

Universidade Federal do Rio de Janeiro

PROJETO DE UM EDIFÍCIO GARAGEM COM LAJES LISAS

Jefferson Navarro Marinho Meireles

2014



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

PROJETO DE UM EDIFÍCIO GARAGEM COM LAJES LISAS

Jefferson Navarro Marinho Meireles

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador:

Prof. Henrique Innecco Longo, D.Sc.

Rio de Janeiro

Março de 2014

PROJETO DE UM EDIFÍCIO GARAGEM COM LAJES LISAS

Jefferson Navarro Marinho Meireles

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL.

Examinada por:

Henrique Innecco Longo
Prof.º Associado, D.Sc., EP/UFRJ
(Orientador)

José Antônio Fontes Santiago
D.Sc., COPPE/UFRJ

Ana Arai
Profª Substituta, M.Sc., EP/UFRJ

Rio de Janeiro

Março de 2014

Meireles, Jefferson Navarro Marinho

Projeto de um Edifício Garagem com Lajes Lisas/
Jefferson Navarro Marinho Meireles. – Rio de Janeiro: UFRJ/
Escola Politécnica, 2014.

x, 56 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Henrique Innecco Longo

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/
Curso de Engenharia Civil, 2014.

Referências Bibliográficas: p. 53.

1. Edifício Garagem. 2. Dimensionamento Laje Lisa
3. Tipos de Apoio

I. Longo, Henrique Innecco. II. Universidade Federal do
Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia
Civil. III. Título.

Dedico este trabalho à minha família: Jairo, Lucia Vera e Bianca, com todo o carinho e amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro a Deus, aos meus guias espirituais e aos Orixás que regem as forças da natureza, por toda a luz, força e sabedoria que eu necessito para trilhar os meus caminhos.

Aos meus queridos pais, Jairo e Lucia, por me darem todo o apoio necessário para conseguir finalizar essa etapa da minha vida, com todo o respeito, amor e carinho, além de me oferecer uma vida com muitos valores importantes para moldar uma pessoa de bem, correta e, acima de tudo feliz. Agradeço a oportunidade de ter vindo a essa vida como filho de vocês. Amo vocês.

Ao meu orientador Henrique Longo, por tornar possível esse projeto, me auxiliando e me oferecendo pronto atendimento nos momentos de dificuldade e dúvida.

Aos meus grandes amigos da faculdade: Baia, Julio, PH, Hebert, Rodrigo, Rosana, Carol e Samantha pelo companheirismo, pela amizade, pelo estímulo a sempre correr atrás dos objetivos, além dos vários momentos de divertimento e apoio.

Bianca Navarro, minha irmã, que desde a infância sempre foi uma amiga, uma companheira que eu sempre posso contar para qualquer problema ou dificuldade, além de compartilhar nessa vida o fato de sermos irmãos. Agradeço muito aos céus pela oportunidade de compartilhar essa existência do seu lado. Te amo!

Cynthia Carvalho, a melhor namorada do mundo! Sempre me dando votos de confiança, palavra de força e incentivo, além de muito carinho e amor. Uma pessoa que tenho muito amor, respeito e estima, uma das pessoas das quais fez com que esse trabalho fosse concluído. Quero ter com você tudo o que for possível na vida a dois. Te amo!

Aos meus primos Lucinha, Márcia, Monteiro, Júlio, Lucas e Kauã e ao meu tio Geraldo, pelo carinho, pelo apoio e pela força que sempre deram. Vocês são muito importantes e essenciais nessa vitória.

Às minhas tias Nem e Jô, por serem tias, mães, irmãs, por estar sempre comigo desde a infância, tanto pelo pensamento quanto pela presença física. Vocês foram e são importantes na minha vida, oferecendo amor e carinho. Obrigado por sempre rezarem

por mim e por oferecerem tudo que vocês podem por mim, para que eu pudesse chegar numa condição melhor.

Aos meus amigos Vinicius, Amanda, Manu, Vanessa, Michel, Igor e Bruno, que fizeram o trabalho ser mais divertido, além de sempre prestarem ajuda em tudo que podia ser feito, além da ajuda, tanto com palavras de estímulo ou ajuda nas cópias desse projeto. Muito obrigado pela amizade e convivência.

Aos meus amigos da Escola de Dança Jaime Arôxa Tijuca, pelos ensinamentos e pelos momentos divertidos que tenho ao lado de vocês, em especial ao meus amigos Gabriel e Allex, que se tornaram pessoas especiais na minha vida, que sei que posso contar para qualquer coisa.

Aos meus amigos do CAP-UERJ, Guilherme, Caue, Serginho, Ramon, Rodolfo, Gigante, Leandro, Danilo. Já são 13 anos de amizade, e mesmo com dificuldades de nos encontrarmos com frequência, vocês são amigos importantes para mim, e espero que nossa amizade nunca termine. Bonde dos Caretas!

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Civil.

PROJETO DE UM EDIFÍCIO GARAGEM COM LAJES LISAS

Jefferson Navarro Marinho Meireles

março/2014

Orientador: Henrique Innecco Longo

Curso: Engenharia Civil

Lajes lisas ou cogumelos são lajes que baseiam seu modelo estrutural com o uso de lajes apoiadas diretamente nos pilares e, em alguns casos, com a utilização de vigas apenas em seu contorno. As lajes lisas podem ser projetadas em obras que necessitem de tetos lisos, como por exemplo, salões de festas, shopping centers e edificações residenciais, dando a vantagem ao morador de poder remanejar a disposição das paredes divisórias dos cômodos. O presente trabalho tem como objetivo apresentar o projeto e o dimensionamento de um edifício garagem, abrangendo as plantas de arquitetura e o lançamento do projeto estrutural e, também a influência dos tipos de apoio na modelagem desse edifício, com sobrecargas nas posições mais desfavoráveis, com a determinação dos momentos pela envoltória das combinações, além da análise do modelo tridimensional sob a ação do vento.

Palavras-chave: Lajes lisas, Edifício Garagem, Dimensionamento.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

DESIGN OF A BUILDING WITH GARAGE SLABS FLAT

Jefferson Navarro Marinho Meireles

march/2014

Advisor: Henrique Innecco Longo

Course: Civil Engineering

Mushrooms are flat slabs or slabs based on its structural model using slabs directly supported on the pillars, and in some cases with the use of beams only in outline. The flat slabs can be designed into works that require smooth ceilings, such as halls, shopping malls and residential buildings, giving the advantage to the resident could reallocate the arrangement of partition walls of the rooms. This paper aims to present the design and sizing of a garage building, covering the architectural plans and the launch of the structural design, and also the influence of types of support in modeling this building with overloads the most unfavorable positions, with the determination moments of the envelope combinations, besides the analysis of three-dimensional model under the action of wind.

Keywords: Flat Slabs, Building Garage, Sizing.

Sumário

1.	Introdução.....	9
2.	Laje Lisa ou Cogumelo	10
2.1	Definição.....	10
2.2	Estimativa da Espessura.....	11
2.3	Método de Análise	12
2.3.1	Método dos Elementos Finitos	12
2.3.2	Modelos de Cálculo para Momentos Máximos Positivos e Negativos	13
3.	Influência dos Tipos de Apoio na Modelagem	14
3.1	Apoio Pontual	14
3.2	Elemento Linear.....	15
3.3	Elementos Finitos Sólidos	15
3.4	Elemento Finito Sólido com Elemento Linear	16
4.	Projeto Edifício Garagem.....	17
4.1	Lançamento da Estrutura	17
4.1.1	Laje Lisa	17
4.1.2	Vigas e Cintas.....	18
4.1.3	Pilares	18
4.1.4	Plantas de Arquitetura	19
4.1.5	Plantas de Formas.....	20
5.	Carregamentos Aplicados	23
5.1	Cargas Aplicadas na Laje.....	23
5.2	Cargas Aplicadas nas Vigas de Contorno.....	24
6.	Análise do Pavimento do Edifício Garagem pelo Programa SAP 2000	25
6.1	Lançamento dos Elementos estruturais e cargas.....	26
6.2	Lançamento da sobrecarga de Momentos Máximos Positivos e Negativos e Combinações de Carga	31
6.3	Lançamento dos Tipos de Apoio	34

6.4	Apresentação de Resultados	38
6.5	Armaduras.....	43
6.5.1	Armadura superior sobre os pilares.....	43
6.5.2	Armadura inferior da Laje Lisa	43
6.6	Verificação do Puncionamento.....	44
6.7	Verificação das Flechas	47
7.	Análise da Estrutura do Edifício Garagem por um Modelo Tridimensional Programa SAP 2000	49
7.1	Modelagem da Estrutura Tridimensional	49
7.2	Apresentação dos Resultados.....	51
8.	Conclusões	52
9.	Referências Bibliográficas	53

1. Introdução

Esse projeto de graduação tem por objetivo a análise do projeto de um edifício garagem utilizando lajes lisas ou cogumelos, possuindo apenas vigas no contorno da edificação.

As etapas necessárias para a análise desse edifício garagem consistiram no estudo do comportamento e dimensionamento um pavimento isoladamente, utilizando o programa de elementos finitos SAP 2000, variando os tipos de apoios que a laje poderia ter, e depois uma análise do projeto como um todo, modelando todos os pavimentos, levando em conta também uma carga horizontal de vento.

A primeira etapa consistiu na definição do pré-dimensionamento dos elementos estruturais, da influência dos apoios na laje lisa, do método de análise utilizado, da combinação de carga utilizada e das características do material utilizado.

Na segunda etapa foi feita a análise da laje lisa de forma isolada, utilizando as combinações estabelecidas e mostrando o comportamento de cada tipo de apoio em relação aos momentos na laje e nos pilares. A partir da análise e dimensionamento, foram apresentados os resultados de momentos fletores, as armaduras necessárias para esses momentos e verificações quanto ao puncionamento.

Na terceira etapa foi feita a mesma análise e dimensionamento da segunda etapa. Contudo, o modelo utilizado é o modelo completo do edifício garagem, contemplando todos os pavimentos que compõem o projeto, além de acrescentar uma carga horizontal de vento.

Com os resultados obtidos, ficou demonstrado que em pavimentos garagem é preciso posicionar as sobrecargas nas posições mais desfavoráveis, a necessidade de determinar os momentos pela envoltória das combinações, a eficácia do apoio sólido+linear para o modelo de um pavimento e para o modelo tridimensional submetido à ação do vento, apresentando menores momentos negativos para um pavimento e transmitindo momentos negativos para os pilares no modelo tridimensional.

2. Laje Lisa ou Cogumelo

2.1 Definição

Esse tipo de laje, de acordo com a NBR 6118(2007), tem por definição: “Lajes-cogumelo são lajes apoiadas diretamente em pilares com capitéis, enquanto lajes lisas são as apoiadas nos pilares sem capitéis”.

Por não apresentarem no seu modelo estrutural vigas, as lajes transmitem diretamente os esforços atuantes para os pilares. A ligação entre os elementos estruturais (laje e pilares) deve ser verificada, já que existe nesse ponto uma força de alto valor, que pode vir a provocar o fenômeno de punção da laje. A partir da punção, vê-se a necessidade de engrossamento da laje na ligação do pilar, que é chamado de capitel, com o objetivo de reduzir as tensões atuantes.

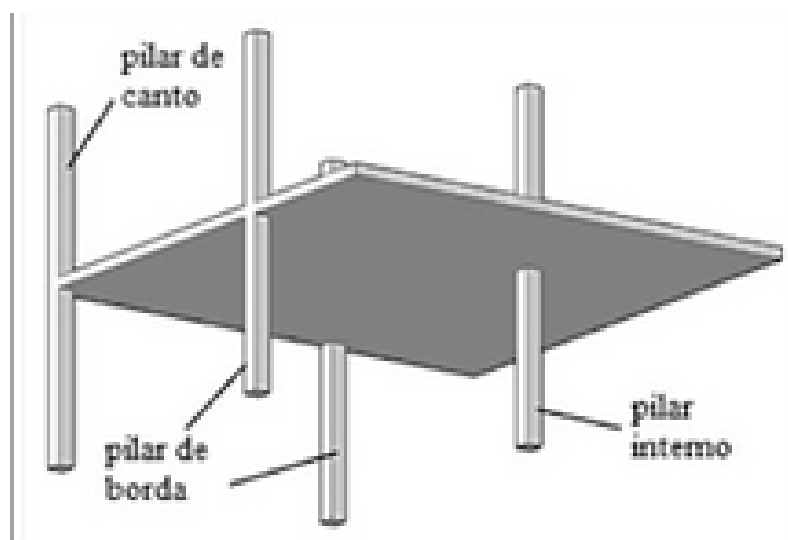


Figura 1 – Esquema tridimensional da Laje Lisa.

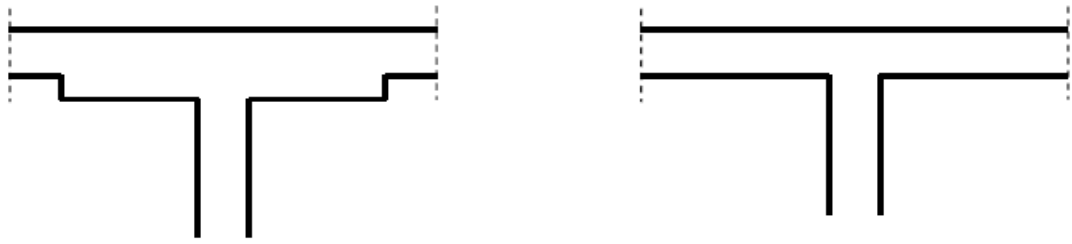


Figura 2 – Laje Cogumelo (com capitel) e Laje Lisa (sem capitel) (LONGO, 2008).

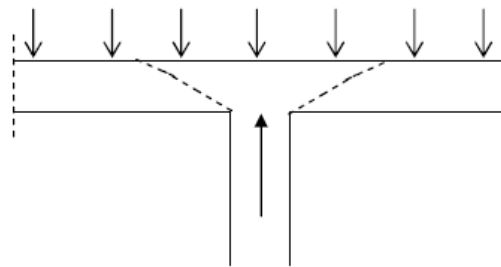


Figura 3 – Ruptura por Puncionamento (LONGO, 2008).

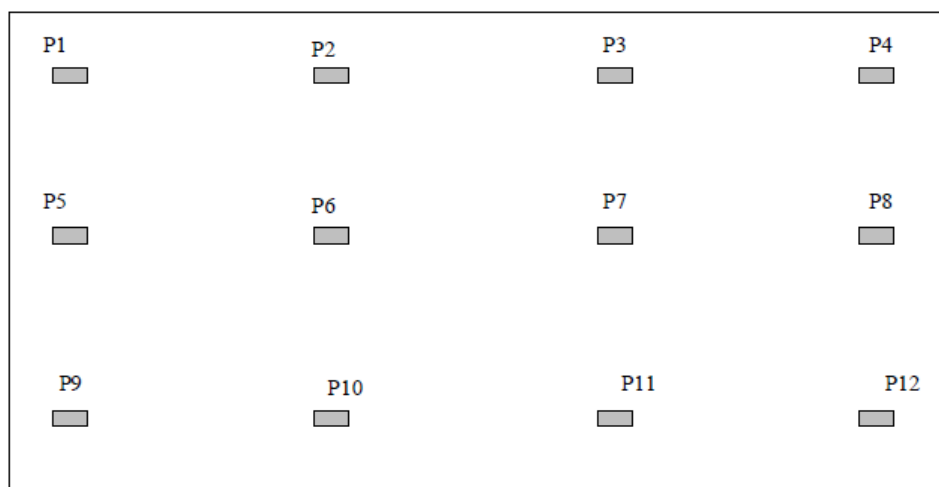


Figura 4 – Laje Lisa apoiada diretamente em pilares (LONGO, 2008).

2.2 Estimativa da Espessura

Pela NBR 6118(2007), a espessura mínima aplicada para lajes lisas é de 16 cm, enquanto que para lajes cogumelos, o valor mínimo é igual a 14 cm.

Outra consideração para a espessura da laje lisa ou cogumelo vem dos critérios aplicados pela ACI 318 (1983), que leva em conta o tipo de aço e o maior vão do painel. O critério para a definição da espessura, utilizando aço CA-50 é definido pela Eq (1).

$$h_{\min} = l / 31 \quad (1)$$

2.3 Método de Análise

Para o cálculo das lajes lisas, podem ser aplicados dois tipos de análise estrutural para obtenção dos esforços: Método Aproximado, que está apresentado na NBR 6118:2007 e o Método dos Elementos Finitos, que será o método escolhido para o projeto.

2.3.1 Método dos Elementos Finitos

A laje lisa pode ser analisada pelo Método dos Elementos Finitos, que tem como princípio a modelagem por uma malha constituída por elementos de casca apoiados em pilares. O esquema da malha e os momentos fletores atuantes na direção X gerados pela Modelagem estão ilustrados nas figuras 5 e 6 e aperfeiçoado ao longo do tempo.

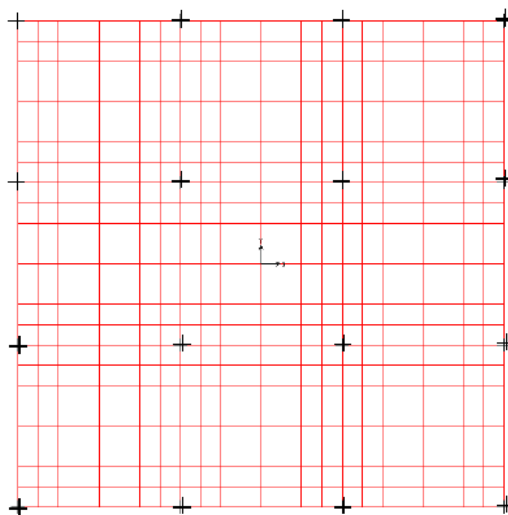


Figura 5 – Malha de Elementos Finitos para Laje Cogumelo (LONGO, 2008)

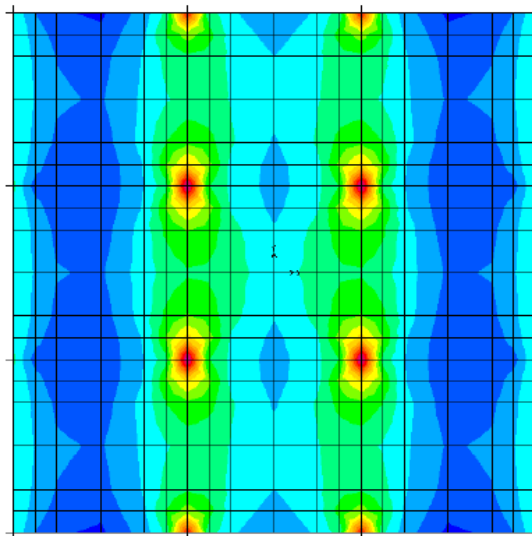


Figura 6 – Momentos fletores na direção X de uma Laje Lisa (LONGO, 2008)

2.3.2 Modelos de Cálculo para Momentos Máximos Positivos e Negativos

As Lajes Lisas ou Cogumelo estão sujeitas a carregamentos, tanto permanentes, como peso próprio da laje e revestimento, quanto variáveis, para o seu dimensionamento. Sendo essa sobrecarga de alto valor, é necessário posicioná-la nas posições mais desfavoráveis, para a obtenção dos esforços positivos e negativos máximos.

Os modelos para obter os valores máximos estão exemplificados nas figuras 7 e 8.

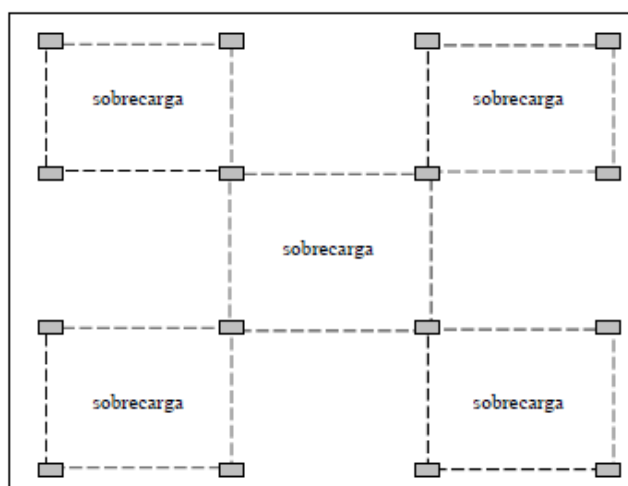


Figura 7 – Posição da sobrecarga para momento máximo positivo no painel central (LONGO, 2008)

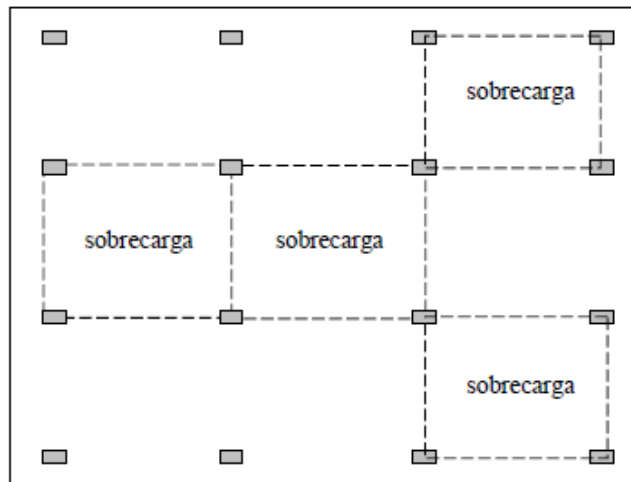


Figura 8 – Posição da sobrecarga para momento máximo negativo no painel central (LONGO, 2008)

3. Influência dos Tipos de Apoio na Modelagem

No Método dos Elementos Finitos, a malha de elementos de casca são apoiados nos pilares, que podem ser representados de diferentes formas de apoio, como apoios pontuais, elementos lineares e por elementos finitos sólidos, associados ou não a um capitel.

Essas diferentes formas de apoio dos pilares interferem nos valores e forma dos momentos fletores gerados pelos carregamentos atuantes.

3.1 Apoio Pontual

Na figura 9, está exemplificada uma malha de elementos finitos, utilizando como representação dos pilares apoios pontuais, que não levam em consideração as dimensões dos pilares determinadas no projeto. Devido a essa desconsideração das dimensões, esse tipo de apoio gera momentos fletores negativos máximos muito altos sobre esses apoios.

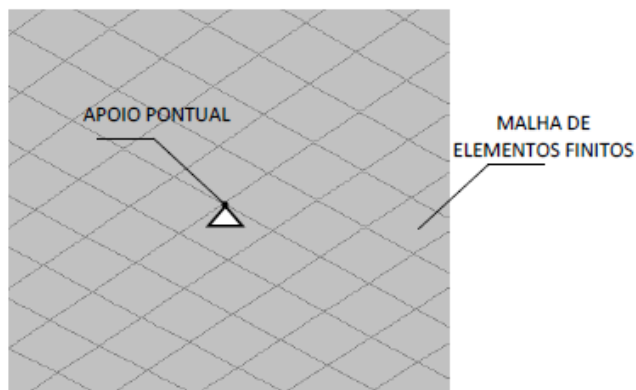


Figura 9 – Laje Lisa apoiada em apoio pontual (LONGO, 2008)

3.2 Elemento Linear

Os pilares também podem ser representados por um elemento linear ligado a malha de elementos finitos, contudo, esse modelo ainda apresenta momentos negativos máximos altos, não sendo ainda um bom modelo estrutura para a laje lisa. Observa-se esse modelo na figura 10.

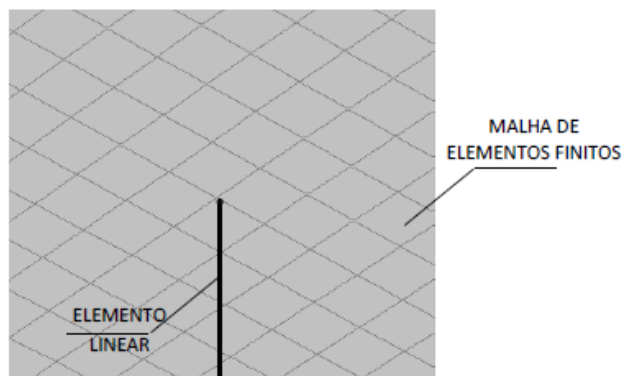


Figura 10 – Laje Lisa apoiada em elemento linear (LONGO, 2008)

3.3 Elementos Finitos Sólidos

A representação dos pilares nas lajes lisas pode ser feita com a utilização de elementos finitos sólidos, como representada na figura 11. Esse tipo de modelo se adapta bem para estruturas de lajes lisas de um pavimento, pois utiliza para uma edificação com mais pavimentos, o tempo de análise da estrutura, utilizando um programa de elementos finitos aumenta muito, além de dificultar o dimensionamento dos pilares, já que para os elementos finitos sólidos são fornecidas as tensões, e não os momentos fletores.

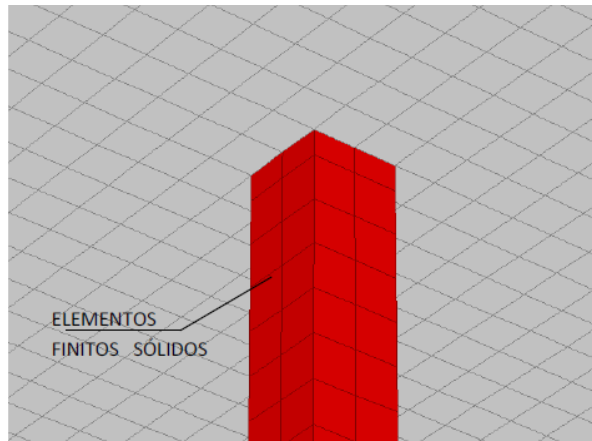


Figura 11 – Pilar modelado com elementos finitos sólidos (LONGO, 2008)

3.4 Elemento Finito Sólido com Elemento Linear

Com o objetivo de levar em conta as dimensões dos pilares, que não sejam do tipo pontual e possam ser usados em edificações de vários pavimentos, os pilares podem ser representados pelo modelo composto por elemento finito sólido e elemento linear (Modelo SL). O modelo tem como característica a utilização de um elemento sólido apoiando a laje, ocupando toda a área do pilar, conectado a um elemento linear. A espessura do elemento sólido não pode ser muito grande para evitar que os momentos nos bordos sejam maiores do que no centro do apoio. O modelo SL está representado na figura 12.

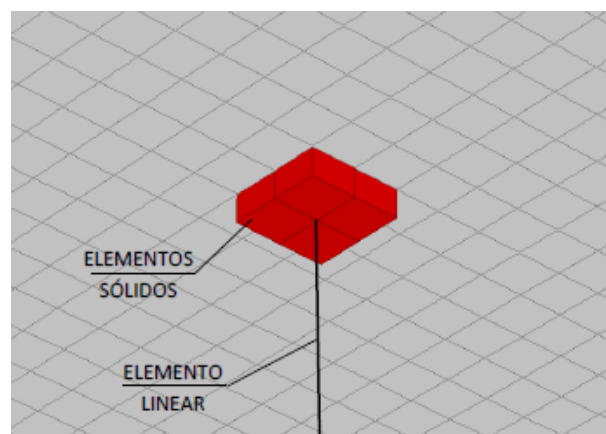


Figura 12 – Modelo com elementos finitos sólidos e elemento linear (Modelo SL) (LONGO, 2008)

4. Projeto Edifício Garagem

O projeto realizado nesse trabalho de conclusão de curso é um edifício garagem, que possui cinco pavimentos (térreo e 1° ao 4° andar).

A solução estrutural aplicada a esse projeto foi o de uma laje lisa apoiada diretamente nos pilares. Também está prevista para essa solução estrutural vigas de contorno na laje para ajudar a diminuir o efeito de punção, que é mais crítico nos pilares de bordo e de canto. Além dessa função, a viga promove maior rigidez á estrutura, já que o edifício não apresenta vigas ligando os pilares, ficando menos suscetível às ações horizontais de vento.

4.1 Lançamento da Estrutura

Neste capítulo serão apresentadas as características e os elementos estruturais escolhidos para a concepção do projeto do edifício garagem com lajes lisas. Esses elementos são de concreto armado, com resistência característica do concreto igual a 30 MPa ($f_{ck} = 30$ MPa), coeficiente de Poisson igual a 0,2 ($\nu = 0,2$) e com módulo de elasticidade inicial e secante definido pela Eq (2) e Eq(3).

$$E_{ci} = 5600 \times \sqrt{f_{ck}} \quad (2)$$

$$E_{cs} = 0,85 \times E_{ci} \quad (3)$$

Então, para E_{ci} e E_{cs} , tem-se:

$$E_{ci} = 5600 \times \sqrt{30} = 30672,46 \text{ MPa}$$

$$E_{cs} = 0,85 \times 30672,46 = 26071,59 \text{ MPa}$$

4.1.1 Laje Lisa

Esse projeto é formado por uma laje lisa de dimensões 50 x 42 m, sendo o valor do maior vão igual a 10 m. A espessura da laje foi obtida através do critério estabelecido pela ACI 318 (1983), utilizando aço CA-50:

$$h = \frac{l}{31} = \frac{1000}{31} = 32,3 \text{ cm}$$

A espessura adotada para a laje lisa foi de 35 cm.

4.1.2 Vigas e Cintas

As vigas e as cintas de bordo foram pré-dimensionada de acordo com o critério estabelecido por LONGO (2008) e, segundo ele, para vigas contínuas em estruturas de edifícios, a altura h da viga contínua pode ser estimada em função do vão L da viga, como ilustra a Eq (4).

$$h \approx \frac{L}{12 \text{ a } 15} \gg 30cm \quad (4)$$

O maior vão das vigas e cintas de bordo do projeto tem o valor igual a 10 m. Portanto, a possível altura estimada para as vigas de bordo é igual a:

$$h = \frac{1000}{15} = 66,7 \text{ cm}$$

A altura adotada para as vigas e cintas de bordo é de 70 cm, e a dimensões da seção adotada é de 40 x 70 cm.

Para as vigas e cintas em torno das escadas e rampas, a dimensão adotada foi de 40 x 40 cm

4.1.3 Pilares

Os pilares foram lançados respeitando o projeto de arquitetura de acordo com os seguintes critérios:

- Nos cantos da estrutura;
- Nos cantos das rampas de acesso e nas escadas;
- Pilares-parede no entorno do elevador;

Com relação às dimensões adotadas, os pilares ficaram assim divididos:

- Pilares de canto, de borda, de interior e nos cantos das rampas têm dimensões de 50x75 cm;
- Pilares de canto das escadas têm dimensões de 40x40 cm.

4.1.4 Plantas de Arquitetura

As plantas correspondentes à arquitetura do edifício garagem serão apresentadas nas figuras 13 a 15.

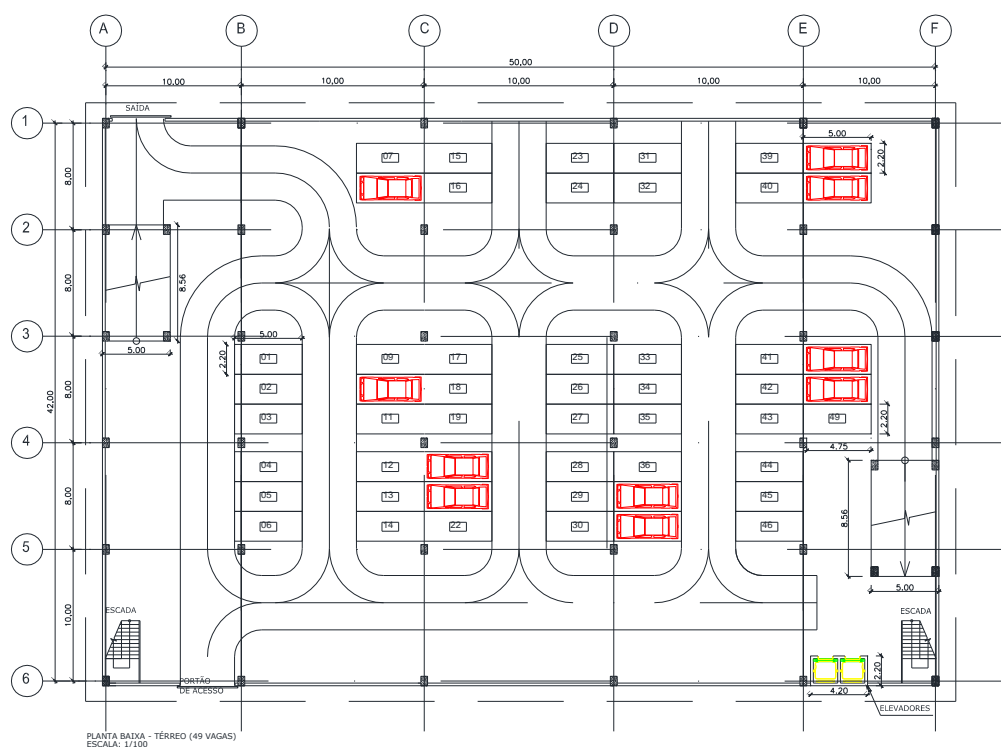


Figura 13 – Arquitetura – Planta Baixa do Térreo – 49 vagas

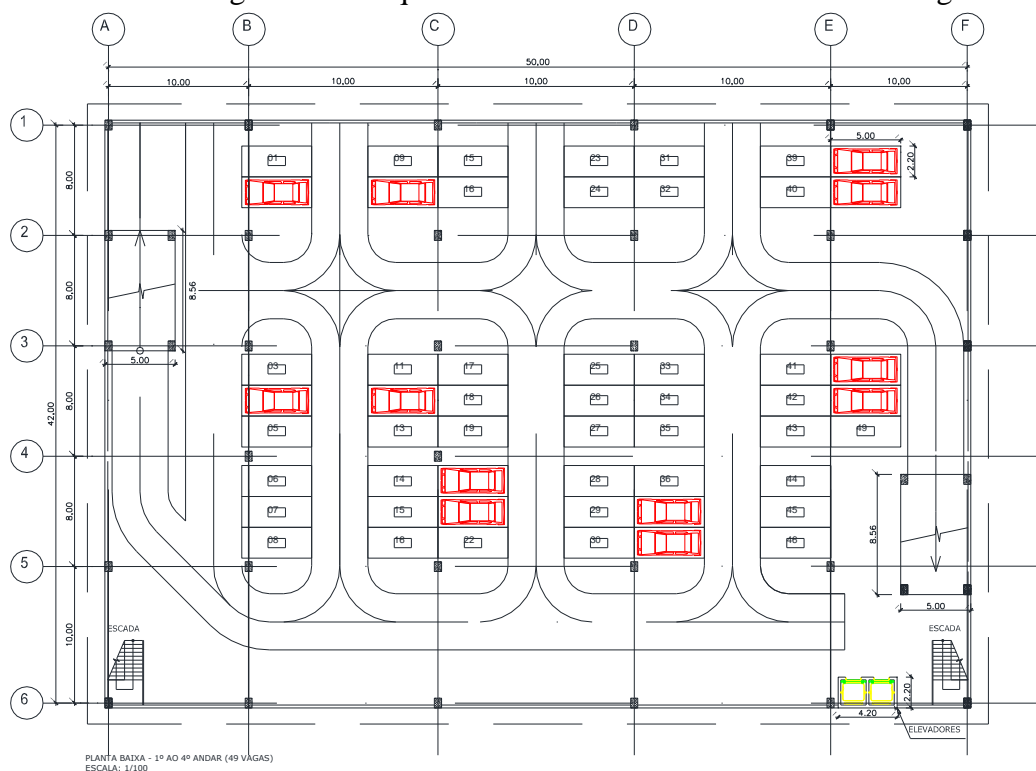


Figura 14 – Arquitetura – Planta Baixa do 1º ao 4º andar – 49 vagas

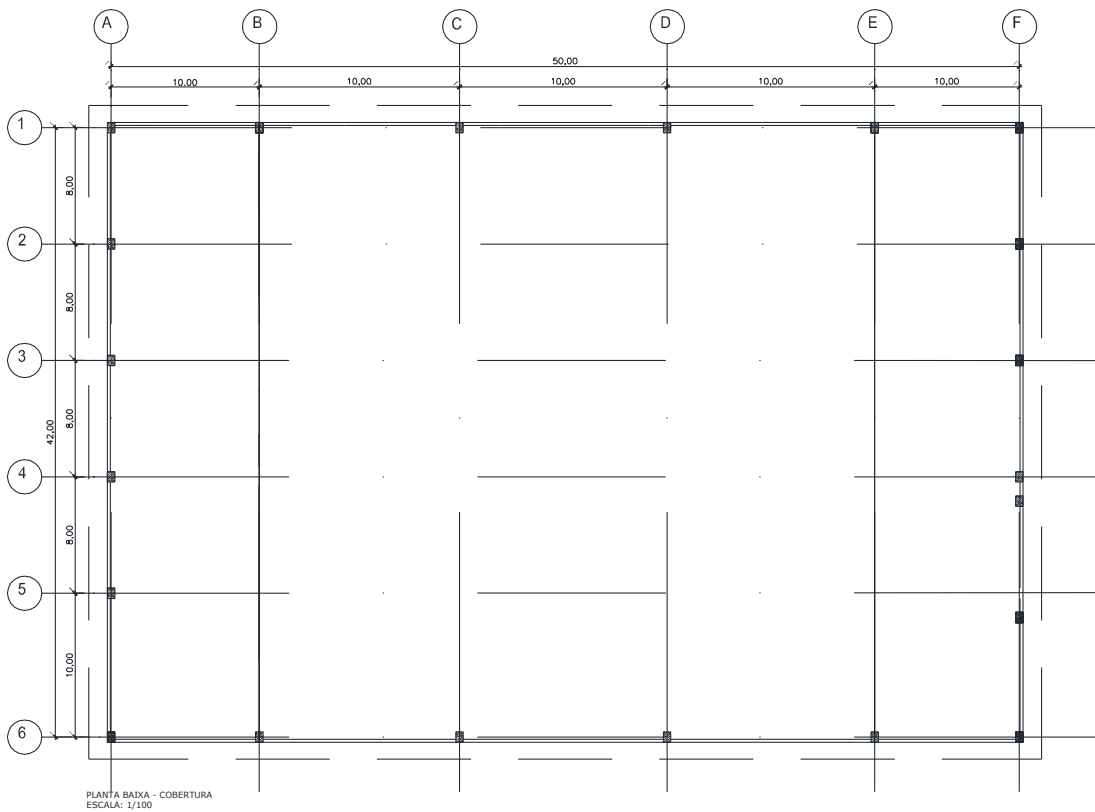


Figura 15 – Arquitetura – Planta Baixa da cobertura

4.1.5 Plantas de Formas

As plantas correspondentes à fôrma do edifício garagem serão apresentadas nas figuras 16 a 18.

Nestes pavimentos foram projetadas juntas de dilatação nos eixos B e E.

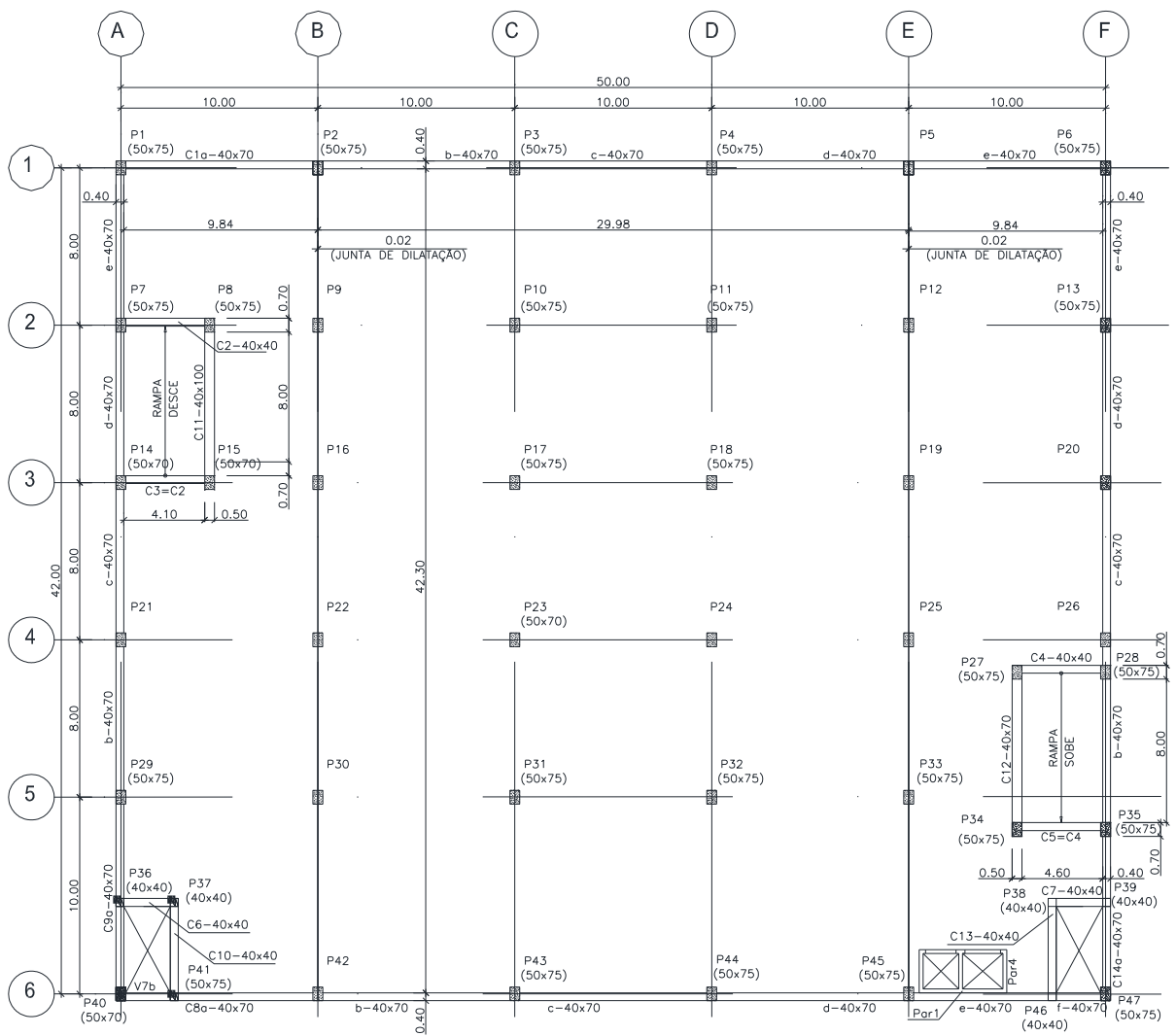


Figura 16 – Fôrma – Planta Baixa do Térreo

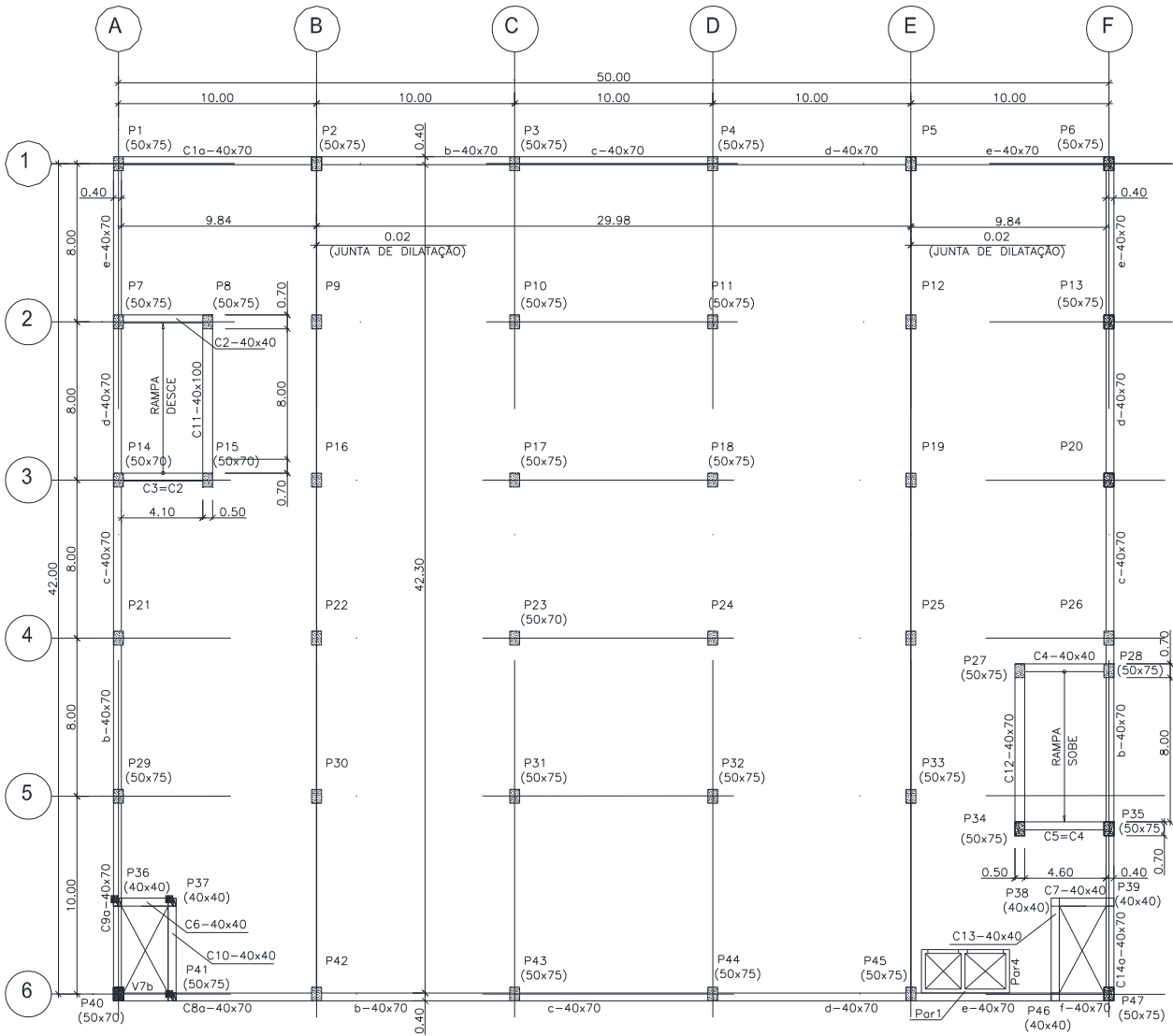


Figura 17 – Fôrma – Planta Baixa do 1º ao 4º teto

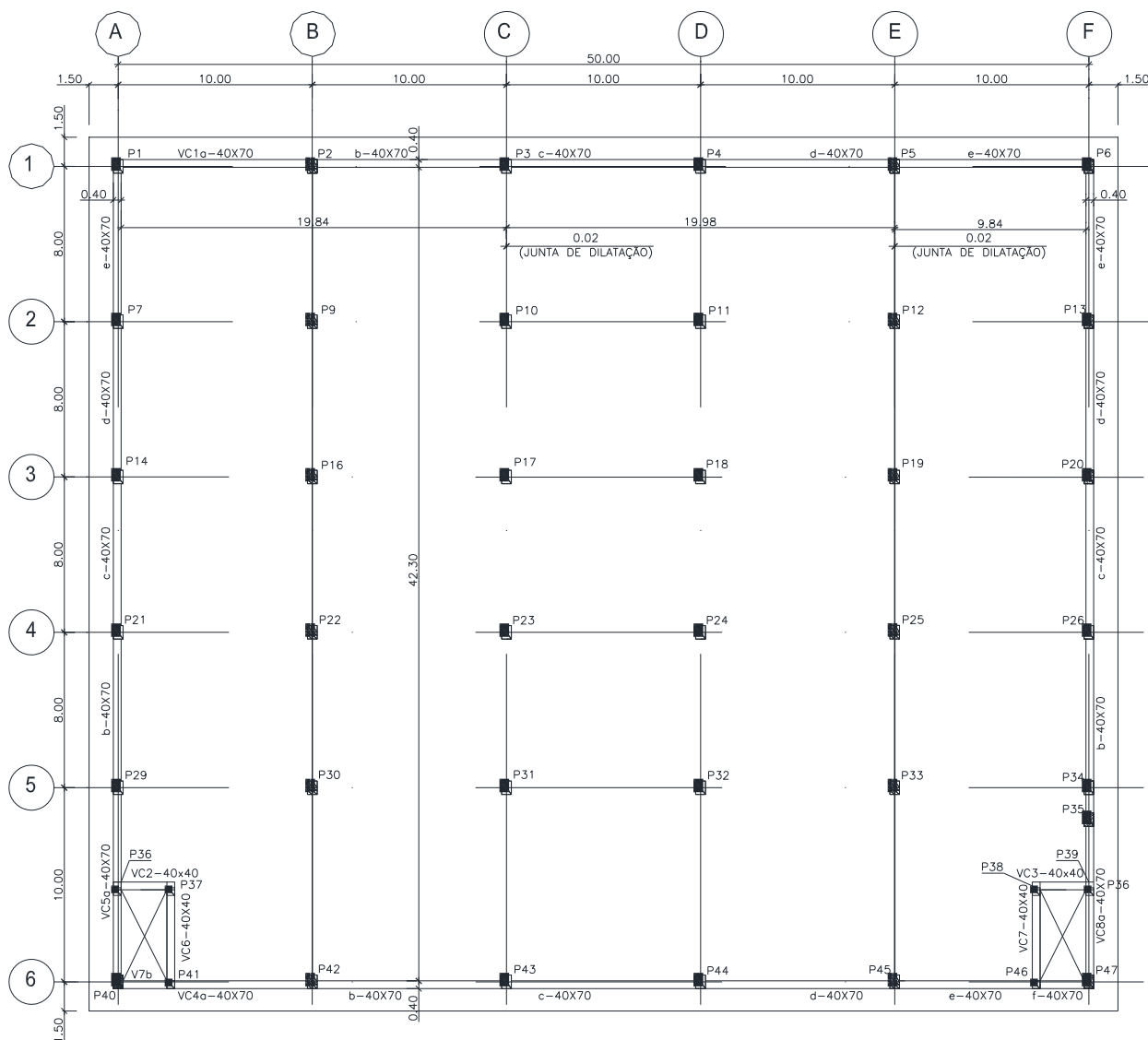


Figura 18 – Fôrma – Planta Baixa teto da cobertura

5. Carregamentos Aplicados

Os carregamentos atuantes podem ser classificados como cargas permanentes e cargas acidentais. Esses carregamentos foram aplicados de forma distribuída nas lajes e distribuída linearmente, no caso das vigas.

5.1 Cargas Aplicadas na Laje

As cargas aplicadas na laje lisa foram peso próprio e revestimento, que são cargas do tipo permanente, e uma sobrecarga, que é do tipo acidental.

A carga de peso próprio depende do tipo de material e dimensões das estruturas lançadas. Para o cálculo da laje lisa, o peso próprio é calculado através do produto do

peso específico do material, no caso concreto armado, pela altura da laje, resultando numa carga como está apresentado pela Eq. (5).

$$pp = \gamma \times h \quad (5)$$

Como a análise do projeto está sendo feita no SAP, o programa já fornece automaticamente o valor do peso próprio da laje, de acordo com as características da forma e do material.

A outra carga permanente aplicada para a laje lisa foi a carga de revestimento, e o valor adotado para esse carregamento foi de 0,5 kN/m².

Para a definição da sobrecarga aplicada, foi utilizada como referência a NBR 6120 (1980). O valor que deve ser atribuído para o tipo de empreendimento (edifício garagem) é de 3,0 kN/m², que é o valor correspondente a veículos de passageiros ou semelhantes com carga máxima de 25kN por veículo.

5.2 Cargas Aplicadas nas Vigas de Contorno

Para as vigas de contorno, foram lançadas como cargas permanentes o peso próprio da viga e carga de parede.

O peso próprio da viga é calculado semelhante à carga da laje, dependendo do produto entre a seção da viga e o peso específico do material utilizado, como é apresentado pela Eq (6).

$$pp = \gamma \times b \times h \quad (6)$$

Da mesma forma que a laje, o programa já fornece o peso próprio, dependendo das características atribuídas ao elemento estrutural.

A carga de parede foi calculada utilizando as recomendações da NBR 6120 (1980) correspondente ao material e a Eq (7):

- Para fechamento, foi utilizado blocos de argamassa, que possui peso específico aparente igual a 22 kN/m³;
- As paredes tem espessura igual a 0,20 m;
- A altura entre pavimentos é de 3,0 m.

$$ppar = \gamma \times e \times h \quad (7)$$

Então, a carga de parede será:

$$ppar = 22 \times 0,20 \times 3,0 = 13,2 \text{ kN/m}$$

6. Análise do Pavimento do Edifício Garagem pelo Programa SAP 2000

Para a análise do pavimento do edifício garagem, foi utilizado o programa SAP 2000, um programa que utiliza o método de elementos finitos para cálculo dos esforços dos elementos estruturais modelados.

No caso do projeto abordado, foi utilizada a parte da laje entre as juntas de dilatação, nos eixos B e E, resultando em uma laje lisa apoiada diretamente nos pilares com vigas de contorno apenas nos eixos 1 e 6, como ilustrado na Figura 19.

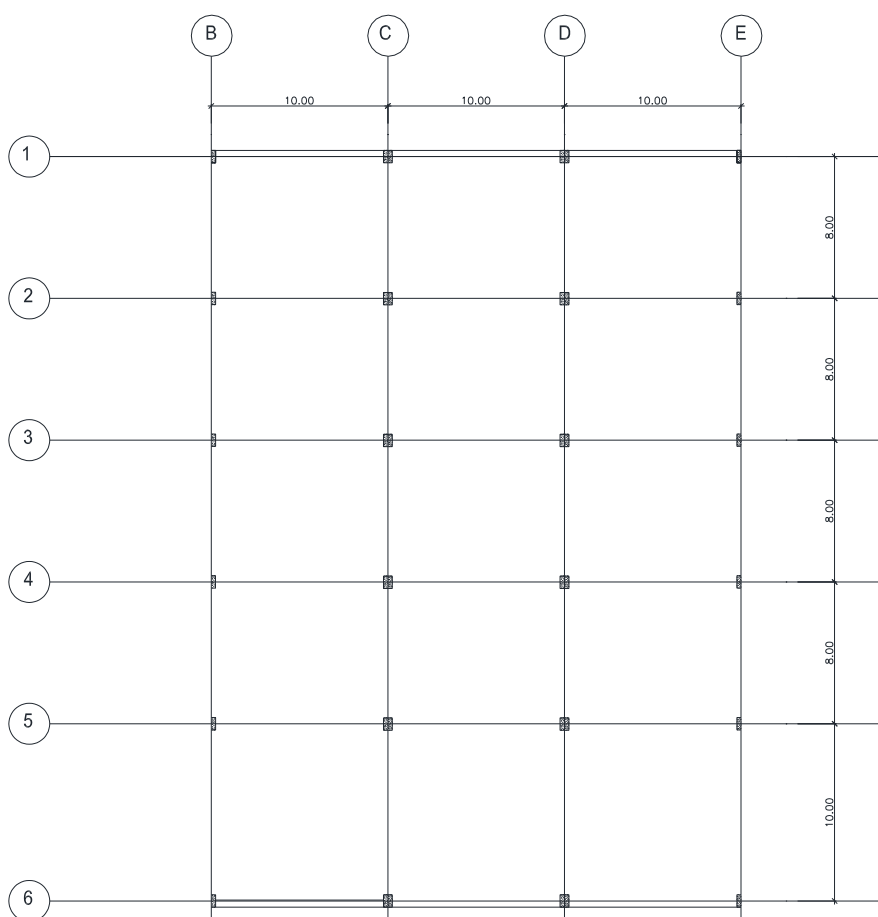


Figura 19 – Modelo reduzido para análise no SAP

6.1 Lançamento dos Elementos estruturais e cargas

Todos os elementos estruturais do projeto (laje, vigas e pilares) terão como material concreto de $f_{ck} = 30$ MPa, $E_{cs} = 26071,59$ MPa e $\nu = 0,2$, e essas definições de material serão dados de entrada para o SAP, como mostra a Figura 20.

The image shows a software dialog box titled "Material Property Data". It is organized into several sections:

- General Data:** Material Name and Display Color: conc30; Material Type: Concrete; Material Notes: Modify/Show Notes...
- Weight and Mass:** Weight per Unit Volume: 25; Mass per Unit Volume: 2,5493.
- Units:** KN, m, C
- Isotropic Property Data:** Modulus of Elasticity, E: 26071594; Poisson's Ratio, U: 0,2; Coefficient of Thermal Expansion, A: 1,170E-05; Shear Modulus, G: 10863164.
- Other Properties for Concrete Materials:** Specified Concrete Compressive Strength, f'c: 20684,274; Lightweight Concrete: ; Shear Strength Reduction Factor: [empty field].

At the bottom, there is a checkbox for "Switch To Advanced Property Display" (unchecked), and "OK" and "Cancel" buttons.

Figura 20 – Propriedades do material para os elementos estruturais

Para a modelagem da laje, foi considerado o pavimento da figura 23, com dimensões 3000 x 4200 cm, que é o trecho entre as juntas de dilatação, com uma espessura de 35 cm, definida pela Eq (1). Esses dados de entrada estão representados na figura 21.

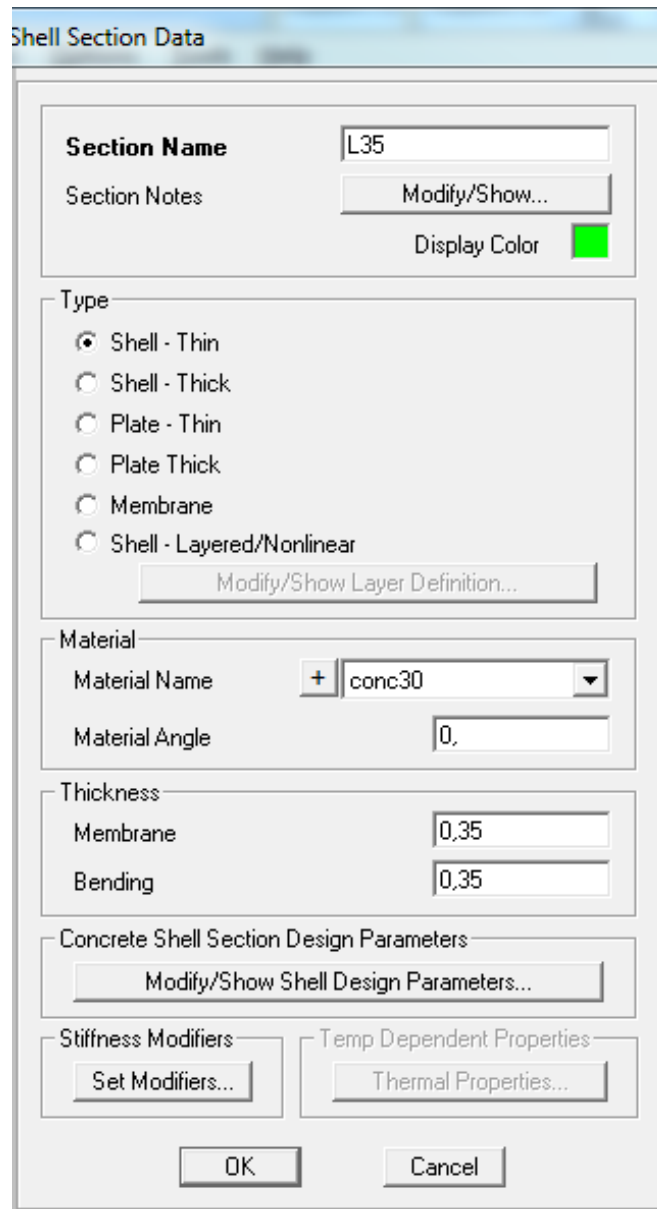


Figura 215 – Seção e material da laje lisa

A malha de elementos finitos foi composta de elementos de dimensões 25 x 25 cm, com o intuito de melhor refinamento da análise da laje, utilizando elementos quadrados, e melhor adequação com as dimensões da laje e dos pilares. A malha está representada nas figuras 22 e 23.

As cargas aplicadas na laje foram seu peso próprio, revestimento e sobrecarga, já mostradas anteriormente. E o próprio peso foi considerado automaticamente pelo SAP 2000.

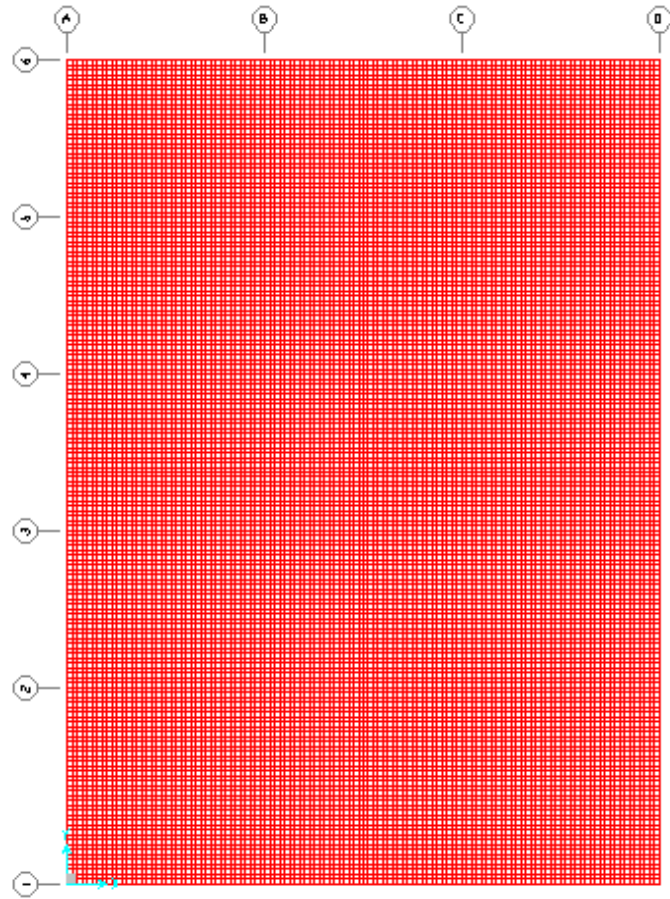


Figura 22 – Malha de elementos finitos na laje – Plano xy

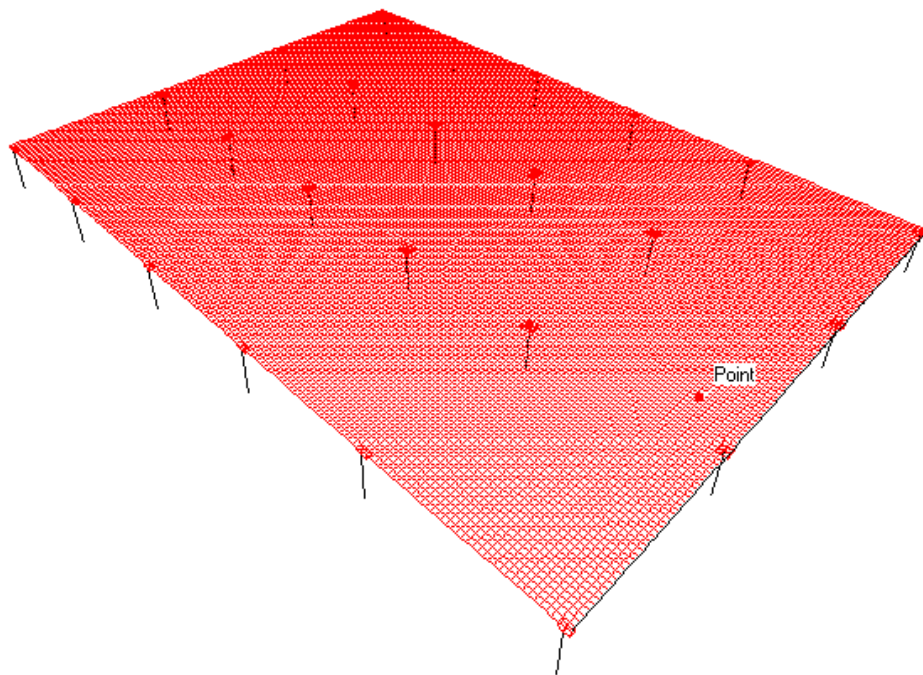


Figura 23 – Malha de elementos finitos na laje – 3D

As vigas e cintas de contorno consideradas para a laje foram modeladas com as dimensões 40 x 70 cm e foram divididas em elementos de mesmo comprimento do elemento finito da laje, para que a mesma esteja vinculada à laje, agindo de forma conjunta. O carregamento de peso das paredes foi aplicado e o peso próprio foi considerado automaticamente pelo SAP 2000.

As características da seção estão representadas pela figura 24.

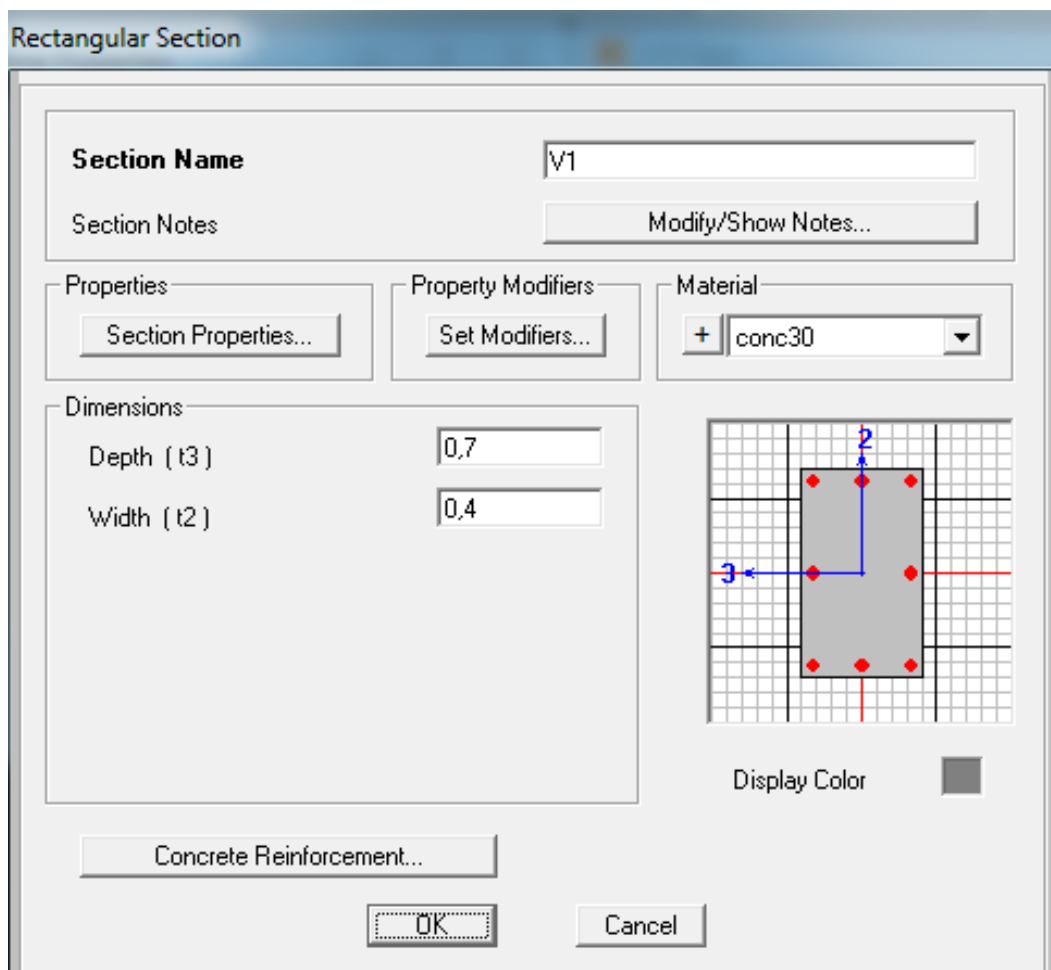


Figura 24 – Seção das vigas de contorno

Para a modelagem dos pilares foram consideradas as dimensões de 50 x 75 cm, para os pilares fora das juntas de dilatação, e 25 x 75 cm para os pilares nas juntas de dilatação, já que está sendo considerado apenas o trecho da laje entre os eixos B e E, sem o decréscimo da dimensão da junta, que é de 2 cm.

As características da seção estão representadas pela figura 25 e 26.

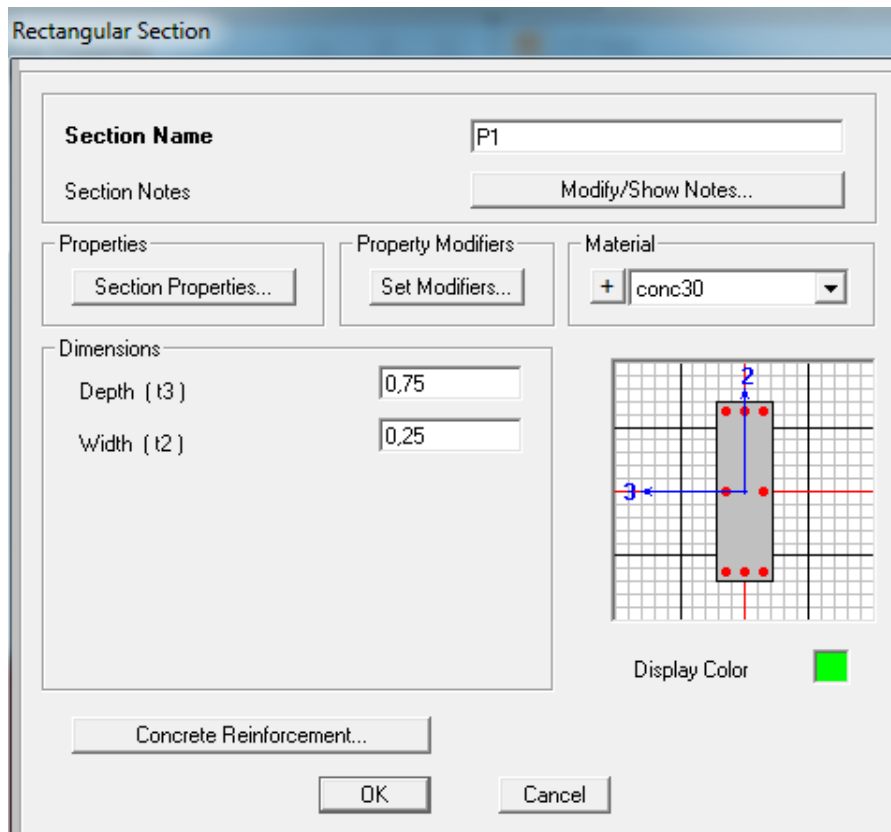


Figura 25 – Seção dos pilares nas juntas de dilatação

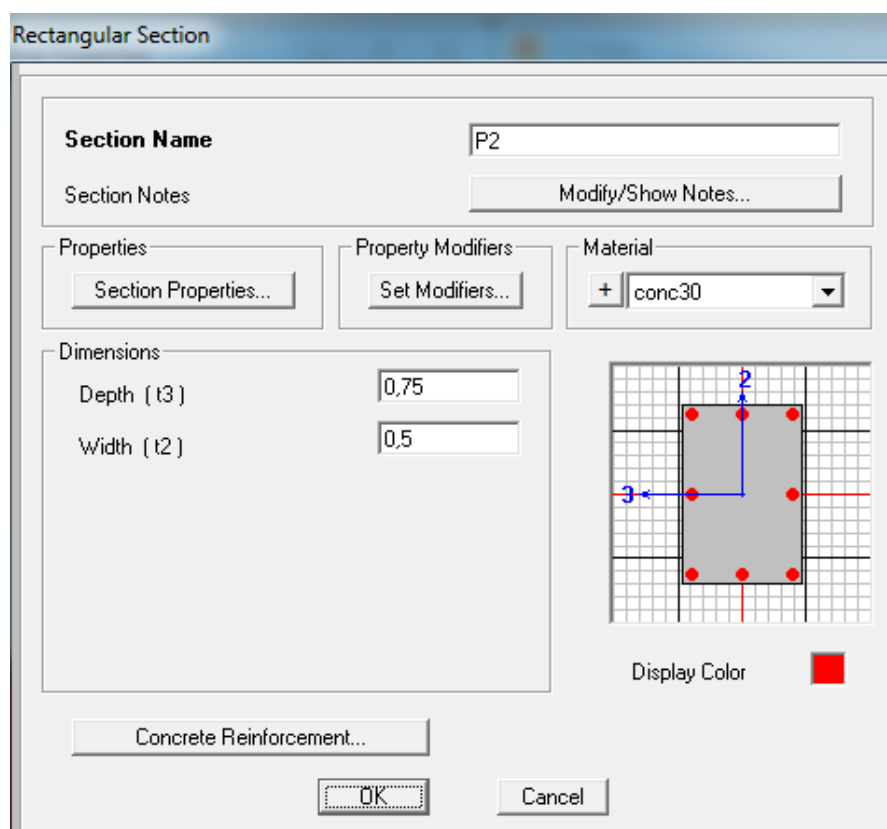


Figura 26 – Seção dos pilares fora das juntas de dilatação

6.2 Lançamento da sobrecarga de Momentos Máximos Positivos e Negativos e Combinações de Carga

Com a utilização de sobrecarga para a laje lisa do edifício garagem foi preciso posicioná-la nas posições mais desfavoráveis para a obtenção dos esforços máximos, tanto negativos como positivos. Para o projeto, foram utilizadas 5 combinações da sobrecarga sobre a laje, a fim de obter esses esforços máximos.

Para a primeira posição da sobrecarga (SOB1), ela foi aplicada por toda a extensão da laje, como mostra a figura 27.

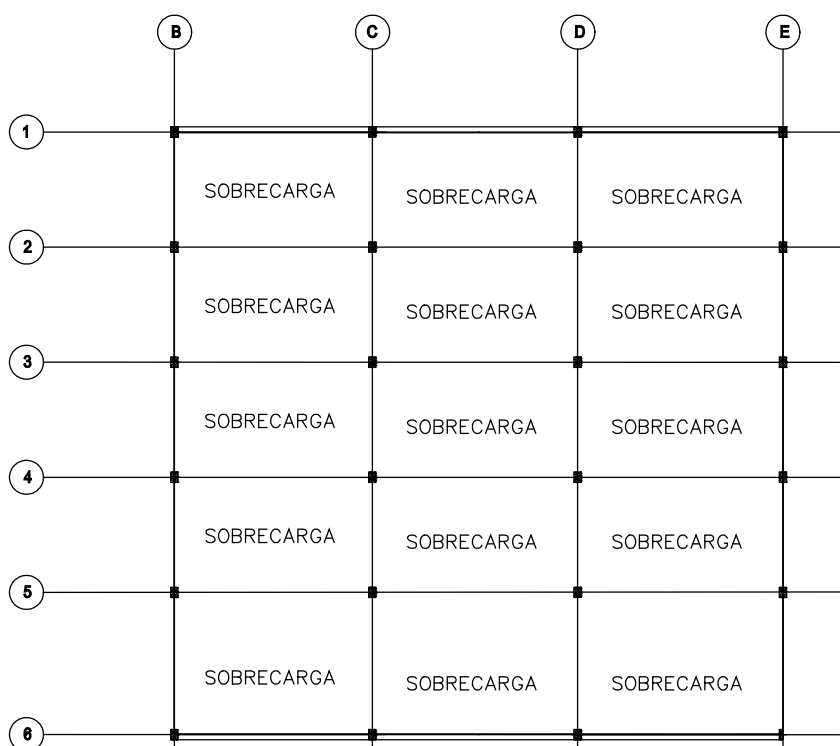


Figura 27 – Primeira posição da sobrecarga na laje (SOB1)

Para uma segunda opção de sobrecarga (SOB1+), foram carregados os painéis 5 e 11 e descarregados os demais painéis vizinhos, para obtenção dos momentos positivos máximos nesses painéis, como mostra a figura 28.

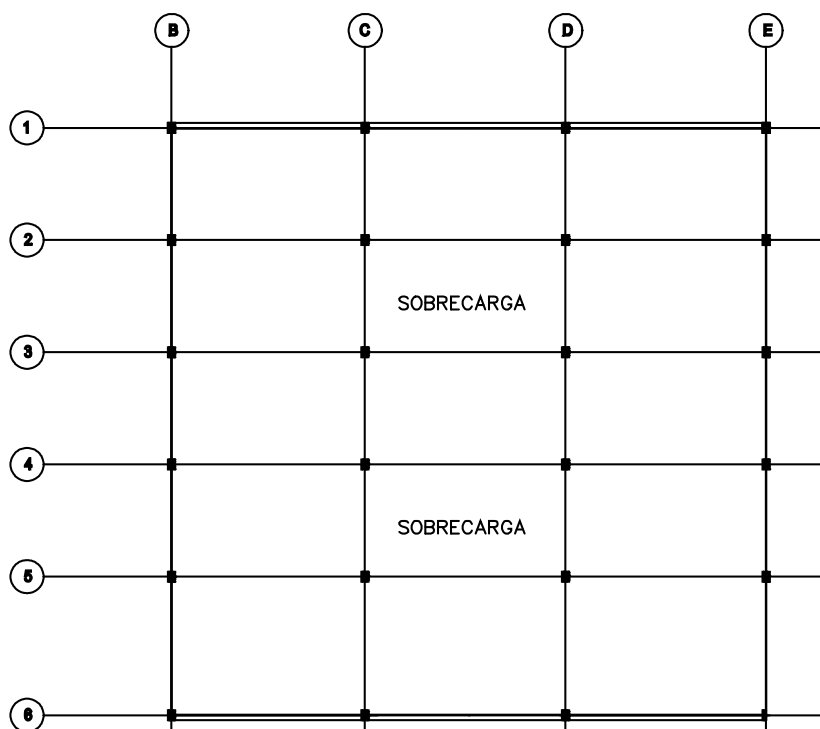


Figura 28 – Segunda posição da sobrecarga na laje (SOB1+)

Para uma terceira opção de sobrecarga (SOB2+), foram carregados os painéis 1, 3, 7, 9, 13 e 15 e foram descarregados os demais painéis vizinhos, para obter momentos positivos máximos nesses painéis, como mostra a Figura 29.

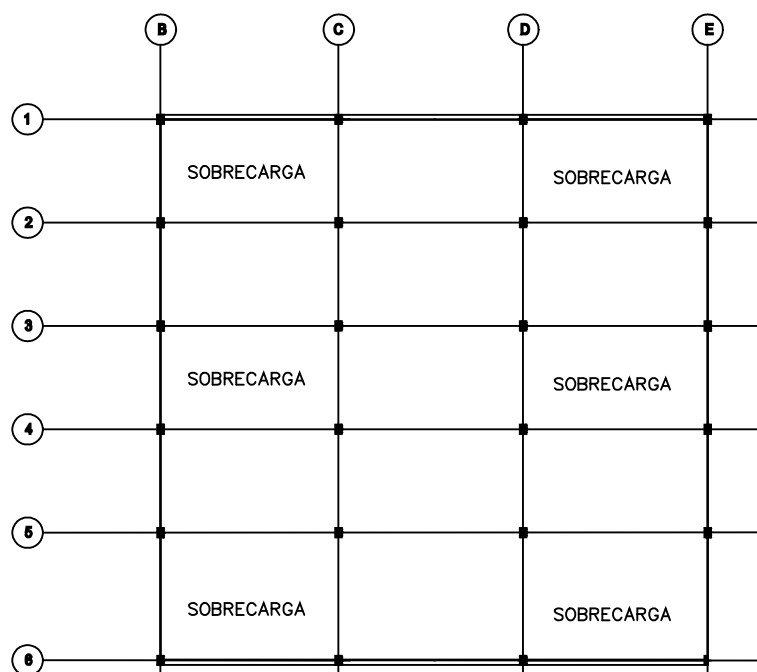


Figura 29 – Terceira posição da sobrecarga na laje (SOB2+)

Para opção de sobrecarga para obtenção de momentos máximos negativos, serão utilizadas a posição carregando os painéis 7 e 8 e os demais descarregados (SOB1-), e carregando os painéis 1 e 2 , descarregando os demais (SOB2-). Os dois posicionamentos foram representados nas Figuras 30 e 31.

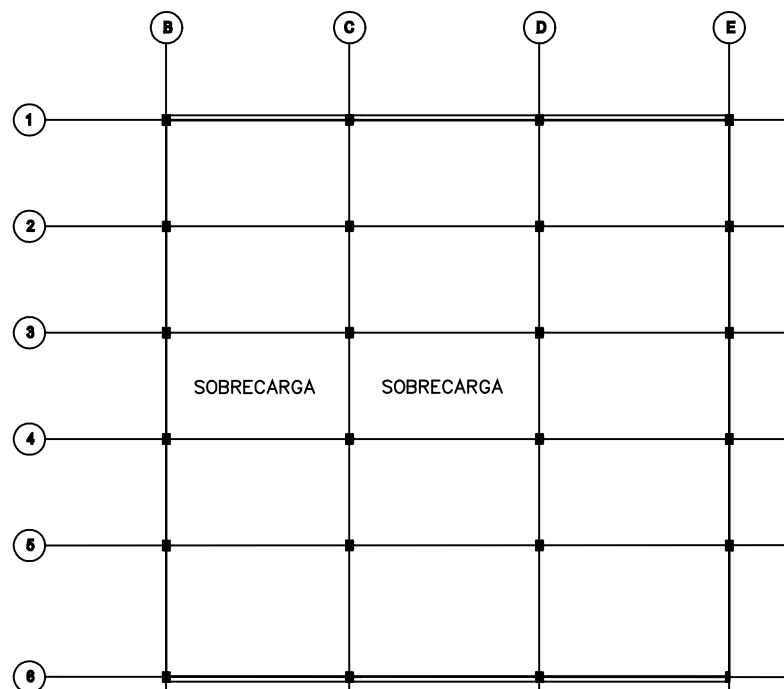


Figura 30 – Primeira posição da sobrecarga na laje (SOB1-)

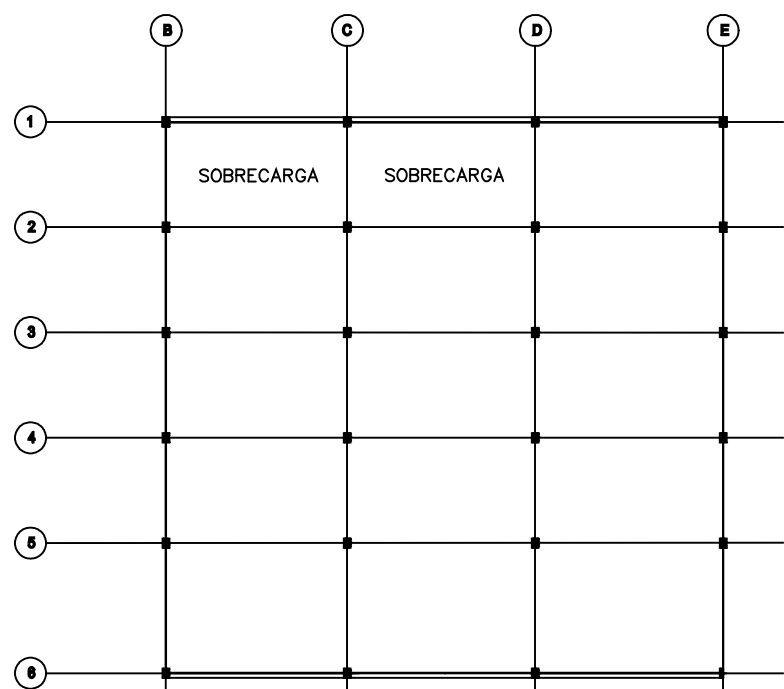


Figura 31 – Primeira posição da sobrecarga na laje (SOB2-)

A partir das cinco sobrecargas propostas, foram feitas cinco combinações e a envoltória de todas essas combinações:

- COMB 1 – Peso próprio + revestimento + paredes + SOB1;
- COMB 2 – Peso próprio + revestimento + paredes + SOB1+;
- COMB 3 – Peso próprio + revestimento + paredes + SOB2+;
- COMB 4 – Peso próprio + revestimento + paredes + SOB1-;
- COMB 5 – Peso próprio + revestimento + paredes + SOB2-;
- ENV – COMB1 + COMB2 + COMB3 + COMB4 + COMB5.

6.3 Lançamento dos Tipos de Apoio

Com o objetivo de avaliar os resultados dos esforços provenientes da laje lisa a partir das combinações de carga, serão utilizados os tipos de apoios que foram detalhados no capítulo 3. O posicionamento e o tipo dos apoios estão mostrados nas figuras 32 a 39, retiradas do programa SAP 2000.

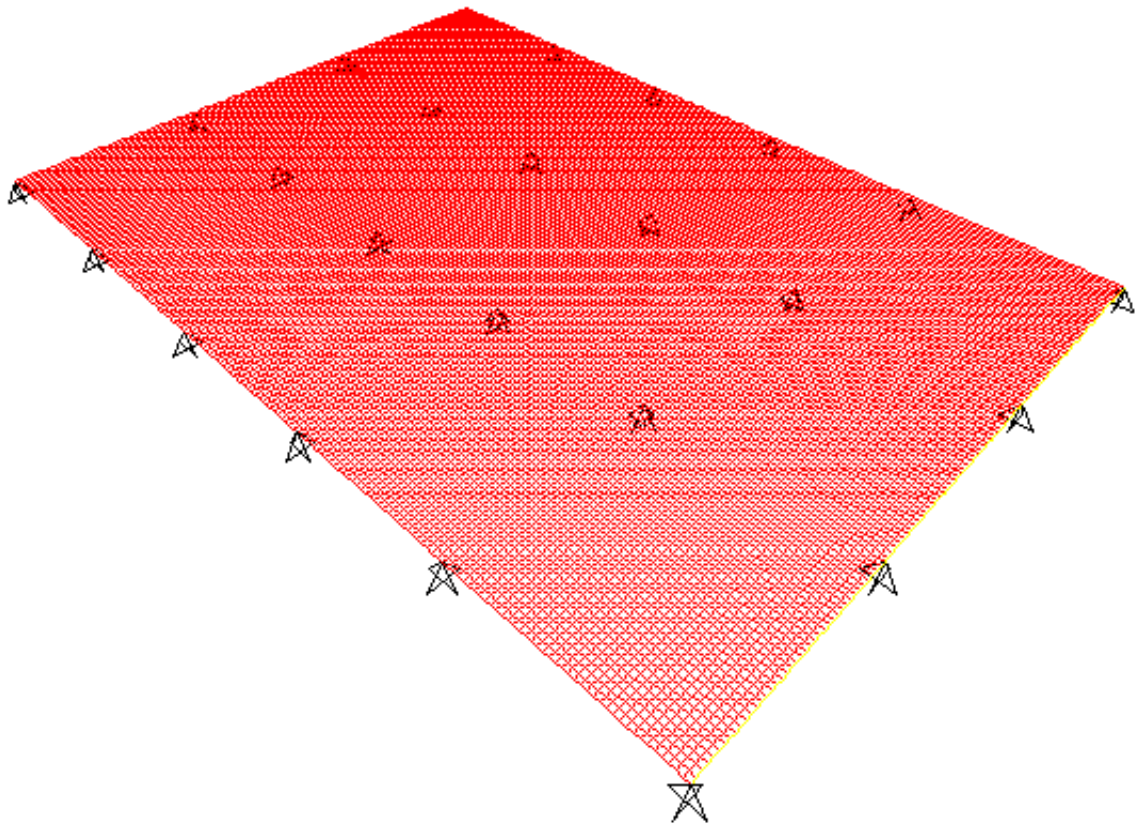


Figura 32 – Laje Lisa sobre apoios pontuais – Vista 3D



Figura 33 – Laje Lisa sobre apoios pontuais – Vista XZ

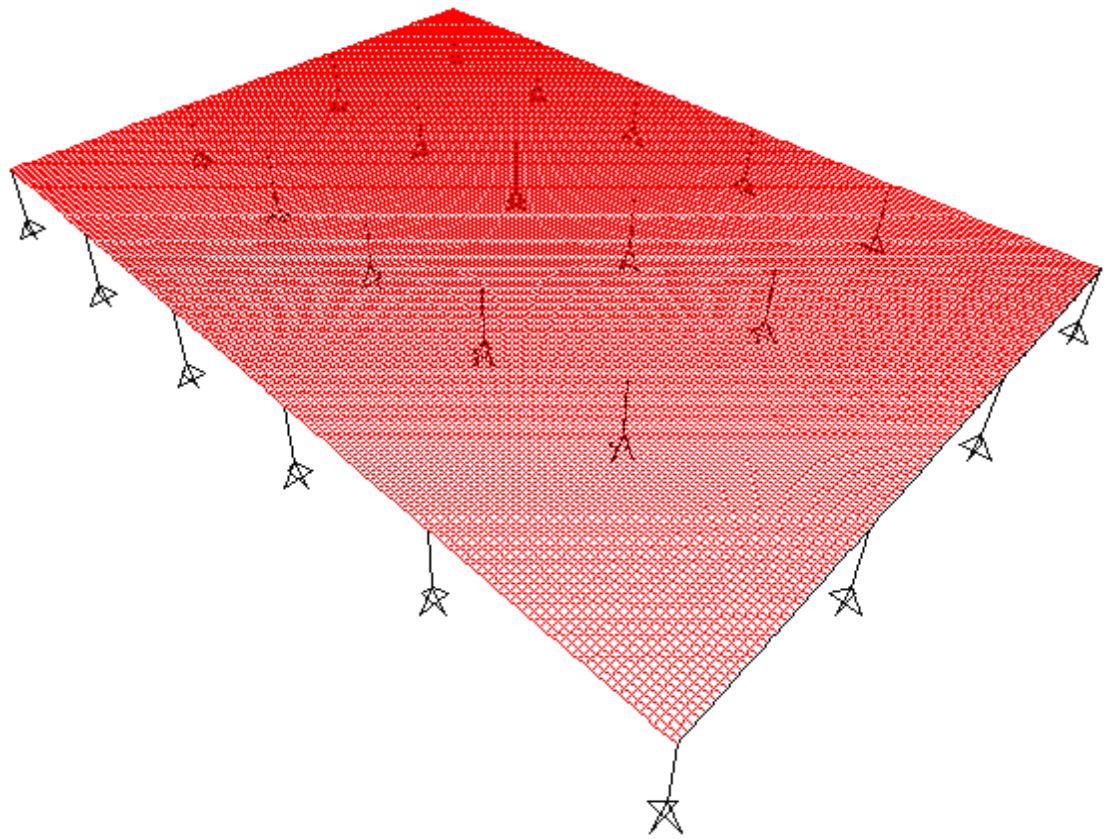


Figura 34 – Laje Lisa sobre apoios lineares – Vista 3D

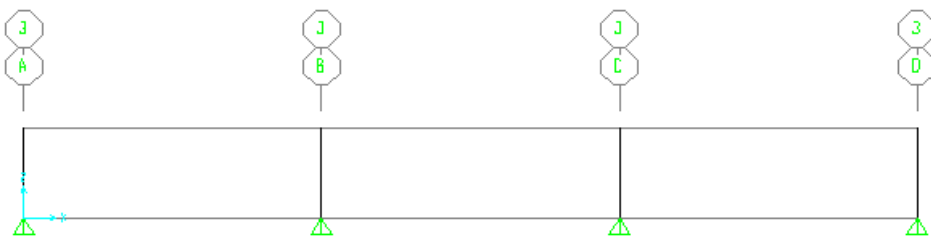


Figura 35 – Laje Lisa sobre apoios lineares – Vista XZ

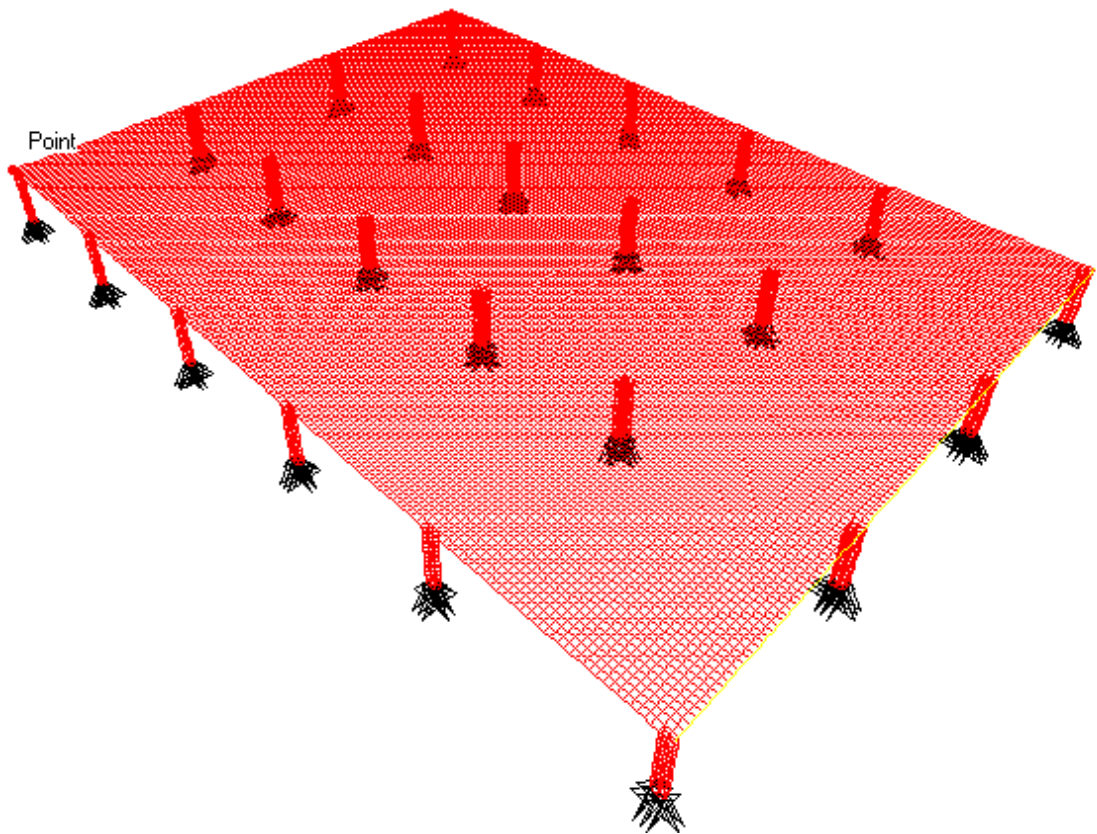


Figura 36 – Laje Lisa sobre apoios sólidos – Vista 3D

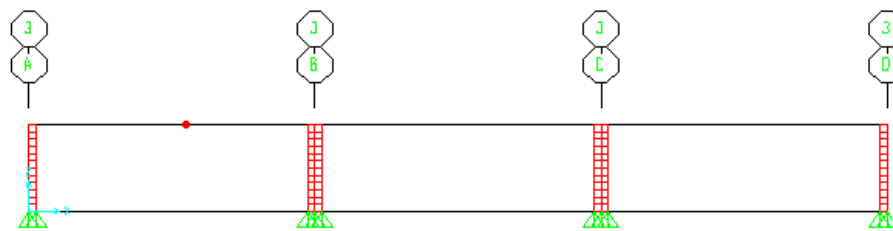


Figura 37 – Laje Lisa sobre apoios sólidos – Vista XZ

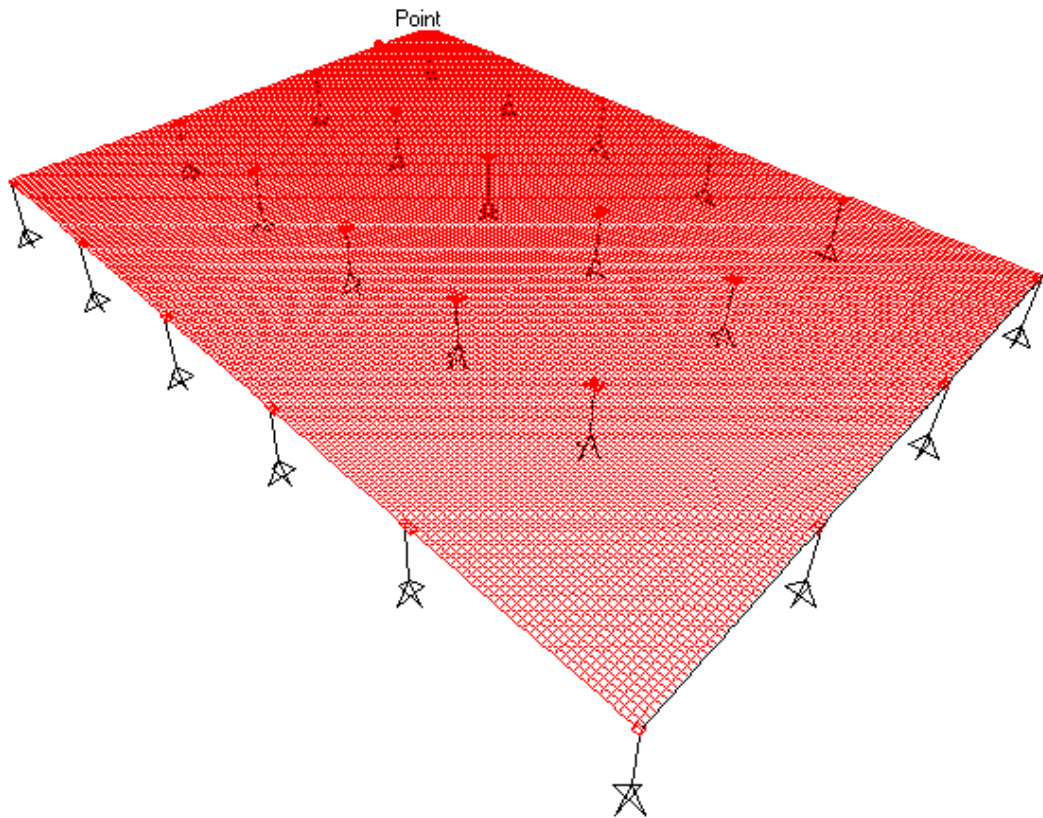


Figura 38 – Laje Lisa sobre apoios sólidos + lineares – Vista 3D

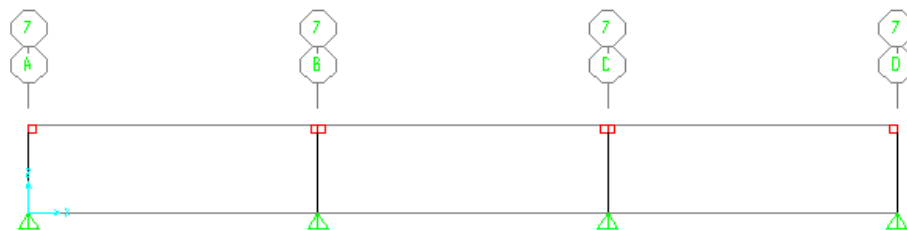


Figura 39 – Laje Lisa sobre apoios sólidos + lineares – Vista XZ

6.4 Apresentação de Resultados

Para os diferentes tipos de apoio, a laje lisa do edifício garagem foi calculada com as combinações de cargas estabelecidas anteriormente para determinação dos momentos fletores máximos.

Foram utilizadas as envoltórias das combinações para obtenção dos momentos fletores negativos máximos, como indicam as figuras 40 a 47 sobre o pilar P32.

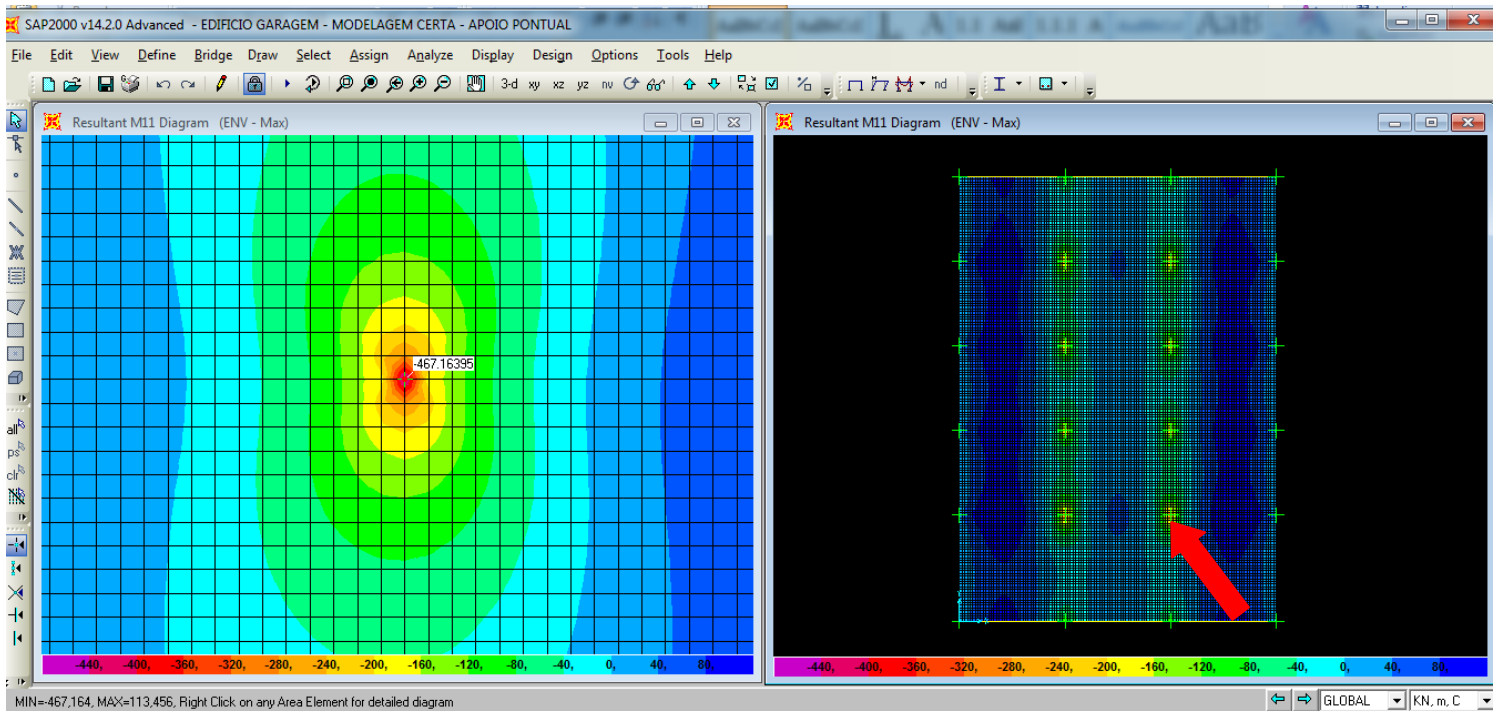


Figura 40 – Envoltória das combinações para apoios pontuais – Momento Máximo negativo na direção X no pilar P32

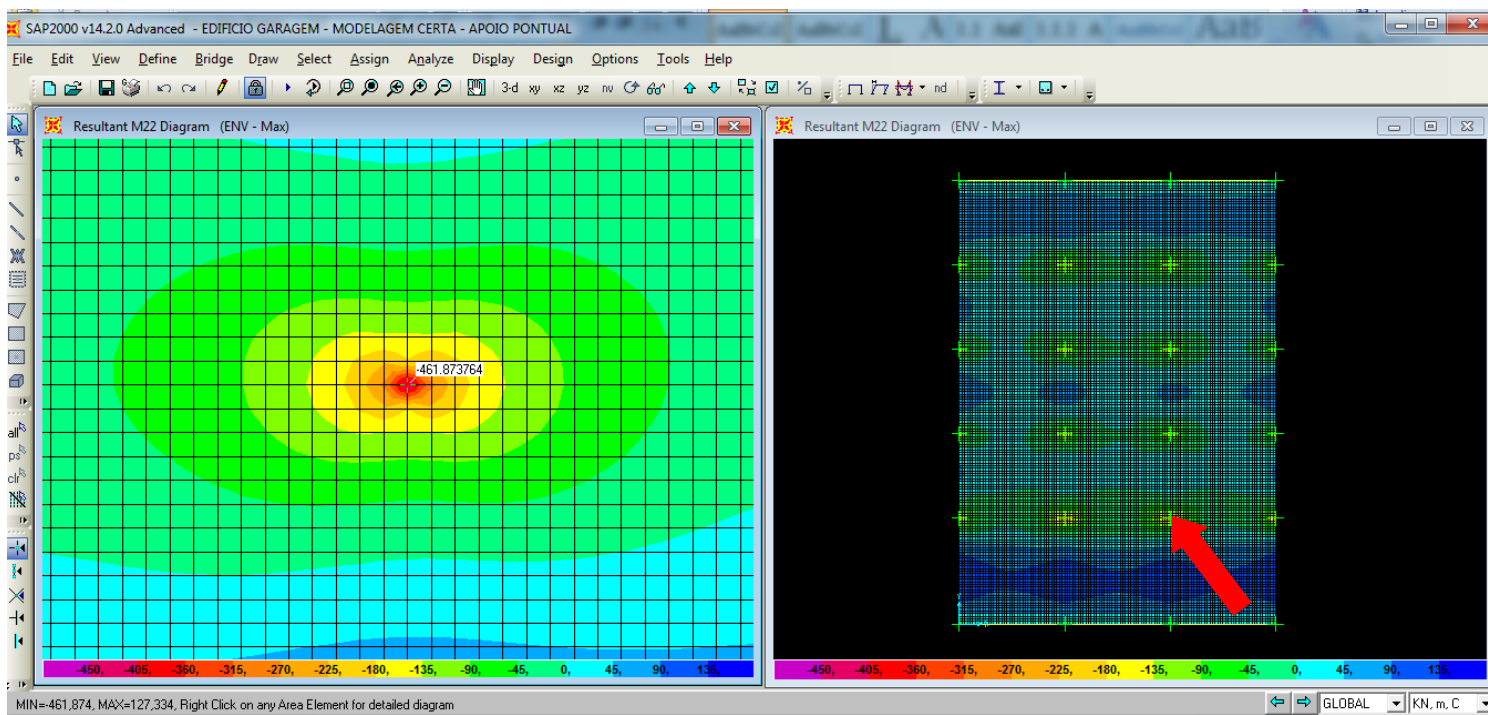


Figura 41 – Envoltória das combinações para apoios pontuais – Momento Máximo negativo na direção Y no pilar P32

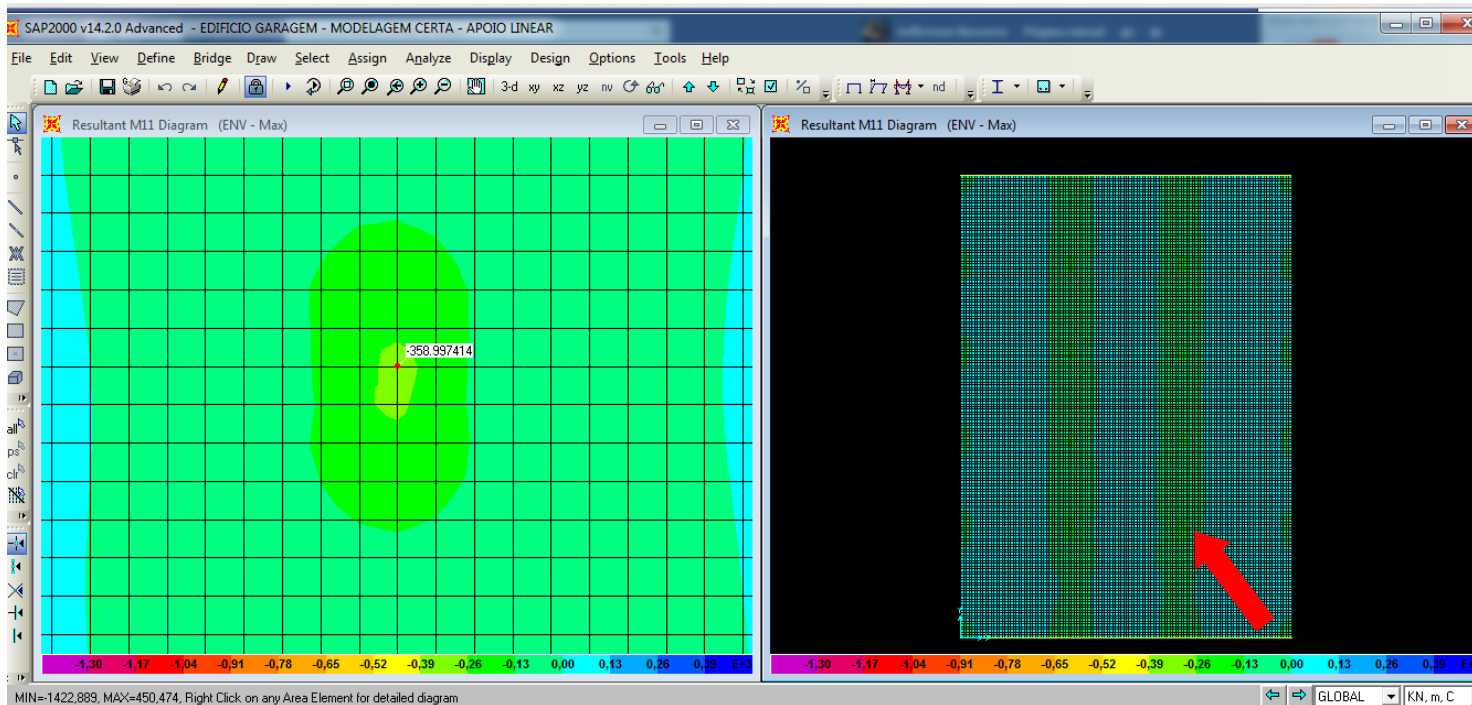


Figura 42 – Envoltória das combinações para apoios lineares – Momento Maximo negativo na direção X no pilar P32

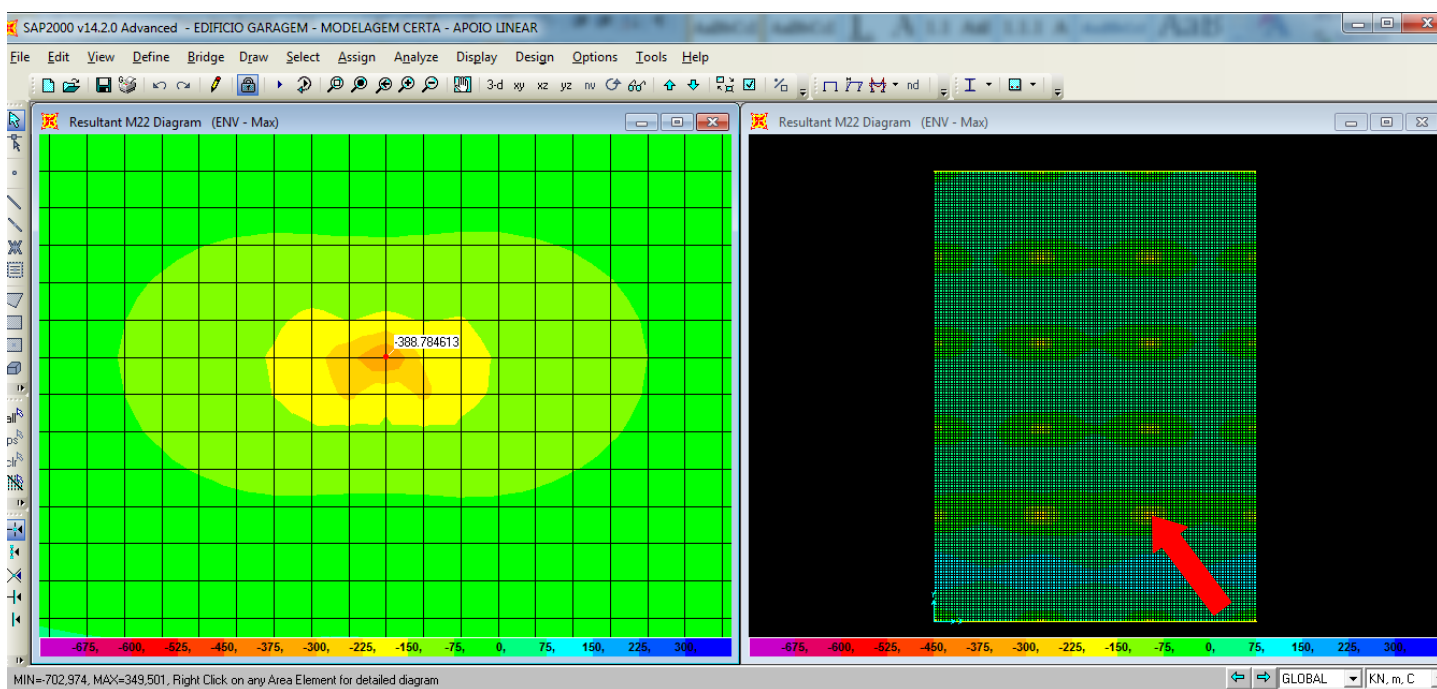


Figura 43 – Envoltória das combinações para apoios lineares – Momento Maximo negativo na direção Y no pilar P32

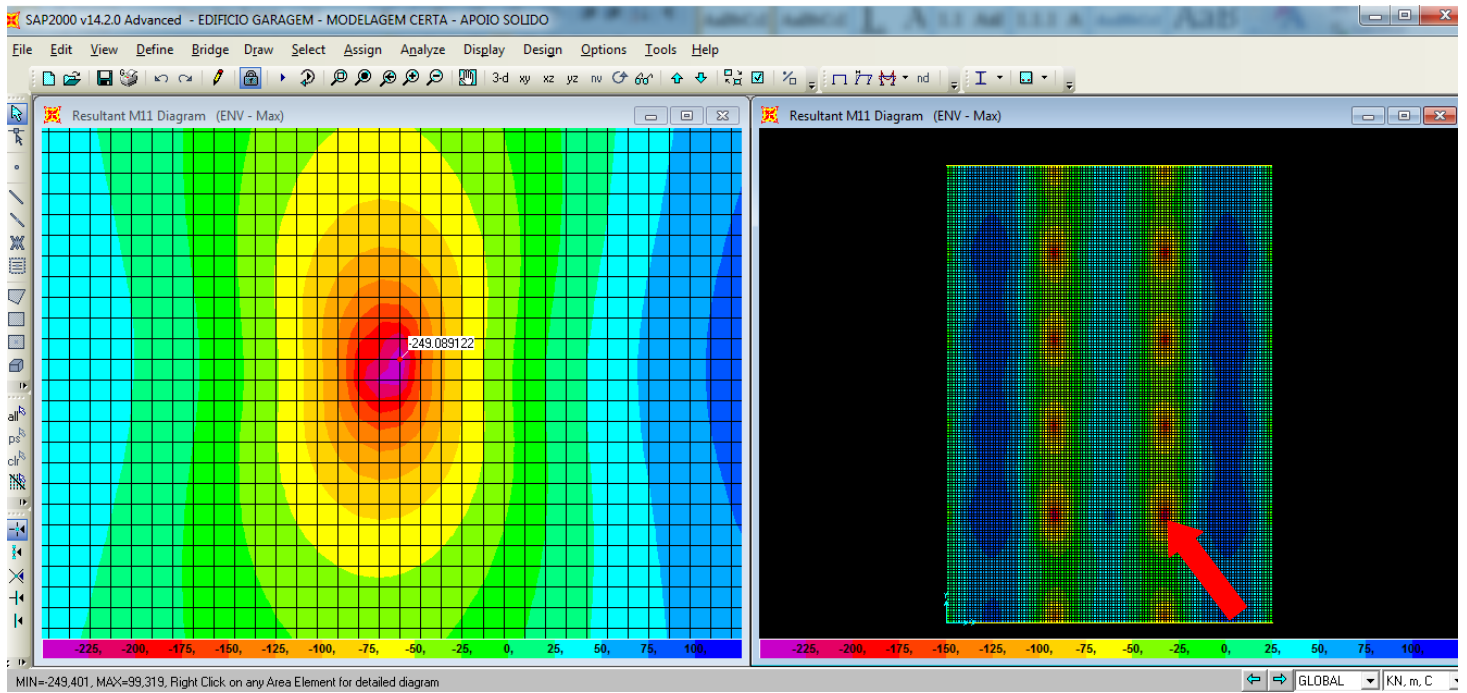


Figura 44 – Envoltória das combinações para apoios sólidos – Momento Máximo negativo na direção X no pilar P32

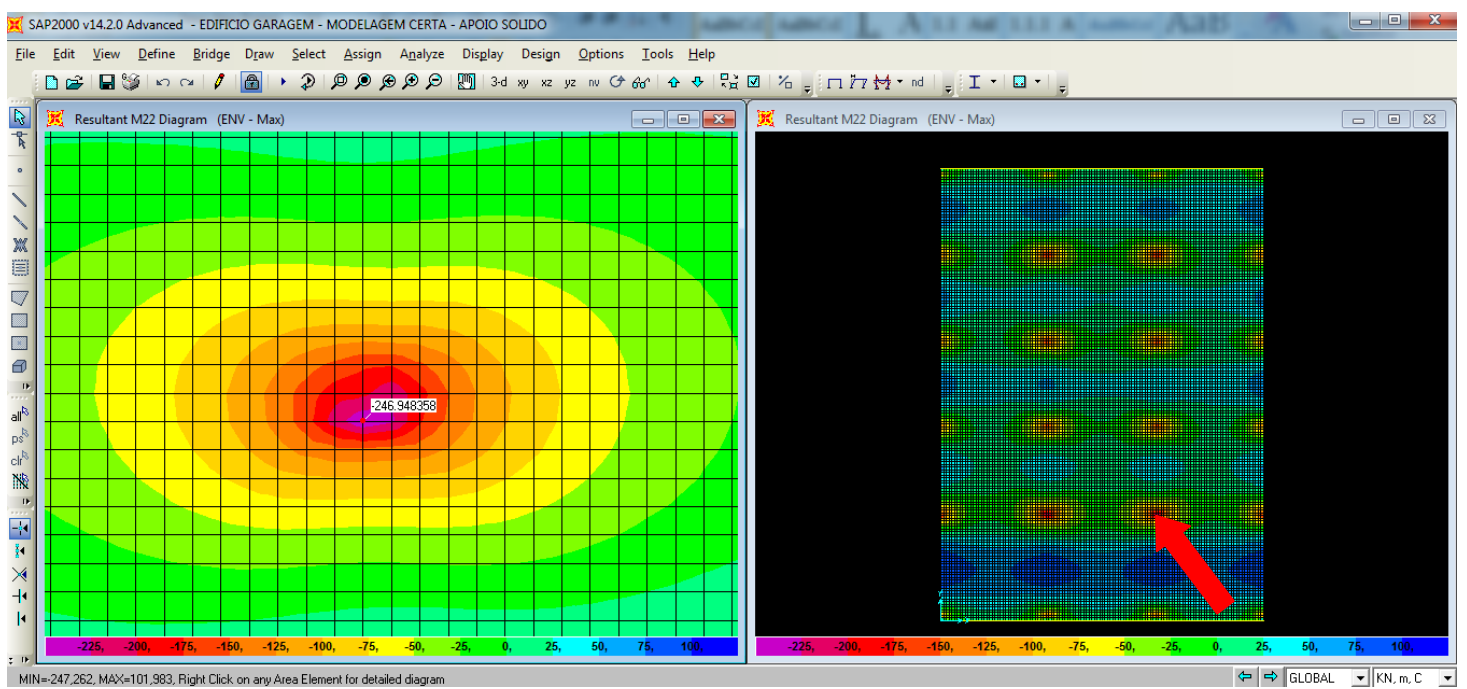


Figura 45 – Envoltória das combinações para apoios sólidos – Momento Máximo negativo na direção Y no pilar P32

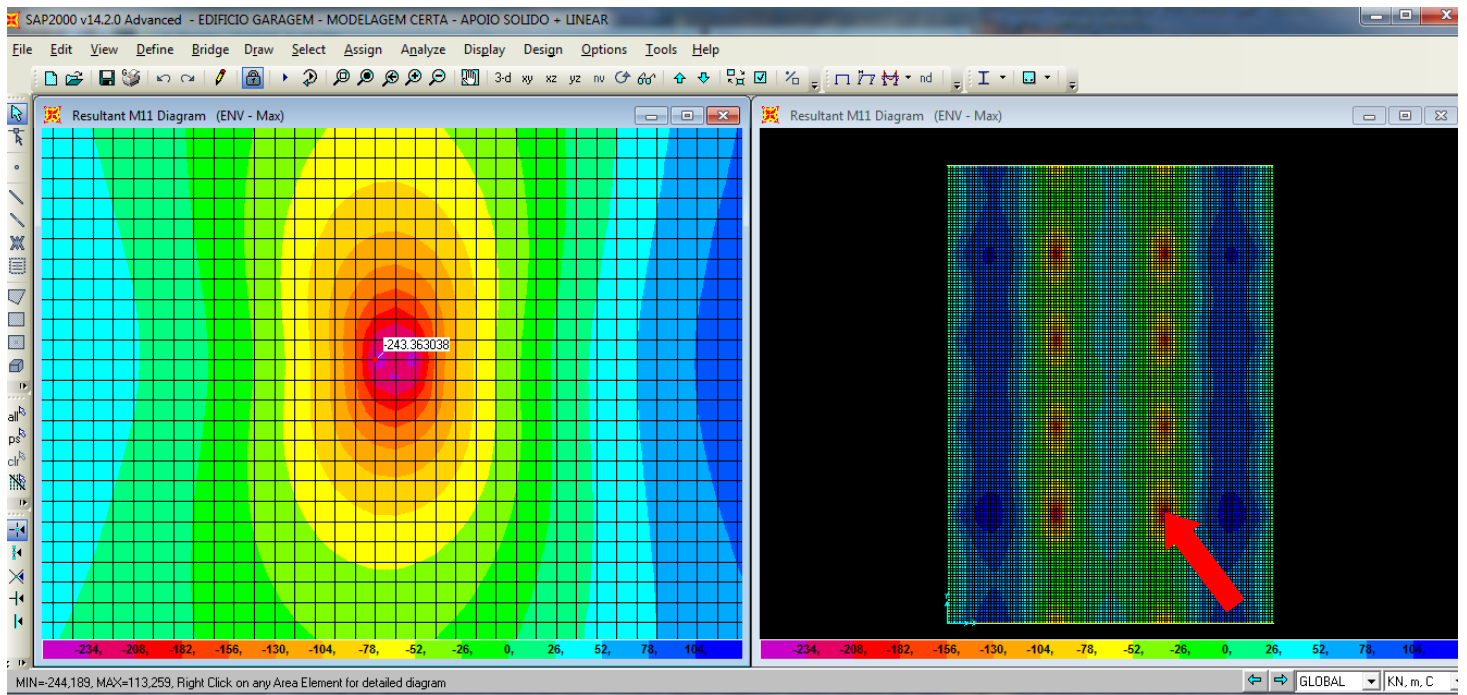


Figura 46 – Envoltória das combinações para apoios sólido+linear – Momento Maximo negativo na direção X no pilar P32

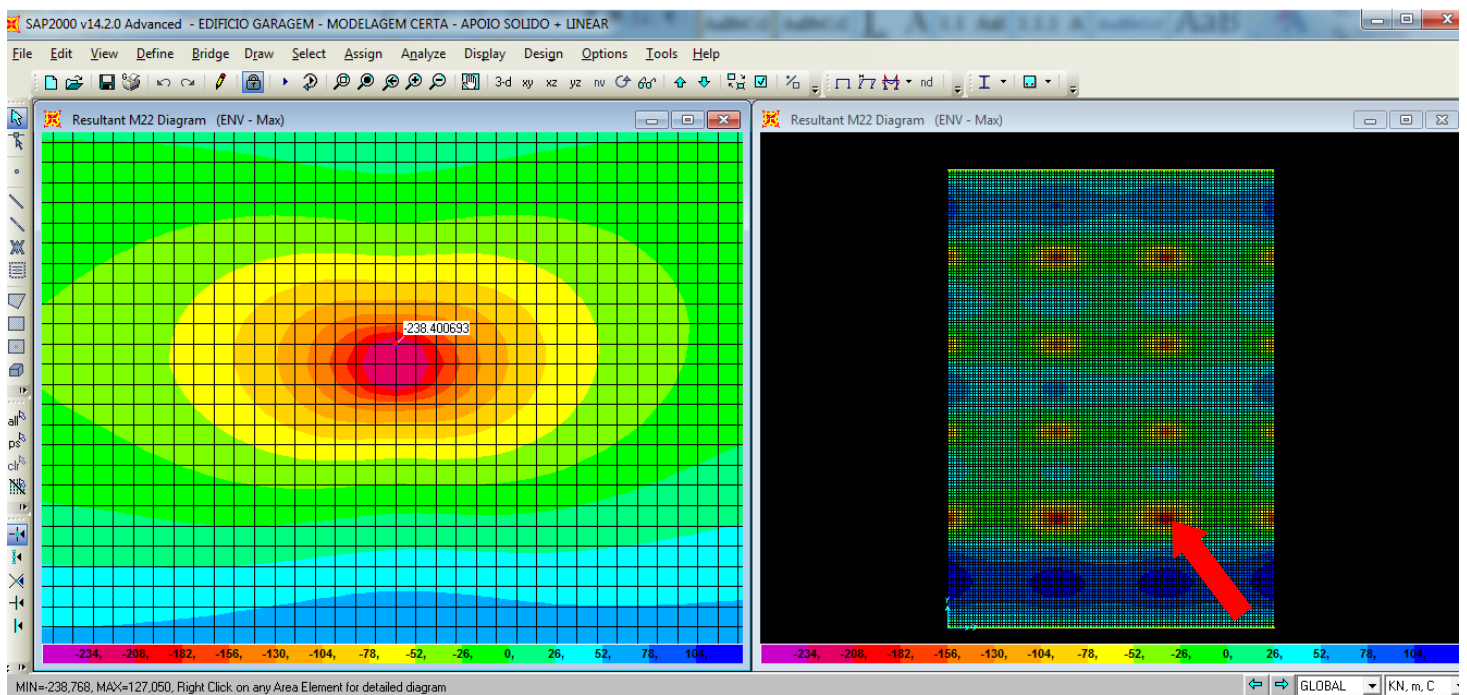


Figura 47 – Envoltória das combinações para apoios sólido+linear – Momento Maximo negativo na direção Y no pilar P32

Tabela 1 – Momentos máximos negativos (kNm/m) nas direções X e Y

Casos	Pilares	
	Dir. X	Dir. Y
Pontual	-467,16	-461,87
Linear	-358,99	-388,79
Sólido	-249,1	-246,9
Sól+Linear	-243,4	-238,4

6.5 Armaduras

As lajes lisas devem resistir aos momentos fletores e, para esses esforços, devem ser colocadas armaduras nas direções X e Y. Estas armaduras serão calculadas para resistir aos maiores momentos fletores, utilizando o modelo de apoios sólido+linear, já que é o modelo que possui melhor resposta a momentos aplicados nos pilares, diferente dos apoios sólidos, que apenas transmitem tensões. Os resultados dos momentos dos pilares no apoio sólido+linear se assemelham aos resultados de uma estrutura formada por lajes com vigas.

6.5.1 Armadura superior sobre os pilares

O dimensionamento desta armadura foi feito utilizando o programa EXCEL, de acordo com a NBR 6118(2007) e as fórmulas utilizadas serão demonstradas pelas Eq (8) a (14).

Tabela 3 – Armadura superior para Mmáx

Mmáx (kNm/m)	Md(kNm/m)	fck (MPa)	fyk (MPa)	b (m)	d (m)	kmd	kx	kz	As (cm ² /m)
249,1	348,74	30	500	1	0,32	0,15893	0,26096	0,89561	27,99

$$A_s = 27,99 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s_{adot}} = \phi 20 \text{ c. } 10 = 31,4 \text{ cm}^2/\text{m}$$

6.5.2 Armadura inferior da Laje Lisa

A armadura inferior utilizada no painel foi a mesma nos dois sentidos, sendo o fck utilizado igual a 30MPa, o Aço CA-50 e o cobrimento das armaduras de 3 cm. O dimensionamento do projeto será feito utilizando o programa EXCEL, de acordo com a NBR 6118(2007) e as fórmulas utilizadas serão demonstradas pelas Eq (8) a (14).

$$Md = Mmax \times 1,4 \quad (8)$$

$$kmd = \frac{Md}{b \times d^2 \times \frac{fck}{1,4}} \quad (9)$$

$$kx = \left\{ 1 - \left[1 - \left(\frac{2 \times kmd}{0,85} \right) \right]^{0,5} \right\} / 0,8 \quad (10)$$

$$kz = 1 - 0,4 \times kx \quad (11)$$

$$As = Md / \left(kz \times d \times \frac{fyk}{1,15} \right) \quad (12)$$

$$As_{min} = (0,67 \times 0,173)\% \times b \times h - \text{Arm. positiva} \quad (13)$$

$$As_{min} = (0,173)\% \times b \times h - \text{Arm. negativa} \quad (14)$$

Tabela 2 – Armadura inferior para Mmáx

Mmax (kNm/m)	Md (kNm/m)	fck (MPa)	fyk (MPa)	b (m)	d (m)	kmd	kx	kz	As (cm ² /m)
127,05	177,87	30	500	1	0,32	0,08106	0,12551	0,9498	13,46

$$As = 13,46 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$As_{adot} = \phi 16 \text{ c. } 12,5 = 16 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$As_{min} = 0,67 \times 0,173\% \times 1 \times 0,35 = 4,06 \text{ cm}^2/\text{m}$$

6.6 Verificação do Puncionamento

Conforme mencionado anteriormente, o fenômeno da punção é bastante importante nas lajes lisas e cogumelo. A punção se caracteriza por altas tensões de cisalhamento no entorno de uma carga concentrada.

A ruptura por punção é abrupta, e devido a isso, suas consequências podem ser desastrosas. Sendo assim, é de grande importância projetar elementos com boa ductibilidade, ou seja, estruturas que sofram grandes deformações antes de atingir a resistência última, evidenciando o problema antes da ruína.

No dimensionamento das lajes à punção, a NBR 6118(2007), em seu item 19.5.1, apresenta um modelo de cálculo que trata da verificação do cisalhamento em duas ou mais superfícies críticas que são definidas no entorno da força concentrada.

A Norma diz que, na superfície crítica de contorno C deve ser verificada a tensão de compressão diagonal do concreto, através da tensão de cisalhamento.

Na superfície crítica de contorno C', com afastamento de $2d$ do pilar ou carga concentrada, deve ser feita a verificação da capacidade de ligação à punção, associada à resistência à tração diagonal. Esta verificação também é feita através de uma tensão de cisalhamento no contorno C'.

Sendo necessário, a ligação deve ser reforçada com uma armadura transversal. Nesse caso, uma terceira superfície crítica C'' também deve ser verificada.

As figuras 48 e 49 mostram os perímetros para os pilares internos e de borda.

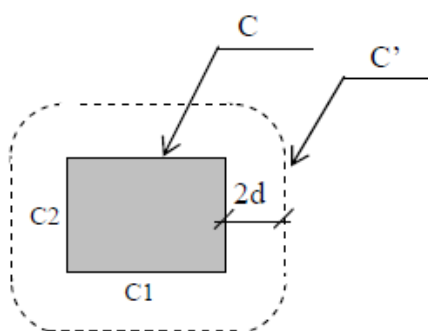


Figura 48 – Perímetro crítico dos pilares internos (LONGO, 2012)

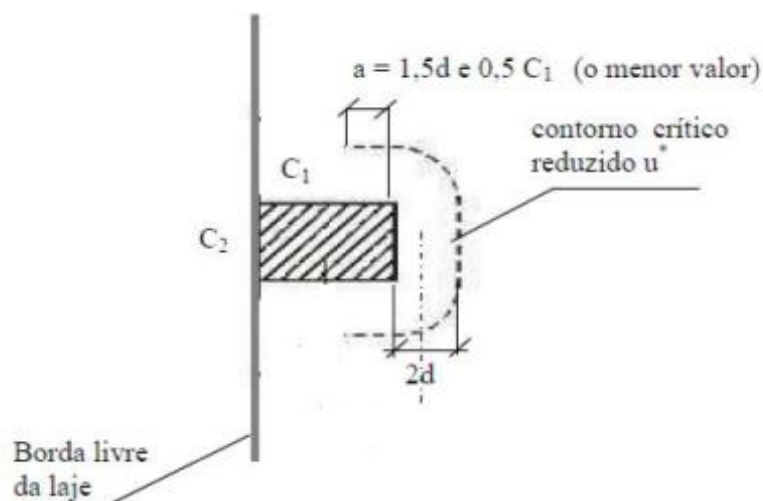


Figura 49 – Perímetro crítico do pilar de borda (LONGO, 2012)

Para a verificação da punção na laje lisa do edifício garagem, serão verificados os dois tipos de pilares que apresentem maior carga na laje e o modelo de apoio utilizado para essa verificação será com os apoios sólidos+lineares, que mais se assemelha ao caso real de pilares.

Os pilares, as cargas e os perímetros estão mostrados na Tabela 4, e as fórmulas correspondentes ao cálculo do perímetro a seguir.

- Contorno crítico C para pilar interno e de borda, respectivamente:

$$C = 2 \times (C1 + C2) \quad (15)$$

$$C = (2 \times a) + C2 \quad (16)$$

- Contorno crítico C' para pilar interno e de borda, respectivamente:

$$C' = [2 \times (C1 + C2)] + (2 \times \pi \times 2d) \quad (17)$$

$$C' = [(2 \times a) + C2] + [(2 \times \pi \times 2d) / 2] \quad (18)$$

Tabela 4 – Contornos críticos C e C' e cargas nos pilares P31 e P44

Pilares	Tipo	Fsd (kN)	C1 (m)	C2 (m)	u em C (m)	u em C' (m)
P44	Borda	1089,69	0,25	0,75	1	3,01
P31	Interno	2010,75	0,50	0,75	2,5	6,52

As tensões solicitantes e resistentes em C foram calculadas de acordo com as Eq. (19) a (21). Os valores estão na Tabela 5

$$\tau_{sd} \leq \tau_{Rd1} = 0,27 \times \alpha_v \times f_{cd} \quad (19)$$

$$\tau_{sd} = Fsd/u \times d \quad (20)$$

$$\alpha_v = 1 - f_{ck}/250 \quad (21)$$

Tabela 5 – Tensão solicitante e resistente no contorno C para P44 e P31

Pilares	τ_{Rd1} (kN/m ²)	τ_{sd} (kN/m ²)	Verificação
P44	5091,43	3405,28	OK
P31	5091,43	2513,44	OK

Para o cálculo da tensão resistente em C', é necessário ter o valor da taxa de armadura de flexão da laje. As equações para o cálculo dessa taxa, da tensão resistente C' e das tensões solicitantes estão indicadas nas Eq (24) e (25) e pela Tabela 6.

$$\rho = A_s / b \times h = 25,2 / 100 \times 35 = 0,0072$$

$$\tau_{sd} < \tau_{Rd} = 0,13 \times \left(1 + \sqrt{20/d} \right) \times (100 \times \rho \times f_{ck})^{\frac{1}{3}} \quad (22)$$

$$\tau_{sd} = Fsd / u \times d \quad (23)$$

Tabela 6 – Tensão solicitante e resistente no contorno C' para P31e P44

Pilares	τ_{Rd2} (kN/m ²)	τ_{sd} (kN/m ²)	Verificação
P44	648,30	362,00	OK
P31	649,30	308,40	OK

Como as tensões resistentes nos contornos C e C' são maiores que as tensões solicitantes, não é necessário colocar armadura de puncionamento nos pilares verificados.

6.7 Verificação das Flechas

Para a verificação da flecha na laje lisa, foi utilizado o deslocamento máximo dado pela envoltória dos esforços do modelo de apoios sólido+linear.

De acordo com a NBR 6118(2007), no item 13.3, o deslocamento limite para a aceitabilidade sensorial está demonstrado na Eq (24):

$$f_{LIM} = l / 250 \quad (24)$$

onde:

- 1 é o menor vão do painel

Através do programa SAP 2000, foram obtidos os valores das flechas para sobrecarga total e as sobrecargas da carga permanente. A seguir, essas flechas estão indicadas nas figuras 50 a 52.

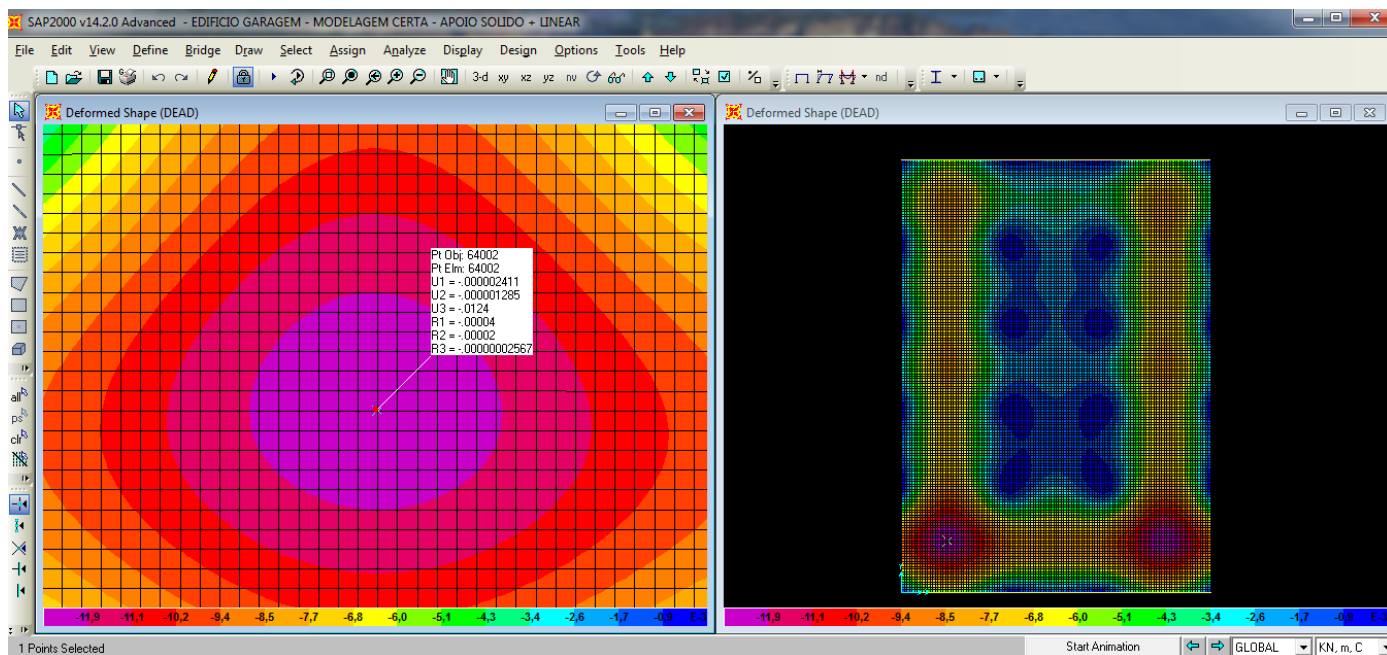


Figura 50 – Flecha Máxima na Laje Lisa devido ao Peso Próprio

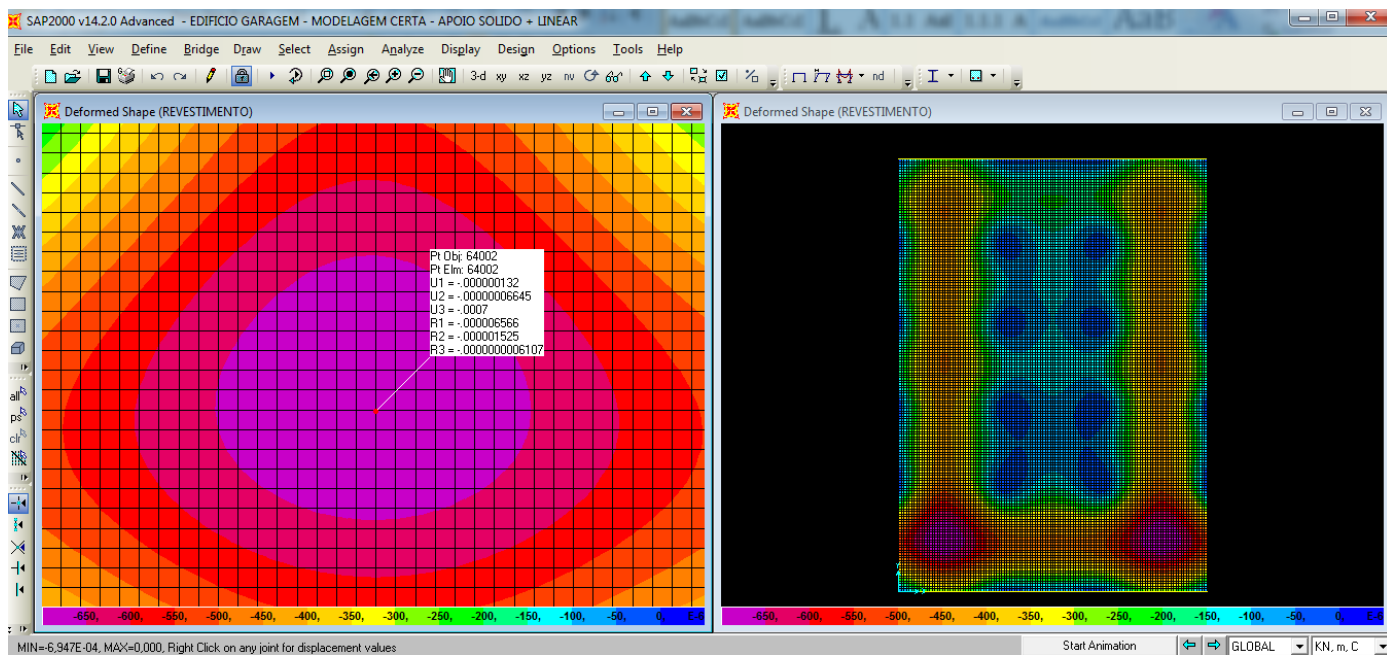


Figura 51 – Flecha Máxima na Laje Lisa devido ao Revestimento

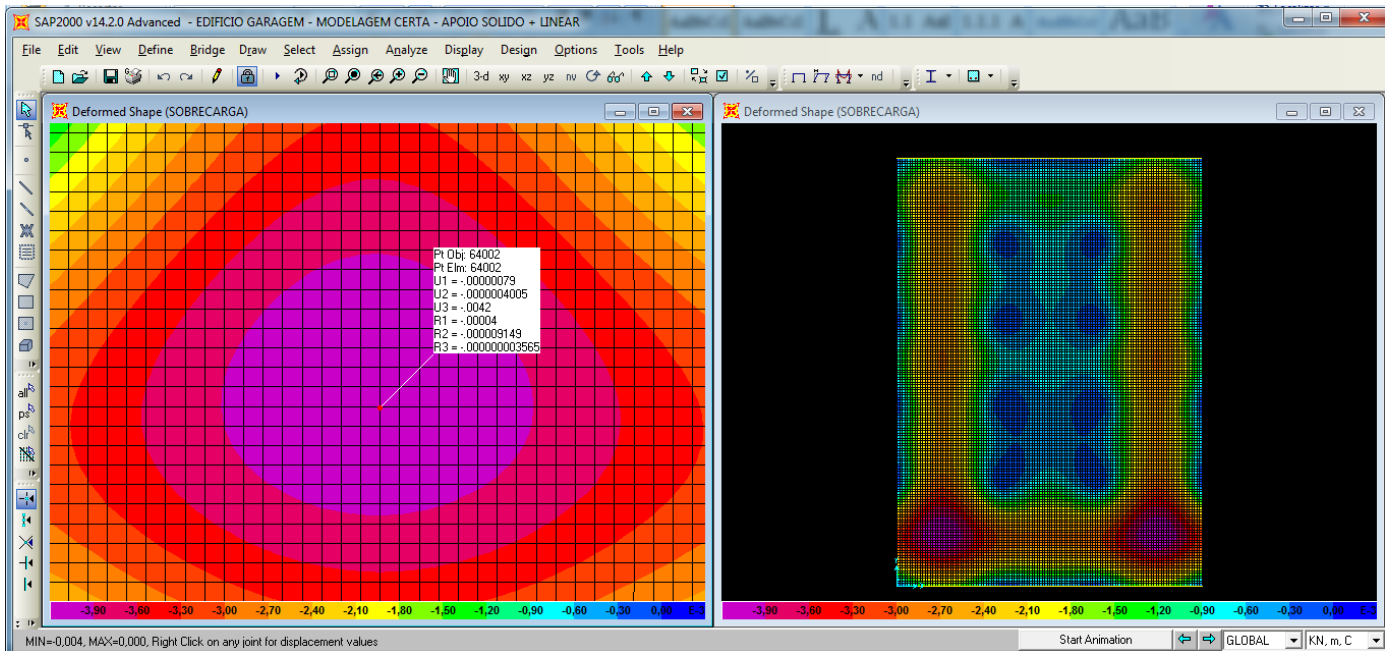


Figura 52 – Flecha Máxima na Laje Lisa devido à Sobrecarga

A flecha máxima será a soma das flechas referentes às figuras anteriores aplicadas na Eq (25), sendo considerado o valor máximo para flecha diferida no tempo o fator 2,5.

$$f_{total} = 2,5 \times (f_{gdead} + f_{grevest}) + (0,4 \times f_q) < f_{LIM} \quad (25)$$

Então, a flecha total da laje lisa e a flecha limite serão:

$$f_{total} = 2,5 \times [(0,0124 + 0,0007) + (0,4 \times 0,0042)] \cong 3,44 \text{ cm}$$

$$f_{LIM} = 1000/250 = 4,0 \text{ cm} > f_{total}$$

7. Análise da Estrutura do Edifício Garagem por um Modelo Tridimensional Programa SAP 2000

7.1 Modelagem da Estrutura Tridimensional

Para a análise do caso do edifício garagem, levando em conta todos os andares que compõe o projeto (térreo, 1º ao 4º andar e cobertura), foi utilizado o modelo sólido+linear, modelado no programa SAP 2000.

Nessa análise, foi considerada uma carga linear horizontal de 3,0 kN/m em cada pavimento para simulação da ação de vento.

A modelagem do edifício garagem está indicada nas figuras 53 a 55

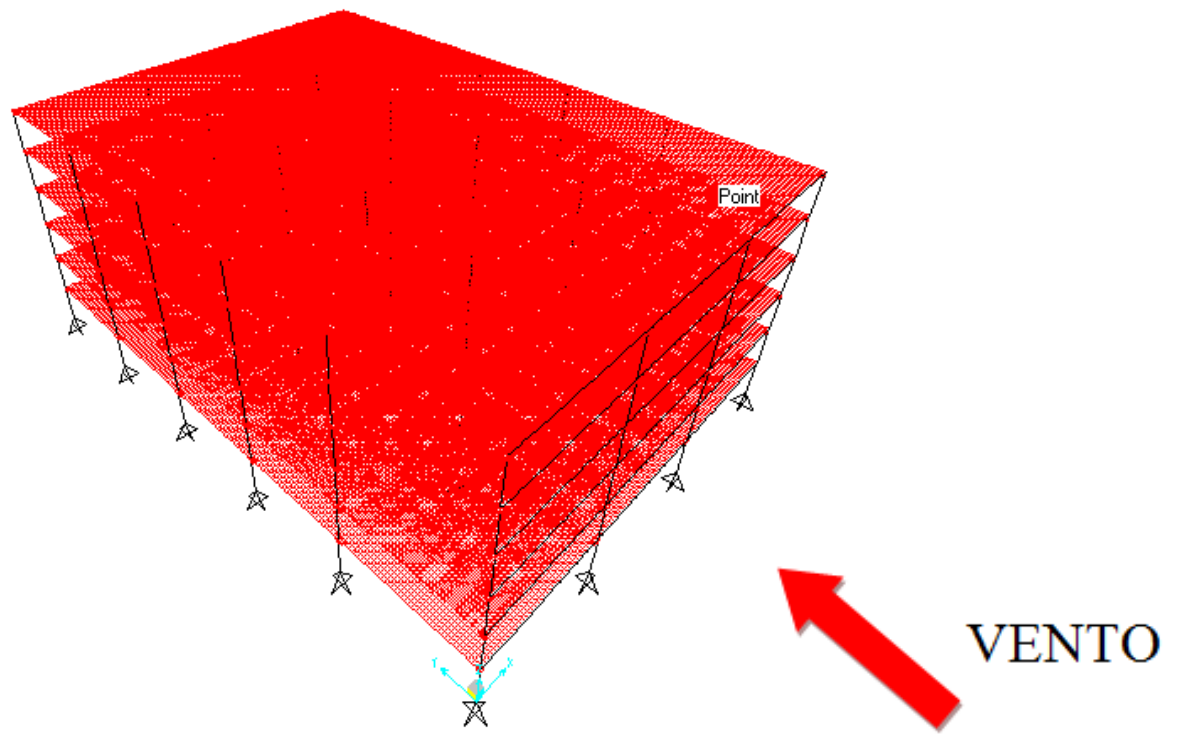


Figura 53 – Edifício Garagem – Modelo Tridimensional

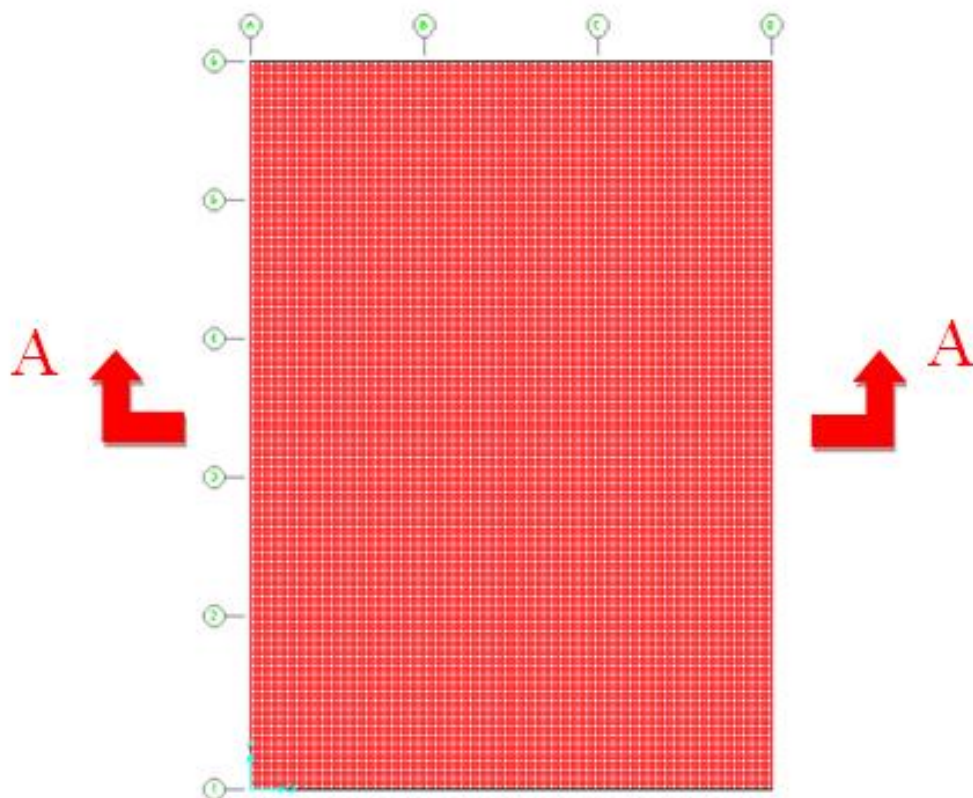


Figura 54 – Edifício Garagem – Planta Baixa

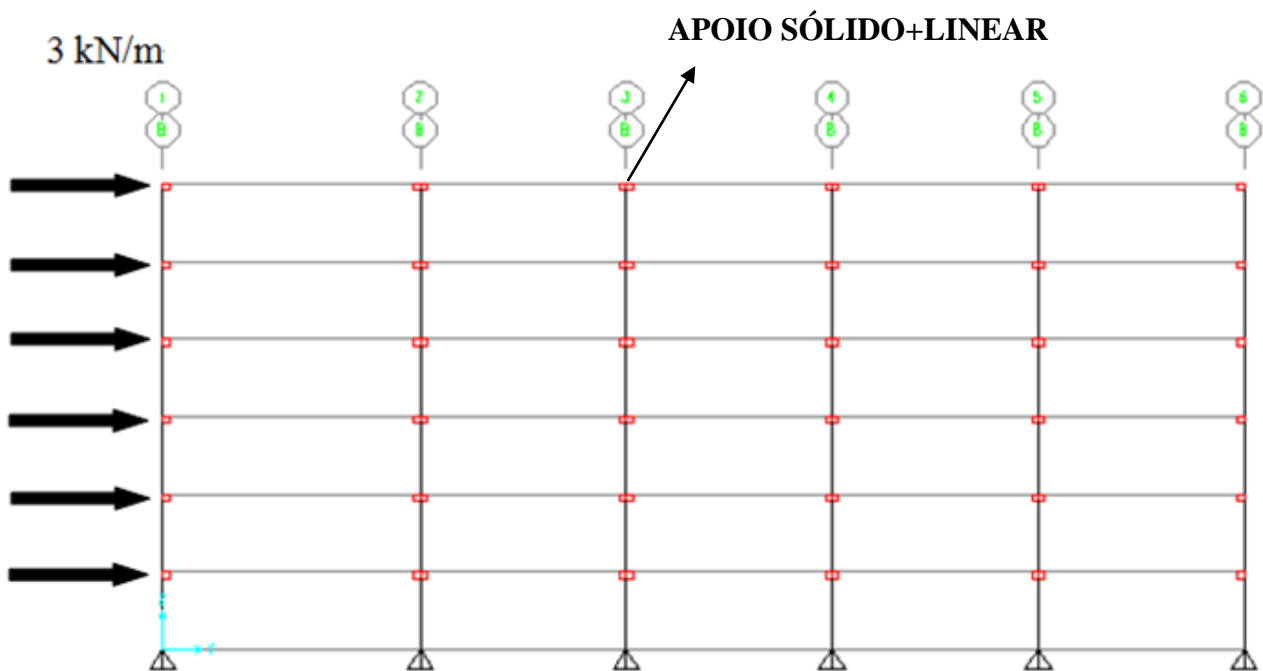


Figura 55 – Edifício Garagem – Corte A-A

7.2 Apresentação dos Resultados

Para o modelo de apoio sólido+linear, a laje lisa do Edifício garagem foi calculada com as combinações de cargas estabelecidas anteriormente, juntamente com a carga linear horizontal de 3,0 kN/m.

Na figura 56, foram calculados os momentos no pilar P42 do modelo tridimensional, já que ele apresenta os maiores momentos, com descontinuidade no diagrama devido ao elemento sólido ligado à laje. Os resultados comprovam a eficiência desse apoio para o modelo tridimensional, já que, diferente do apoio sólido, o apoio sólido+linear fornece momentos fletores para o dimensionamento dos pilares.

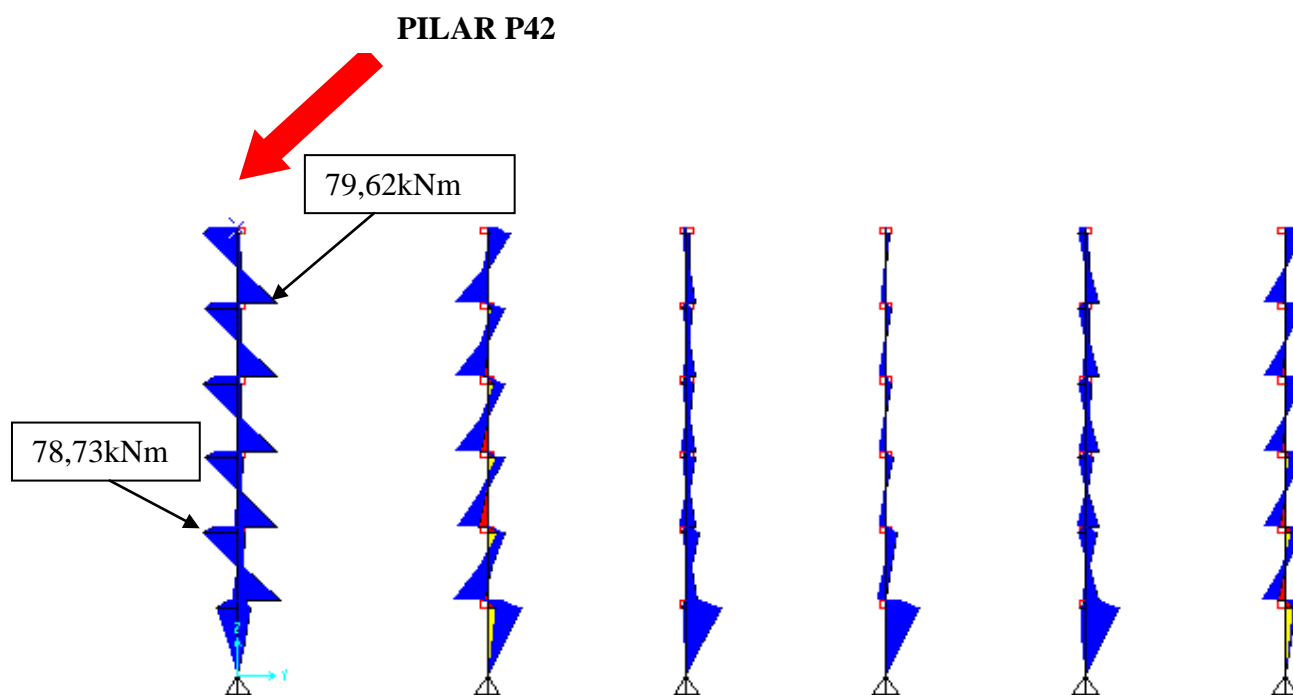


Figura 56 – Edifício Garagem – Pilar P42 – Momentos Máximos

8. Conclusões

O presente estudo analisou a estrutura de um edifício garagem, no qual foi demonstrado que o melhor tipo de apoio para lajes lisas é o sólido+linear. Neste trabalho foi apresentado que, em pavimentos garagem é preciso posicionar as sobrecargas nas posições mais desfavoráveis e determinar os momentos pela envoltória das combinações.

A partir da conclusão que o apoio sólido+linear é o mais eficaz, o mesmo foi aplicado no edifício garagem para um modelo tridimensional da estrutura sob a ação de cargas horizontais para simular a ação do vento.

Os momentos fletores máximos negativos dos apoios sólidos+lineares e sólidos foram menores que os apoios pontuais e lineares. Na análise da estrutura tridimensional, submetida à ação do vento, o apoio sólido+linear é capaz de fornecer resultados para os momentos fletores, o que não acontece com os apoios sólidos.

9. Referências Bibliográficas

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1983, *Building Code Requirements for Reinforced Concrete: ACI 318*. Detroit.
- LEONHARDT, F., MÖNNIG, E., 1978, *Construções de Concreto – Volumes 1, 2 e 3*, Editora Interciência, Rio de Janeiro.
- LONGO, H.I., 2008a, *Pré-dimensionamento das estruturas de edificações*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.
- LONGO, H.I., 2008b, *Dimensionamento de Lajes ao Puncionamento*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.
- LONGO, H.I., 2008c, *Projeto Piloto para Análise de Lajes Cogumelo*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.
- LONGO, H.I., 2012, *Lajes cogumelo*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.
- LONGO, H.I., 2008, *Carregamentos atuantes nas Lajes de Edificações*, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.
- LONGO, H.I., set.2007, *Modelagem de Lajes Lisas*, Anais do 49º Congresso do IBRACON.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR-6118, jun.2007, *Projetos de Estruturas de Concreto - Procedimento*, ABNT.
- CSI COMPUTERS SAP 2000 – Structure Analysis Program, Computers and Structures Inc., version 14.2.0, 2010-Anexo.

