

**REDE DOCTUM DE ENSINO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CARATINGA  
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

**ANÁLISE DE CARGAS ACIDENTAIS EM LAJES DESTINADAS A GARAGEM**

**LUIZ CÉLIO MELLO  
RAFAEL PEREIRA BAÍA**

**Trabalho de Conclusão de Curso**

**Caratinga/MG**

**2016**

**LUIZ CÉLIO MELLO  
RAFAEL PEREIRA BAÍA**

**ANÁLISE DE CARGAS ACIDENTAIS EM LAJES DESTINADAS A GARAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora do Curso Superior de Engenharia Civil do Instituto Tecnológico de Caratinga da DOCTUM Caratinga como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Professor Orientador: Prof. João Moreira Moreira de Oliveira Júnior.

**Caratinga/MG**

**2016**

TÍTULO DO TRABALHO

ANÁLISE DE CARGAS EM LAJES DESTINADAS A GARAGEM

por

**LUIZ CÉLIO MELO E RAFAEL PEREIRA BAÍA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado perante a Banca de Avaliação composta pelos professores João Moreira, José Nelson e Ricardo Botelho, às 9 horas do dia 12/12/2016 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil. Após a avaliação de cada professor e discussão a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado, com a qualificação: Distintivo.

Trabalho indicado para publicação: ( ) SIM (  ) NÃO

Caratinga, 12 de dezembro de 2016

  
\_\_\_\_\_  
Professor Orientador e Presidente da Banca

José Nelson Vieira da Rocha  
\_\_\_\_\_  
Professor Avaliador 1

Ricardo Botelho Papp  
\_\_\_\_\_  
Professor Avaliador 2

Luiz Célio Melo Rafael F. Baía  
\_\_\_\_\_  
Aluno(a)

  
\_\_\_\_\_  
Coordenador(a) do Curso

*À Deus por todas as bênçãos desta vida.....*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades do dia a dia. A minha esposa querida Kênia Moraes de Melo que teve paciência tolerância para suportar meu mau humor, impaciências e preocupações no decorrer dos períodos.

A meus filhos Luiz Felipe de Melo, Kamilly Nicole Moraes de Melo e André Luiz Moraes de Melo que neste período intenso de estudos privarão de minha companhia, na ausência de laser feriadados ou folgas e que vez em quando estudavam juntos.

Ao meu orientador João Moreira, pelo suporte técnico no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos.

A minha mãe, Lourdes Soares de Melo pelo amor fraternal, incentivo e apoio incondicional e meu pai em memória Luiz Antônio de Melo que em vida sonhava pelo futuro dos filhos.

Aos meus amigos que tiveram que suportar minha ausência, mal humor e falta de tempo para eles, e a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

A Deus por ter me concedido o dom da vida e a capacidade de superar as dificuldades que são impostas e que nunca me abandonou mesmo nos momentos mais difíceis me amparando e guiando a cada momento.

A minha amada esposa Keila Ferreira Lopes Baía, pela compreensão nos momentos difíceis e companheirismo que tanto me ajudou nesta jornada.

Aos meus pais, José Batista Sobrinho e Waldirene Baía da Silva, pelo amor e carinho ao longo da minha vida e por todo o apoio que me deram para que todos meus sonhos fossem sempre concretizados. E aos meus irmão, que sempre foram meus companheiros nesta jornada.

Aos meus professores, que tanto contribuíram em minha formação acadêmica, sem a qual não estaria aqui hoje. Em especial ao professor João Moreira de Carvalho, que sem sua orientação este trabalho não teria sido concluído tão bem.

Enfim, a todos os amigos que colaboram direta ou indiretamente para que este trabalho fosse concretizado, deixo o meu, muito obrigado!

*“Algo só é impossível até que alguém duvide e resolva provar ao contrário.”*

(ALBERT EINSTEIN)

MELLO, Luiz Celio; BAÏA, Rafael Pereira. **Análise de cargas acidentais em lajes destinadas a garagem.** Caratinga, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Civil - Curso de Engenharia Civil. Faculdades Integradas de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2016.

## **RESUMO**

Visto que há pouca pesquisa em um estudo mais aprofundado sobre a relação harmoniosa entre espaços arquitetônicos e projetos estruturais, resultantes das necessidades estéticas e da estabilização desses espaços onde são utilizados vãos cada vez maiores. Este trabalho é voltado a verificações do comportamento de lajes maciças de concreto aos carregamentos acidentais em pavimentos garagem, recomendado pela norma brasileira, onde não é abordado o uso de carregamentos concentrados e sim de cargas distribuídas por metro quadrado de laje. Através de uma simulação de uma única laje e utilizando o recurso da grelha equivalente foram determinados os valores atuantes das flechas na laje. Os resultados dessas simulações mostraram que, para pavimentos garagem, considerando os carregamentos dos veículos atuais é necessária a consideração de carregamento acidental de cargas concentradas (veículos).

**Palavras-chave:** Análise de cargas. Pavimento garagem. Grelha.

MELLO, Luiz Celio; BAÏA, Rafael Pereira. **Analysis of accidental loads on slabs intended for the garage.** Caratinga, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Civil - Curso de Engenharia Civil. Faculdades Integradas de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2016.

## **ABSTRACT**

Since there is little research in a more in-depth study on a harmonious relationship between architectural spaces and structural projects resulting from the aesthetic needs and the stabilization of spaces where ever greater spans are used. This work is aimed at verification of the behavior of solid concrete slabs for accidental loading on garage floors, recommended for the Brazilian standard, where it is not approached the use of concentrated loads, but of loads distributed per square meter of slab. Through a one-piece simulation using the grid feature. The results of simulations showed that, for garage floors, considering the current vehicle loads is a clock of accidental loading of concentrated loads (vehicles).

**Key-words:** Analysis of loads. Floor garage. Grid.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> – Elementos estruturais. . . . .	14
<b>Figura 2</b> – Laje maciça em corte. . . . .	15
<b>Figura 3</b> – Laje pré-moldada em corte. . . . .	16
<b>Figura 4</b> – Laje nervurada em corte. . . . .	17
<b>Figura 5</b> – Grelha equivalente. . . . .	20
<b>Figura 6</b> – Fluxograma básico do programa de grelhas. . . . .	21
<b>Figura 7</b> – Tela inicial. . . . .	24
<b>Figura 8</b> – Geração de linhas de construção. . . . .	25
<b>Figura 9</b> – Pilares inseridos sobre as linhas de construção. . . . .	25
<b>Figura 10</b> – Vigas inseridas. . . . .	26
<b>Figura 11</b> – Lajes inseridas. . . . .	26
<b>Figura 12</b> – Malha da grelha equivalente gerada. . . . .	27
<b>Figura 13</b> – Malha de referência e Malha deformada. . . . .	28
<b>Figura 14</b> – Diagramas de solicitações. . . . .	28
<b>Figura 15</b> – Relação das flechas. . . . .	31

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	– Valores mínimos de cargas verticais. . . . .	17
<b>Tabela 2</b>	– Ações variáveis consideradas separadamente . . . . .	18
<b>Tabela 3</b>	– Valores de carregamentos em garagens e áreas de tráfego de veículos. . . . .	19
<b>Tabela 4</b>	– Compatibilização dos carregamentos concentrados. . . . .	30
<b>Tabela 5</b>	– Relação das flechas entre cargas distribuídas e concentradas no centro da laje. . . . .	31

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> . . . . .	<b>11</b>
1.1 OBJETIVO . . . . .	12
<b>1.1.1 OBJETIVO GERAL</b> . . . . .	12
<b>1.1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO</b> . . . . .	12
1.2 FORMULAÇÃO E DELIMITAÇÃO . . . . .	12
1.3 JUSTIFICATIVA . . . . .	12
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> . . . . .	<b>14</b>
2.1 EVOLUÇÃO DAS LAJES . . . . .	14
<b>2.1.1 LAJES MACIÇAS</b> . . . . .	15
<b>2.1.2 LAJES PRÉ-MOLDADA E NERVURADA</b> . . . . .	16
2.2 TIPOS DE CARREGAMENTO EM LAJE DESTINADA A GARAGEM . . . . .	17
2.3 PROCESSO DE GRELHA . . . . .	19
2.4 PROGRAMA LIVRE PARA ANÁLISE DE GRELHAS DE CONCRETO . . . . .	20
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> . . . . .	<b>23</b>
3.1 DEFINIÇÃO DOS ELEMENTOS . . . . .	23
3.2 ANÁLISE DOS ELEMENTOS . . . . .	29
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> . . . . .	<b>32</b>
<b>5 CONCLUSÃO</b> . . . . .	<b>33</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> . . . . .	<b>34</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Criada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, em 1943, a NBR 6120 tem como objetivo fixar as condições exigíveis para determinação dos valores das cargas que devem ser consideradas no projeto de estrutura de edificações, qualquer que seja sua classe e destino, salvo os casos previstos em normas especiais. Ao longo do tempo esta norma foi revisada e corrigida por várias vezes até sua última revisão em 1980 e errata em 2000.

Todavia, que desde o ano 1980 não há atualização das atribuições de carga na norma NBR 6120, pensando nisto, foi elaborado um trabalho, que para os dias atuais, houve um aumento de veículos que possui cargas superior ao previsto pela norma, acarretando em uma grande diferença nos carregamentos resultantes. Ainda, tratar da relação existente entre a concepção das cargas reais aplicadas na estrutura e as cargas estabelecidas por norma.

Diga-se que há pouca pesquisa em um estudo mais aprofundado sobre a relação harmoniosa que deve existir entre espaços arquitetônicos e projetos estruturais, resultantes das necessidades estéticas e da estabilização desses espaços onde são utilizados vãos cada vez maiores. O objetivo é mostrar que com um estudo prévio, mais aprofundado, é possível adequar melhor os projetos com a atribuição real, buscando encontrar soluções que se adéqua da melhor forma possível às necessidades arquitetônicas e não comprometa as estruturais.

Sabendo ainda que toda carga atribuída a estrutura deve possuir, de acordo com NBR 8681, os requisitos necessário na verificação de segurança das estruturas habituais da construção civil, estabelecendo ainda as elucidações e os critérios as quais são quantificadas as ações e as resistências a serem apontados no projeto da sustentação de edificações, sejam quaisquer a sua classe ou destino de utilização, salvo em casos previstos em Normas Brasileiras específicas.

Uma das lajes que melhor se adapta a esta situação, são as tradicionais de concreto armado denominadas de maciça, as lajes, os pilares e as vigas formam um só elemento que melhoram sua resistência aos esforços, deslocamento e deformações, as lajes precisam ter uma espessura maior para melhorar a rigidez e reduzir as deformações, pois é o primeiro elemento a receber as cargas para que estes são destinados.

Segundo dados do IBGE para 2015, a frota de automóvel no Brasil conta com um total de 49.822.708 veículos, já a frota de caminhonetes para o mesmo ano conta com um total de 6.588.813 veículos, o que representa 1 caminhonete para cada 7,56 automóveis. Com este número de veículos de grande porte ocupando garagens projetadas para veículos com carga não superior a 25 kN, estabelecido por norma, isto nos mostra a fragilidade em que estas estruturas se encontram.

## 1.1 OBJETIVO

### 1.1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem por objetivo apresentar uma breve contextualização, buscando verificar os valores atribuídos por normas para cargas estabelecidas para estruturas de garagens, comparando com as cargas que atuam na laje.

### 1.1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Os valores estabelecidos pela norma NBR 6120:1980 atribui valores para veículos com carga limite de 25kN, porém, muitos veículos que são comercializados hoje em dia possui carga muito superior à definida pela norma. Dentro desta contextualização será verificado a eficiência em lajes maciças com estes novos carregamentos.
- Ainda contribuir para a análise de deformações para laje de garagem, aplicando as cargas veiculares de forma concentrada e distribuída.
- Verificação das flechas ao qual este novo carregamento causa na laje de concreto armado em laje fictícia, comparando com os valores estabelecidos pela NBR 6120:1980.

## 1.2 FORMULAÇÃO E DELIMITAÇÃO

As cargas acidentais para pavimentos de garagem são provenientes de diferentes variedades de veículos, muitas vezes estas cargas são superiores as cargas permanentes, pois, as cargas distribuídas entre os pneus em contato com a laje, nos novos veículos de mercado apresentam cargas superiores ao valor pré-estabelecido por norma.

As cargas, de acordo com a norma brasileira NBR 6120:1980 adota-se um valor mínimo de carga distribuída por metro quadrado de área que deve ser aplicada na laje, porém, algumas normas internacionais tratam estas cargas como uma carga concentrada no ponto de aplicação entre os pneus e a laje, como será abordado ao longo do trabalho. Analisando esta diferença obtém-se a situação mais crítica na estrutura.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Com o elevado crescimento e avanço tecnológico nas diversas áreas da engenharia civil, onde os processos construtivos estão em constante evolução, nota-se a necessidade de buscar cada vez mais meios de garantir a estabilidade e segurança nos sistemas construtivos.

Na concepção de uma estrutura, deve-se considerar a escolha de um sistema estrutural que leve em consideração a finalidade da edificação e que atenda aos requisitos de qualidade, desempenho e durabilidade estabelecidos pelas normas técnicas.

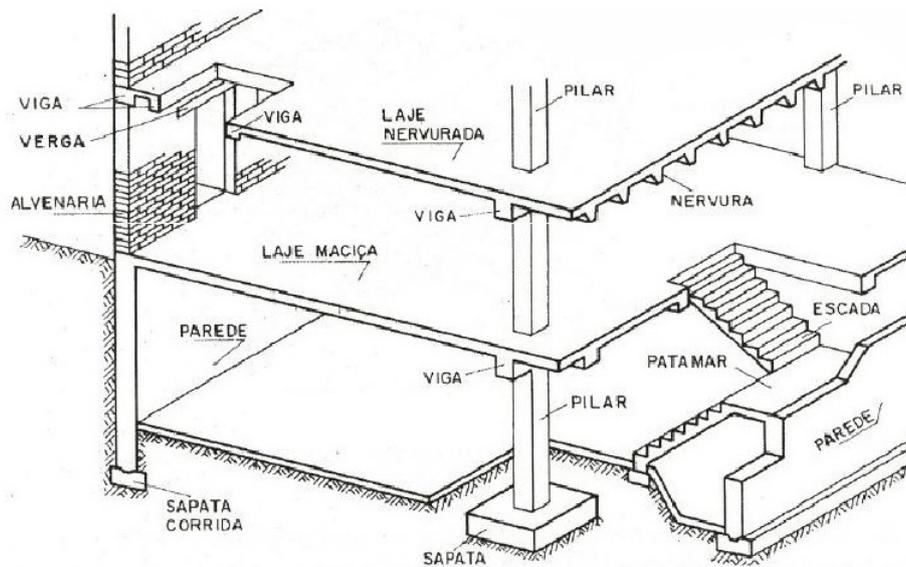
Este trabalho tem o intuito de mostrar a necessidade de atualização da norma NBR 6120/1980, que trata de cargas acidentais em estruturas, pois, esta norma encontra-se a mais de 30 anos sem atualização, muitos dos veículos comercializado hoje possui carga muito superior ao estabelecido por norma, de acordo com dados das montadoras. Observa-se que, a norma NBR 6118 item 13.2.4.1, trata da relação entre cargas de veículos, com carga superior ou inferior a 30KN, para atribuir as espessuras de laje garantindo assim a segurança da estrutura e seus ocupantes.

Em geral, deve-se verificar as ações que são constituídas por cargas acidentais estáticas que influenciam na vida útil da estrutura, podendo variar ao longo do tempo.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Segundo (Botelho e Marchetti, 2008), lajes são estruturas planas, podendo sua forma ter os mais diversos formatos possíveis, sendo, normalmente, mais utilizada a geometria retangular, podendo sua espessura variar de dez centímetros a um metro conforme as solicitações que lhe são aplicadas.

Já (Araújo, 2010) propõe que, se tratando de uma estrutura convencional, as lajes recebem e sustentam as cargas do prédio, transmitindo sua carga do piso para as vigas, das vigas para os pilares, que por sua vez transmitem a sua carga para as fundações e, posteriormente, ao solo conforme Figura 1.



**Figura 1:** Elementos estruturais.

**Fonte:** Mac Gregor, 1988.

A (NBR 6120:1980) assegura que as cargas são classificadas como cargas permanentes ( $g$ ) que são constituídas pelo peso próprio da estrutura e como cargas acidentais ( $q$ ), estas constituídas pelos móveis, equipamentos, peso de pessoas, veículos e etc.

### 2.1 EVOLUÇÃO DAS LAJES

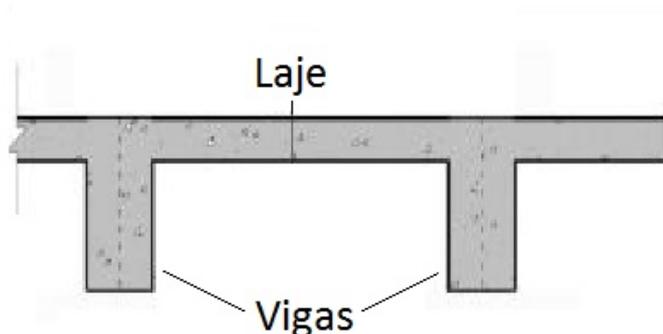
Durante séculos as construções foram executadas em pedras e madeiras, onde os assoalhos recebiam as cargas que eram levadas as vigas transversais, que descarregava nas vigas

mestras e daí aos pilares. Com o surgimento do uso do concreto armado, as estruturas passaram a ser executadas com os mesmos princípios.

O novo sistema, que surgiu pela iniciativa pioneira do engenheiro C. A. P. Tuner, em 1906, de laje cogumelo com a construção de edifício C. A. Bovey Buiding, em Minneapolis, Minosota, causou grande polêmica entre os engenheiros da época, sendo cegamente endossado por uns e fortemente combatido por outros, o que não impediu que se disseminasse, segundo (Carvalho, 2009 p. 99).

### 2.1.1 LAJES MACIÇAS

As lajes são os primeiros elementos estruturais a receberem a carga para qual são destinadas à uma estrutura. São elementos estruturais bidimensionais, caracterizadas por ter a espessura muito menor do que as outras duas dimensões. (NBR 6118, item 14.4.2). No estudo em questão, foram consideradas somente lajes maciças apoiadas em vigas, como mostra o corte em piso de concreto armado constituído por laje maciça apoiada em vigas na Figura 2.



**Figura 2:** Laje maciça em corte.

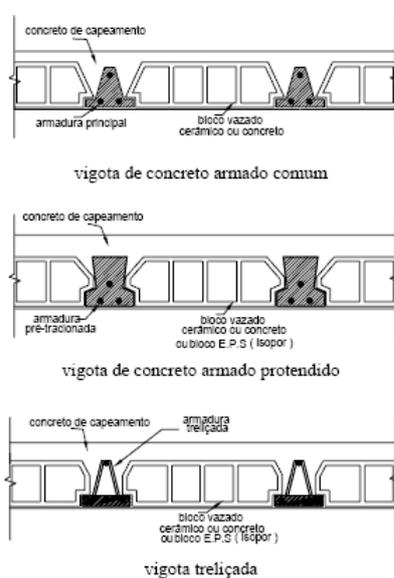
**Fonte:** Acervo do Autor.

São denominadas lajes maciças as tradicionais de concreto armado, de seção homogênea, executadas sobre formas, que as moldam, e escoramentos, que as sustentam até que adquiram resistência própria. Embora seja mais cara que as pré-moldadas por terem um gasto excessivo de escoras e painéis para confecção de suas formas, porém possui maior resistência, por terem suas cargas distribuídas pelas quatro direções, segundo (Adão F. X. 2010 p.65).

Segundo a NBR-6118, item 13.2.4.1, nas lajes maciças devem ser respeitados os seguintes limites mínimos para a espessura: 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN; e 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN.

## 2.1.2 LAJES PRÉ-MOLDADA E NERVURADA

As lajes pré-fabricadas, como o nome diz, é adquirida por fornecedor e transportada para o local a ser executada a obra, estas trazem economia em pequenos empreendimentos, pois dispensam o uso de formas e excesso de escoramento. Um sistema de lajes pré-moldada, entre as mais diversas como as vigotas tipo comum, protendida e as treliçadas, conforme a Figura 3, consiste em uma estrutura estável. Segundo Adão F. X. (2010 p. 72), o cálculo de armadura segue o modelo da laje armada em uma direção, não podendo alterar o eixo ou sentido das vigotas na hora da execução. Dentre os materiais que podem compor a laje com o concreto, tem-se o EPS que permite bom isolamento termoacústico, além de leveza, ou as tradicionais lajotas de cerâmicas.

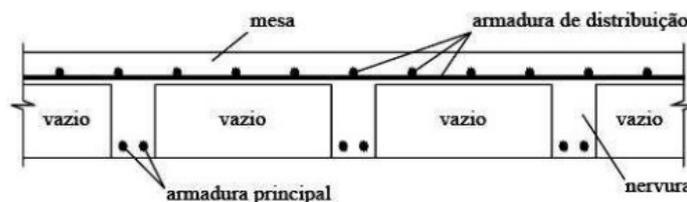


**Figura 3:** Laje pré-moldada em corte.

**Fonte:** Chust, 2009.

Segundo a NBR 6118, item 14.7.7, as lajes nervuradas são as lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos estão localizadas nas nervuras entre as quais podem ser colocados materiais inertes.

A ideia para o surgimento dessas lajes é relativamente simples, para vãos de grandes dimensões, as lajes maciças geralmente apresentam, no Estado Limite Último (ELU), uma pequena região de concreto comprimido, com isto há muito concreto abaixo da linha neutra que está tracionado, o objetivo dos materiais inertes é reduzir o volume de concreto abaixo da linha neutra favorecendo a resistência à flexão, segundo carvalho e Figueiredo Filho (2007).



**Figura 4:** Laje nervurada em corte.

**Fonte:** Chust, 2007.

## 2.2 TIPOS DE CARREGAMENTO EM LAJE DESTINADA A GARAGEM

Os carregamentos atuantes nas estruturas podem ser classificados como cargas permanentes e cargas acidentais, trata a NBR 6120:1980. Esses carregamentos foram aplicados de forma distribuída nas lajes e distribuída linearmente, no caso das vigas.

Levanta em consideração a relação do peso do veículo se está apropriado para a estrutura que foi projetada. Cargas acidentais são todos os esforços que atuam sobre a laje, de acordo com (Adão F. X. 2010). No Brasil estas cargas acidentais que são especificadas para garagem, e os valores das sobrecarga atuantes na estrutura de concreto, a exigência da norma NBR 6120/1980, é para veículos com capacidade máxima de até 25kN, Tabela 1.

**Tabela 1:** Valores mínimos de cargas verticais.

Tipo	Ambiente	Carga ( $kN/m^2$ )
18 Garagens e estacionamentos	Para veículos de passageiros ou semelhantes com carga máxima de, 25 kN por veículo. Valores de $\phi$ indicados em 2.2.1.6.	3

**Fonte:** NBR 6120:1980.

O valor do coeficiente  $\phi$  de majoração das cargas acidentais a serem consideradas no projeto de garagens e estacionamento de veículos deve ser determinado do seguinte modo: L o vão de uma viga ou o vão menor de uma laje; sendo L = 3 m para o caso das lajes e L = 5 m para o caso das vigas (NBR 6120:1980, item 2.2.1.6).

Na NBR 8681:2003, as cargas variáveis são ações que sucedem com valores que apresentam variações relevantes ao longo de sua média, durante a vida da construção. Além da ação direta das cargas, são considerados os efeitos, tais como força de frenagem e aceleração, de impacto e centrífugas, os efeitos do vento, das variações de temperatura, do atrito nos aparelhos de apoio. Em função de sua probabilidade de ocorrência ao longo da vida de construção, as ações variáveis são classificadas em normais, especiais ou excepcionais.

**Tabela 2:** Ações variáveis consideradas separadamente

Combinações	Tipo de ação	Coefficiente de ponderação
Normal	Ações truncadas	1,2
	Efeito de temperatura	1,2
	Ação do Vento	1,4
	Ações Variáveis em Geral	1,5
Especial ou de Construção	Ações truncadas	1,1
	Efeito de temperatura	1,0
	Ação do Vento	1,2
	Ações Variáveis em Geral	1,3
Excepcional	Ações variáveis em geral	1,0

**Fonte:** NBR 8681:2003.

Ao se considerar que muitas construções têm uma vida útil de pelo menos 50 anos, e não é possível prever com exatidão as cargas que ocuparão os pisos ao longo deste período, normas nacionais existentes apresentam valores de segurança estimados para as cargas que podem ocorrer em pavimentos de edifícios de diferentes finalidades ao longo de sua vida útil, afim de garantir a segurança e estabilidade da estrutura (NBR 8681:2003).

É muito comum incluir em projetos de edifícios de concreto armado vãos livres relativamente grandes destinados a auditórios, sala de exposição, pavimentos de garagem e áreas de lazer. Em tais casos, as lajes precisam ter uma espessura maior para aumentar a rigidez e reduzir as deflexões, trata a norma (NBR 6118:2014). Desse modo, as lajes maciças aumentam consideravelmente o peso próprio.

Em vias publicas é comum notar que há uma existência muito grande de veículos robustos, nesta categoria nota-se o peso próprio e a capacidade de carga delas. Pesquisa em relação a três modelos de caminhonetes, Segundo a revista Auto Esporte, 2016):

- Dodge Ram 2500, com mais de seis metros de comprimento, picape realmente grande do mercado brasileiro de 3.410 kg, a capacidade total de carga é apenas 1.030 kg.
- Ranger esta entre um dos veículos mais populares no país, sendo comum encontra-la circulando entre os veículos de passeio com um peso de médio de 2.261 kg, e uma capacidade de carga de 1.009 kg.
- Hilux uma caminhonet bem comum no mercado com seu peso de 3.000 kg, capacidade de carga de 1.195 kg.

Observando as características e cargas destes veículos, nota-se que suas cargas são superiores ao estabelecido por norma, e que não existe nenhuma restrição quanto a utilização destes veiculos em norma, assim sendo, há uma necessidade de avaliar se as cargas estabelecidas para

garagem necessita ser reavaliada, ou apenas ser criadas formas de controlar estes carregamentos nos pavimentos de garagem.

O EuroCode 1:2002 traz algumas considerações para a análise de pavimentos garagens, para que faça-se considerações dos efeitos encontrados decorrentes das cargas veiculares, as quais são transmitidos ao pavimento através do contato do pneu com o pavimento. Apresenta-se uma Tabela 3 do EuroCode 1:2002, atribuindo valores de cargas concentradas (carga concentrada em um ponto, que simboliza a área de contato entre o pneu do veículo com o piso do pavimento).

Essas considerações apresentadas pelo EuroCode 1:2002 são para serem atribuídas nas observações dos esforços solicitantes e nos dimensionamentos dos componentes estruturais que esteja por conseguinte, sendo solicitado pelas cargas pontuais. A organização das cargas atribuídas concentradas deve ser formada de tal forma que mostre a situação em que a estrutura esteja mais desfavorável possível.

**Tabela 3:** Valores de carregamentos em garagens e áreas de tráfego de veículos.

Categorias de áreas de tráfego	$q_k [kn/m^2]$	$Q_k [kn]$
Categoria F Peso total do veículo: $\leq 30kN$	$q_k$	$Q_k$
Categoria G $30kN < \text{peso total do veículo} \leq 160kN$	5,0	$Q_k$
Nota: $q_k$ é planejado para determinação de efeitos gerais e $Q_k$ para efeitos locais.		

**Fonte:** EUROCODE 1:2002.

### 2.3 PROCESSO DE GRELHA

Segundo Silva (2005), a maneira de realizar a grelha equivalente ou a analogia de grelha foi aplicado inicialmente por Marcus no ano de 1932, para realizar o cálculo que determina os esforços suplicante em placas de concreto que possui bordas indeslocáveis no sentido vertical. O método constitui-se em substituir a placa (de laje) por uma malha equivalente de vigas (grelha equivalente), de modo que, o fruto do cálculo, possa representar a placa de laje. No caso de superfícies de estruturas constituídos por lajes maciças, com ou sem vigas, ou ainda por lajes nervuradas, pode-se então utilizar o mesmo procedimento.

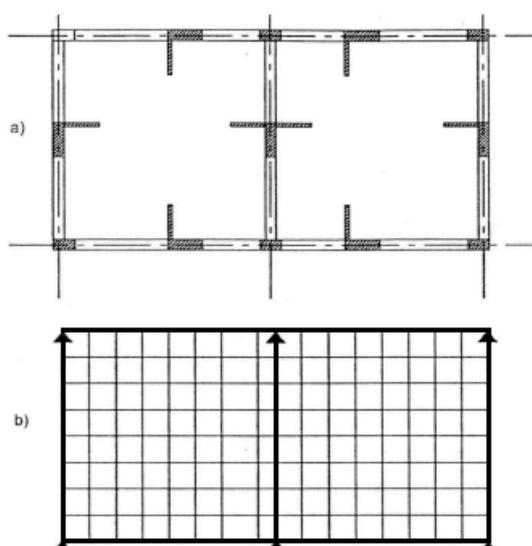
Silva (2005) ainda trata, que ao se dividir uma placa ou mesmo um pavimento em uma quantidade apropriada de elementos, as chamadas barras da grelha equivalente, é provável que se obtenha uma soluções para efetivamente qualquer simetria geometria definida; por este processo é possível que seja realizada a análise global do pavimento, ao se levar em consideração a atuação da flexibilidade que os apoios exercem e da rigidez à torção, tanto para as lajes como para as vigas, além do que é capaz de incluir na análise a não linearidade física do concreto armado.

Ao considerar que as ações que atuam de forma distribuídas na laje pode ser divididas entre os elementos da grelha equivalente em concordância com a área de atuação de cada

componente; as ações podem ser classificadas uniformemente distribuídas por todos os elementos ou então de forma concentrada nos nós. No caso de existência de ações concentradas que atuem sobre a laje, estas devem ser consideradas aplicadas aos nós da malha; quando o posicionamento destas ações não estiver sobre um dos nós, deve-se então alterar a malha ou então admitir valores que seja equivalente a ação nos nós mais próximos da carga.

A rigidez à torção, bem como à flexão, é considerada como concentrada nos componentes proporcionais da grelha equivalente. Conforme Hambly (1976), as rigidezes das barras da grelha equivalente devem ser tais que, ao carregar a estrutura real e a da grelha equivalente, obtenham-se o mesmo estado de deformação e os mesmos esforços nas duas estruturas.

A Figura 5 indica uma placa em concreto armado constituído por duas lajes, cinco vigas e seis pilares, e a grelha equivalente gerada para representar a placa. Os elementos que aparecem em traço mais escuro na grelha equivalente demonstram as vigas, conseqüentemente os demais apresentam os elementos da placa.



**Figura 5:** Grelha equivalente.

**Fonte:** Chust R., 2014.

## 2.4 PROGRAMA LIVRE PARA ANÁLISE DE GRELHAS DE CONCRETO

Os autores Gere e Weaver Jr citam que existia um curso que realiza uma análise matricial de estruturas que tem linhas e nervuras entrecortadas para alunos de graduação e pós-graduação em 1965 nos Estados Unidos. Ao se pesquisar na internet é possível encontrar apenas programas gratuitos e acessíveis de pórticos planos. Deste modo, a equipe de pesquisa GESC da qual os autores participam, há algum tempo iniciou, a produção de programas que além de serem livres, são também gratuitos. A característica de programa livre é permitir o ingresso a listagem e dessa maneira elaborar modificações e após acrescentar bibliotecas novas ao mesmo. O acervo de programas utilizados para este fim foi nomeado de CALCO (cálculo de concreto armado).

O sistema básico do CALCO é dividido em entrada de dados, cálculo das ações e finalmente, saída de dados. Os módulos de entrada e saída de informações fazem parte de um procedimento gráfico único em que utiliza a técnica de programação orientada aos objetos. Neste trabalho será apresentado o desenvolvimento, particularmente da parte gráfica de um programa de grelha, no qual é mostrando apenas de forma resumida a análise de matriz.

A parte de análise matricial, melhor dizendo, a resolução do pavimento através de uma grelha equivalente foi elaborada ainda de forma clássica com programação estrutural e utilizando os conceitos do método dos deslocamentos. Usou-se também, a sistemática mostrada por Gere e Weaver (1981) por ser clássica e a mais conhecida no Brasil.

Para a que seja determinado os esforços solicitantes de uma estrutura instituída por barras o esquema subsequente foi basicamente o indicado pelo esquema da Figura 6. Esta versão inicial foi montada por COTTA (2003). O programa obteve uma otimização em 2011 com Anjoletto Filho (2011), a técnica empregada ainda foi a da programação estruturada baseada em fluxogramas de Gere e Weaver (1985). Foram implementados outros tipos de carregamentos, a atribuição de rótulas, variação de temperatura etc.

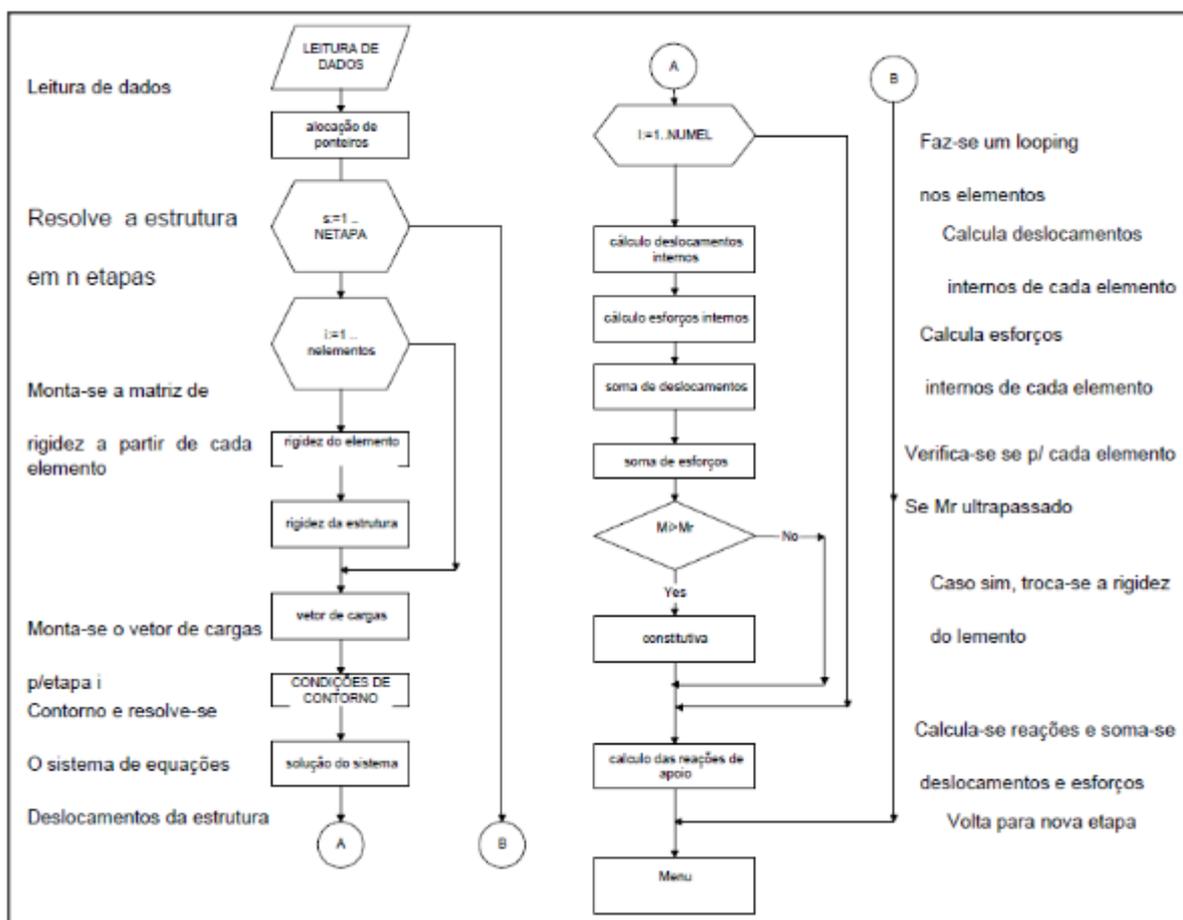


Figura 6: Fluxograma básico do programa de grelhas.

Fonte: UFScar, 2007.

O local gráfico foi desenhado atribuído como fundamento os programas que, até o momento, eram desenvolvidos em Lisp para AutoCad pela equipe de trabalho orientado pelo prof. CHUST, R. UFSCar e que era utilizado como pré-processador gráfico para o programa de grelhas.

Notoriamente, o simples desenho do local gráficas na tela não é satisfatório para a implantação de um sistema vetorial. Este ambiente deve manter as coordenadas originais de cada local, ou seja, mesmo relacionado há mudança de posicionamento (o que ocorre quando se dá um zoom ou pan de imagem) os objetos gráficos devem se manter em suas coordenadas iniciais de projeto registradas. O que muda é a “ViewPort”, ou seja, as coordenadas na tela do computador, de acordo com Silva.

Quando executada em função “Pan” acontecesse uma adição vetorial de dois pontos. Todo o desenho é transportada de  $(x_1, y_1)$  para o ponto  $(x_2, y_2) = (x_1, y_1) + (dx, dy)$ . O termo de coordenada de tela, todo o desenho ocasiona uma mudança de base. Para que isso não acarrete aos dados originais dos instrumentos de desenho a origem do agrupamento de coordenadas também que seja trasladada na mesma veemência e direção. Assim sendo, as coordenadas dos objetos referentes aos eixos de origem permanecerão iguais. De forma aproximada a função zoom que é o produto escalar entre as coordenadas e um escalar  $n$ , dilata as coordenadas num fator de  $n$ , ficando a coordenada original  $(x_1, y_1)$  transferida para  $(x_2, y_2) = (x_1 * n, y_1 * n)$ .

As coordenadas transformadas são sustentadas em registradores separados (somente de leitura) a fim de impossibilitar a proliferação de imprecisões numéricas. As coordenadas originais são registradas em registradores específicos e nunca são modificadas pelas funções de gerenciamento de tela. Para diminuir os riscos de não haver precisões, podemos ainda colocar métodos de eliminação de incertezas (SAADE, J.J., 2000) e assim determinar quando há pequeno deslocamento de coordenadas ou quando estamos frente a uma imprecisão de ponto flutuante.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

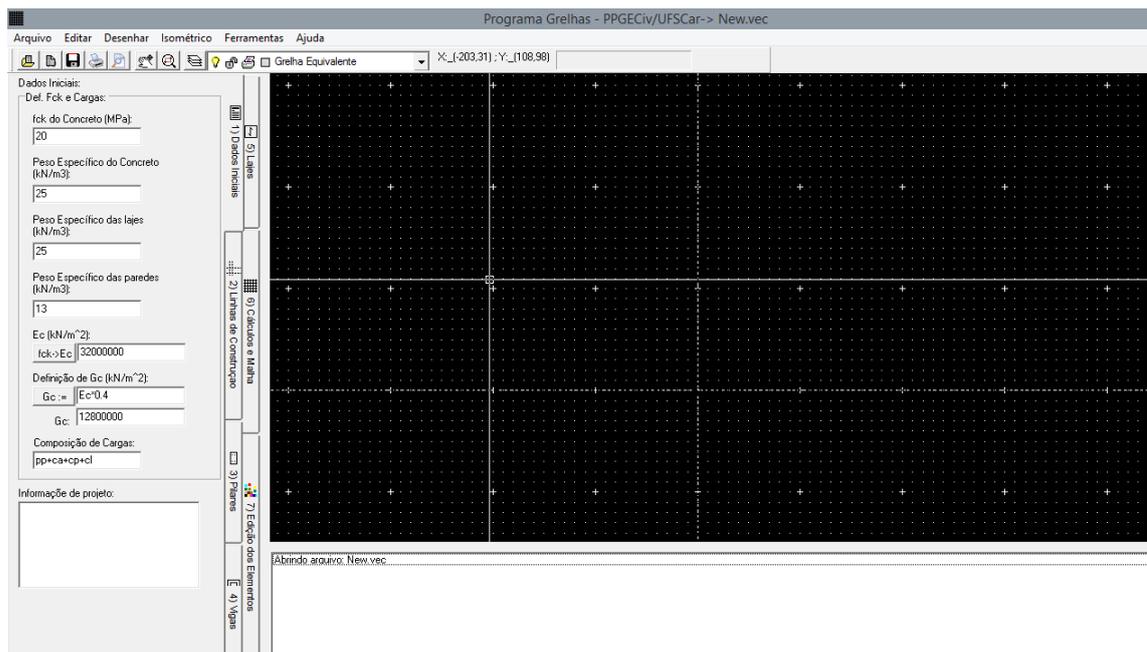
As etapas necessárias para a verificação dessas cargas para garagem consiste no estudo do comportamento de uma laje fictícia, utilizando o Programa de Análise de Grelha Equivalente, variando os tipos de cargas que atua sobre a laje, e depois uma análise de projeto equivalente, modelando as cargas, levando em conta a relação das cargas concentradas, que atua na estrutura, e as cargas distribuídas, ao qual trata a norma NBR 6120:1980.

A primeira etapa consistiu na definição do pré-dimensionamento dos elementos estruturais, da influência dos apoios na laje, do método de análise utilizado, da combinação de carga utilizada e das características do material utilizado. Ainda uma análise da laje de forma isolada, utilizando as combinações estabelecidas e mostrando o comportamento de cada tipo de carga em relação as lajes. A partir da análise e dimensionamento, foram apresentados os resultados das flechas, reações de apoio e dos momentos fletores.

A segunda etapa foi feita a mesma análise e dimensionamento da primeira etapa. Contudo, verificando diferentes dimensionamentos de forma a compatibilizar as cargas atuantes na laje para a forma descrita pela norma NBR 6120:1980. Ainda será compatibilizado com a norma NBR 8681:2003.

#### 3.1 DEFINIÇÃO DOS ELEMENTOS

Ao iniciar o programa Grelha é aberto o processador gráfico como representado na Figura 7, é onde são atribuídas primeiras variáveis a ser introduzidas no sistema, define-se então o fck do concreto, pesos específicos dos elementos e módulos de elasticidade.

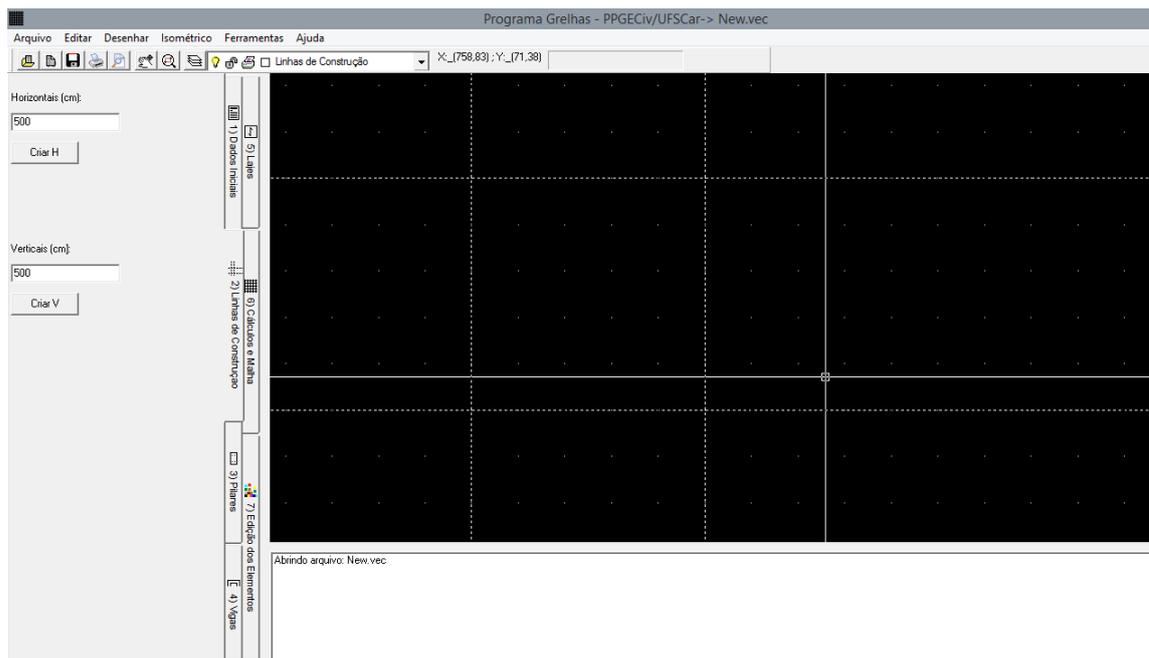


**Figura 7:** Tela inicial.

**Fonte:** Acervo do autor.

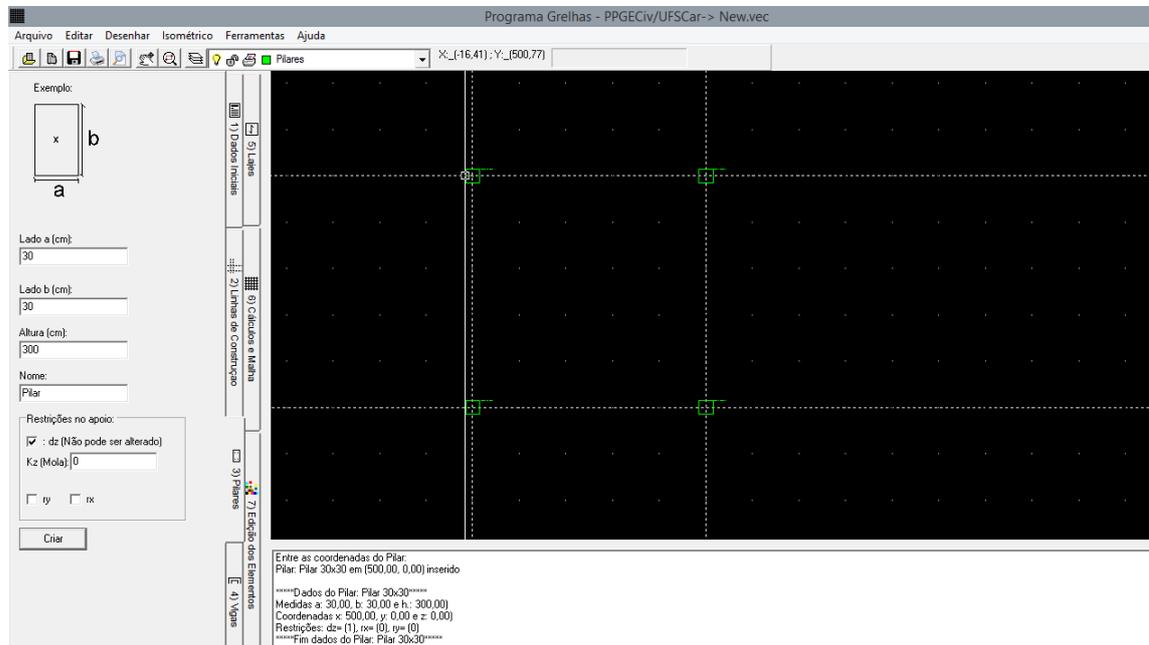
No segundo tópico, como representado na Figura 8, são inseridos as linhas de construção, que são de grande ajuda na utilização de montagem da estrutura a ser calculada.

No terceiro tópico são introduzidos os pilares da estrutura nos encontros das linhas de construção até que todos os pilares sejam inseridos. Os pilares também podem ser colocados em qualquer outro momento sem que seja afetado o sistema de processamento Figura 9. No momento da colocação dos pilares pode escolher um nome específico para os pilares.



**Figura 8:** Geração de linhas de construção.

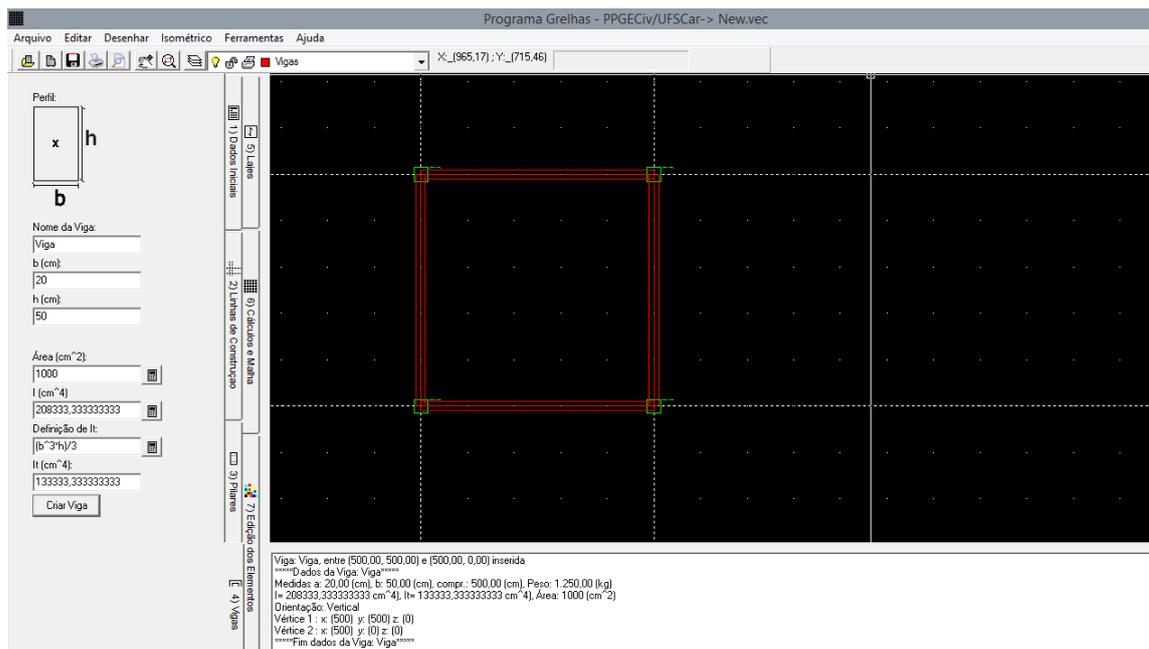
Fonte: Acervo do autor.



**Figura 9:** Pilares inseridos sobre as linhas de construção.

Fonte: Acervo do autor.

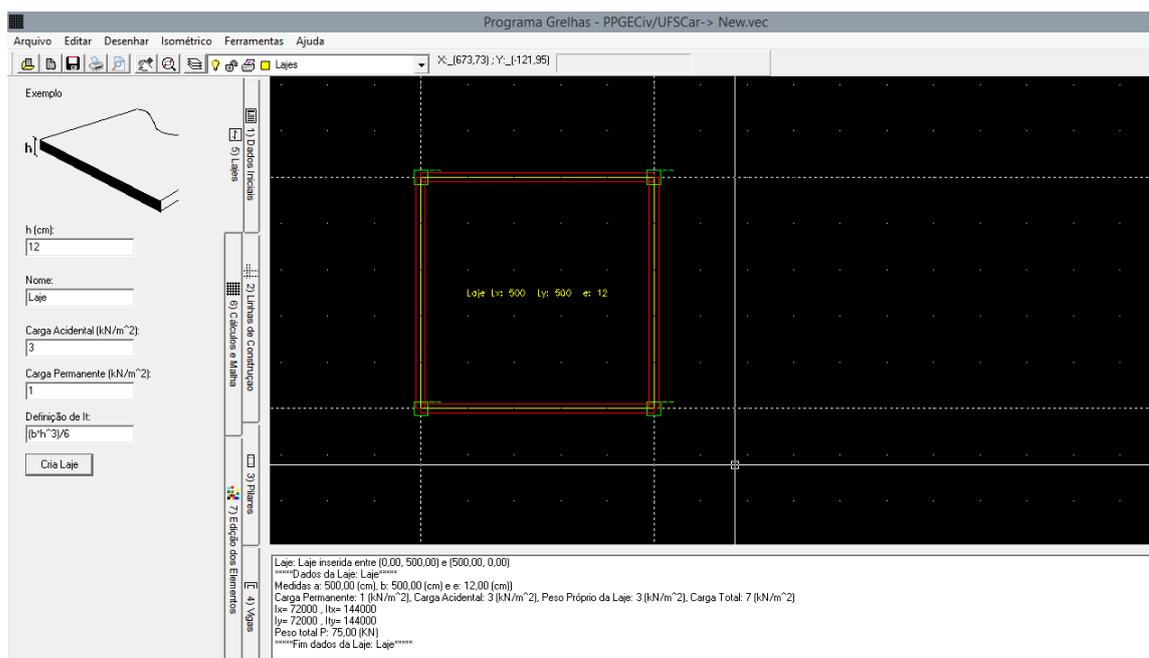
No quarto tópico insere-se as vigas e define-se as seções delas, como mostrado na Figura 10.



**Figura 10: Vigas inseridas.**

**Fonte: Acervo do autor.**

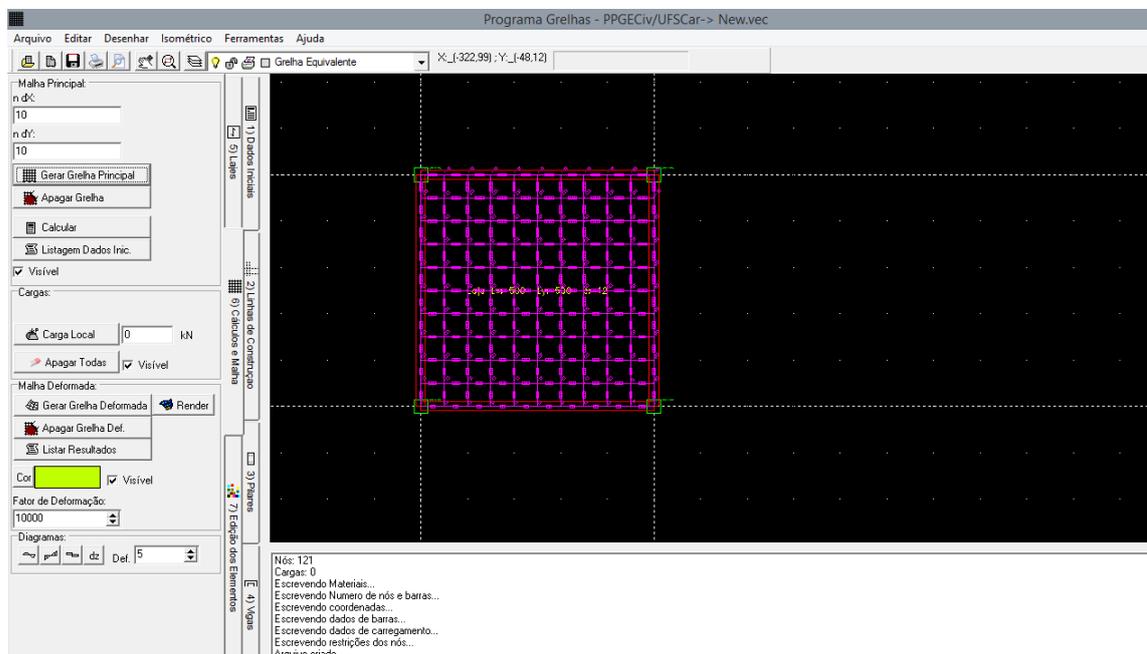
No quinto tópico coloca-se as lajes, que podem ser atribuídas em várias unidades distintas ou em uma única laje. Se as lajes tiverem uma mesma altura é recomendado atribuir uma única laje Figura 11.



**Figura 11: Lajes inseridas.**

**Fonte: Acervo do autor.**

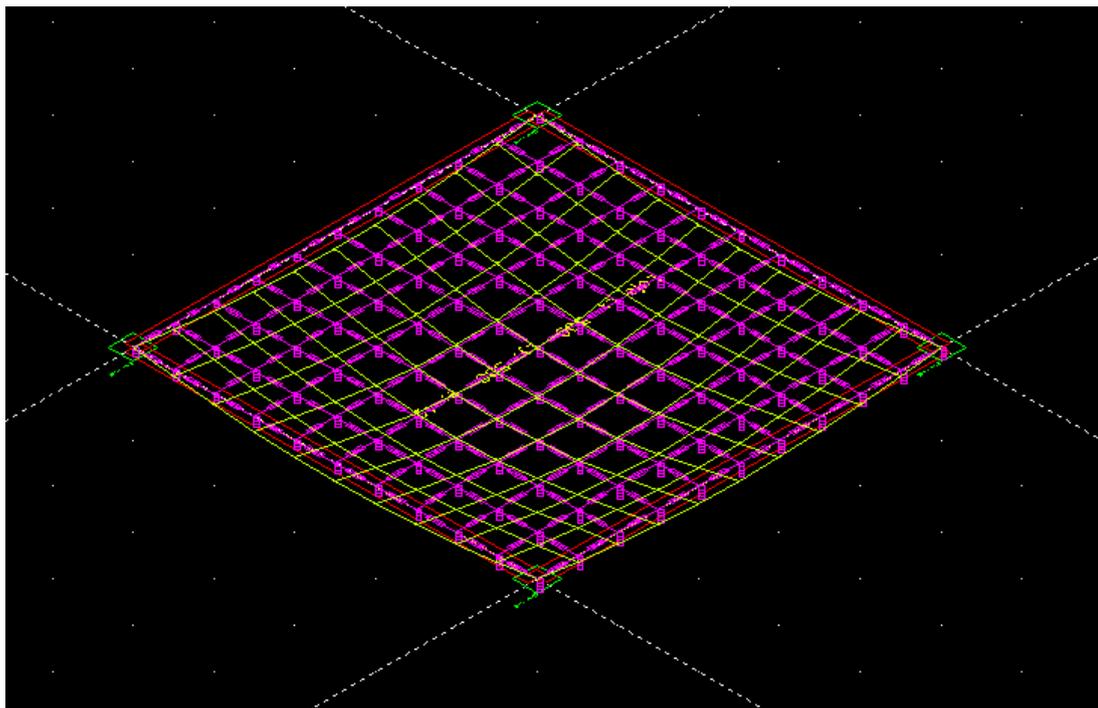
No sexto tópico enfim após a introdução de todos os componentes estruturais, pode-se então criar a malha e calcular a grelha equivalente.



**Figura 12:** Malha da grelha equivalente gerada.

**Fonte:** Acervo do autor.

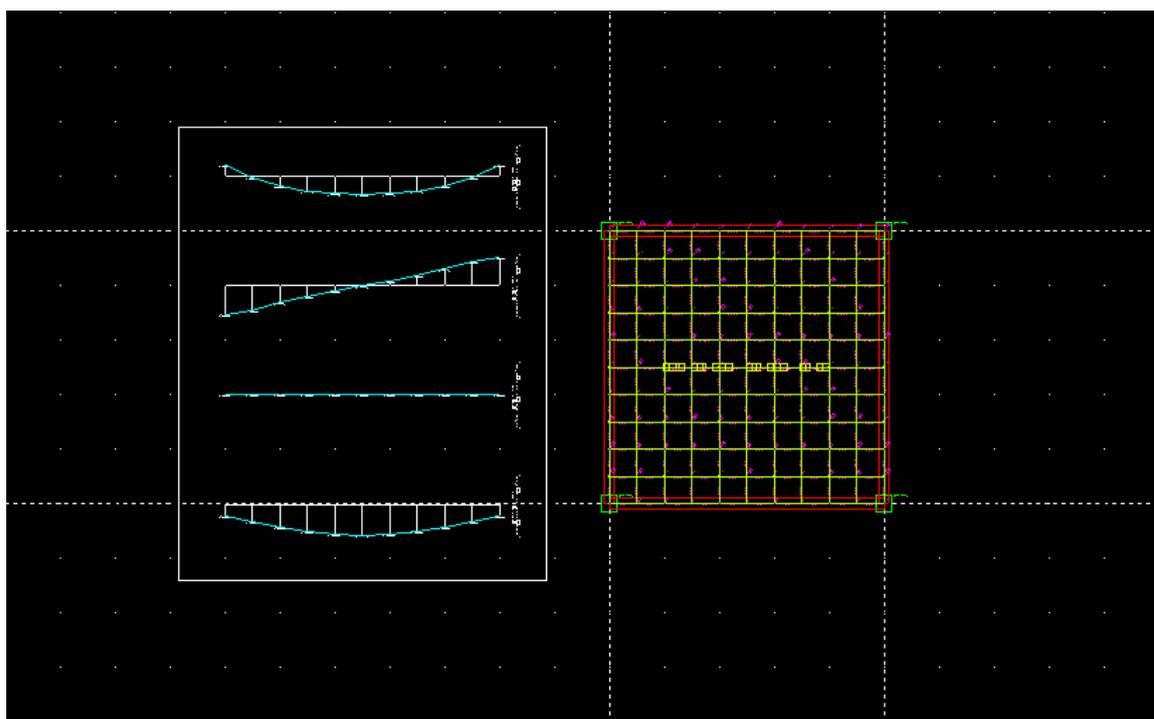
Na Figura 12 pode-se observar a malha equivalente montada, no caso apresentado a malha possui 10 linhas verticais por 10 horizontais. Uma vez montada a malha pode-se então criar a malha deformada. A malha deformada é constituída do resultado do método da grelha que nos mostra informações à respeito dos deslocamentos nodais e as tensões atuantes nas barras. Pode-se ver no exemplo da Figura 13 a malha deformada em perspectiva isométrica.



**Figura 13:** Malha de referência e Malha deformada.

**Fonte:** Acervo do autor.

Uma vez calculada a grelha pode-se gerar diagramas das solicitações e deformações de eixos específicos da grelha como pode-se ver na Figura 14.



**Figura 14:** Diagramas de solicitações.

**Fonte:** Acervo do autor.

### 3.2 ANÁLISE DOS ELEMENTOS

As cargas concentradas foram definidas como sendo de três tipos diferente, os quais representam modelos usuais no mercado brasileiro. A geometria da laje de concreto armado estabelecida para a apresentação das cargas, é constituída de uma laje com dimensões de 500cm x 500cm e com espessura de 12cm, conforme o estabelecido pela NBR 6118:2014, para lajes que suportem veículos com mais de 30kN, padronizando uma estrutura que se aplica para todas as cargas, garantindo maior precisão para os resultados a serem obtidos.

Através da Equação 3.1 obtida na NBR 8681:2003, obtém-se a ação direta das cargas, sendo considerados os efeitos, especificamente como as ações variáveis em função de sua probabilidade de acontecimento durante a vida de construção.

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} F_{Gi,k} + \gamma_q \left[ F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{Qj,k} \right] \quad (3.1)$$

Onde:

$F_{Gi,k}$  é o valor característico das ações permanentes;

$F_{Q1,k}$  é o valor característico da ação variável considerada como ação principal para a combinação;

$\psi_{0j} F_{Qj,k}$  é o valor reduzido de combinação de cada uma das demais ações variáveis;

$\gamma_{gi}$  é coeficiente de ponderação das ações permanentes;

$\gamma_q$  é coeficiente de ponderação das ações variáveis.

Para o projeto vamos trabalhar apenas com a função referente a carga da ação variável considerada como ação principal para a combinação, por ser o alvo do trabalho, e sem prejuízo para o cálculo com a derivação da Equação anterior, representado pela Equação 3.2.

$$F_d = \gamma_q [F_{(Q1,k)}] \quad (3.2)$$

Os coeficientes de ponderação  $\gamma_q$  das ações variáveis majoram os valores característicos das ações variáveis que causam efeitos desfavoráveis para a segurança da edificação. As ações favoráveis que ocasionam efeitos favoráveis não são consideradas nas combinações de ações, admitindo-se que sobre a estrutura agem apenas as parcelas de ações variáveis que produzam efeitos desfavoráveis, trata a NBR 8681:2003.

Para este tipo de estruturas, as cargas acidentais de uso contam com as seguintes hipóteses:

- A variabilidade das cargas acidentais no tempo e no espaço é independente;

- A variabilidade temporária é feita através da consideração de duas componentes: a quase-permanente que representa o valor médio da carga acidental entre as mudanças de utilização (ocupações) e considera o peso do veículo.

Assim, a Equação 3.3 representa a conformação das cargas concentradas em cargas distribuídas, para ressaltar a variabilidade da carga conforme a norma brasileira NBR 6120:1980.

$$F_{(Q1,k)} = \frac{Fk}{A} \quad (3.3)$$

Em que:

$Fk$  é a carga concentrada acidental;

$A$  é a área da seção transversal.

A Tabela 4 apresenta as cargas utilizadas para o estudo, seguida de sua compatibilização em carga distribuída, ainda a carga distribuída de cálculo adicionado a majoração de segurança a qual estabelece norma complementar de segurança NBR 8681:2003.

**Tabela 4:** Compatibilização dos carregamentos concentrados.

Carga concentrada (kN)	Carga distribuída equivalente ( $kN/m^2$ )	Carga distribuída ponderada ( $kN/m^2$ )
25	2	3
30	2,4	3,6
40	3,2	4,8

**Fonte:** Acervo do autor.

O valor da carga concentrada de 25kN, estabelecido como limite de carga veicular pela norma, apresenta carga distribuída corrigidos que apresenta o mesmo resultado para a carga estabelecido pela NBR 6120:1980, quando comparado com a carga de 40kN, observa-se que a carga ainda sem a majoração de segurança apresenta valor superior ao estabelecido por norma para pavimento garagem.

Nas análises das flechas feitas nos exemplos tiveram como objetivo verificar a extensão da validade da recomendação da NBR 6120:1980 de ter como carga acidental para pavimentos garagem apenas uma carga distribuída de  $3kN/m^2$ , pois, na realidade, as cargas que atuam sobre a laje, no real carregamento acidental de um pavimento tipo garagem é composto por veículos, onde a solicitação é transmitida para a laje através dos contatos dos pneus com a laje, ou seja, estas cargas são praticamente de carregamentos concentrados representados pela área de contato do pneu do automóvel com o piso do pavimento.

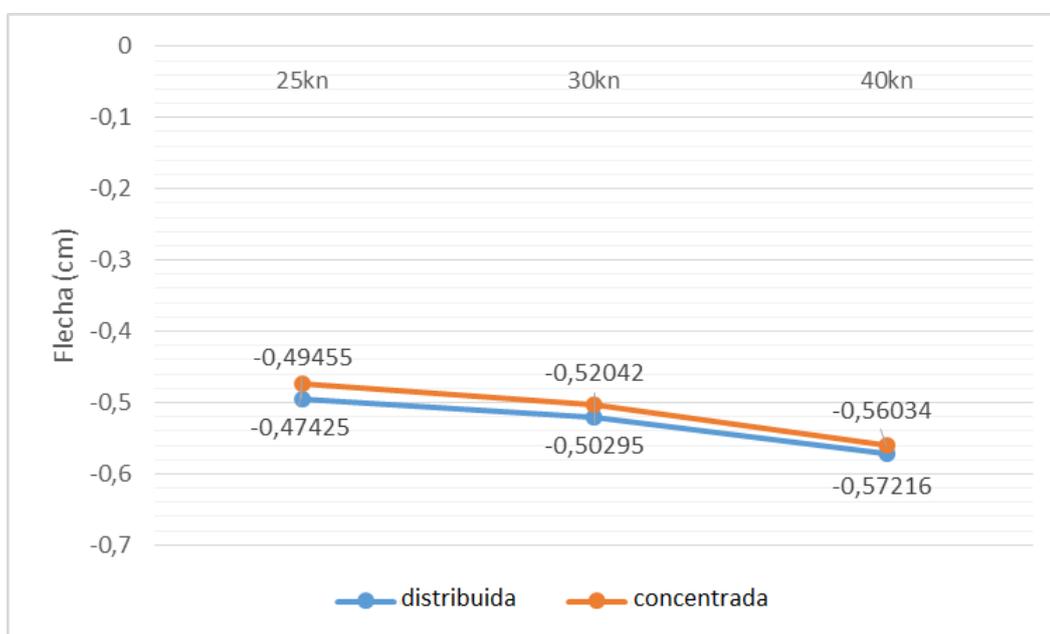
Importante ressaltar que esse carregamento acidental tem influência direta na análise global do comportamento da laje (flecha), que conforme apresenta a Tabela 5, implica verificações de serviço da laje e, por conseguinte, o próprio dimensionamento das lajes. A Figura 15 apresenta

as flechas encontradas para a relação das cargas concentradas e distribuídas, referente as cargas adotadas para o estudo, 25kN, 30kN e 40kN.

**Tabela 5:** Relação das flechas entre cargas distribuidas e concentradas no centro da laje.

Modelo de carga	25kN	30kN	40kN
concentrada	-0,49455	-0,52042	-0,57216
distribuida	-0,47425	-0,50295	-0,56034
concentrada/distribuida	1,042804	1,034735	1,021094

**Fonte:** Acervo do autor.



**Figura 15:** Relação das flechas.

**Fonte:** Acervo do autor.

Como consideração final sobre as flechas nas lajes apresentados acima, percebeu-se que para a flecha, devido às cargas concentradas, apresentaram cargas maiores que as proporcionadas pelas cargas distribuídas, o que demonstra certa diferença entre o modelo representado com cargas concentradas, e o modelo com cargas distribuídas, para a análise da flecha na mesa de pavimentos tipo garagem.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Num projeto de edifício, existem diversos pavimentos, sendo cada um destinado a um uso específico, como: moradia, garagem, lazer, coberta, entre outros. Nos pisos destinados a garagem, é onde as maiores cargas acidentais ocorrem decorrentes de diferentes variedade de veículos. As cargas acidentais para garagem são provenientes de norma, porém não existe consenso na aplicação das cargas acidentais entre as normas nacionais e internacionais, onde o pior caso nem sempre é o atribuído por algumas.

Todavia, a NBR 6120:1980, no que diz respeito ao carregamento acidental para análise de pisos de garagem, não apresenta nenhuma condição de cargas concentradas transmitindo efeito diretamente pelo contato dos pneus de um veículo com a laje, porém, refere-se apenas aos carregamentos por área distribuída em todo o piso. Por conseguinte, o EuroCode 1:2002 bem como o IBC (2006) trata dos valores da carga do veículo que é transmitida para o pavimento, em quatro pequenos pontos que reproduz o contato dos pneus com o piso.

Não sendo considerado este efeito pela NBR 6120:1980 de cargas concentradas provenientes da ocupação de veículos em pavimentos garagens, como as consideradas pelo EuroCode 1:2002 e IBC (2006), pode gerar um dimensionamento que compromete os estados limites de alguns elementos da estrutura.

As análises das flechas feitas nos exemplos tiveram como objetivo verificar a extensão da validade da recomendação da NBR 6120:1980 de ter como carga acidental para pavimentos garagem apenas uma carga distribuída de  $3 \text{ kN/m}^2$ , pois, na realidade, em sua quase totalidade, o real carregamento acidental de um pavimento tipo garagem é composto por veículos, onde a solicitação é transmitida para a laje através dos contatos dos pneus com a laje, ou seja, são praticamente carregamentos concentrados representados pelo contato de ponta do pneu do automóvel com o piso do pavimento. Importante evidenciar ainda, que esse carregamento acidental tem influência direta na análise global do comportamento da laje, que implica na verificações de serviço da laje e, por conseguinte, no próprio dimensionamento.

## 5 CONCLUSÃO

Através desse contexto, este trabalho teve como objetivo principal, contribuir com a análise das lajes maciças, verificado tanto para o carregamento concentrado (carga do veículo que é transmitida para o pavimento pela influência direto dos pneus com a piso) como também para a carga distribuída (carga distribuída para piso de garagem conforme recomendada a NBR 6120:1980).

Outro objetivo foi a verificação do comportamento como um todo nas lajes maciças para a influência das flechas, sob cargas concentradas e distribuídas, sendo feita uma comparação entre as flechas geradas pelos carregamentos distribuídos em relação aos carregamentos concentrados, com o intuito de obter o valor numérico para a carga distribuída que fornece flecha semelhante à gerada pela carga concentrada. Um valor razoável para que seja estabelecida para carga distribuída a ser utilizado para os pavimentos de garagem deveria ser de  $3,6 \text{ kN/m}^2$ , garantindo assim a atribuição de um fator de segurança que seja mais adequado para a utilização destes pavimentos.

Para os modelos analisados em que o carregamento distribuído apresentou flechas menores que os casos com o carregamento concentrado, fica evidente que a carga distribuída precisa ser maior, pois ele gera valores de flechas menores do que realmente a estrutura irá apresentar sob os efeitos das cargas veiculares. É recomendado que a norma NBR 6120:1980, estabeleça diretrizes para os carregamentos superiores as cargas de 30kN, para garantir assim a segurança e o amparo da norma para o dimensionamento das lajes destinadas a garagem.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADÃO, Francisco Xavier e HEMERLY, Adriano Chequetto, Concreto Armado: Novo Milênio: Cálculo Prático e Econômico. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.
- ARAÚJO, José Milton de, Curso de Concreto Armado. 3. ed. Rio Grande: Dunas, v. 2, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR - 6118: Projetos de Estrutura de Concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR - 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1980.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR - 8681: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- BOTELHO, Manoel Henrique Campos; MARCHETTI, Osvaldemar. Concreto Armado Eu Te Amo. 2. ed. São Paulo: Edgar Blücher, v. 2, 2007.
- CABRAL, Julio, Revista Auto Esporte. <<http://revistaautoesporte.globo.com/Analises/noticia/2015/11/avaliacao-ram-2500-laramie-67-diesel.html>> em 23 junho 2016.
- CABRAL, Julio, Revista Auto Esporte. <<http://revistaautoesporte.globo.com/Analises/noticia/2015/12/teste-toyota-hilux-srx-28.html>> em 23 junho 2016.
- CABRAL, Julio, Revista Auto Esporte. <<http://revistaautoesporte.globo.com/Analises/noticia/2016/03/teste-ford-ranger-limited.html>> em 23 junho 2016.
- CARVALHO, R. C., Análise não-linear de pavimentos de edifícios de concreto através da analogia de grelha. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 1994.
- CARVALHO, R. C. e PINHEIRO, L. M., Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado: 3. ed. São Paulo: Pini, v. 2, 2009.
- CARVALHO, R. C. e FIGUEIREDO FILHO, J. R. de, Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado: Segundo a NBR 6118:2014. 4. ed. São Carlos: EduFSCAR, v. 4, 2014.
- COTTA, I. F. S., Desenvolvimento de programa livre automático para determinação de esforços solicitantes, deslocamentos e armadura de pavimentos em concreto armado usando a analogia de grelha não linear. Iniciação Científica FAPESP, São Carlos 2003.
- EUROCODE 1: Actions on structures — Part 1-1: General actions — Densities, self-weight, imposed loads for buildings. Eurocode 1:2002.
- FRITZ, L. e MONNIG, E., Construções de Concreto Princípio Básico Sobre a Armação de

Estrutura de Concreto Armado. Rio de Janeiro: Interciência, v. 3, 2007.

INTERNATIONAL BUILDING CODE. (IBC), 2006.

MARTHA, L.F., Métodos básicos de Análise de Estruturas. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2000.

TENÓRIO, D. A., Contribuição à análise de lajes nervuradas em pavimentos de garagem. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Alagoas. Cidade Universitária – Campus A. C. Simões, 2011.