



Anais do XXXIV COBENGE. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, Setembro de 2006.  
ISBN 85-7515-371-4

## A IMPORTÂNCIA DA VERIFICAÇÃO DOS RESULTADOS DO COMPUTADOR

**Henrique Innecco Longo** – hlongo@ufrj.br

Depto. Mecânica Aplicada e Estruturas, Escola Politécnica,  
Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Av. Brigadeiro Trompowsky, s/n, Centro de Tecnologia, Bloco D, sala D-205,  
Cidade Universitária, Ilha do Fundão.  
CEP 21.941-590– Rio de Janeiro – Estado do Rio de Janeiro

***Resumo:** O computador trouxe muitas vantagens para o projeto de engenharia. No entanto, os problemas computacionais podem causar prejuízos e até grandes desastres. A noção da ordem de grandeza é fundamental para que o engenheiro possa verificar os resultados obtidos pelo computador. Essa verificação nem sempre é fácil e alguns procedimentos devem ser feitos para evitar erros. Exemplos de projetos de estruturas são apresentados neste trabalho. A finalidade é mostrar a importância da verificação dos resultados do computador. Esta questão é fundamental para os engenheiros e para a formação dos alunos, que não devem confiar cegamente no computador.*

***Palavras-chave:** Computador, Verificação, Resultados*

### 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o computador tem sido muito utilizado em quase todos os ramos de atividades. Na engenharia, ele tem sido muito importante para o desenvolvimento de projetos, facilitando a análise de problemas de grande complexidade. Hoje em dia, o computador se tornou um instrumento fundamental e imprescindível para o engenheiro.

No entanto, é preciso saber utilizar os programas de computador, que estão cada vez mais sofisticados e abrangentes. Um simples erro de digitação pode causar sérios problemas, prejuízos financeiros e até mesmo provocar grandes desastres. Na fase de elaboração de um projeto, o engenheiro deve sempre tomar medidas que evitem problemas computacionais. Além disso, é fundamental fazer uma verificação dos resultados, por mais complexo que seja o problema. A noção da ordem de grandeza dos resultados deve estar sempre presente para garantir a qualidade do projeto.

Durante o curso de graduação, os alunos utilizam programas para a elaboração de seus trabalhos escolares, muitas vezes sem verificar os resultados obtidos. Essa atitude certamente poderá acontecer quando o aluno estiver trabalhando como engenheiro. Assim sendo, é

importante que essa questão seja considerada pelo professor para que a universidade forme um engenheiro capacitado e consciente e não apenas um digitador de teclas.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Os avanços tecnológicos trouxeram grandes vantagens para o projeto de engenharia, mas também alguns problemas. Para compreender melhor a evolução do computador ao longo da história, é preciso lembrar das primeiras máquinas, das régua de cálculos, dos computadores pessoais e dos potentes supercomputadores, conforme proposto por LONGO (1997). Neste trabalho, são apresentados alguns exemplos práticos comprovando que erros computacionais podem acontecer em muitas circunstâncias. Tais erros podem ser evitados se alguns procedimentos forem feitos durante e após a utilização de um programa de computador.

LONGO (2003) explicou que os antigos engenheiros faziam intermináveis contas com as régua de cálculo e tinham que ter uma noção muito boa da ordem de grandeza dos resultados. A postura do engenheiro de estruturas deve ser hoje bem diferente, tendo em vista que os programas estão se tornando verdadeiras “caixas pretas” e podem causar graves acidentes se forem mal utilizados. O computador tem transformado completamente o trabalho do engenheiro e o importante é que ele não deve ser utilizado de uma forma passiva.

De acordo com SATINDER (1998), uma pesquisa realizada pelo Task Committee da ASCE, que analisou casos de erros relacionados com o computador, constatou que 25% dos erros foram causados pelo programa, mas 58% foram causados pelo usuário. Embora este estudo não tenha sido muito abrangente para se chegar a uma conclusão definitiva, esta alta percentagem de erros causados pelo usuário revela que é preciso tomar muito cuidado quando se utiliza o computador.

MISBETT (1982) mostrou grandes obras de engenharia projetadas com a ajuda do computador. Através de casos práticos, ele demonstrou que os programas podem fazer cálculos altamente complexos, mas que os engenheiros também podem errar.

A importância da verificação dos resultados do computador é um tema que deve ser abordado pelos professores nos cursos de engenharia. Na Universidade de Califórnia (UCLA), Los Angeles, EUA, por exemplo, este assunto já consta formalmente no programa do Curso de Engenharia Civil desta instituição.

## **3. FACILIDADES DO COMPUTADOR**

Nos dias de hoje, o computador está presente em praticamente todas as atividades e em todos os setores da sociedade. A sua rapidez e a sua impressionante capacidade de memória, de armazenamento e envio de dados fazem dele um equipamento indispensável para o engenheiro.

A utilização do computador trouxe mais produtividade, precisão e rapidez durante a elaboração dos projetos de engenharia. Os programas se tornaram cada vez mais abrangentes e complexos.

De um modo geral, o computador trouxe muitas vantagens para o projeto de engenharia, tais como:

- Cálculos mais rápidos e precisos
- Estudo de várias concepções de projeto em pouco tempo
- Possibilidade de uso de modelos tridimensionais
- Solução de problemas mais irregulares e complexos
- Aumento da produtividade do trabalho do engenheiro
- Menor custo de mão-de-obra especializada
- Melhoria na qualidade do projeto

- Melhor apresentação de desenhos, plantas, gráficos, diagramas e memórias de cálculo
- Armazenamento de todo o projeto em arquivos
- Facilidade de transmissão de projeto via Internet

No projeto de estruturas de um edifício usual de concreto armado, por exemplo, é possível hoje em dia calcular, dimensionar, desenhar as plantas de fôrmas e de detalhamento das armaduras em pouco tempo com apenas um engenheiro utilizando um programa de computador. Na década de setenta, seria preciso formar uma equipe de engenheiros com suas máquinas de cálculo e desenhistas com suas pranchetas para realizar o mesmo trabalho em muito mais tempo.

É também possível calcular estruturas bem mais complexas usando o computador, tais como pontes, barragens, usinas nucleares, estruturas *offshore* com muito mais facilidade do que antes.

#### 4. PROBLEMAS COMPUTACIONAIS

O computador dá uma falsa sensação de segurança que nem sempre garante resultados satisfatórios. Na verdade, o homem, pela sua própria natureza, pode cometer enganos e o computador pode multiplicar estes erros e causar grandes desastres.

Não se deve esquecer, conforme mostrado por LONGO (2003), que o programa foi elaborado por um programador e pode apresentar erros ou também pode ter sido feito de uma maneira de difícil utilização. O computador também pode apresentar defeitos e trazer problemas para o projeto. O engenheiro também pode não estar capacitado a utilizar o programa ou também pode não ter conhecimentos teóricos necessários. O maior desafio para o engenheiro é detectar os erros provocados pelo mau uso do computador. Dentre as possíveis causas dos problemas computacionais, pode-se citar as seguintes:

- Escolha inadequada de um programa
- Erros de programação
- Usuário com pouco conhecimento do assunto
- Interpretação errada do programa
- Erros de digitação na entrada de dados
- Modelagem do problema mal feita
- Erros na interpretação de resultados

#### 5. ORDEM DE GRANDEZA

A noção da ordem de grandeza é fundamental para o engenheiro em todas as fases do projeto, principalmente durante a utilização de um programa de computador. Se não houver um acompanhamento sistemático dos resultados computacionais, grandes erros podem ser cometidos no projeto. Uma boa formação teórica, muita experiência e uma noção precisa da ordem de grandeza são requisitos fundamentais para o trabalho do engenheiro.

O engenheiro deve ter noção da ordem de grandeza até mesmo quando for fazer uma simples conta de uma expressão matemática. Para isso, é possível simplificar as contas, arredondando-se os números para que o resultado da conta seja verificado de uma maneira mais fácil.

Essa metodologia pode ser ensinada quando o professor resolve um problema qualquer em sala de aula. É muito importante incentivar os alunos a fazer contas sem a utilização de máquinas de cálculo, conforme feito no Curso de Estruturas de Concreto Armado na UFRJ. No início, os alunos sentem algumas dificuldades, mas depois passam até a gostar do método.

Considerando, por exemplo, que fosse necessário calcular o valor de  $M$  da equação (1).

$$M = 0,22 x \frac{(8,12x5,21x2,8) + 3,98^2}{0,66 - 0,14} \quad (1)$$

Se esta conta fosse feita com ma máquina de cálculo, o valor de M é o da equação (2).

$$M = 56,817 \quad (2)$$

No entanto, o valor de M desta equação (1) pode ser obtido de uma maneira aproximada, transformando os números decimais em valores inteiros ou múltiplos de cinco, conforme mostrado na equação (3).

$$M \cong 0,2 x \frac{(8x5x3) + 4^2}{0,65 - 0,15} \quad (3)$$

Desenvolvendo a equação (3), obtemos a equação (4) , mais simples do que a equação original.

$$M \cong 0,2 x \frac{120 + 16}{0,5} \cong 0,2 x \frac{136}{0,5} \cong 0,2x272 \quad (4)$$

Portanto, o valor aproximado de M será igual ao da equação (5).

$$M \cong 54,4 \quad (5)$$

Assim sendo, este valor aproximado  $M \cong 54,4$  ficou bem próximo do valor exato  $M = 56,817$  , um erro de apenas 4,4% que pode ser considerado aceitável para que se tenha uma noção da ordem de grandeza desta conta.

Se, nesta mesma conta, o engenheiro houvesse digitado um número errado na máquina de cálculo, o valor da conta seria bem diferente. Por exemplo, se na equação (1), fosse digitado 39,8 em vez de 3,98, a conta ficaria como na equação 6.

$$M = 0,22 x \frac{(8,12x5,21x2,8) + 39,8^2}{0,66 - 0,14} \quad (6)$$

O valor errado de M seria igual a  $M = 720,286$ , ou seja, um erro muito grande em relação ao valor exato, o que poderia comprometer e distorcer completamente a solução de um problema.

## 6. VERIFICAÇÃO DOS RESULTADOS

O controle da qualidade do projeto é fundamental em todos os setores da engenharia. Este controle deve levar em consideração a verificação dos resultados do computador que consiste, basicamente, em verificar se o projeto atende às exigências de qualidade. A verificação dos resultados do computador pode ser feita por:

- Métodos aproximados
- Visualização de saídas gráficas (desenhos, curvas de níveis, diagramas etc.)

- Comparação com outros projetos semelhantes
- Experiência anterior

É importante ressaltar que esta verificação nem sempre é fácil de ser feita na prática. A Figura 1, por exemplo, está mostrando um modelo com um grande número de elementos finitos tridimensionais de uma estrutura composta por quatro pilares e seis pavimentos de uma edificação. É muito difícil para o engenheiro avaliar os resultados do computador através de um método aproximado deste exemplo. Seria necessário fazer uma verificação através de estruturas semelhantes e também levando em consideração a experiência do engenheiro.

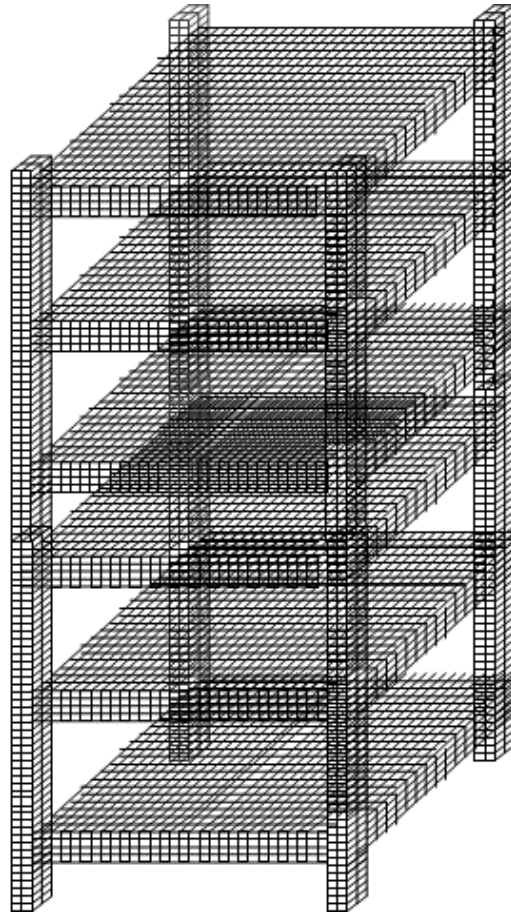


Figura 1 – Modelo de elementos finitos tridimensionais de uma estrutura

## 7. EXEMPLOS PRÁTICOS DE PROJETOS DE ESTRUTURAS

No projeto de estruturas, é fundamental utilizar métodos aproximados para a avaliação dos esforços máximos. Muitas estruturas são complexas e os resultados do computador devem ser sempre verificados. O controle de qualidade deve ser feito não apenas para assegurar a durabilidade da obra, mas para garantir a segurança e o bom desempenho da estrutura.

### 7.1 Verificação dos resultados por visualização gráfica

A visualização gráfica é muito importante para a verificação dos resultados do computador. A Figura 2, por exemplo, mostra as curvas de níveis de momentos fletores na

direção horizontal de uma laje cogumelo apoiada diretamente em pilares, de acordo com LONGO (2006). Nesta figura, pode-se verificar se a distribuição de momentos está correta. Caso houvesse algum erro, o aspecto das curvas seria bem diferente.

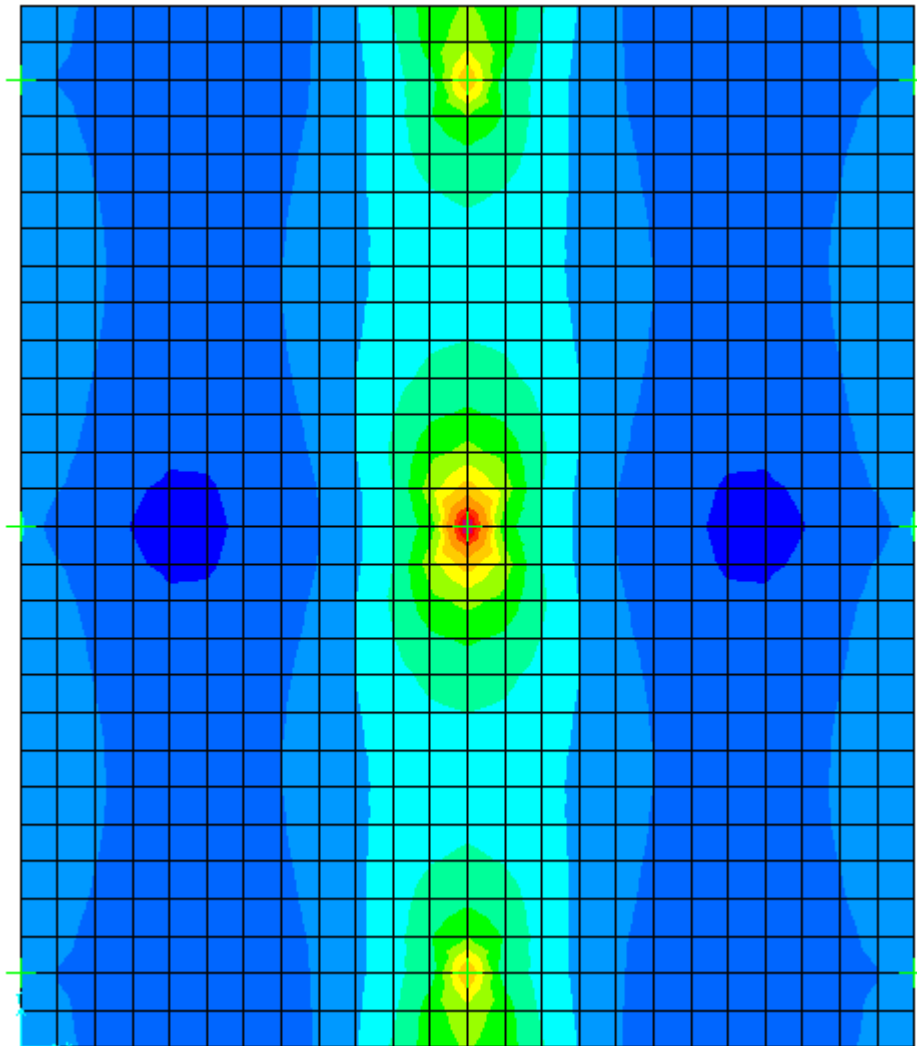


Figura 2 – Distribuição de momentos fletores na direção horizontal de uma laje cogumelo

## 7.2 Estimativa de momento fletor máximo em uma viga contínua

Na Figura 3 está mostrada uma viga contínua com três vãos, submetida a carregamentos uniformemente distribuídos. Por exemplo, para se avaliar o momento fletor máximo atuante nesta viga, pode-se estimar o momento fletor máximo no vão mais solicitado.

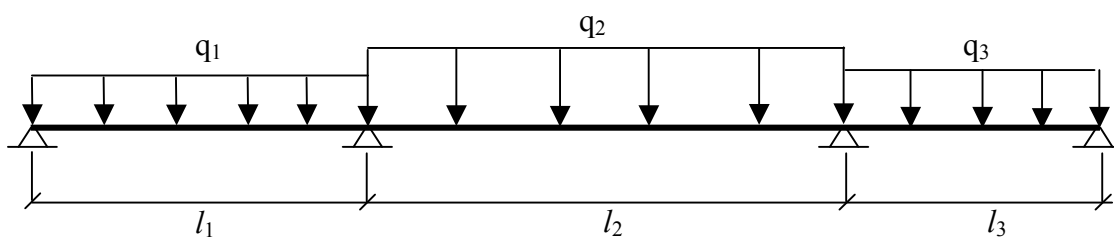


Figura 3 – Viga contínua com três vãos

Se a viga tivesse vãos iguais e cargas distribuídas iguais a um valor  $q$ , o momento fletor seria igual a:

$$M_{MAX} = -\frac{ql^2}{10}$$

Como a viga deste exemplo não possui vãos e carregamentos muito diferentes entre si, pode-se avaliar o momento com o carregamento e com o vão mais solicitado (vão central):

$$M_{MAX} \cong -\frac{q_2 l_2^2}{10}$$

Este método não conduziria a bons resultados se os vãos fossem muito diferentes. No entanto, o engenheiro pode avaliar o momento máximo utilizando o maior vão, a média ponderada dos vãos etc. A finalidade não é a obtenção do valor exato, mas apenas um valor que sirva para se ter uma idéia da ordem de grandeza dos valores que serão comparados com os resultados do computador.

### 7.3 Estimativa de um momento máximo em um pórtico plano

O pórtico da Figura 4 está engastado na base, tem seis pavimentos e está submetido a um carregamento horizontal devido à ação do vento, sendo  $R$  a resultante das forças. Como esta estrutura é simétrica e os pilares são regularmente dispostos, é possível estimar o momento fletor máximo no engaste do pilar por um método aproximado, conforme mostrado por LONGO (2005).

Por este método, a resultante  $R$  da ação do vento é distribuída proporcionalmente aos momentos de inércia dos pilares, obtendo as forças  $F_1$ ,  $F_2$  e  $F_3$ , como na Figura 5.

De acordo com LONGO (2005), o momento fletor na seção  $S$  do engaste no pilar  $P1$  pode ser estimado por:

$$M_s = 1,5 F_1 \frac{h}{2}$$

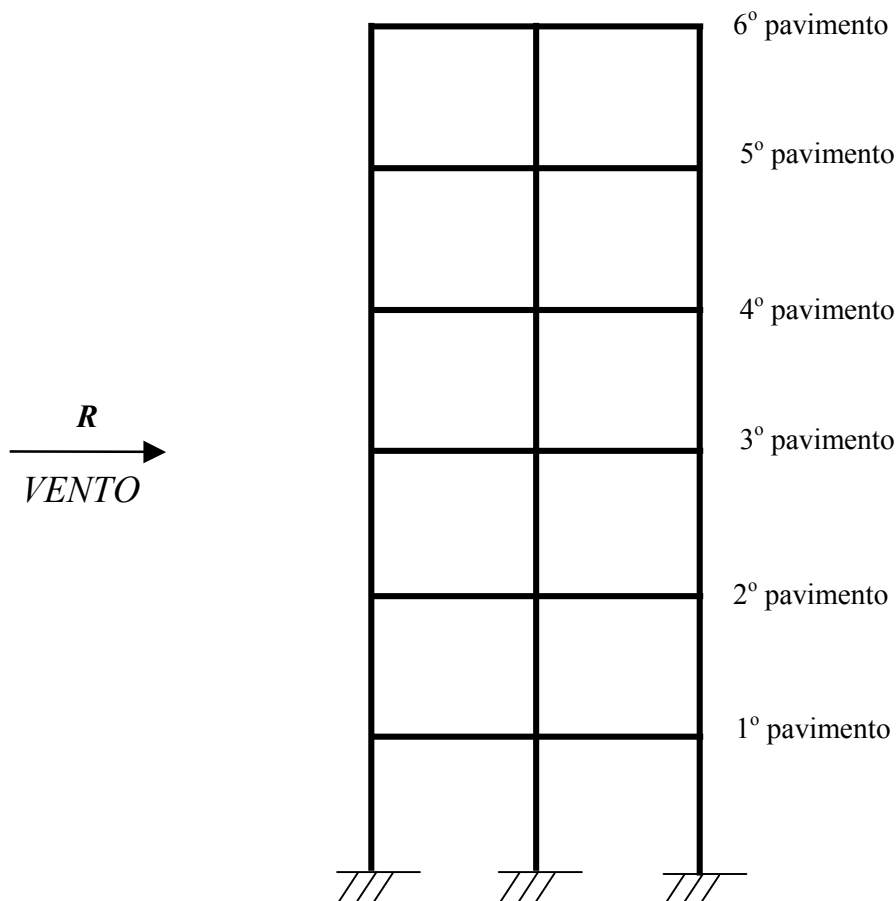


Figura 4 – Pórtico de uma estrutura de edifício sob a ação do vento

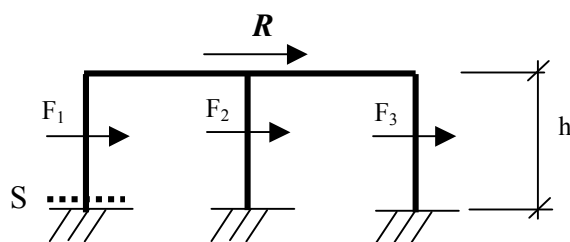


Figura 5 – Distribuição da resultante pelos pilares do pórtico

#### 7.4 Estimativa das cargas nos pilares

Quando se calcula uma estrutura de uma edificação por um programa de computador, é preciso verificar os resultados das cargas nos pilares. Qualquer erro neste carregamento pode provocar o esmagamento do concreto do pilar e, em consequência, uma ruptura brusca da estrutura sem aviso prévio.

A estimativa das cargas nos pilares pode ser feita pelo método aproximado das áreas de influência. A carga estimada é calculada traçando-se uma área de influência formada por um retângulo cujos lados passam pela metade da distância entre os pilares.

A Figura 6 mostra a planta de uma laje cogumelo apoiada em pilares sem vigas, sendo que nem todos estes pilares estão alinhados. Neste caso, a análise estrutural deve ser feita por um modelo de elementos finitos.

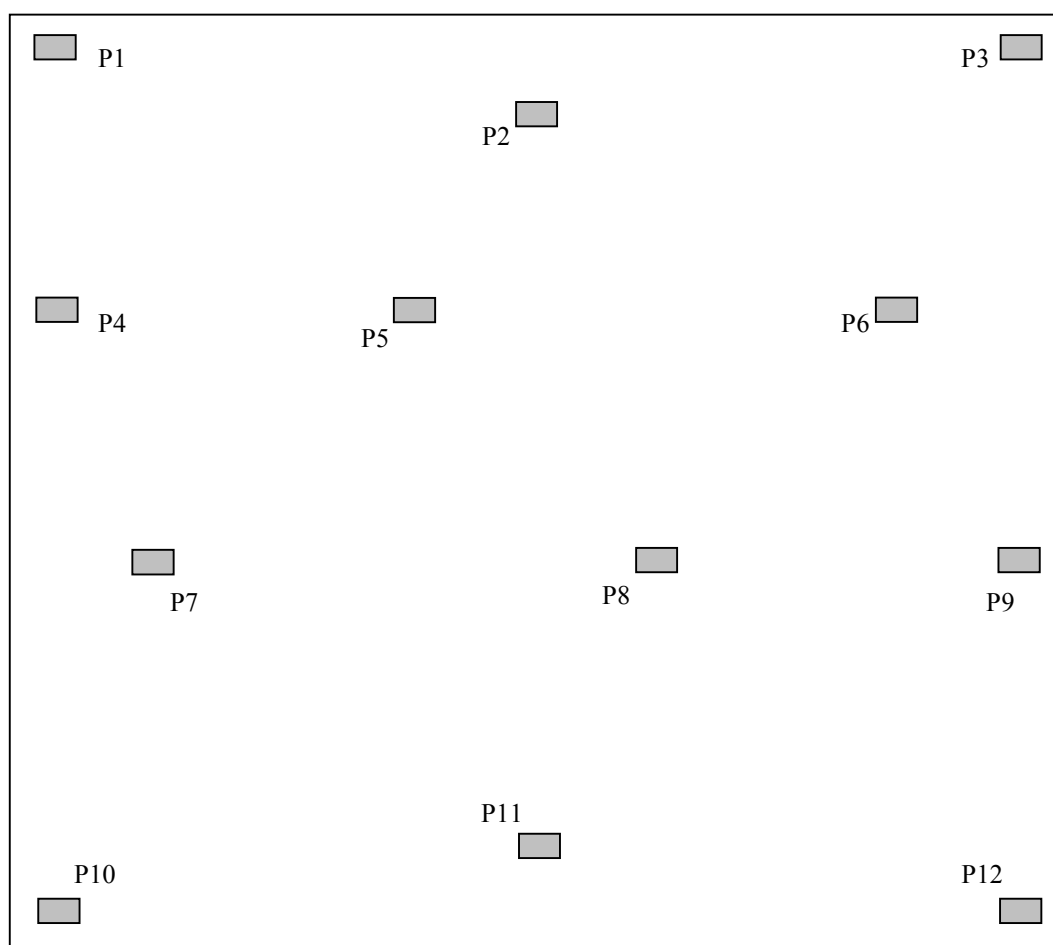


Figura 6 – Planta da laje cogumelo



O cálculo da carga no pilar P8, por exemplo, pode ser feita por um programa de computador que utilize um modelo de elementos finitos de placas para representar as lajes. A Figura 7 mostra a malha de elementos finitos para a análise desta estrutura.

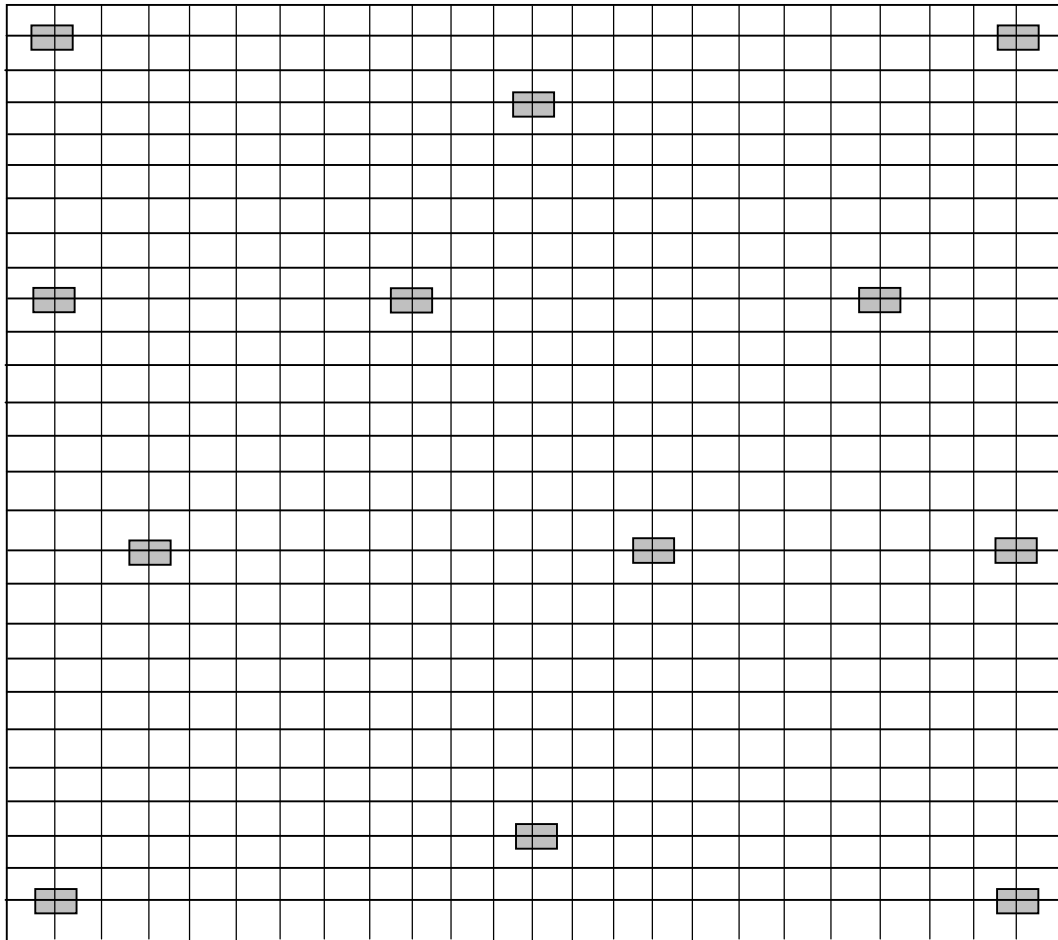


Figura 7 – Malha de elementos finitos para a laje cogumelo

Para a verificação do resultado do programa de computador de uma maneira aproximada, pode-se traçar as áreas de influência conforme os retângulos pontilhados da Figura 8. Conforme proposto por LONGO(2006), os pilares internos devem receber um pouco mais de carga do que os da periferia. Desta forma, as linhas pontilhadas ficam a uma distância de cerca de 60% da distância entre os pilares para que os pilares internos recebam mais carga. Assim sendo, a carga  $N$  estimada para o pilar P8 da Figura 8 é igual a:

$$N = A \times q$$

sendo:

$A$  – área de influência do pilar P8 (retângulo colorido marcado na Figura 8)

$q$  – carga distribuída no pavimento

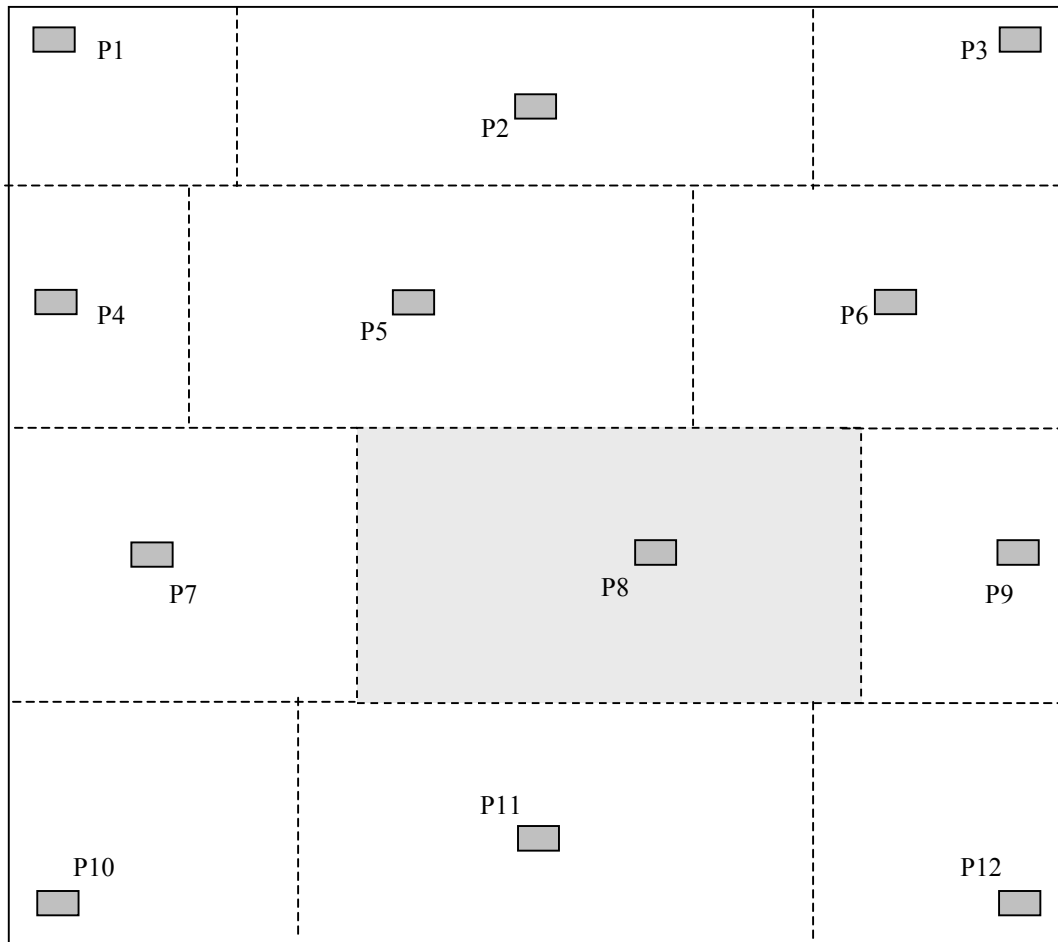


Figura 8 – Áreas de influência para estimativa de cargas nos pilares

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O computador é um instrumento importantíssimo para o engenheiro. Seria difícil imaginar hoje em dia a elaboração de um projeto sem a ajuda de um computador. No entanto, é preciso não esquecer que o computador é uma máquina capaz de realizar cálculos de uma maneira extremamente rápida e eficiente, mas não pode e não deve substituir o engenheiro.

Os programas de computador estão cada vez mais sofisticados e abrangentes. Fica difícil para um engenheiro sem muita experiência saber se os valores calculados estão corretos. A verificação dos resultados computacionais é imprescindível no projeto para evitar prejuízos financeiros e até mesmo grandes desastres.

Os exemplos de análise de estruturas, apresentados neste trabalho, mostraram que é possível utilizar métodos aproximados para que o engenheiro possa acompanhar a ordem de grandeza dos resultados.

É fundamental que o professor ensine a seus alunos não apenas utilizar o computador, mas também a verificar os resultados. Não se deve nunca confiar cegamente no computador.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LONGO, H.I. O Engenheiro e o computador. In: XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA. **Anais**. Salvador: v. 3, p. 1139-1155, 1997.

LONGO, H.I. O Engenheiro de estruturas diante do Computador. In: V SIMPÓSIO EPUSP SOBRE ESTRUTURAS DE CONCRETO. **Anais**. São Paulo: USP, CD-ROM, 2003.

LONGO, H.I. Projeto de estruturas de edificações de concreto armado de acordo com a norma NBR-6118. **Apostila**. Rio de Janeiro: Escola Politécnica, UFRJ, 2003.

LONGO, H.I. Análise de estruturas de edifícios de concreto armado submetidos à ação do Vento. **Apostila**. Rio de Janeiro: Escola Politécnica, UFRJ, 2005.

LONGO, H.I. Laje Cogumelo de acordo com a norma NBR-6118. **Apostila**. Escola Politécnica, Rio de Janeiro: Escola Politécnica, UFRJ, 2006.

MISBETT, A. Os Engenheiros também erram, **Video**, TV Educativa, 1982.

SATINDER, P.S.P. Avoiding engineering failures caused by computer. **Computers**. ASCE Journal of Computing in Civil Engineering, v.12, n.4, 1998. .

## THE IMPORTANCE OF VERIFICATION OF COMPUTER RESULTS

***Abstract:** The computer brought many advantages for the engineer design. However, the computer problems can also cause troubles and serious disasters. The idea of estimated values is very important for the engineer in order to verify the computer results. This verification is not very easy and it is necessary to take care to avoid mistakes. Structural design examples are shown in this article. The scope is to demonstrate the importance of verification of computer results. This matter is very important for the engineers and for the students, which should not trust blindly in computer results.*

***Key-words:** Computer, verification, results*