

# Coeficiente Gama Z: Procedimentos para enrijecer a estrutura e atender aos requisitos quanto à estabilidade global

//

Aplica-se às versões: EBv5, EBv5Gold, EBv6, EBv6Gold, EBv7, EBv7Gold, PMv7, PMv7G, PMv8, PMv8G

## Assunto

Como avaliar uma estrutura quanto à sua estabilidade global e o que fazer para melhorar o seu comportamento?

## Artigo

As estruturas de concreto devem ser projetadas, construídas e utilizadas de modo que, sob as condições ambientais previstas e respeitadas as condições de manutenção preventiva especificadas no projeto, conservem sua segurança, estabilidade, aptidão em serviço e aparência aceitável, durante um período pré-fixado de tempo. Além disto, devem apresentar adequado consumo de materiais e otimização dos recursos. Uma importante etapa dos procedimentos para atender a esses requisitos é a verificação da estabilidade global da estrutura e a consideração dos efeitos de 2ª ordem na estrutura.

Como definição, os esforços calculados a partir da geometria inicial da estrutura, sem deformação, são chamados efeitos de 1ª ordem. Aqueles advindos da deformação da estrutura são chamados de efeitos de 2ª ordem.

Segundo a NBR 6118:2007, item 15.4.1 os efeitos de 2ª ordem podem ser subdivididos em 3 grupos, Efeitos Globais, Locais e Localizados.

Sob a ação das cargas verticais e horizontais, os nós da estrutura deslocam-se horizontalmente. Os esforços de 2ª ordem, decorrentes desses deslocamentos, são chamados efeitos globais de 2ª ordem.

# Coeficiente Gama Z: Procedimentos para enrijecer a estrutura e atender aos requisitos quanto à estabilidade global

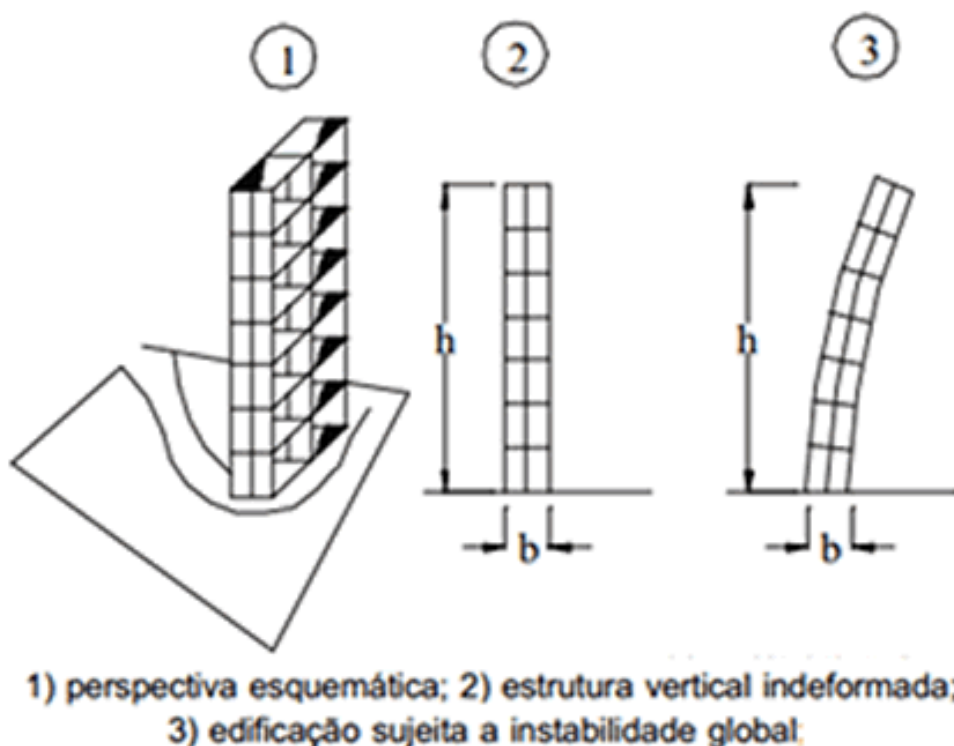


Figura 1 – Exemplo de estrutura sujeita a instabilidade global (Fonte: Roberto Chust Carvalho/Jasson R. Figueiredo Filho – Estabilidade Global das estruturas)

De acordo com o item 15.4.2 da NBR6118:2007 uma estrutura pode ser classificada quanto à sua estabilidade global como:

- Estrutura de nós fixos: Os deslocamentos horizontais dos nós são pequenos e, por decorrência, os efeitos globais de 2º ordem são desprezíveis (inferiores à 10% dos respectivos esforços de 1º ordem).

Gama-z = 1,10

- Estrutura de nós móveis: Os deslocamentos horizontais não são pequenos. Logo, os efeitos globais de 2º ordem são importantes (superiores a 10% dos respectivos esforços de 1º ordem).

Gama-z > 1,10

Recomenda-se a leitura do artigo [Considerações sobre o coeficiente gama-z](#) o qual explica em detalhes como este coeficiente é obtido.

Neste artigo será feita uma análise da estabilidade global do edifício-exemplo abaixo:

# Coeficiente Gama Z: Procedimentos para enrijecer a estrutura e atender aos requisitos quanto à estabilidade global

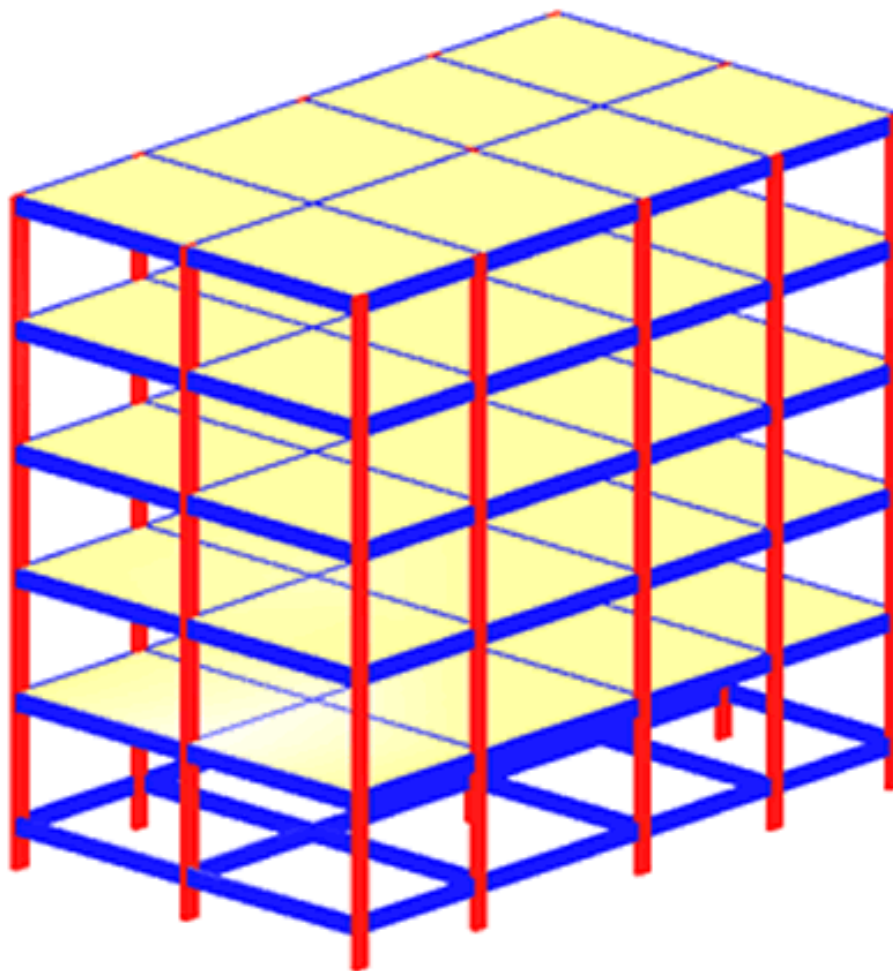


Figura 2 – Pórtico 3D da estrutura

A estrutura indicada acima é composta por um pavimento “Térreo” e cinco pavimentos “Tipo”, sendo a planta baixa de todos estes pavimentos a indicada na figura abaixo:

# Coeficiente Gama Z: Procedimentos para enrijecer a estrutura e atender aos requisitos quanto à estabilidade global

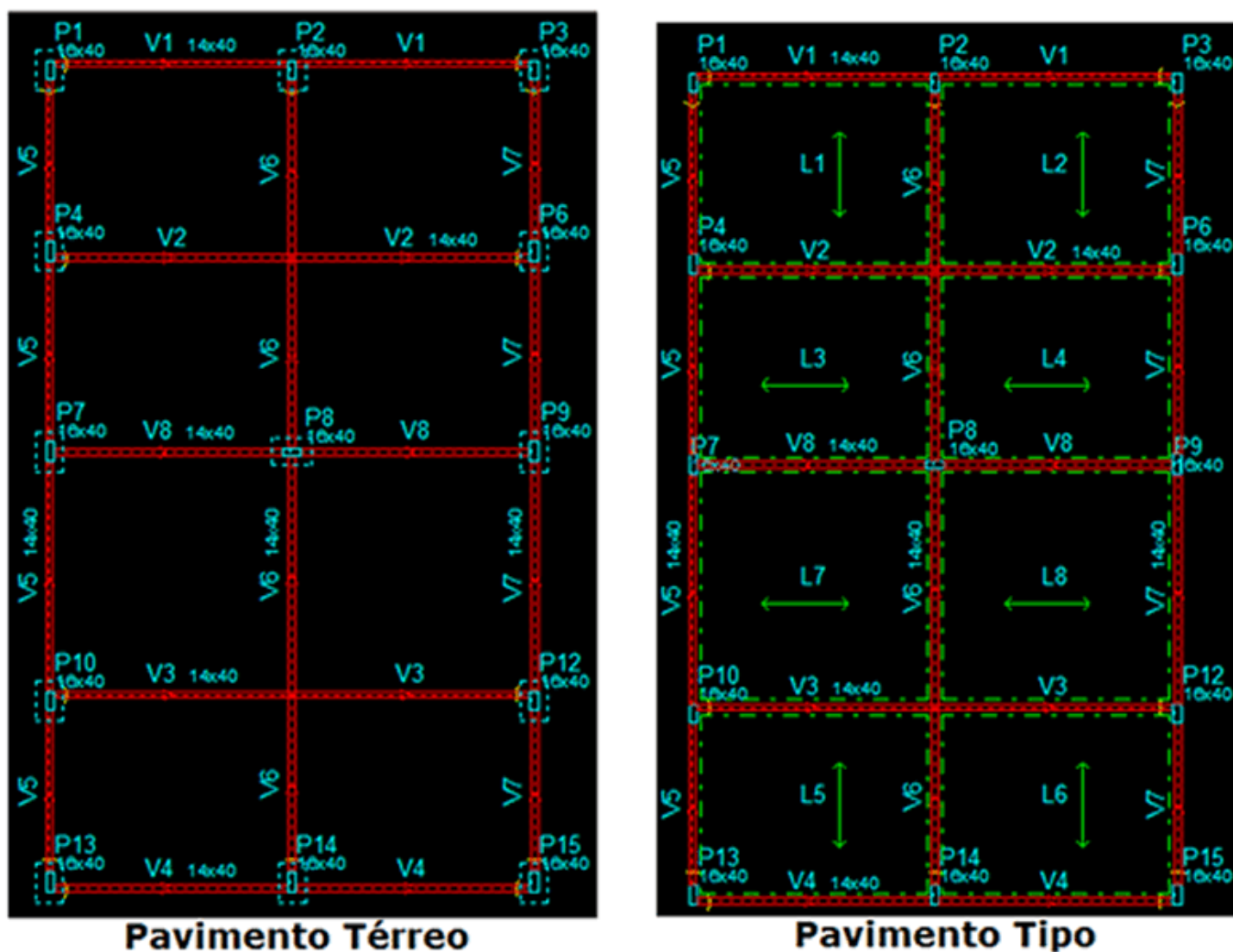


Figura 3 – Planta baixa de todos os pavimentos do projeto

Como indicado através da figura acima, inicialmente definiu-se a maioria das ligações entre as vigas e pilares da estrutura como rotulada, sendo que adotou-se seção de 14x40 pra todas as vigas do projeto e 16x40 para todos os pilares.

Ao processar a estrutura do edifício exemplo, através do botão “ Processar estrutura ” , nota-se que a mesma possui valores elevados de coeficiente gama-z nas direções X (2.43) e Y (1.36), como indicado na figura abaixo:

# Coeficiente Gama Z: Procedimentos para enrijecer a estrutura e atender aos requisitos quanto à estabilidade global

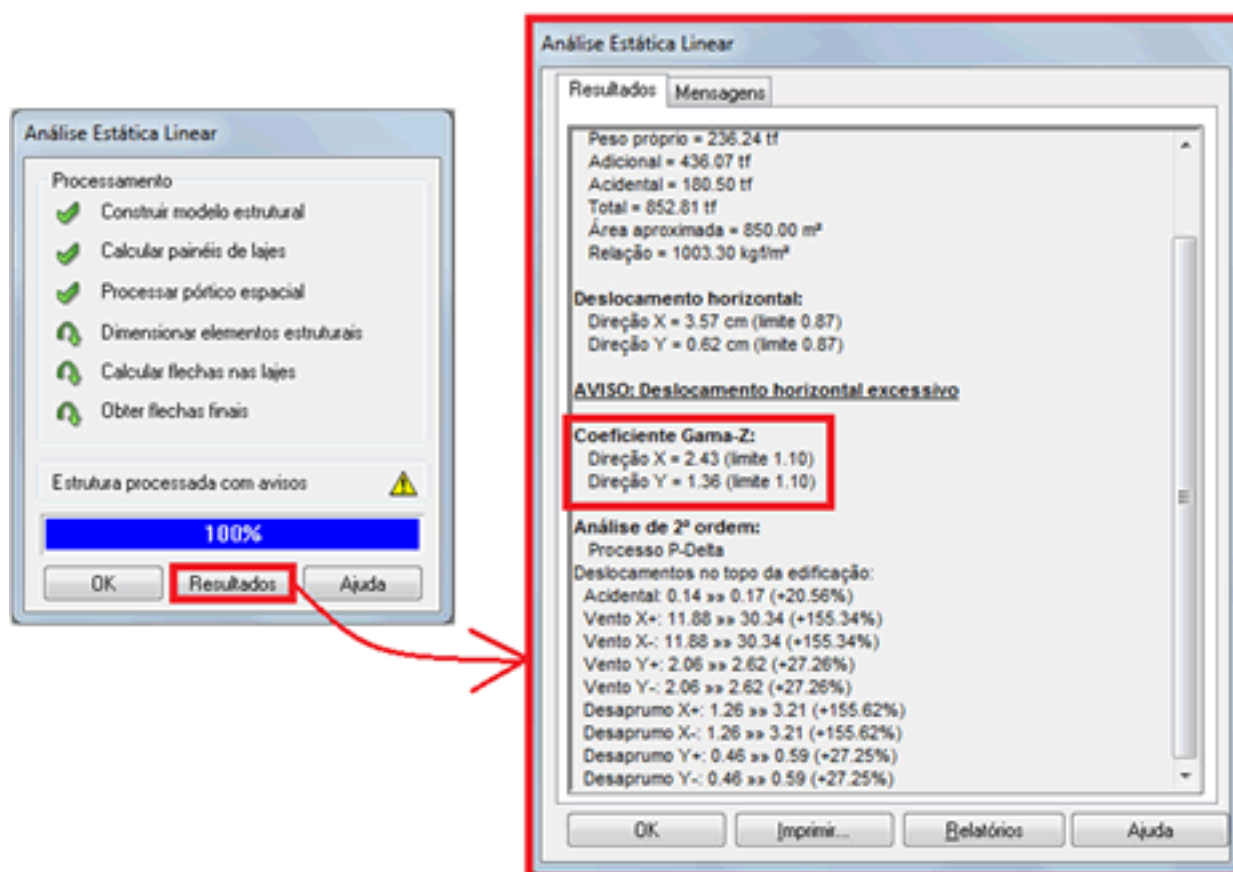


Figura 4 – Janela “ Análise Estática Linear ”

De acordo com o item 15.7.3 da NBR6118:2007 o processo de análise dos efeitos de 2ª ordem de uma estrutura só é válido para coeficiente gama-z menor ou igual à 1.30, caso o valor do coeficiente gama-z ultrapasse 1.30 recomenda-se que seja revisto o sistema de contraventamento da estrutura de forma a tornar a mesma menos deslocável.

A seguir indicam-se neste artigo possíveis procedimentos através dos quais pode-se melhorar o comportamento de uma estrutura com relação aos efeitos globais de 2ª ordem.

## 1) Modificar o vínculo de ligação entre vigas e pilares na estrutura

Como indicado na Figura 3, a maioria das ligações entre vigas e pilares na estrutura foram definidas como rotuladas, o que não é recomendável (foi empregado no modelo inicial apenas para exemplificar e evidenciar a situação).

Mais informações à respeito da consideração de ligação rotulada entre vigas e pilares podem ser obtidas nos artigos [Redistribuição de esforços](#) e [Diferenças no comportamento da estrutura de acordo com a vinculação adotada](#).

Uma forma de melhorar o comportamento da estrutura e resolver os problemas com instabilidade é enrijecer a ligação entre vigas e pilares. Isto pode ser feito através da consideração de nós semirrígidos ou engastes nas ligações entre estes elementos. A título de exemplo, definiu-se a ligação entre todas as vigas e pilares do edifício-exemplo como “ Engastada ” .

# Coeficiente Gama Z: Procedimentos para enrijecer a estrutura e atender aos requisitos quanto à estabilidade global

A partir da versão Ebv7 é possível atribuir de uma só vez as vinculações às vigas de uma estrutura, mais informações a respeito deste comando podem ser obtidas no artigo [Atribuindo vinculação às vigas](#)

Após modificar a vinculação da ligação entre todas as vigas e pilares da estrutura para engastada a mesma foi reprocessada, e foram obtidos os resultados indicados abaixo:

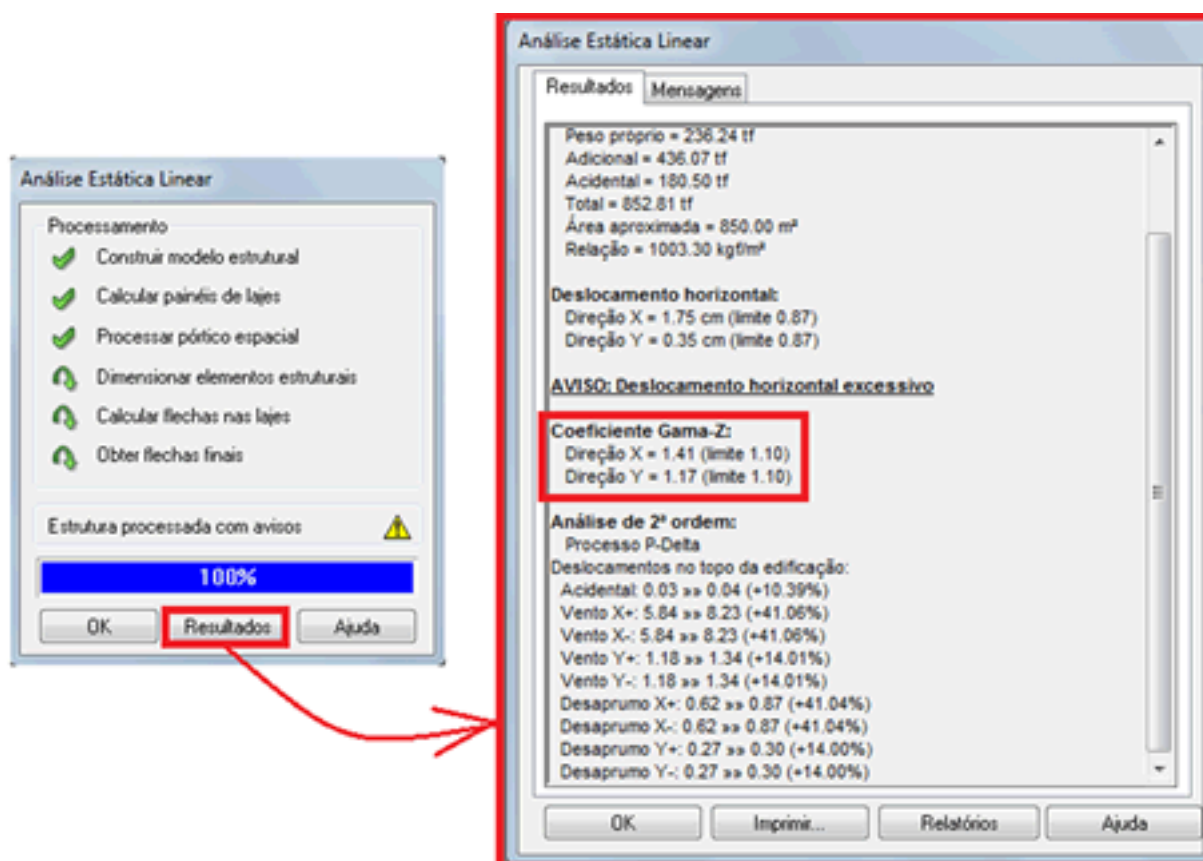


Figura 5 – Janela “ Análise Estática Linear ” após modificar a vinculação entre vigas e pilares

Como indicado na Figura 5, o coeficiente gama-z na Direção X passou a ter valor de 1.41, ou seja, continua com um valor superior à 1.30 (o que não é recomendável), enquanto que o coeficiente gama-z na Direção Y diminuiu de 1.36 para 1.17.

## 2) Modificar o posicionamento dos pilares

Analisando o lançamento da estrutura pode-se observar que a mesma é formada por 3 pórticos na Direção Y e 5 pórticos na Direção X:

# Coeficiente Gama Z: Procedimentos para enrijecer a estrutura e atender aos requisitos quanto à estabilidade global

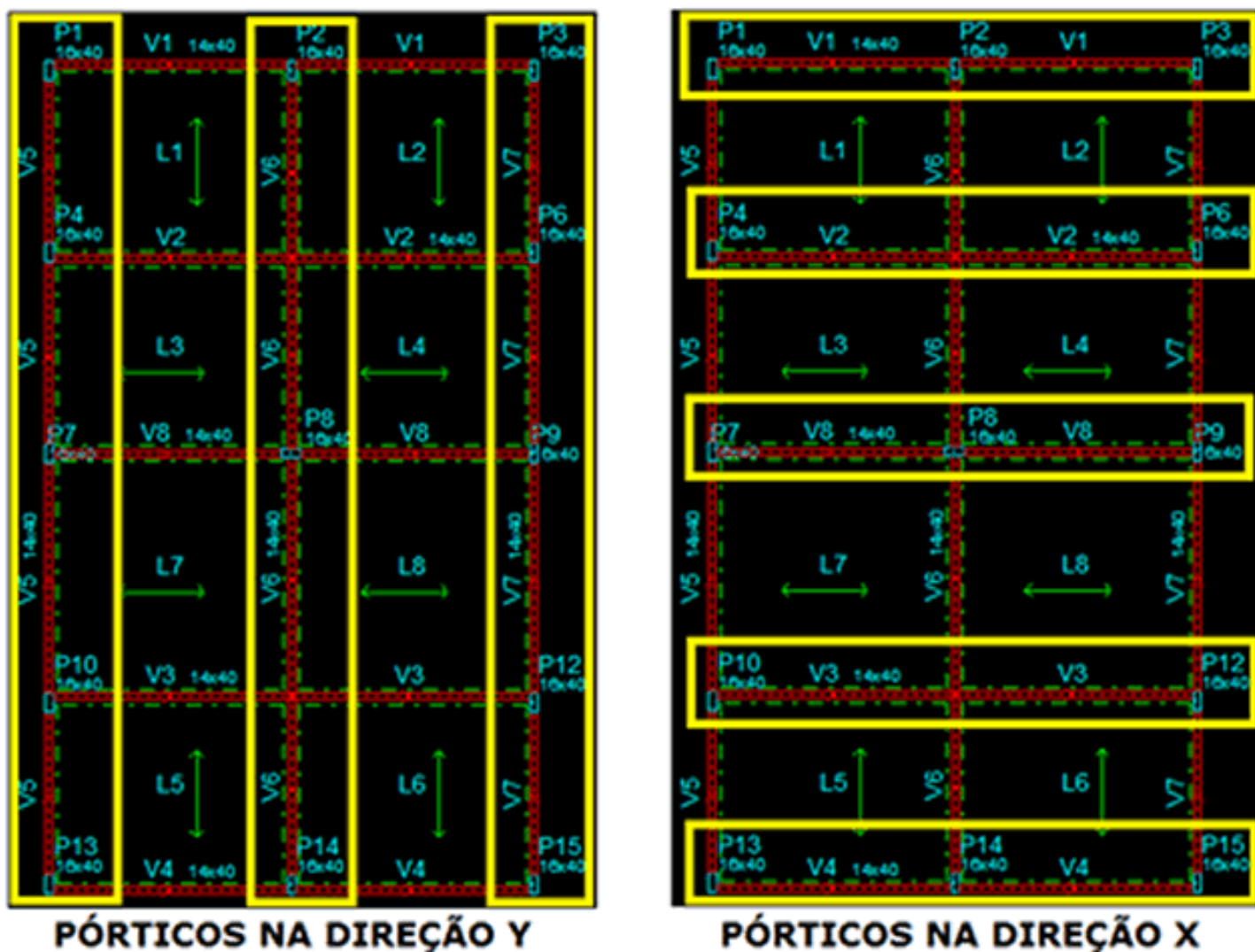


Figura 6 – Pórticos na Direção X e Pórticos na Direção Y do edifício-exemplo

Observa-se através da figura acima que a maioria dos pilares lançados na estrutura está no sentido do eixo Y (com exceção ao pilar P8 – ver Figura 3), dessa forma a rigidez do edifício na direção X é comprometida, pois há apenas um pilar posicionado nesta direção. Para demonstrar a possibilidade de melhoria na estabilidade através da alteração da orientação dos pilares, os indicados abaixo foram rotacionados para a direção X visando melhorar a rigidez do edifício aos efeitos globais de 2º ordem nesta direção:

# Coeficiente Gama Z: Procedimentos para enrijecer a estrutura e atender aos requisitos quanto à estabilidade global

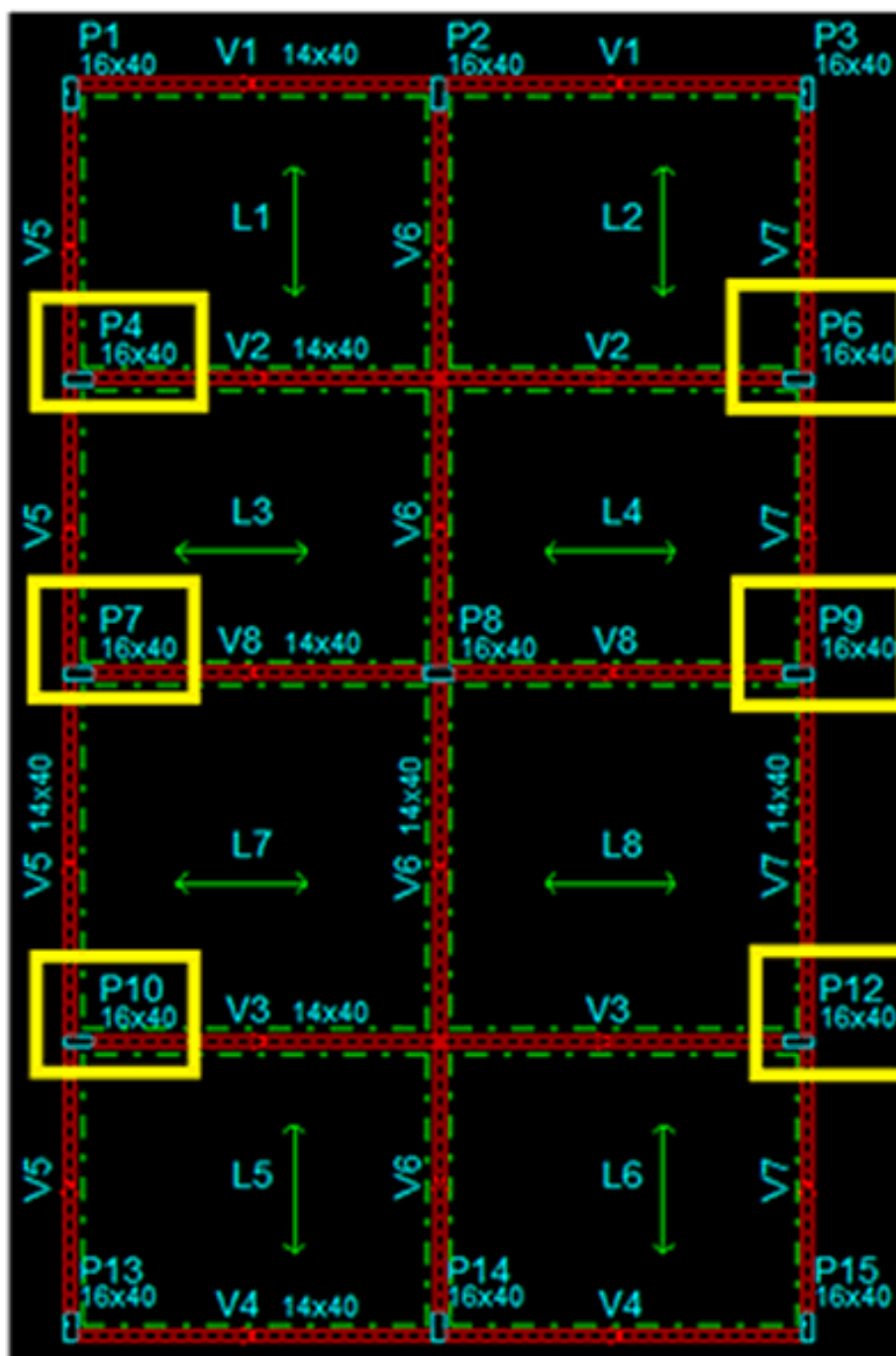


Figura 7 – Pilares rotacionados para a direção X

Mais informações à respeito do comando utilizado para rotacionar a seção de um pilar podem ser obtidas no artigo [Rotacionando pilares sem perder o alinhamento dos elementos](#). Recomenda-se também a leitura do artigo [Alterando a prumada de pilares](#), o qual indica como copiar as modificações de um pilar em determinado pavimento para os demais pavimentos de interesse.

Após processar a estrutura indicada na Figura 7 obtêm-se os seguintes valores do coeficiente gama-z:

- Direção X = 1.32



# Coeficiente Gama Z: Procedimentos para enrijecer a estrutura e atender aos requisitos quanto à estabilidade global

- Direção Y = 1.29

Pode-se ver que o coeficiente gama-z na Direção X diminuiu devido ao fato de que alguns pilares foram reposicionados para a direção X da estrutura aumentando a rigidez do edifício nesta direção. Porém, ao reposicionar os pilares indicados na Figura 7 para a direção X, a rigidez do edifício na direção Y diminui, fazendo com que o coeficiente gama-z nesta direção aumente. Logo, deve-se analisar com cautela estas modificações de modo a não comprometer a estabilidade para nenhuma das direções da edificação.

### 3) Lançamento de novos elementos (vigas ou pilares) de forma a enrijecer os Pórticos que formam a estrutura

Esta é uma opção viável quando a arquitetura permite o lançamento de um novo elemento em determinado ponto da estrutura.

Analisando o lançamento do pavimento “ Tipo ” da estrutura nota-se que há dois pontos da mesma onde há ligação direta entre vigas (ligação viga-viga). Estes encontros entre vigas em alguns casos podem ter deslocamentos consideráveis, devido à isso são locais com menor rigidez na estrutura e que podem influenciar na análise global da mesma.

# Coeficiente Gama Z: Procedimentos para enrijecer a estrutura e atender aos requisitos quanto à estabilidade global

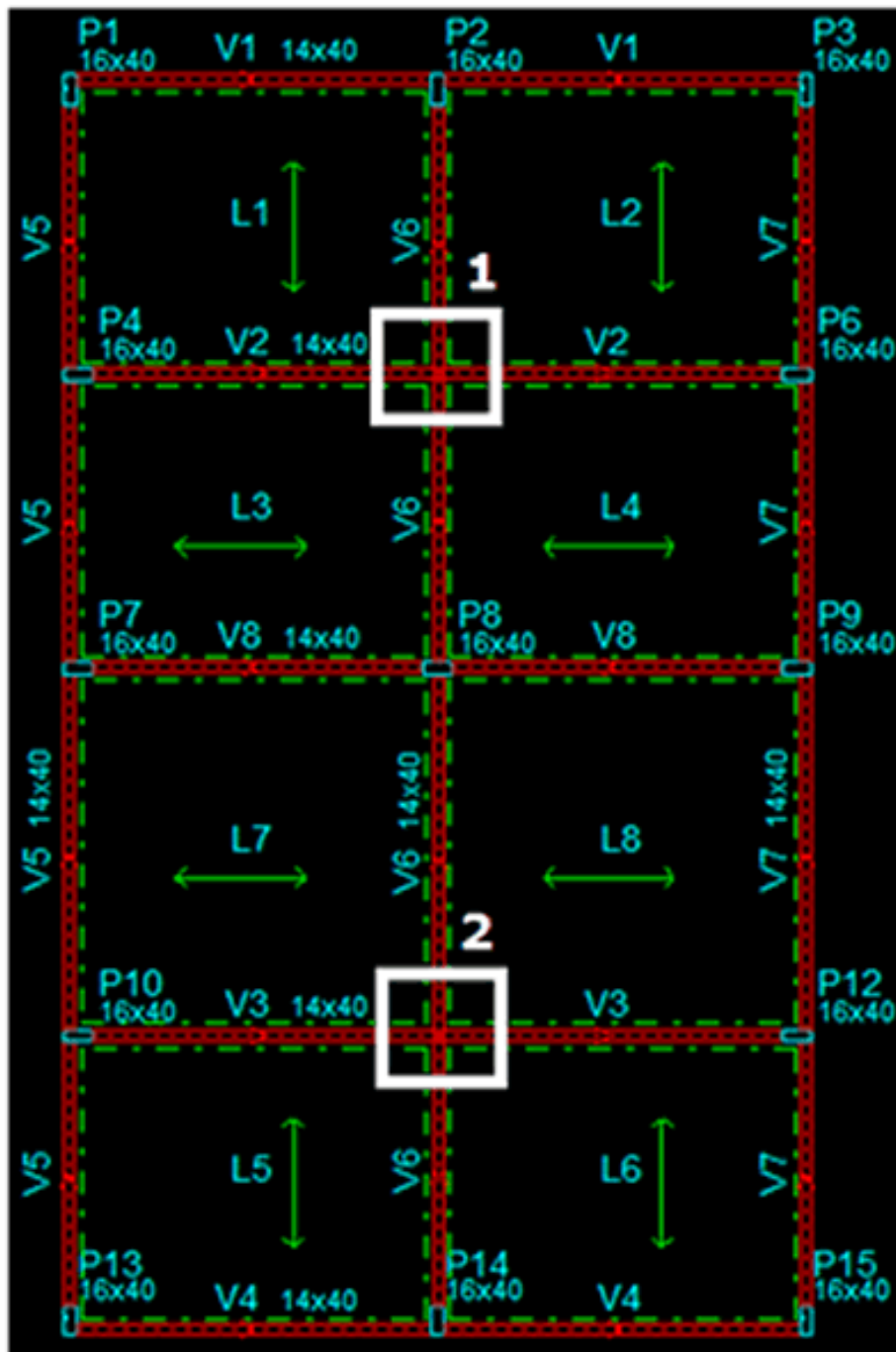


Figura 8 – Pontos de ligação viga-viga

Através da deformação da viga V2 da Figura 8 pode-se verificar que o ponto 1 indicado na figura acima possui um deslocamento considerável (da ordem de 3.3cm):

# Coeficiente Gama Z: Procedimentos para enrijecer a estrutura e atender aos requisitos quanto à estabilidade global

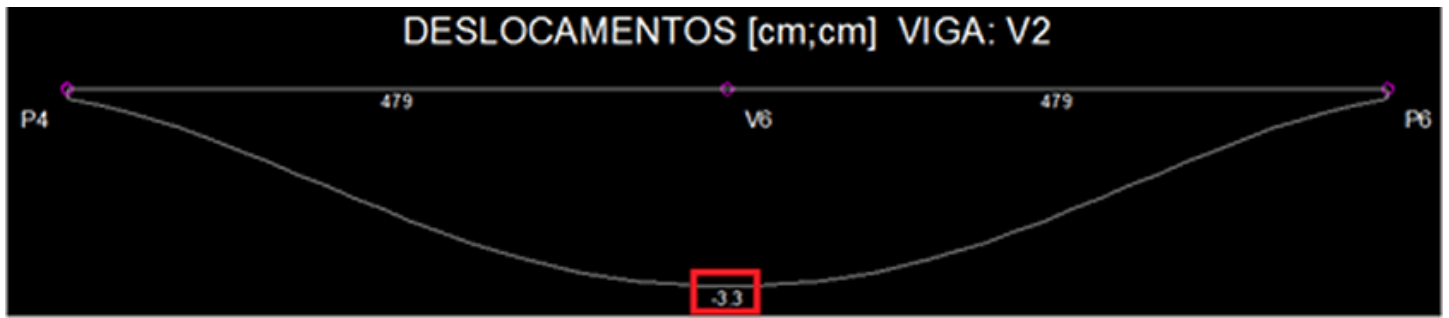


Figura 9 – Deslocamentos da viga V2

À título de exemplo foram lançados pilares nas posições 1 e 2 (P16 e P17) indicados na figura abaixo:

# Coeficiente Gama Z: Procedimentos para enrijecer a estrutura e atender aos requisitos quanto à estabilidade global

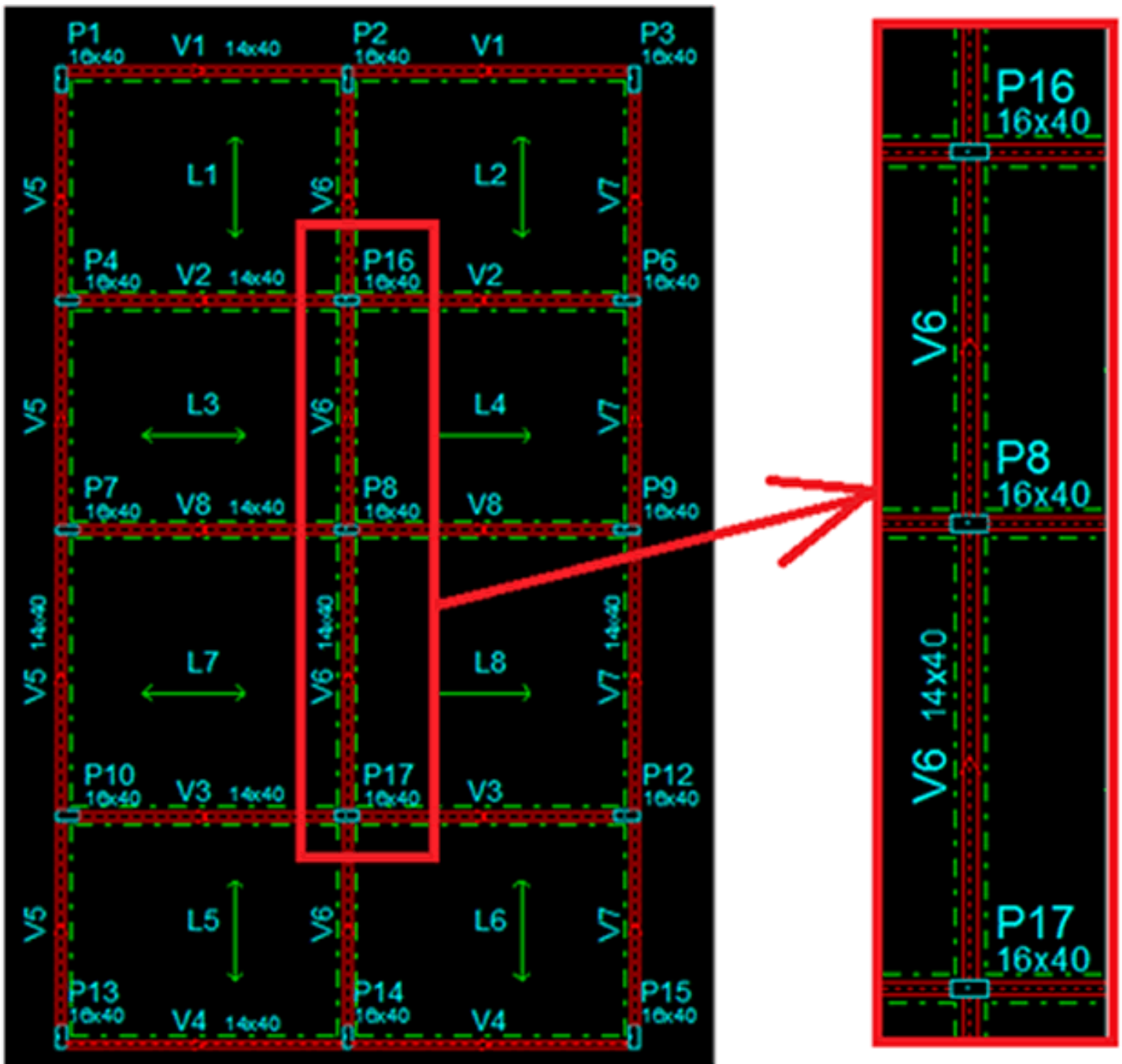


Figura 10 – Lançamento da estrutura modificado

Após modificar o lançamento da estrutura (de acordo com a Figura 10) o deslocamento máximo da viga V2 diminuiu para 0.4cm, como indicado na figura abaixo:

# Coeficiente Gama Z: Procedimentos para enrijecer a estrutura e atender aos requisitos quanto à estabilidade global

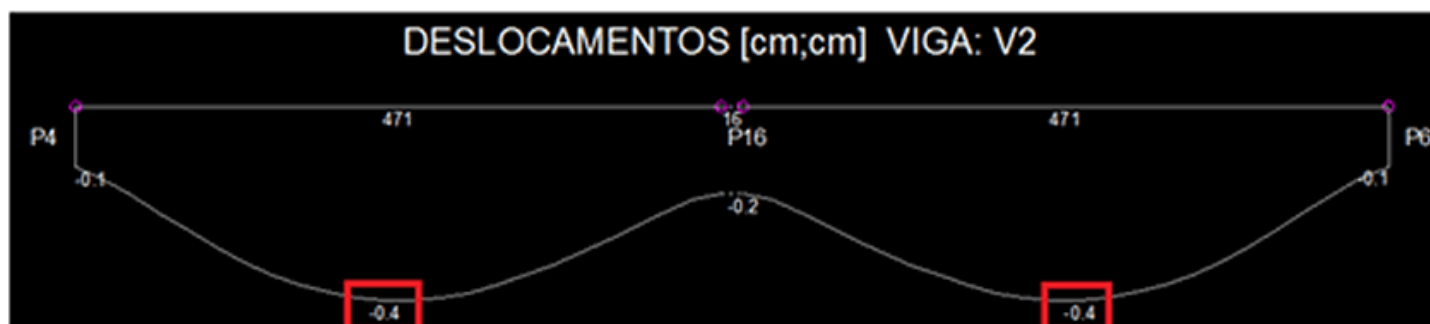


Figura 11 – Deslocamentos da viga V2 após o lançamento de um novo pilar na posição 1

Após processar novamente a estrutura obtêm-se os seguintes valores do coeficiente gama-z:

- Direção X = 1.17

- Direção Y = 1.20

## 4) Aumentar a seção dos elementos (vigas ou pilares)

Aumentando a seção das vigas e/ou pilares que compõe a estrutura aumenta-se, conseqüentemente, o momento de inércia destes elementos, o que favorece um aumento de rigidez da estrutura como um todo. À título de exemplo aumentou-se a seção de todos os pilares que compõe a estrutura para 16x50 e processou-se novamente a estrutura tendo-se obtido os seguintes valores do coeficiente gama-z:

- Direção X = 1.15

- Direção Y = 1.17

Aumentando-se também a seção de todas as vigas para 14x50 e processando novamente a estrutura, obtêm-se os seguintes valores do coeficiente gama-z:

- Direção X = 1.09

- Direção Y = 1.12

Sabendo-se que o coeficiente gama-z máximo nesta estrutura é de 1.12 a mesma é classificada com relação à sua estabilidade global como estrutura de nós móveis. Caso deseje-se analisar a estrutura com este valor de coeficiente gama-z deve-se, de acordo com o item 15.4.2 da NBR6118:2007, levar em consideração os efeitos de 2ª ordem globais. Para isso deve-se habilitar o item “ Utilizar o processo P-Delta ” em “ Configurações – Análise ” .

## 5) Modificar o vínculo de apoio das fundações para “ Engastado ”

O vínculo de apoio de uma fundação é definido como o tipo de ligação que há entre a fundação e o solo no qual a mesma está assentada. Definir o vínculo de apoio de uma fundação como “ Engastado ” significa restringir este elemento à rotação, ou seja, torná-lo mais rígido resultando em

# Coeficiente Gama Z: Procedimentos para enrijecer a estrutura e atender aos requisitos quanto à estabilidade global

uma estrutura mais rígida, o que pode melhorar o comportamento da mesma frente à estabilidade global da edificação.

O vínculo de apoio de uma fundação pode ser modificado através do item “ Vínculo apoio ” da janela de edição da mesma, como indicado na figura abaixo:

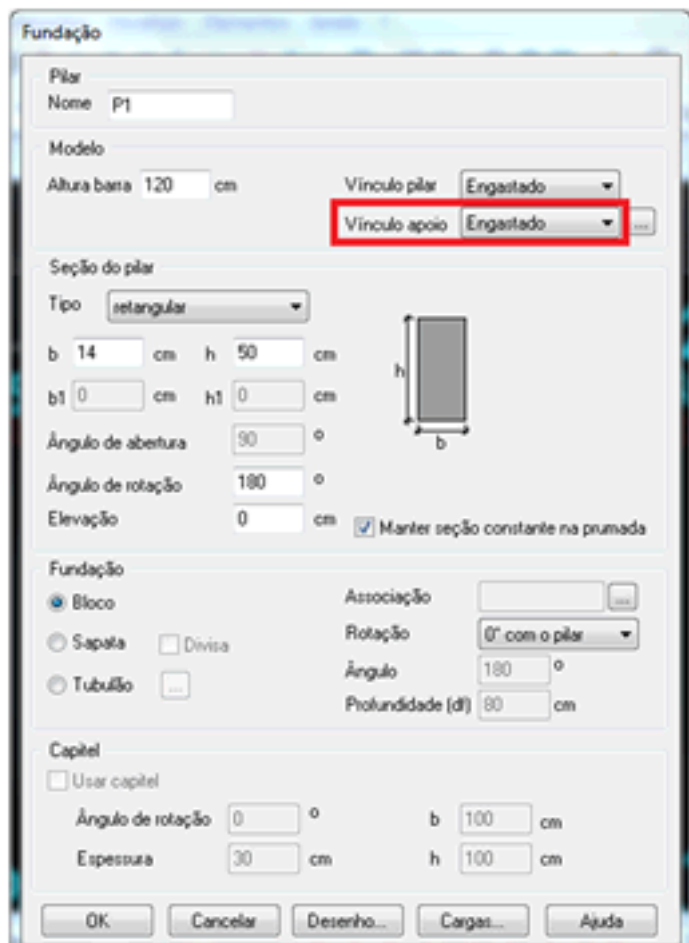


Figura 12 – Janela de edição da fundação

Modificando o vínculo de apoio de todas as fundações do projeto para “ Engastado ” processou-se novamente a estrutura, tendo-se obtido os seguintes valores do coeficiente gama-z:

- Direção X = 1.07
- Direção Y = 1.09

Sabendo-se que o coeficiente gama-z máximo nesta estrutura é de 1.09 a mesma é classificada com relação à sua estabilidade global como estrutura de nós fixos. De acordo com o item 15.4.2 da NBR6118:2007 os efeitos de segunda ordem global neste caso podem ser desprezados, para isso pode-se desabilitar o item “ Utilizar o processo P-Delta ” em “ Configurações – Análise ” .

Deve-se ressaltar que ao modificar o vínculo de apoio de uma fundação para “ Engastado ” a mesma passa a absorver maiores esforços, o que pode fazer com que seja necessária uma fundação com maior volume para absorver os esforços a que será submetida, deve-se avaliar com cuidado

# Coeficiente Gama Z: Procedimentos para enrijecer a estrutura e atender aos requisitos quanto à estabilidade global

também se o solo no qual a fundação será assentada tem capacidade para absorver os esforços a que estará submetido, principalmente quanto à excentricidade de carga resultante da presença dos momentos fletores.

O travamento que as vigas do baldrame proporcionam também é importante na análise da estabilidade global do edifício. Para demonstrar, ainda considerando o vínculo de apoio das fundações como “ Engastado ”, caso não houvessem vigas lançadas no pavimento “ Térreo ” (ver Figura 13) teríamos os seguintes valores do coeficiente gama-z:

- Direção X = 1.08

- Direção Y = 1.12



Figura 13 – Lançamento do pavimento “ Térreo ” sem vigas

## Estabilidade global para estruturas não reticuladas (lajes planas)

De acordo com o item 15.5.3 da NBR6118 o coeficiente gama-z é válido apenas para estruturas reticuladas (sistemas constituídos por barras ligadas entre si pelas suas extremidades).

# Coeficiente Gama Z: Procedimentos para enrijecer a estrutura e atender aos requisitos quanto à estabilidade global

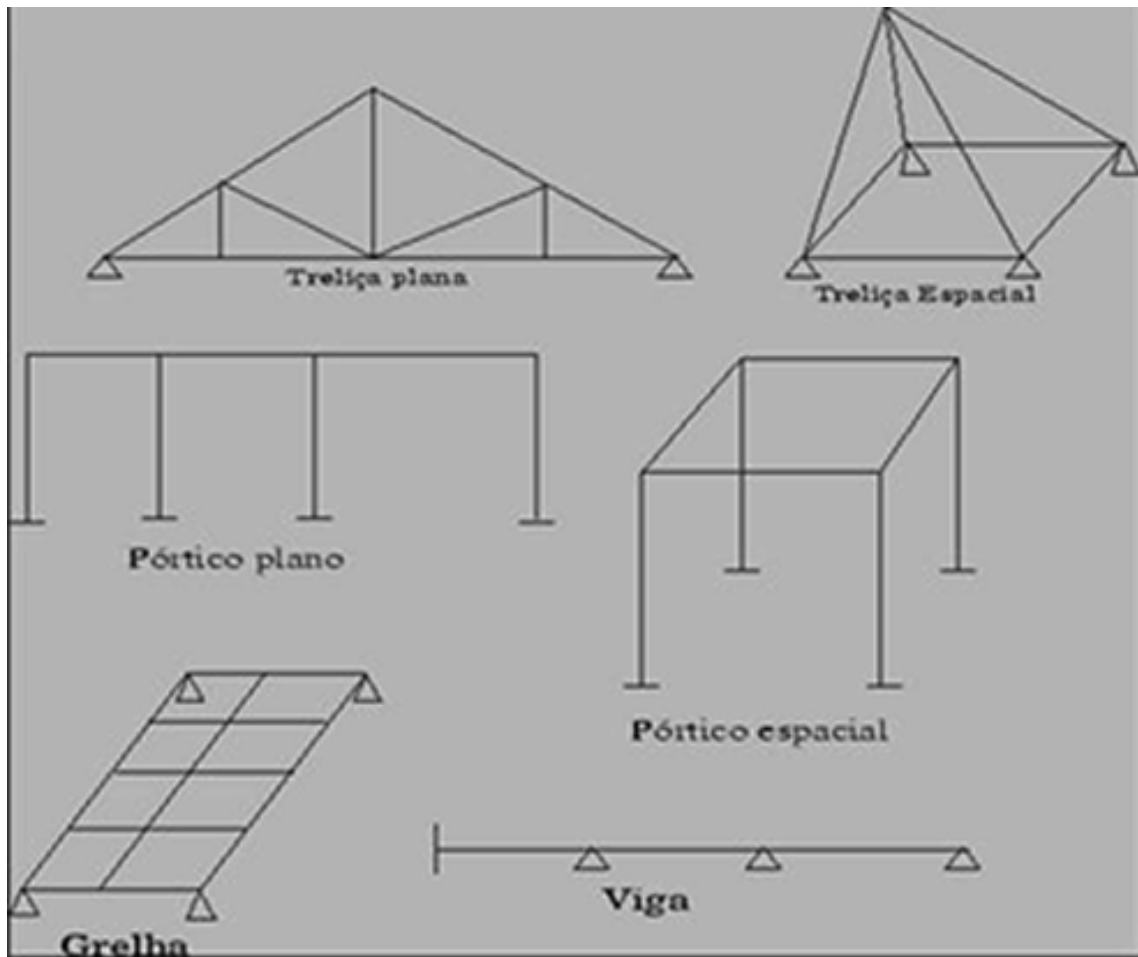


Figura 14 – Exemplos de estruturas reticuladas (Marcus Vinícius Silva Cavalcanti – Análise Matricial de Estruturas Reticuladas)

Para o caso de estruturas não reticuladas, como lajes planas (lajes apoiadas diretamente sobre pilares), o parâmetro mais adequado para analisar este tipo de estrutura com relação à estabilidade global é o Processo P-Delta, nestes casos deve-se ignorar os valores obtidos para o coeficiente gama-z na estrutura nas direções X e Y e levar em consideração apenas os valores obtidos através do Processo P-Delta.



# Coeficiente Gama Z: Procedimentos para enrijecer a estrutura e atender aos requisitos quanto à estabilidade global



Figura 15 – Exemplo de estrutura não reticulada (laje plana) - (Fonte: ATEX Brasil – SEDE COPAZA - SC)

## Considerações Finais

Sabe-se que toda estrutura quando submetida à ações apresenta acréscimos de esforços devido aos efeitos de 2º ordem global, cabe ao engenheiro avaliar cuidadosamente a importância destes acréscimos. Através deste artigo procurou-se indicar como avaliar os efeitos de 2º ordem global de acordo com a sua importância (estrutura de nós fixos/estrutura de nós móveis) e possíveis formas de enrijecer uma estrutura de forma a melhorar o seu comportamento global, a falta de uma análise criteriosa da estabilidade global pode ser a causa de futuros problemas graves na estrutura, sendo desta forma fundamental para garantir a segurança e condições adequadas de uso da mesma.

## Referências Bibliográficas

[1] NBR 6118 / 2007;

[2] CARVALHO, Roberto Chust; FILHO, Jasson R. Figueiredo. “ Apostila de Estabilidade global das estruturas ” ;

ID de solução único: #2124

Autor: : Eng. ° André Kirsten

Última atualização: 2017-12-19 19:05