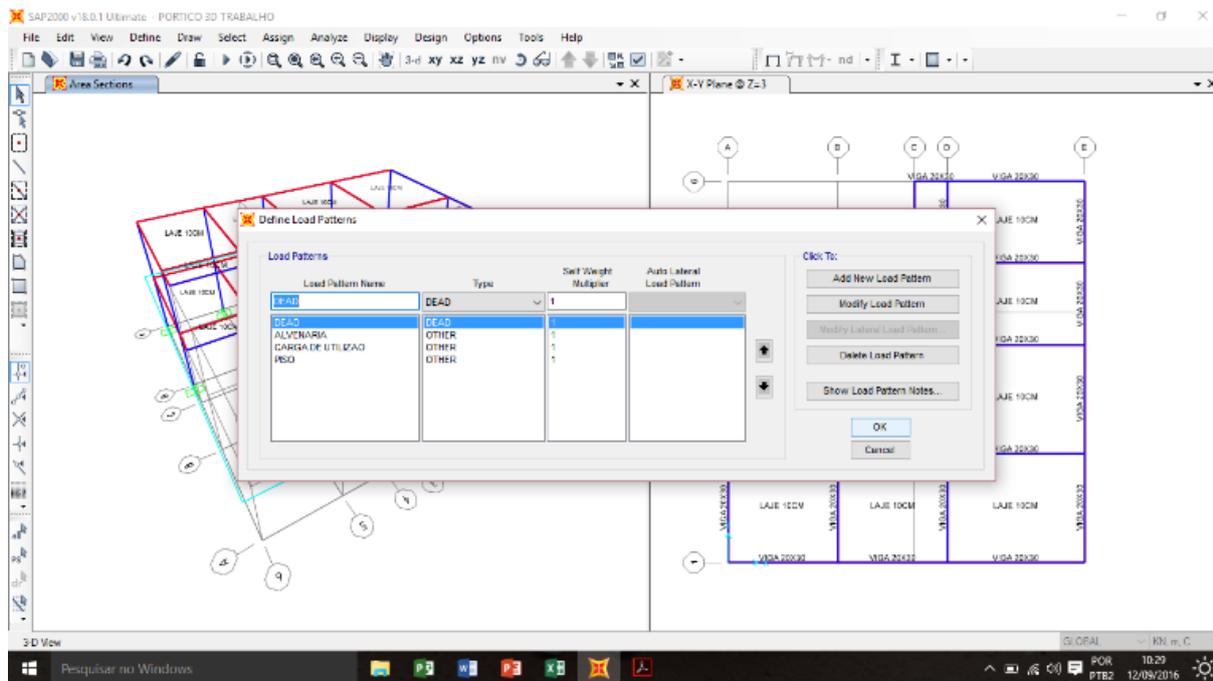
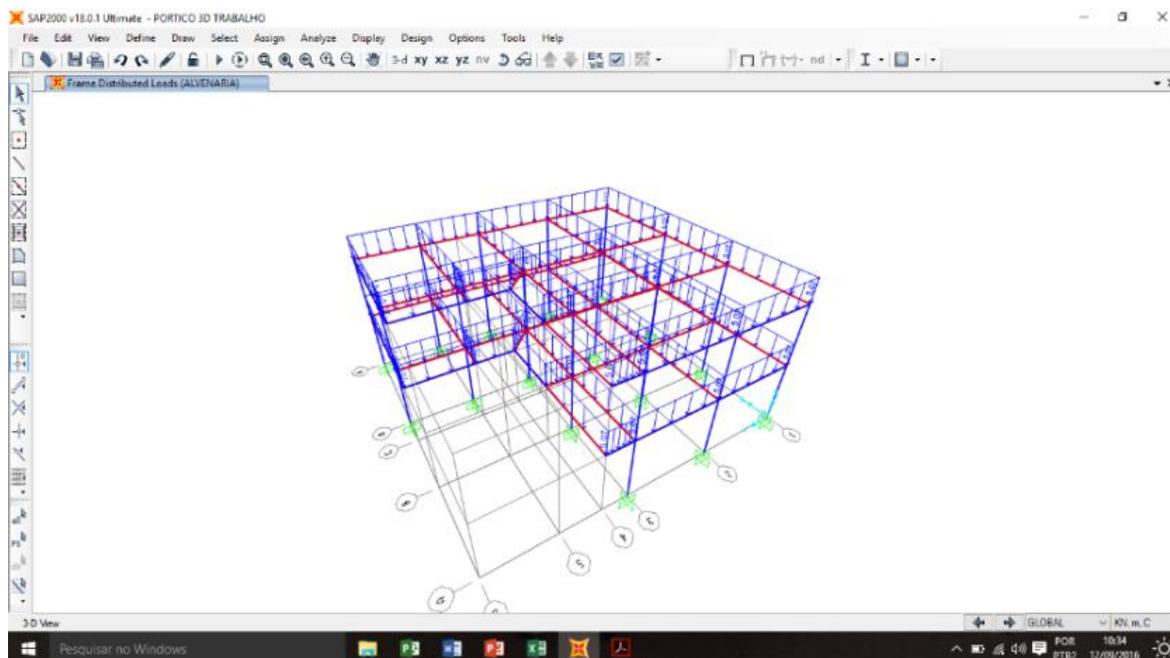




Figura 9 - Pórtico com a força -5,07 kN/m distribuída, aplicada sobre a alvenaria.



Para aplicar cargas sobre as lajes deve-se clicar em *select > poly* que selecionará todas as lajes dos dois pavimentos e em seguida clicar em *Assign > Area Loads > Uniform (shell)* para atribuir cargas as áreas selecionadas. As cargas aplicadas serão do piso e sua carga é de -1,5 kN/m² na direção Z e a carga de utilização que é de - 4,0 KN/m², na mesma direção. Lembrando que a carga é negativa pois seu sentido é para baixo.

8. EXECUÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após realizados os passos anteriores, pode-se prosseguir a análise da estrutura, clicando-se em *Analyze > Set Analysis Options* em *Space Frame > Ok* que selecionará as opções automaticamente para a análise do pórtico espacial. Em seguida irá surgir uma caixa de diálogo chamada *Set Load Cases To Run* para selecionar o conjunto de casos a serem executados. Vale ressaltar que é importante verificar se todas as ações estão em modo *Run* que é o modo de execução. Em seguida clicar em *Run Now*. Após a execução é possível visualizar a estrutura deformada na Figura 10 que é resultante da combinação de cargas (*Combo1*) criada anteriormente. Para se visualizar os esforços cortantes clicar em *Show/Forces Stresses > Frame/ Cables/ Tendons* que irá abrir a caixa de diálogo *Member Force/ Stress Diagram for Frame*, selecionar as opções *Force > Shear 2-2* para visualizar os diagrams de esforço cortante.

Clicando com botão direito do mouse em cima de uma viga ou pilar será exibido uma caixa de diálogo com os dados obtidos: forças nos apoios; esforços cortantes; momento fletor e deflexão máxima, conforme Figura 11. Clicando com o botão direito do mouse na viga destacada em vermelho do pórtico, observa-se o momento negativo no balanço e positivo no centro do vão da viga.



Figura10 - Representação da deformação do pórtico após análise do sistema.

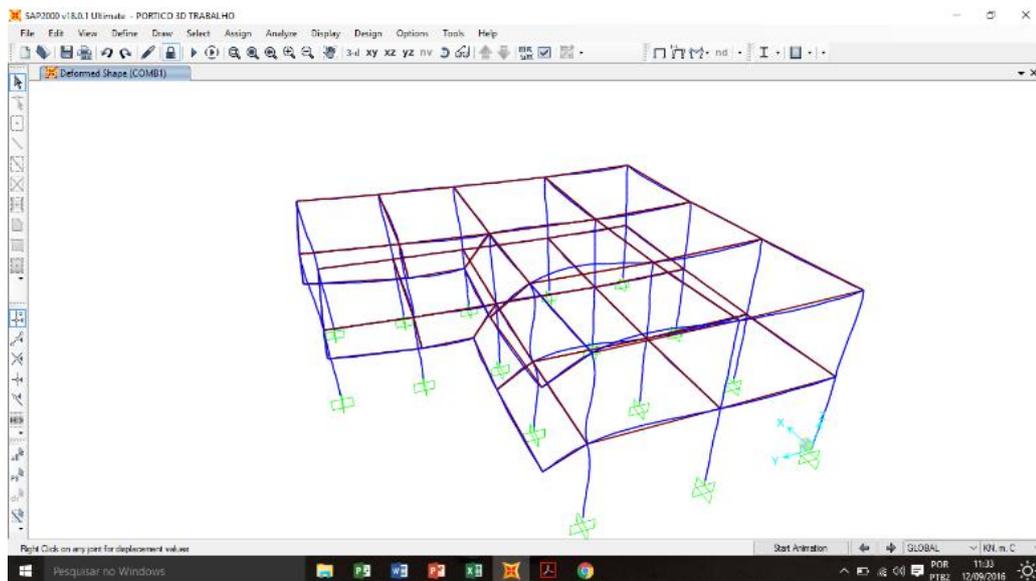
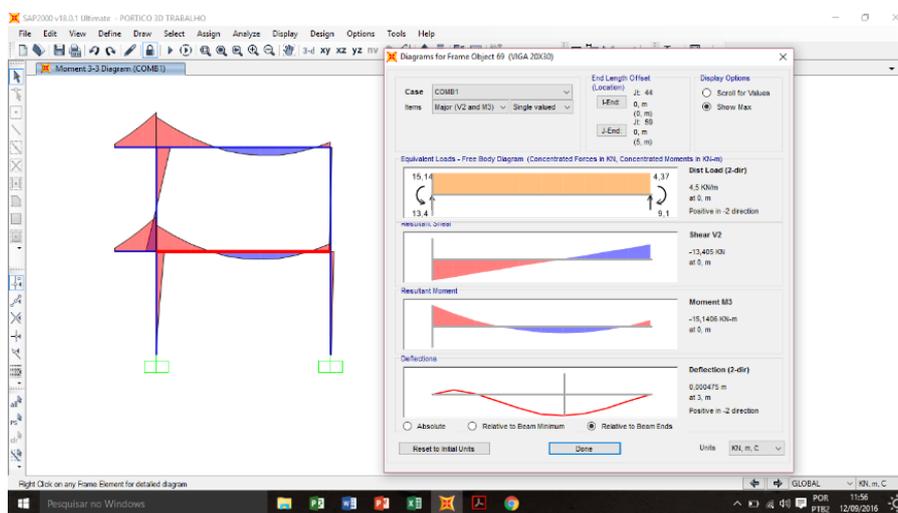


Figura 11 - Caixa de diálogo com as informações da viga selecionada.

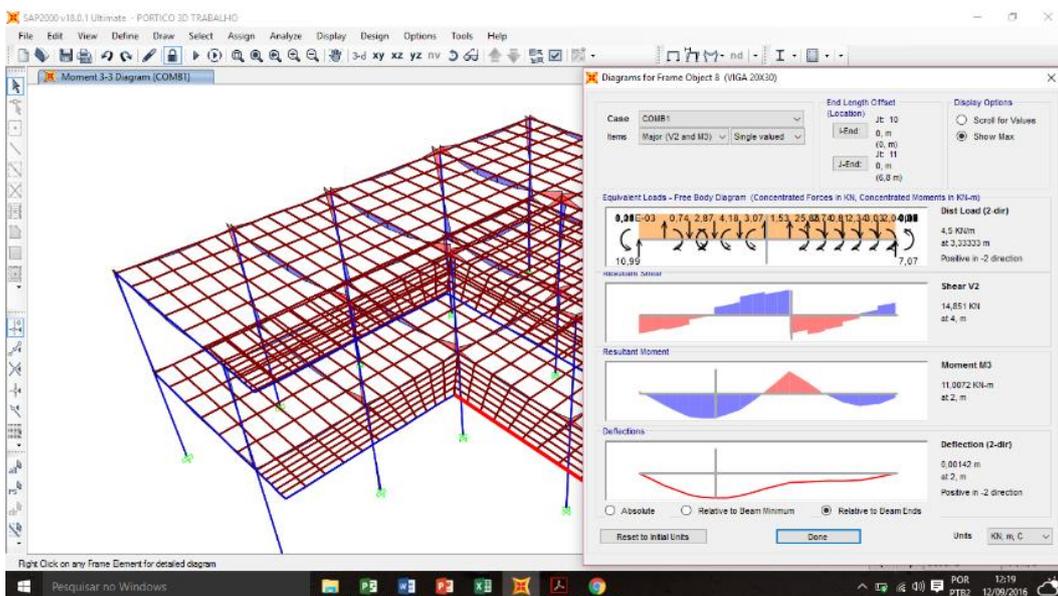


Para visualizar assolicitações máximas nas lajes deve-se clicar em **Display > Show Forces/ Stresses > Shells**, selecionando na caixa de diálogo as opções **Shell Stresses > Maximum > S máx**. Pode-se realizar a divisão das lajes em sub lajes, afim de se obter uma análise mais precisa. Para isso deve-se clicar em **Select > Properties > Area Sections**, para selecionar todas as lajes existentes na estrutura. Em seguida clicar em **Edit Areas > Divide Areas** e definir o número de partes que se deseja dividir a área. No presente estudo dividi-se em 6(seis) partes em cada direção no comando **Along Edge from Point 1 to 2 >6; Along Edge from Point 1 to 3 >6**. Em seguida se procede a análise da estrutura novamente clicando na aba **Analyze > Run Analysis > Run Now**. Clicando com o botão direito do mouse na viga que se deseja analisar, será exibido uma caixa de diálogo com os dados obtidos: forças nos apoios, esforços cortantes, momento fletor e deflexão, conforme Figura 12. Caso se deseje apresentar as reações nos apoios clicar em **Display > Show Forces/Stresses > Joints**,



cliqueando com o botão direito do mouse no apoio desejado.

Figura 12- Esforços cortantes; momento; deflexão nas lajes.



9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho mostrou que a partir de softwares como o SAP 2000 é possível simular, resolver e realizar cálculos a fim de buscar soluções para projetos. Para usar esse recurso tecnológico é necessário o conhecimento prévio de disciplinas da área de estruturas e ter a capacidade de abstração para criar um modelo computacional a partir de um modelo real. O software pode plenamente ser utilizado como recurso tecnológico no processo de ensino e aprendizagem de disciplinas como Resistência dos materiais, Estruturas de concreto armado, Aço, Estruturas de Madeira, Análise computacional de estruturas, entre outras, pertencentes à grade curricular dos cursos de graduação em Engenharia Civil.

Agradecimentos

Agradecemos a Deus, nossos familiares e amigos e a Faculdade de Engenharia Civil pelo apoio prestado na realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, L.M., Métodos dos Elementos Finitos, Curitiba, 2007, Apostila organizada como resultado do estudo das aulas para obtenção de créditos da Disciplina Método dos Elementos Finitos do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Paraná.

MARTHA, Luiz Fernando. Análise de estruturas: Conceitos e métodos básicos. ed. Campus, 2010. 536 p.

PEREIRA, J.S.; OLIVEIRA, S.S, Elaboração de um tutorial do SAP 2000 v. 17 para análise estrutural de uma viga contínua. Anais: XLIV – Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Natal: UFRN, 2016.

Organização



Promoção



Joinville/SC – 26 a 29 de Setembro de 2017
UDESC/UNISOCIESC
“Inovação no Ensino/Aprendizagem em
Engenharia”



COBENGE 2017
XLV CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA

VELOZA, L. T. M., Análise Dinâmica das Estruturas, utilizando o Software SAP 2000. São Carlos, São Paulo, 2009, UFSC - Universidade Federal de São Carlos, TCC (Trabalho de Conclusão de Curso).

Organização



Promoção





A WRITING TUTORIAL SAP 2000 V. 18 FOR STRUCTURAL ANALYSIS OF A CONCRETE 3D FRAME

Abstract: *The main aim of present work to present a tutorial of SAP 2000 v.18 - Structural Analysis Program, for structural analysis of a concrete 3D Frame. SAP 2000 is a software for structural analysis using the finite element method, developed by the American company CSI - Computers & Structures Inc. and marketed in Brazil by the company Multiplus Softwares Técnicos in. The software is widely used in structural analysis of small and large buildings As well as bridges, viaducts, dams, etc. Although it is an important tool of analysis, it is observed the difficulty of Civil Engineering students in the learning of such program as well as the shortage of material in Portuguese that presents in a didactic way some basic commands and tutorials of aid to use the program. Aiming to contribute to reduce these difficulties, the present work was developed, in which the analysis of a commercial two-floor building, constructed in concrete, was carried out to find the reactions in the supports, maximum values of deflection, bending moment and shear stress in Slabs, beams and pillars that composes the structure in order to study its behavior.*

Key-words: *SAP 2000, Structural Analysis, 3D Frame.*

Organização



UDESC
UNIVERSIDADE
DO ESTADO DE
SANTA CATARINA



UNISOCIESC
Educação e Tecnologia

Promoção



ABENGE
Associação Brasileira de Educação em Engenharia