

ESTUDO DE ALTERNÂNCIA DE CARGAS VARIÁVEIS PARA ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO

TAMIRIS DE OLIVEIRA¹
LEONARDO ALMEIDA FEITOSA²
LEONARDO SANTOS GORZA³

RESUMO

Em determinados casos, para que o dimensionamento seja realizado de acordo com a norma ABNT NBR 6118:2014, é necessário não só a análise do carregamento pleno da estrutura, mas também a realização do estudo de alternância de cargas variáveis, muitas vezes ignorado. Com a revisão dessa norma, foi reduzido o número de casos em que a mesma considera fundamental a observância desse estudo (restringiu-se ainda mais os casos em que essa consideração deve ser levada em conta). Apesar dessa exigência, poucas pesquisas nacionais abordam o tema e até mesmo a norma brasileira não inclui orientação mais detalhada de como deve ser realizado esse estudo. O objetivo dessa pesquisa consiste em analisar quatro situações hipotéticas comuns de serem vistas na prática com o intuito de identificar a importância dessa análise e verificar se os casos de estudo de alternância exigidos por norma são semelhantes aos das principais normas estrangeiras: EC2, ACI 318 e BS 8110. O estudo consiste em obter diagramas de esforços, hora considerando as combinações de cargas (levando em consideração as orientações de combinações de cargas das normas estrangeiras) e hora não, e realizar a comparação entre eles identificando as diferenças no dimensionamento da estrutura. Os resultados mostraram a importância do estudo, mesmo para estruturas com cargas variáveis de valores menores. Foi possível identificar regiões que apresentaram até 35% de diferença na área de aço estimada.

Palavras-chave: **Alternância de cargas. Estruturas de concreto. Normas. NBR 6118.**

INTRODUÇÃO

A norma ABNT NBR 8681:2004 define como carga permanente as ações que ocorrem em toda a vida útil da edificação com valores constantes ou com pequenas variações em torno de sua média, e carga variável as ações com variações significativas em torno de sua média ao longo da vida útil da edificação.

A ABNT NBR 6118:2014 no item 11.4 define carga variável em duas divisões: variáveis diretas ou indiretas. As cargas variáveis diretas são constituídas por cargas acidentais previstas para o uso da construção, pela ação do vento e da água, devendo-se respeitar as prescrições feitas por normas brasileiras específicas. Considera-se também ação variável direta as ações variáveis atuantes durante a sua construção. Cargas acidentais previstas para uso correspondem às cargas verticais de uso da construção, cargas móveis (considerando o impacto vertical), impacto lateral, força longitudinal de frenagem e aceleração e força centrífuga.

Já as ações variáveis indiretas são definidas na norma como sendo as variações de temperatura uniformes (causadas pela mudança global de temperatura da atmosfera)

¹ Engenheira Civil pelo Centro Universitário FAESA – E-mail: tamirisdesouzavix@gmail.com.

² Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Mestre em Engenharia Estrutural pela UFES – E-mail: leofeitosa@gmail.com.

³ Professor de Estruturas – Centro Universitário FAESA. Engenheiro Civil pela UFES. Mestre em Construção Civil (ênfase em Estruturas) pela UFES – E-mail: leonardogorza@gmail.com

e não uniformes (diferença de temperatura entre uma face e outra da estrutura superior a 5°C), ações dinâmicas (choques, vibrações) e ações excepcionais (situações excepcionais de carregamento). (ABNT NBR 6118:2014)

No item 11.8.1, a norma define o carregamento como sendo a combinação das ações que tem probabilidade não desprezíveis de atuarem simultaneamente na estrutura em um período preestabelecido, sendo a combinação feita com o objetivo de determinar os efeitos mais desfavoráveis à estrutura. (ABNT NBR 6118:2014)

Para o dimensionamento de uma estrutura deve-se realizar a análise do Estado Limite Último (ELU) e Estado Limite de Serviço (ELS). O ELU, conforme descrição da ABNT NBR 8681:2004 “ é o estado que, pela sua simples ocorrência, determina a paralisação, no todo ou em parte, do uso da construção”, ou seja, identifica se há risco estrutural no dimensionamento da estrutura. Já o ELS tem o objetivo de conferir a qualidade do dimensionamento, analisando combinações que, por sua ocorrência, repetição ou duração possam causar efeitos que não respeitam as condições para uso normal da edificação, como deformações excessivas da estrutura, vibrações e fissuras, podendo ser indícios de comprometimento da durabilidade da estrutura.

O item 4.1.1 dessa mesma norma descreve as considerações usualmente consideradas no ELU (podendo em casos particulares ser necessário considerar outros ELU), caracterizados por:

- Perda de equilíbrio, global ou parcial, admitida a estrutura como um corpo rígido;
- Ruptura ou deformação plástica excessiva dos materiais;
- Transformação da estrutura, no todo ou em parte, em sistema hipostático;
- Instabilidade por deformação;
- Instabilidade dinâmica.

Ela orienta no item 4.3.1.2 que para cada tipo de carregamento deve ser realizado diferentes tipos de combinações quanto necessárias a fim de verificar a segurança em relação a todos os possíveis estados limites da estrutura, sendo a verificação em relação ao ELU feita em função das combinações últimas de ações.

As ações permanentes devem sempre ser consideradas em sua totalidade enquanto para as ações variáveis devem ser consideradas apenas as sejam desfavoráveis à estrutura, sendo que para cada combinação analisada, devem ser utilizados os valores representativos das ações (característico, convencional, excepcional ou reduzido), majorados por seus respectivos coeficientes de ponderação. Para segurança, as ações variáveis móveis devem ser consideradas nas suas posições mais desfavoráveis. (ABNT NBR 8681:2004)

Os critérios de combinações últimas são descritos no item 4.3.3.2 da seguinte forma:

- a) Ações permanentes devem figurar em todas as combinações de ações.
- b) Ações variáveis nas combinações últimas normais: em cada combinação última, uma das ações variáveis é considerada como

principal, admitindo-se que ela atue com seu valor característico F_k ; as demais ações variáveis são consideradas como secundárias, admitindo-se que elas atuem com seus valores reduzidos de combinação ϕF_k ;

c) Ações variáveis nas combinações ultimas especiais: nas combinações ultimas especiais, quando existirem, a ação variável especial deve ser considerada com seu valor representativo e as demais ações variáveis devem ser consideradas com valores correspondentes a uma probabilidade não desprezível de atuação simultânea com a ação variável especial;

d) Ações variáveis nas combinações ultimas excepcionais: nas combinações ultimas excepcionais, quando existirem, a ação excepcional deve ser considerada com seu valor representativo e as demais ações variáveis devem ser consideradas com valores correspondentes a uma grande probabilidade de atuação simultânea com a ação variável excepcional. (ABNT NBR 8681:2004)

As combinações últimas normais são dadas pela seguinte expressão:

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} \cdot F_{gi,k} + \gamma_{q1} F_{q1,k} + \sum_{j=2}^n \phi_{0j} \cdot F_{qj,k}$$

Sendo:

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

$F_{q1,k}$ o valor característico da ação variável considerada como ação principal para a combinação;

$\phi_{0j} \cdot F_{qj,k}$ o valor reduzido de combinação de cada uma das demais ações variáveis.

Combinação	Tipo de estrutura	Efeito	
		Desfavorável	Favorável
Normal	Grandes pontes ¹⁾	1,30	1,0
	Edificações tipo 1 e pontes em geral ²⁾	1,35	1,0
	Edificação tipo 2 ³⁾	1,40	1,0
Especial ou de construção	Grandes pontes ¹⁾	1,20	1,0
	Edificações tipo 1 e pontes em geral ²⁾	1,25	1,0
	Edificação tipo 2 ³⁾	1,30	1,0
Excepcional	Grandes pontes ¹⁾	1,10	1,0
	Edificações tipo 1 e pontes em geral ²⁾	1,15	1,0
	Edificação tipo 2 ³⁾	1,20	1,0

¹⁾ Grandes pontes são aquelas em que o peso próprio da estrutura supera 75% da totalidade das ações permanentes.
²⁾ Edificações tipo 1 são aquelas onde as cargas acidentais superam 5 kN/m².
³⁾ Edificações tipo 2 são aquelas onde as cargas acidentais não superam 5 kN/m².

Figura 1 – Tabela de ações permanentes diretas agrupadas de acordo com a ABNT NBR 8681:2004
 Fonte: ABNT NBR 8681:2004

Para o correto dimensionamento de uma estrutura, deve-se identificar as situações em que há maior d da mesma através da análise das situações de carregamento que serão atuantes durante sua vida útil. Como não se pode afirmar que as cargas atuarão sempre em toda sua extensão, a análise dessa possibilidade de carregamento parcial também deve ser levada em consideração para identificar as combinações que geram os maiores esforços solicitantes. Por esse motivo, a orientação da ABNT NBR 6118:2014 considera o estudo de alternância de carga variável necessário para determinadas estruturas. Apesar de ter importância para o dimensionamento, há pouca orientação em norma ou em literaturas de como esta deve ser feita, além de ser obrigatória apenas em estruturas que têm uma demanda de cargas variáveis em proporção considerável.

A orientação do estudo de alternância de cargas variáveis foi incluída na revisão da NBR 6118 de 2003. Mesmo após tantos anos de sua inclusão, usualmente os calculistas da região consideram apenas o carregamento pleno da estrutura para seu dimensionamento, independentemente do tipo de estrutura, sendo de fácil identificação casos de desconhecimento dessa exigência. Na revisão da norma em 2014, essa orientação passou a ser menos abrangente, considerando um grupo menor de estruturas a realizar esse estudo.

O estudo da alternância de cargas variáveis é feito através da definição inicial das combinações necessárias para identificar as situações que geram o maior esforço em cada ponto a ser analisado. Essa combinação é realizada através de carregamentos que, hora são constituídos apenas de cargas permanentes e hora pela combinação de cargas permanentes e variáveis (do mesmo modo que é feito para a análise do carregamento pleno da estrutura). Um exemplo é mostrado na Figura 2, onde as lajes com hachura recebem a combinação de carregamentos permanentes e variáveis, e as lajes sem hachura recebem carregamento apenas de cargas permanentes.

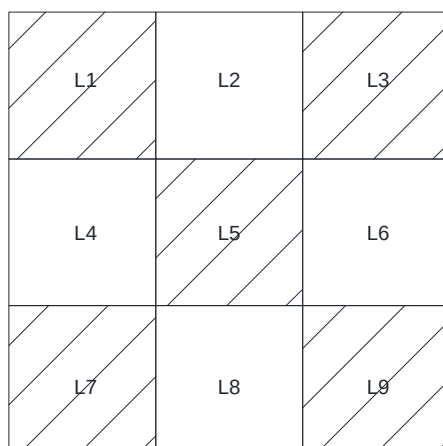


Figura 2 – Exemplo de arranjo de carregamento para estudo de alternância de cargas
Fonte: Elaborado pelos Autores

A envoltória dos diagramas resultantes dessas combinações (identificando seus pontos críticos, ou seja, de maior valor) com o diagrama gerado pelo carregamento pleno da estrutura produzirá o diagrama final que será utilizado para o dimensionamento da estrutura. Como mostrado em um exemplo na Figura 3 abaixo:

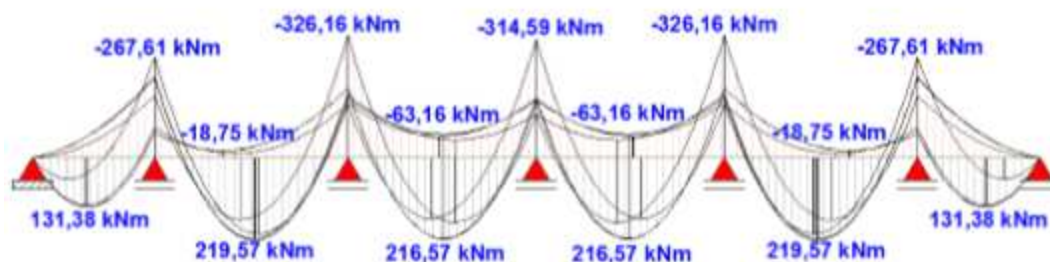


Figura 3 – Envoltória dos diagramas de Momento Fletor
Fonte: (FORNAZARI, F.F. ET AL., 2013)

A ABNT NBR 6118:2003 descrevia a consideração do estudo de alternância de cargas variáveis para o dimensionamento de estruturas no item 14.6.7.3 da seguinte forma:

Para estruturas de edifícios em que a carga variável seja no máximo igual a 20% da carga total, a análise estrutural pode ser realizada sem a consideração de alternância de cargas. (ABNT NBR 6118:2003).

Essa consideração se manteve até a revisão de 2014, que passou a ser descrita no item 14.6.6.3, onde orienta que:

Para estruturas de edifícios em que a carga variável seja de até 5 kN/m² e que seja no máximo igual a 50 % da carga total, a análise estrutural pode ser realizada sem a consideração de alternância de cargas (ABNT NBR 6118:2014).

Essa exigência do estudo de alternância de cargas também está presente em normas estrangeiras como a EN 1992 Eurocode 2: Design of concrete structures ou EC2 (norma europeia), a ACI 318: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (norma americana) e BS 8110-1:1997 – Structural use of concrete (norma britânica). Além da exigência, tais normas descrevem como deve ser realizado esse estudo, as principais combinações de carregamento necessárias para o correto dimensionamento da estrutura e suas simplificações.

A EC2 descreve no item 5.1.3 que as combinações a serem analisadas são:

- Vãos alternados com a máxima carga prevista (carga permanente e carga variável), e os outros vãos com a mínima carga prevista (apenas carga permanente);
- Quaisquer dois vãos adjacentes com a máxima carga prevista (carga permanente e carga variável), e todos os outros vãos com a mínima carga prevista (apenas carga permanente);

Em sua Seção 6 ela orienta alguns casos que considera mais importante a realização do estudo de alternância de cargas variáveis, mas em momento algum restringe a consideração da alternância em virtude da intensidade da carga, como faz a norma brasileira, considerando então o estudo necessário para todas as estruturas.

A ACI 318:2014 trata do assunto no item 6.2.2, como citado por Rocha (2016, p.15), recomendando essa análise para todas as estruturas. Considera os seguintes valores de coeficiente de majoração:

- De 1,4 para quando houver apenas carga permanente;
- De 1,2 para carga permanente e 1,6 para carga variável, atuando em simultâneo.

Quando viga e laje são consideradas armadas em uma direção, a ACI 318 recomenda as mesmas combinações que a EC2. Mas quando são armadas em duas direções, considera, conforme descrito por Rocha (2016, p. 15):

- Se for conhecida a posição definitiva da carga variável, deve ser utilizado tal arranjo para análise;
- Se a carga variável não exceder 75% da carga permanente, ou souber que a carga variável ocorrerá simultaneamente em todos os painéis, é então permitido considerar para análise de momentos máximos apenas o caso em que todos os painéis estejam carregados com a máxima carga prevista;
- Para os casos subsequentes é permitido considerar apenas 75% da carga variável majorada e analisar os seguintes casos:
 - o Momento máximo ocorrendo no meio do vão com carga variável aplicada no painel considerado e em painéis alternados;
 - o Momento máximo negativo ocorrendo no apoio com carga variável aplicada apenas nos dois painéis adjacentes. (ROCHA,2016)

Já na norma britânica BS 8110:1997, o assunto é tratado no item 3.2.1.2.2, onde recomenda para todos os carregamentos verticais conforme descrito abaixo:

- Todos os vãos carregados com a carga máxima prevista (incluindo coeficientes de majoração para as cargas – 1,4 para cargas permanentes e 1,6 para cargas variáveis);
- Vãos alternados com a carga máxima prevista (descrita acima), e todos os outros vãos com a carga mínima prevista (apenas a carga permanente e sem majoração).

Essa norma ainda permite a simplificação da análise de lajes, sugerindo a consideração apenas do carregamento pleno, se atendida as seguintes considerações:

- Em um conjunto de lajes armadas em uma direção paralelas entre si, a área total seja superior a 30 m²;
- A razão entre a carga variável e a carga permanente seja inferior a 1,25;
- A carga variável seja inferior a 5KN/m².

Em resumo das definições da EC2 e BS 8110, as combinações estão ilustradas na Figura 4 abaixo, sendo o mesmo aplicado para a ACI 318.

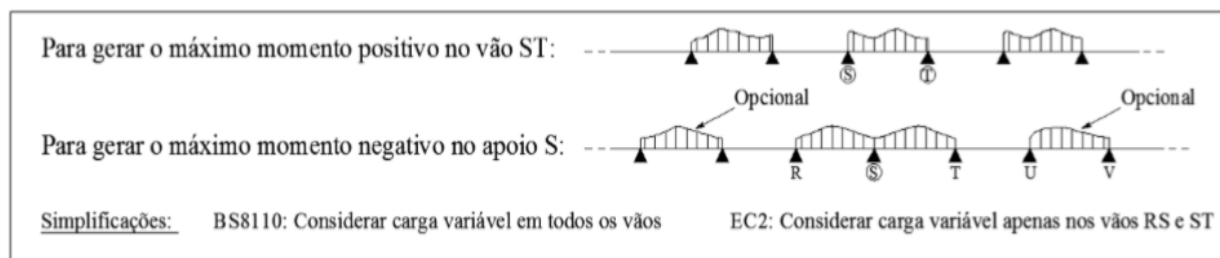


Figura 4 – Combinações de Cargas Variáveis segundo EC2 e BS 8110

Fonte: (FORNAZARI, F.F. ET AL.,2013)

A norma europeia orienta que tal combinação é válida apenas para estruturas com dimensões de lajes simétricas e sem grande variação de carga variável. Quando houver alguma dessas situações, devem ser analisadas as combinações que acarretem o maior esforço da estrutura para seu dimensionamento, isso porque tal situação não tem o mesmo comportamento de distribuição de carregamento na estrutura quando comparado à uma estrutura considerada simétrica.

Durante o 53º Congresso Brasileiro de Concreto, realizado pelo IBRACON (Instituto Brasileiro de Concreto) em 2011 na cidade de Florianópolis - SC, o engenheiro Luiz Aurélio, em sua apresentação sobre “Boas Práticas para Projetos de Edifícios Altos” cita, entre outras considerações importantes, o item da norma que orienta o estudo de alternância de cargas como sendo uma das boas práticas necessárias para a elaboração de um projeto de edifícios altos.

Fornazari et al. (2013), analisou, através do software Trame 4.0, todas as combinações possíveis para uma viga hipotética, frequentemente encontrada em estruturas reais, onde se pôde observar nos diagramas resultantes dessas combinações, nos quais tiveram os maiores valores, ou seja, que fariam parte da envoltória. Quando identificados, constatou que as combinações de cargas que tiveram os maiores momentos foram as mesmas que as normas EC2 e BS 8110 sugerem em sua literatura, confirmando sua eficiência na orientação do estudo de alternância de cargas. Quando comparados os resultados de todas as combinações com as simplificações dessas normas, a simplificação da EC2 teve resultados próximos aos da análise completa, enquanto a simplificação da BS 8110 obteve valores consideravelmente abaixo da análise completa (diferença superior à 20%).

Rocha (2016, p. 43) fez uma análise usando o método de dimensionamento de Marcus e o Software Eberick V8 para identificar a diferença dos resultados da consideração e não consideração do estudo de alternância de cargas para uma laje maciça armada em duas direções. A alternância de cargas obedeceu às orientações das normas estrangeiras, com algumas adaptações. Em seus resultados ficou constatado que a consideração da alternância é importante, visto que os maiores momentos não foram obtidos apenas com o carregamento pleno da estrutura, sendo os resultados do Eberick maiores que os do método Marcus. No Eberick, obteve-se resultados com um aumento que chegava à 50% de diferença nos valores de momento fletores, quando comparados aos resultados apenas do carregamento pleno, enquanto no método Marcus, a diferença chegava até a 25,8% maior que o carregamento pleno.

De acordo com Feitosa (2016) o sistema CAD/TQS possui uma série de recursos para modelagem de edificações. Um exemplo é a opção de realização do estudo de alternância de cargas variáveis, de vital importância para a realização deste trabalho. Feitosa ainda afirma ser o programa de cálculo estrutural mais difundido e utilizado

atualmente no país, sendo um software escolhido em diversos trabalhos acadêmicos em instituições renomadas na elaboração de dissertações e artigos. A validação do programa é realizada pela TQS Informática LTDA desde o seu lançamento, repetindo a cada nova versão e módulo de dimensionamento lançado, constado nos manuais de utilização do programa.

O CAD/TQS tem as opções de cálculo baseado no modelo de grelhas (indicado para todas as situações), método dos elementos finitos e o método simplificado (para lajes de pequenas dimensões e comportamento conhecido). Na análise do estudo de alternância de cargas, o usuário insere a combinação que deseja para cada estrutura. As vigas e barras são dimensionadas como barras e a rigidez torcional é dividida por 4 (para não dimensionar a laje para momento torsor).

O Modelo VI é um dos modelos de cálculo disponíveis para análise estrutural no TQS. Nele o edifício é modelado como um pórtico único, com elementos que simulam vigas, pilares e lajes, e a rigidez da laje é incorporada ao pórtico espacial, passando a absorver parte dos esforços solicitantes e contribuindo com a estabilidade do edifício (FEITOSA, 2016, p. 125).

METODOLOGIA

Como a estrutura trabalha como um pórtico e não com elementos independentes (vigas, pilares e lajes separadamente), o que acontece em uma laje interfere em toda a estrutura. Quando solicitada, a estrutura trabalha em um sistema tipo compensação, onde a parte vizinha contribui para o esforço solicitado em um determinado ponto. Quando ocorre o carregamento pleno, o esforço em um trecho alivia o momento causado por outro trecho, mas quando não há carga na região vizinha esse alívio não acontece, causando um esforço não esperado. O estudo de alternância de cargas visa identificar essas situações e dimensionar a estrutura para que seja então capaz de suportar tal esforço sem prejudicar seu uso e/ou durabilidade (ELS) ou mesmo apresentar problemas estruturais mais graves (ELU).

Para analisar a importância do estudo de alternância de cargas, foram selecionados três layouts de estruturas hipotéticas como representação de situações comumente encontradas no cotidiano.

O layout 1 representa uma edificação para uso escolar de dois pavimentos, composta por salas de aula e salas administrativas (vão da sala com 7x7m e corredores com largura de 2,5m), mostrado na Figura⁴ 5 abaixo:

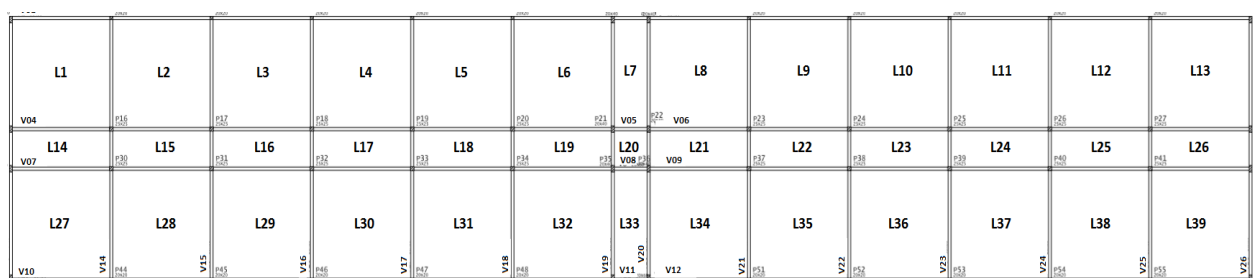


Figura 5 – Layout da escola
Fonte: Elaborado pelos Autores

⁴ Todas as figuras e dados utilizados para este estudo estão disponíveis no link descrito nas referências bibliográficas.

O layout 2 representa um depósito de cargas para abastecimento de caminhões, com área administrativa (vãos de 8x8m e balanço de 2,5m), mostrado a Figura 6.

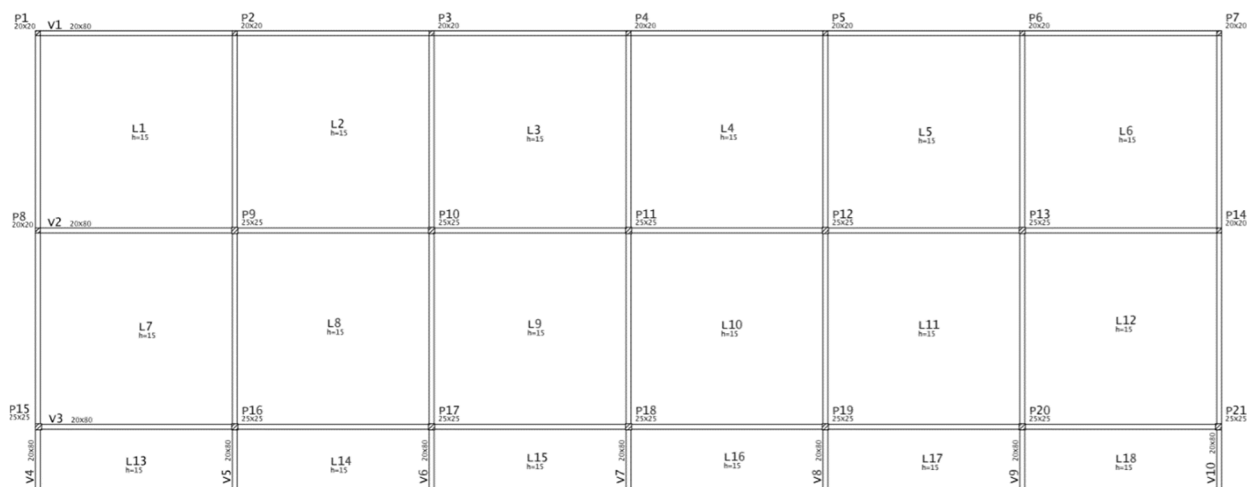


Figura 6 – Layout do depósito
Fonte: Elaborado pelos Autores

Já o layout 3 representa um estacionamento de carros (vãos de 8x8), com disposição conforme a Figura 7.

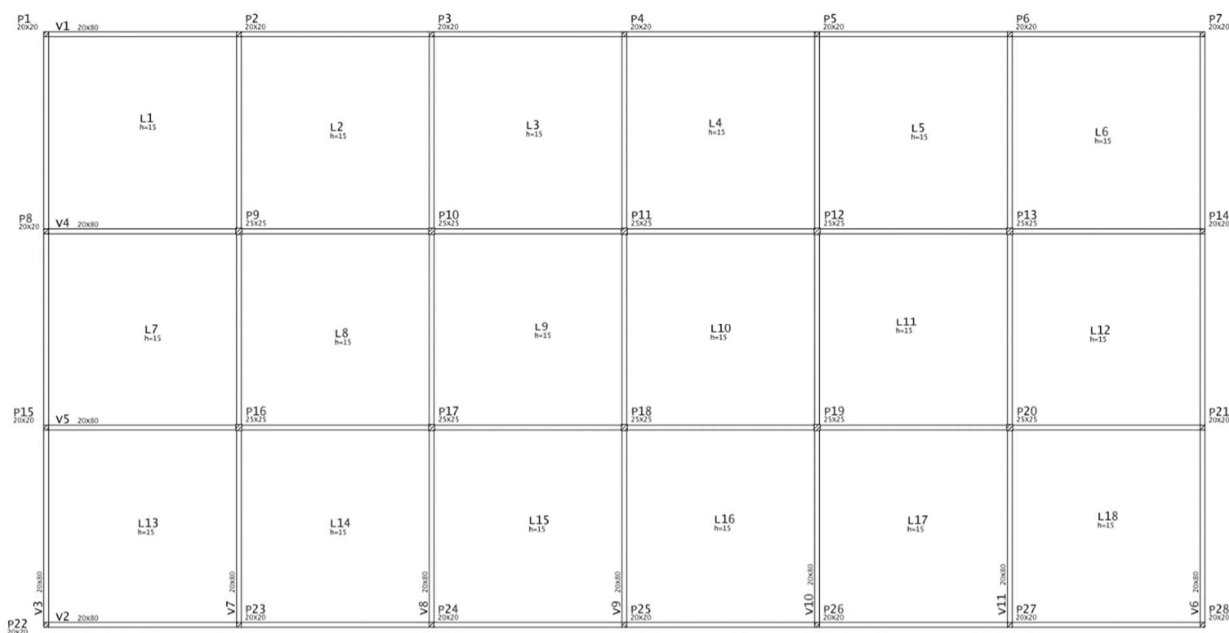


Figura 7 – Layout do estacionamento
Fonte: Elaborado pelos Autores

Em todos os modelos (layouts) foram considerados os parâmetros descritos abaixo:

- Fck do concreto: 25 Mpa;
- Carga Permanente: 110 Kgf/m² (aproximadamente 1,1 kN/m²);
- Espessura laje: 15 cm;
- Coeficiente de arrasto: 1;
- σ admissível do solo: 2,5 Kgf/cm²;

- Velocidade básica vento: 32 m/s;
- Cobrimento das lajes de 2cm, de pilares e vigas de 3cm e cobrimento da fundação de 4cm;
- Pilares centrais de 25x25 cm e periféricos de 20x20 cm;
- Altura das paredes existentes com a mesma medida do pé direito do modelo;
- O dimensionamento foi realizado através do TQS pelo método de grelhas, considerando o Modelo estrutural VI do TQS.

Os parâmetros exclusivos ao modelo 1, considerando a ABNT NBR 6120:1980 e combinação de ELU para cargas acidentais de locais em que há elevada concentração de pessoas, estão descritos na Tabela 1. Para este modelo foram consideradas cargas de parede sobre todas as vigas.

Tabela 1 – Parâmetros para análise do Modelo 1 no TQS

Carga variável	Pé direito	Vigas	Psi0	Psi1	Psi2
3 kN/m ²	3,24 m	20x60 cm	0,7	0,6	0,4

Fonte: Elaborado pelos Autores

O mesmo modelo foi replicado considerando nesse caso o valor de carga variável de 5kN/m², mantendo os demais parâmetros.

Os parâmetros referentes ao modelo 2 estão descritos na Tabela 2 a seguir, sendo considerado a combinação de ELU para cargas acidentais de bibliotecas, arquivos, oficinas e garagens. As cargas de parede foram consideradas sobre as vigas V01, V04, V09 (separar o armazenamento da parte administrativa considerada nas lajes L6 e L12 (carga variável de 2kN/m² em todos os estudos, inclusive nas alternâncias de cargas) e V10.

Tabela 2 – Parâmetros para análise do Modelo 2 no TQS

Carga variável	Pé direito	Vigas	Psi0	Psi1	Psi2
6 kN/m ²	4,00 m	20x80 cm	0,8	0,7	0,6

Fonte: Elaborado pelos Autores

Para o modelo 3, os parâmetros estão descritos na Tabela 3, considerando a combinação do ELU para cargas acidentais de bibliotecas, arquivos, oficinas e garagens. As paredes foram posicionadas em toda a periferia do modelo.

Tabela 3 – Parâmetros para análise do Modelo 3 no TQS

Carga variável	Pé direito	Vigas	Psi0	Psi1	Psi2
4 kN/m ²	3,24 m	20x80 cm	0,8	0,7	0,6

Fonte: Elaborado pelos Autores

As combinações de carga analisadas em cada modelo estão ilustradas nas Figuras 8, 9 e 10 a seguir, levando em consideração as combinações das normas EC2, BS8110 e ACI 318:

Para o modelo 1 foi considerado carregamento pleno em todas as lajes dos corredores, sendo a combinação de cargas feita em todas lajes das salas de aula seguindo o padrão ilustrado na Figura 8.

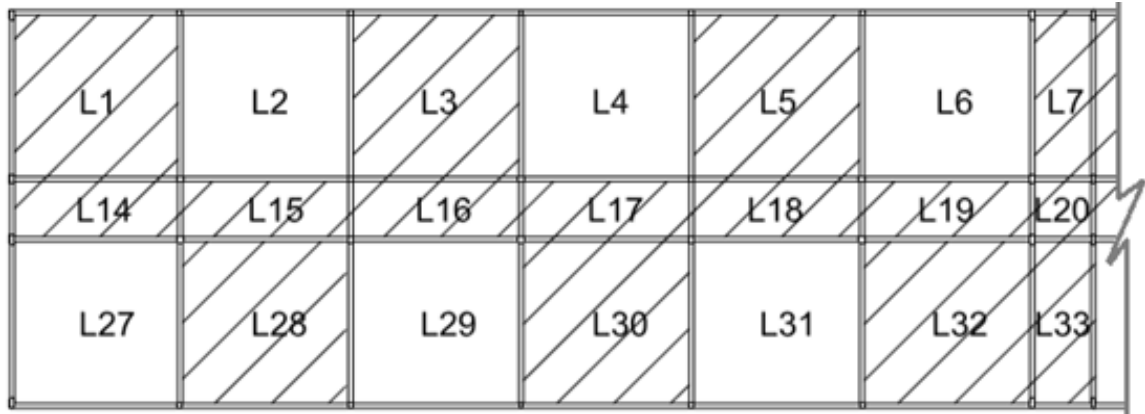


Figura 8 – Configuração de alternância de carga para o Modelo 1
Fonte: Elaborado pelos Autores

No modelo 2, as lajes L6 e L12, que representam a região para salas administrativas, foram analisadas com carregamento pleno (cargas permanentes + carga variável) em todos os estudos realizados.

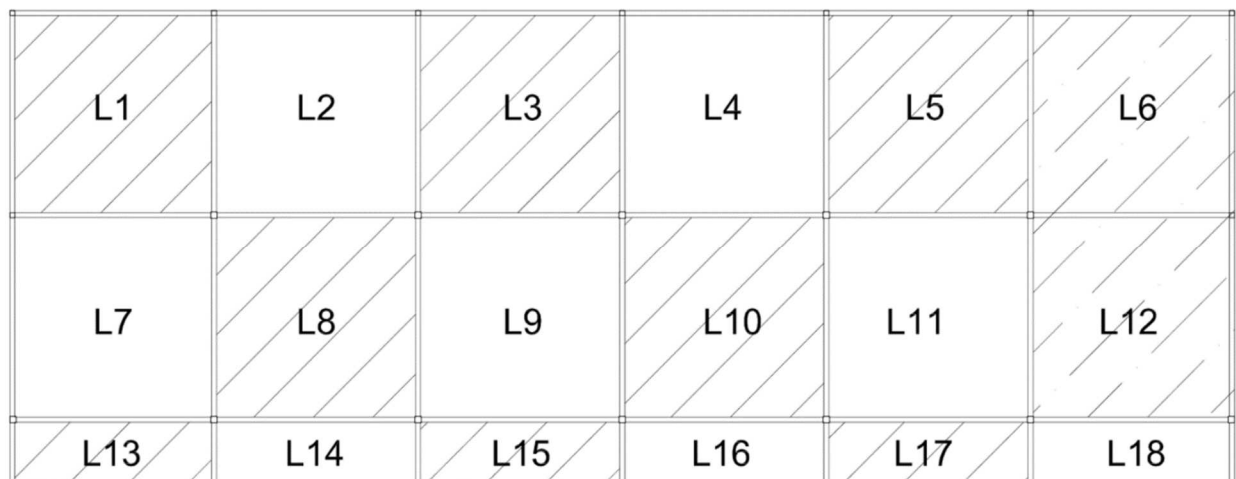


Figura 9 – Configuração de alternância de carga para o Modelo 2
Fonte: Elaborado pelos Autores

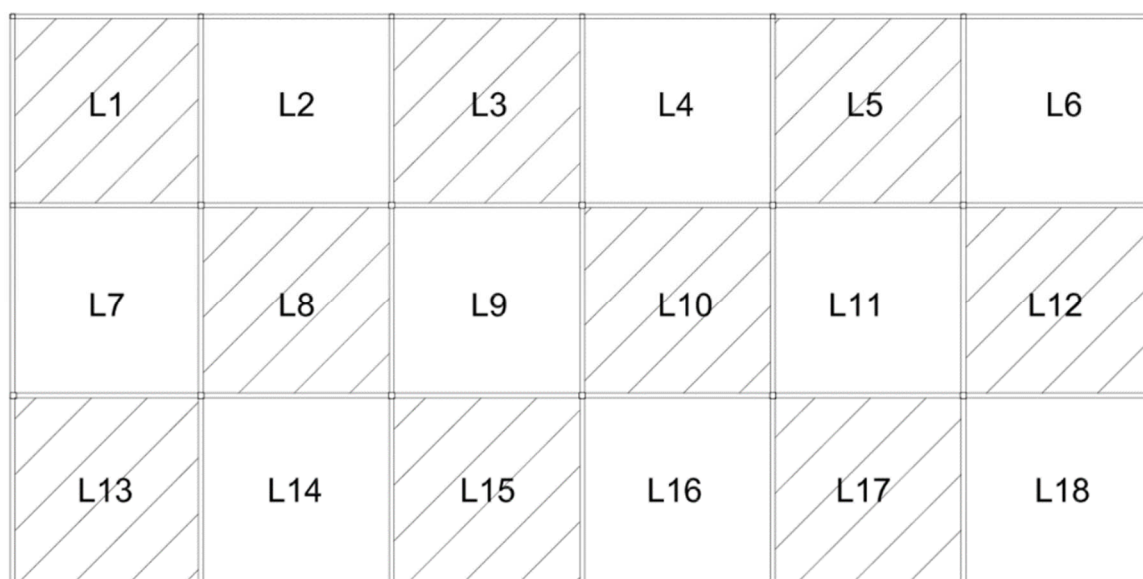


Figura 10 – Configuração de alternância de carga para o Modelo 3
Fonte: Elaborado pelos Autores

Para o estudo de alternância de cargas de cada modelo, foi analisado a combinação 1 (lajes hachuradas com carga permanente e variável e lajes sem hachura carregadas apenas com cargas permanentes) e combinação 2 (lajes hachuradas apenas com carga permanente e lajes sem hachura carregadas com carga permanente e variável). Para todos os modelos foi analisado a situação em que a estrutura tem seu carregamento pleno (cargas permanentes e variáveis em todos os panos de laje) como referência para o estudo de alternância de cargas.

Os layouts definidos para dimensionamento de acordo com a norma brasileira também foram usados para análise quanto a necessidade do estudo de alternância de cargas de acordo com as normas estrangeiras.

RESULTADOS

De acordo com as orientações das normas aqui citadas, a necessidade do estudo de alternância de cargas para os modelos analisados está representada na Tabela 4 a seguir:

Tabela 4 – Necessidade de análise do estudo de alternância de cargas

	NBR 6118	ACI 318	BS8110	EC2
Layout 1 (3kN/m²)				X
Layout 1 (5kN/m²)	X	X	X	X
Layout 2	X	X	X	X
Layout 3		X		X

Fonte: Elaborado pelos Autores

- Layout 1 (3 kN/m²)

Após o processamento do modelo de acordo com os parâmetros citados anteriormente pôde-se observar a semelhança nos diagramas através da sobreposição das

envoltórias do modelo com carregamento pleno e com a consideração da alternância de cargas, como mostra o detalhe das envoltórias da viga V1 na Figura 11.

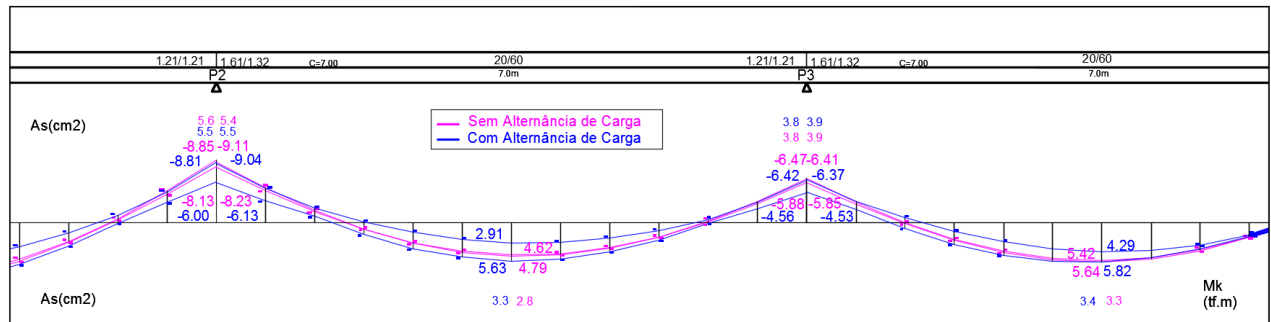


Figura 11 – Detalhe das envoltórias da V01 do Layout 1
Fonte: Elaborado pelos Autores

Entretanto, a diferença foi encontrada quando analisadas as barras responsáveis por resistir ao momento negativo, pois os comprimentos das mesmas nos dois casos eram diferentes devido a amplitude do momento negativo (Figura 12) que, somado ao comprimento de ancoragem da barra, faz com que elas se estendam por todo o vão entre os pilares P2 e P3, conforme mostram os detalhes das armações nas Figuras 13 e 14.

Analisando as outras vigas deste modelo foi possível identificar a diferença no número de barras utilizadas quando considerado determinado diâmetro de barra de ferro (diferença de 1 barra) ao comparar o carregamento pleno com a alternância. Um exemplo deste caso pode ser observado no terceiro vão da V4, onde no carregamento pleno seriam necessárias 6 barras de 12,5mm de diâmetro, enquanto para a alternância de cargas seriam necessárias 7 barras de 12,5mm de diâmetro.

Na análise das flechas das lajes na combinação quase permanente, já considerando coeficiente de correção de deformação lenta de 2,4, não houve aumento de deformação quando considerada a alternância de carga.

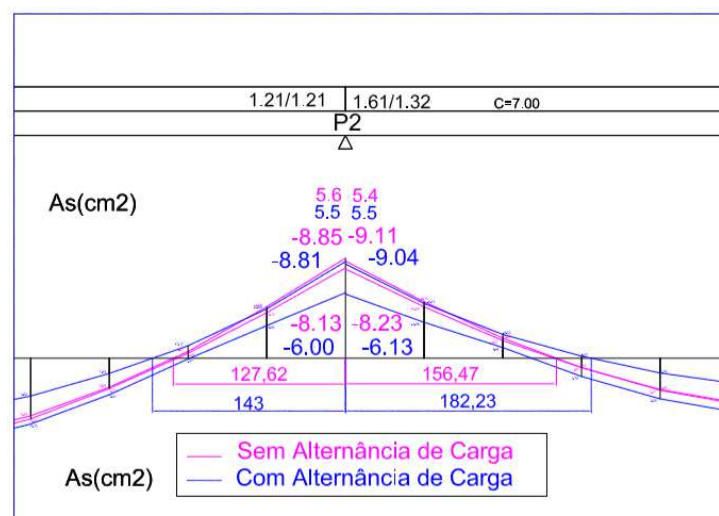


Figura 12 – Detalhe com a comparação de amplitude de momento negativo da V01 do Layout 1
Fonte: Elaborado pelos Autores

Na análise de flecha das lajes na combinação quase permanente, considerando coeficiente de correção de deformação lenta de 2,4, não houve aumento de deformação quando considerada a alternância de carga. Contudo, na análise do ELU foi possível identificar um aumento de até 13% no valor das flechas para as lajes do estudo de alternância de cargas quando comparado ao valor com carregamento pleno.

- Layout 2

Na análise dos resultados do modelo 2 foi possível identificar diferenças nos valores tanto para as vigas de borda, quanto para as flechas na análise de ELS e ELU. As vigas internas tiveram resultados semelhantes, com exceção apenas da viga V9 localizada entre as lajes com diferença de carregamento variável (lajes para depósito e lajes para área de escritório). A maior variação de momento fletor encontrado nas vigas foi no segundo vão da V4 com variação de 34,9%, sendo que a variação na área de aço chegou a 35,4%. A Figura 15 mostra a armação em cortes da viga V4 para carregamento pleno e para alternância de cargas, respectivamente.

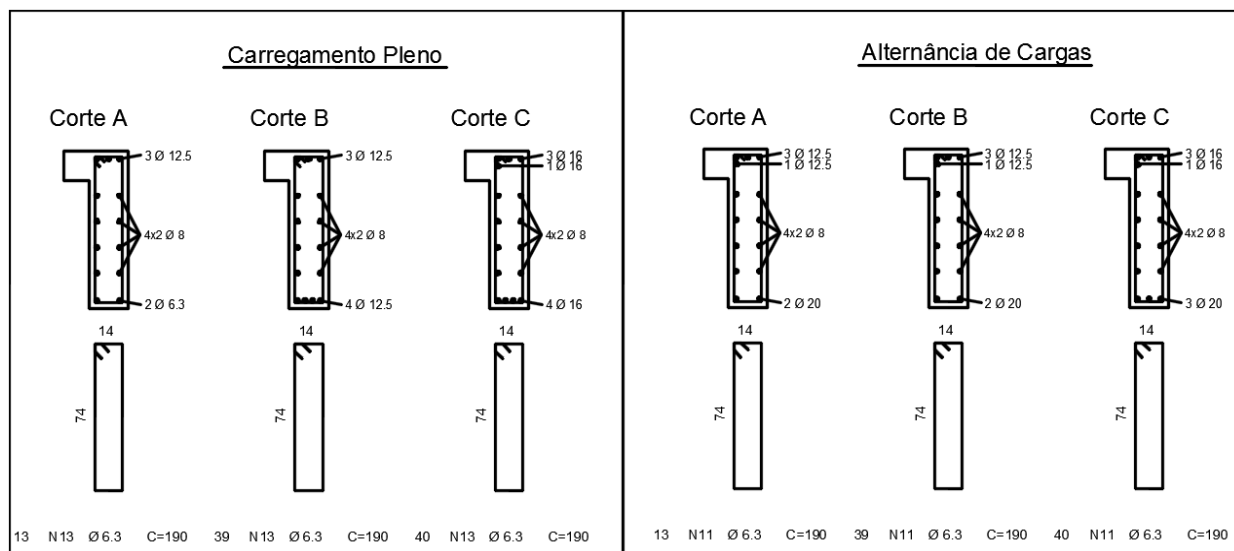


Figura 15 – Armação da viga V4 do Layout 2

Fonte: Elaborado pelos Autores

Neste modelo também foi possível identificar um aumento no comprimento das barras de armadura negativa para o modelo com alternância de carga.

Quando comparado os resultados de flechas nas lajes as variações chegavam a 27% maior na deformação para alternância de cargas.

- Layout 3

Os resultados encontrados para as vigas de borda do layout 3 considerando a alternância de cargas obtiveram diferenças até 35% maiores para a área de aço estimada, quando comparados com os valores encontrados para o carregamento pleno. Isso pode ser observado na viga V3, mostrada na Figura 16, pelo detalhe das envoltórias, e na Figura 17, pela representação de armação da viga.

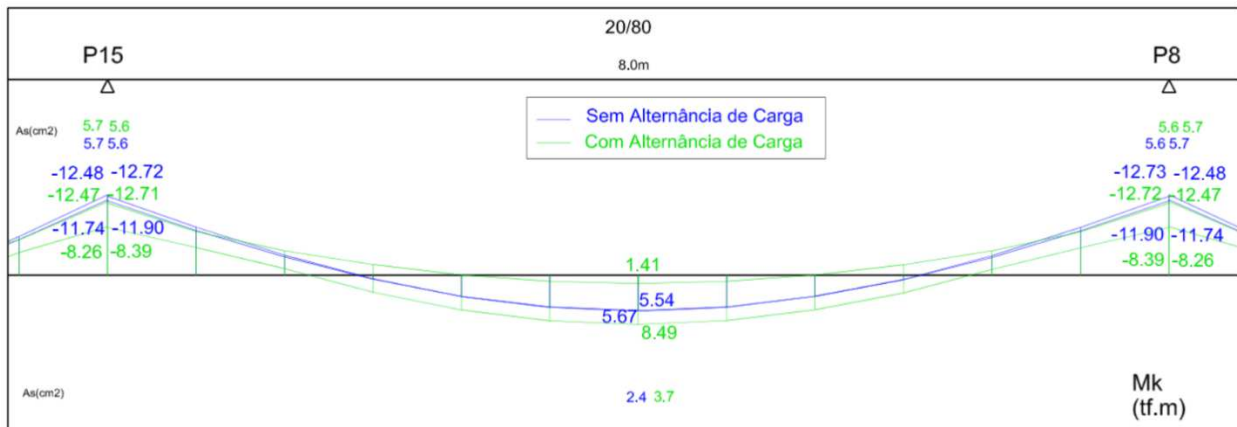


Figura 16 – Detalhe das envoltórias da V3 do Layout 3
Fonte: Elaborado pelos Autores

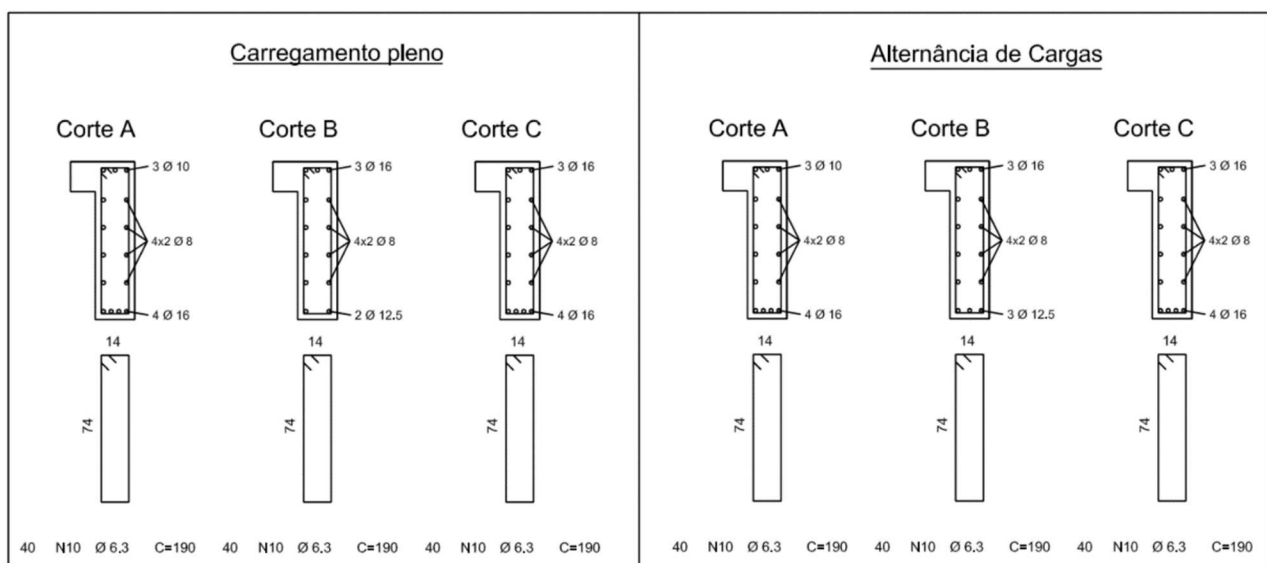


Figura 17 – Armação da viga V3 do Layout 3
Fonte: Elaborado pelos Autores

Já as vigas internas obtiveram valores semelhantes entre o carregamento pleno e a alternância de cargas.

Os diagramas de momento fletor das lajes considerando carregamento pleno obtiveram valores semelhantes em todos os panos de laje, enquanto no estudo de alternância de cargas as lajes em que foi considerado o carregamento de carga variável resultaram em momentos de maior valor, como pode ser visto na comparação dos diagramas da região central da laje L8 mostrado nas Figura 18 e 19.

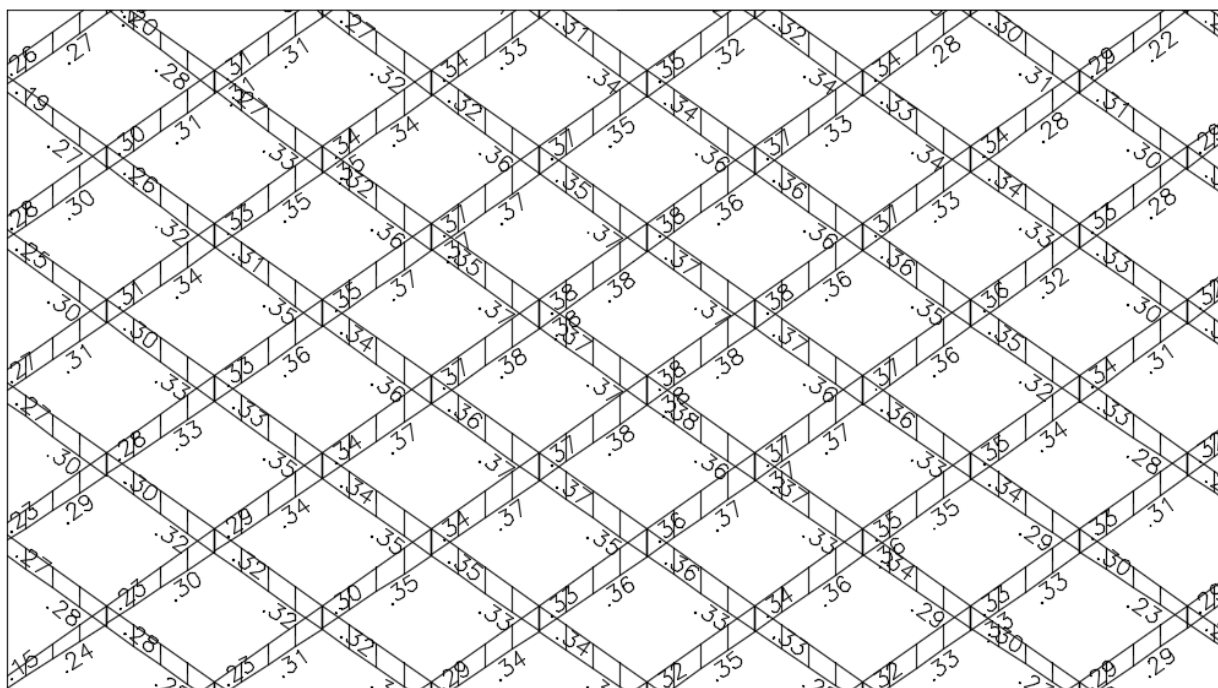


Figura 18 – Diagramas de momento fletor da região central da laje L8 do Layout 3 para Carregamento Pleno

Fonte: Elaborado pelos Autores

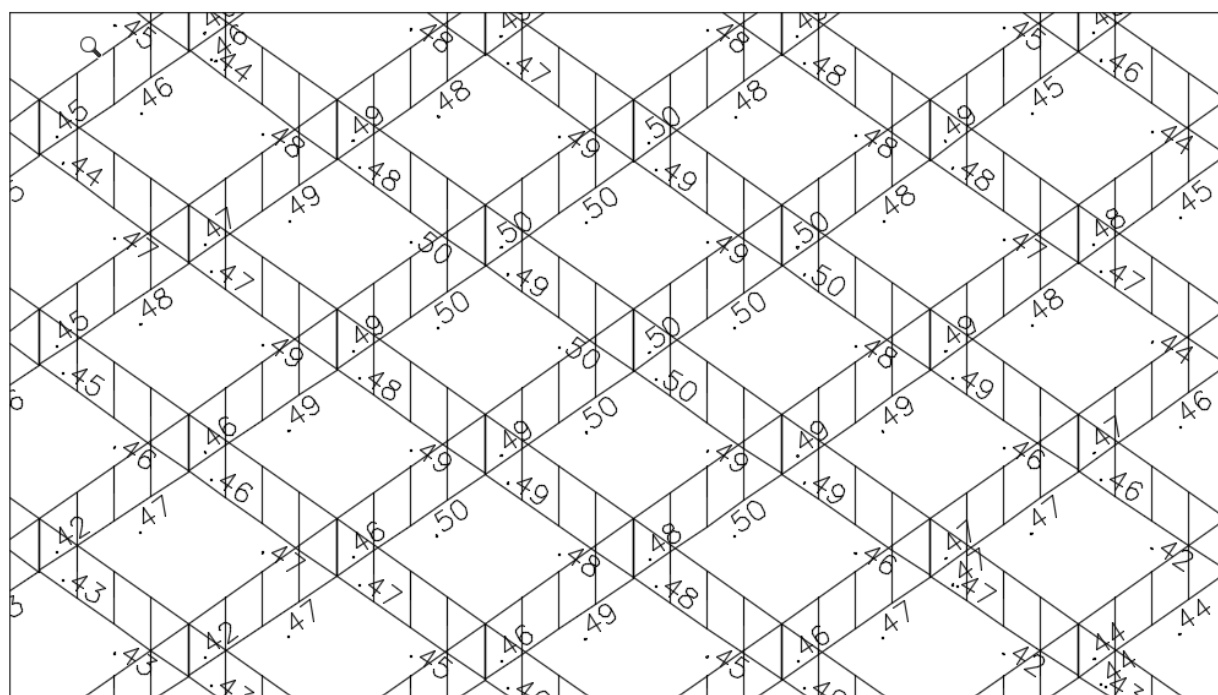


Figura 19 – Diagramas de momento fletor da região central da laje L8 do Layout 3 para Alternância de Cargas

Fonte: Elaborado pelos Autores

As flechas encontradas nas lajes do modelo considerando alternância de cargas obtiveram valores até 21,7% maiores. Em uma simulação de armação para essas lajes foi encontrado uma diferença de aço de 13,8% maior para armação positiva, quando considerado alternância de cargas, como mostra a Figura 20.

Carregamento pleno			Alternância de Cargas		
RESUMO P/ACO CA-50/60			RESUMO P/ACO CA-50/60		
Ø	COMPRIMENTO (m)	PESO (kg)	Ø	COMPRIMENTO (m)	PESO (kg)
6.3	5157	1263	8	15495	6120
8	10559	4170	10	4316	2663
10	3459	2134	TOTAL		8783
TOTAL		7567			

Figura 20 – Resumo de aço para armadura positiva das lajes do Layout 3

Fonte: Elaborado pelos Autores

CONCLUSÃO

A grande dificuldade em encontrar literatura sobre o assunto mostra que o mesmo ainda necessita de muitos estudos para melhor compreensão disseminação de sua importância para que todos os profissionais da área considerem essa análise ao menos nos dimensionamentos de estruturas que exijam essa consideração.

Além disso, as normas estrangeiras descrevem de forma mais detalhada sobre as considerações, exceções e combinações necessárias para a realização do estudo de forma a cobrir as situações críticas de carregamento da estrutura, o que não é observado na norma brasileira. Essa ausência de orientação pode abrir espaço para dúvidas e falhas na análise da estrutura quando seguindo as instruções nela contida.

Através da análise da orientação referente à exigência do estudo de alternância de cargas variáveis das normas NBR 6118, EC2, ACI 318 e BS8110 foi possível verificar que a norma brasileira é uma das que possui menor abrangência de situações em que o estudo é considerado necessário.

Pela análise dos resultados dos modelos estudados, foi possível confirmar a relação da importância do estudo de alternância de cargas variáveis com os valores de carregamento variável, pois os resultados foram maiores para os carregamentos de maior valor.

Contudo, foram identificados pontos em que a alternância de cargas se fez relevante mesmo para estruturas com carregamento menos expressivo, onde a norma brasileira considera dispensável esse estudo, como visto nos resultados do Modelos 1, com carregamento de 3kN/m^2 , e do Modelo 3, fazendo-se questionar os valores utilizados na norma para desconsiderar o estudo.

A importância desse estudo se comprovou especialmente para as vigas de extremidade, que chegaram a valores com até 35% de diferença na área de aço estimada para combater o esforço solicitado.

Sua importância também pôde ser notada na análise dos diagramas de momento fletor das lajes pois, enquanto os diagramas de momento fletor resultantes do carregamento pleno obtiveram valores parecidos em todos os panos de laje, o modelo em que considera a alternância de cargas resultou em momentos fletor maiores que para o carregamento pleno devido ao alívio de cargas nas lajes adjacentes. Um

exemplo dessa verificação está nos resultados encontrados para o modelo 3, com diferenças de momento fletor máximo em um pano de laje de até 24% e uma diferença na quantidade de aço necessária para armação positiva das lajes de 13,8% quando considerada a alternância de cargas, justificando a necessidade desse estudo.

Os estudos foram realizados considerando a combinação de cargas alternadas que, de acordo com as normas estrangeiras é capaz de identificar o maior momento positivo para estruturas consideradas simétricas, podendo essas ter diferenças ainda mais significativas se analisado o estudo considerando também a combinação para identificar os maiores momentos negativos, conforme mostrado na Figura 3.

STUDY OF ALTERNATING VARIABLE LOADS FOR STRUCTURES IN REINFORCED CONCRETE

ABSTRACT

In certain cases, for sizing to be performed according to ABNT NBR 6118: 2014, it is necessary not only the analysis of the full load of the structure but also the study of alternation of variable loads, often ignored. With the revision of the standard, the cases in which this consideration should be taken into account were further restricted. Despite this requirement, few national surveys address the issue, and even the Brazilian standard does not include more detailed guidance on how this study should be conducted. The objective of this research is to analyze two common hypothetical situations to be seen in practice in order to identify the importance of this analysis and to verify if the reduction of the cases required by the standard of this study is similar when compared to the foreign standards EC2, ACI 318 and BS 8110. The study consists of obtaining effort diagrams, sometimes considering the load combinations (taking into account the load combinations guidelines of the foreign standards) and non-time, and make a comparison between them, identifying the differences in the design of the structure. The results showed the importance of the study, even for structures with variable loads of smaller values. It was possible to identify regions that presented up to 35% difference in the estimated steel area.

Keywords: *Alternating loads, Reinforced Concrete Structures, Standards, NBR 6118.*

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118 Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 6118 Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014

_____. **NBR 8681 Ações e segurança nas estruturas - Procedimento**. Rio de Janeiro. 2004

_____. **NBR 6120 Cargas para cálculo de estrutura de edificações - Procedimento**. Rio de Janeiro. 1980

BRITISH STANDARD. **BS 8110 - Structural use of concrete - Part1: Code of practice for design and construction**. Sheffield, 2002.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings**. Bruxelas, 2004.

FEITOSA, L.A. **Estudo da estabilidade global de edifícios de múltiplos andares com lajes lisas**. Dissertação de Mestrado pela UFES, 2016.

FORNAZARI, F.F.; CAMPOS, G.M.; MADALOZZO, N.L.; LUZ, S.A. **Análise de padrões para estudo de alternância de cargas**. Revista de Engenharia e Tecnologia, out/2013.

CAD/TQS – **Manuais TQS**. On-line. Disponível em: < http://www.tqs.com.br/recursos-do-site/downloads/cat_view/106-manuais-tqs > Acesso em: 15 abr. 2017.

OLIVEIRA, T.; FEITOSA, L.A.; GORZA, L.S. **Figuras e dados utilizados para estudo de alternância de cargas variáveis**. On-line. Disponível em: <<https://drive.google.com/drive/folders/0Byaq3pg65RWgOW5Bc0pDU3FtOGc> >.

ROCHA, B.C. **Estudo comparativo de alternância de cargas em lajes maciças armadas em duas direções**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

SILVA, L.A.F. **Boas práticas para projeto estrutural de edifícios altos**. In: 53º Congresso Brasileiro de Concreto – IBRACON, Florianópolis, 2011. Revista Concreto & construção, ed. 64, 2011, p.33