

## Desempenho em Serviço

Durante a elaboração de um projeto estrutural, a verificação do desempenho em serviço de um edifício de concreto armado é tão importante quanto à avaliação da capacidade resistente da sua estrutura. Ao se atingir um Estado Limite de Serviço (ELS) pode-se inviabilizar o uso da construção da mesma forma quando um Estado Limite Último (ELU) é alcançado.

Uma avaliação imprecisa do funcionamento em serviço de uma edificação pode ocasionar o surgimento de patologias comuns no nosso dia-a-dia, tais como: flechas excessivas, fissuração visível, vibrações incômodas, etc.

Dessa forma, é sempre conveniente efetuar um cálculo que represente, ao máximo, as condições as que a estrutura estará sujeita na vida real.

Para tanto, deve-se fazer o uso de análises mais rebuscadas e direcionadas para uma boa avaliação do desempenho em serviço da estrutura.

Nos Sistemas TQS, há dois modelos específicos para análise do comportamento em serviço de um edifício de concreto armado, um destinado para verificação da estrutura como um todo e outro para avaliação de pavimentos. O primeiro é baseado no modelo de pórtico espacial e o outro em grelha.

Os seguintes Estados Limites de Serviço previstos na NBR 6118 podem ser verificados nos Sistemas TQS:

Estado Limite de Deformações Excessivas (ELS-DEF) em pavimentos de concreto armado e da estrutura do edifício como um todo (deslocamentos laterais).

Estado Limite de Abertura de Fissuras (ELS-W) em pavimentos de concreto armado.

Estado Limite de Vibrações Excessivas (ELS-VE) em pavimentos de concreto armado e da estrutura do edifício como um todo.

## Pórtico Espacial ELS

O Pórtico ELS é um modelo espacial que possui rigidezes adequadas para análise em serviço da estrutura do edifício como um todo. Ao contrário do pórtico ELU em que a não-linearidade física é definida a partir de coeficientes aproximados, no pórtico ELS são definidas as rigidezes brutas, conforme especificado no item 14.5.2 da NBR 6118.

O pórtico ELS é indicado para avaliação dos deslocamentos laterais no edifício provocados por ações horizontais, como o vento, por exemplo. A tabela 13.2 da NBR 6118 estabelece limites práticos que necessitam ser atendidos no cálculo da estrutura. Essa verificação é realizada de forma automática no sistema.

## Geração e processamento

A criação de um pórtico ELS para cada edifício é default, mas pode ser editada por um critério geral do Pórtico-TQS, em "ELU".

A geração e o processamento do pórtico ELS são realizados de forma automática durante o processamento global.

Essas etapas também podem ser executadas localmente dentro do subsistema Pórtico-TQS.

## Resultados

### Deslocamentos horizontais

Os principais resultados extraídos do processamento do pórtico ELS a serem avaliados pelo Engenheiro são:

Deslocamento horizontal absoluto no topo do edifício provocado pela ação horizontal (ex.: vento).

Deslocamento horizontal entre pisos provocado pela ação horizontal (ex.: vento).

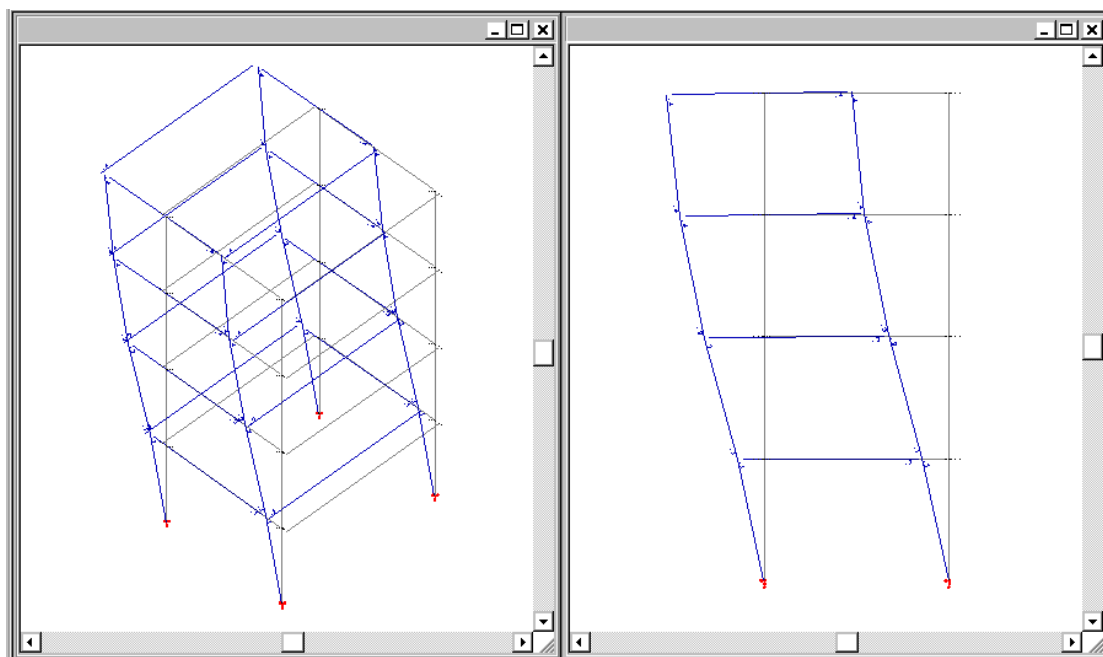
Esses resultados podem ser analisados no visualizador de pórtico espacial e em relatórios (relatório de estabilidade

global e resumo estrutural).

## Visualizador de pórtico espacial

Todos os resultados do pórtico ELS podem ser analisados graficamente no visualizador de pórticos, acionado pelo comando:

1. No Gerenciador do TQS, na aba "Sistemas", clique no botão "Pórtico-TQS"
2. Na aba "Pórtico-TQS" clique no botão "Visualizador de Pórticos"
3. Escolha a opção "Estado Limite Último (ELU)"



## Parâmetros de estabilidade global

Na parte final relatório de parâmetros de estabilidade, há um resumo dos deslocamentos máximos absolutos (no topo do edifício) e entre pisos, obtidos para cada sentido de atuação dos casos de vento. Os deslocamentos são expressos em valores frequentes ( $\psi_1 = 0,3$ ).

Os deslocamentos horizontais máximos obtidos são automaticamente comparados com os limites estabelecidos pela NBR 6118, cujos valores podem ser editados nos critérios gerais de Pórtico-TQS, em "ELS".

## Resumo estrutural

No resumo estrutural, item "Desempenho em serviço", são emitidos os valores dos deslocamentos máximos absoluto e entre pisos obtidos.

## Combinações ELS e efeitos de 2ª ordem

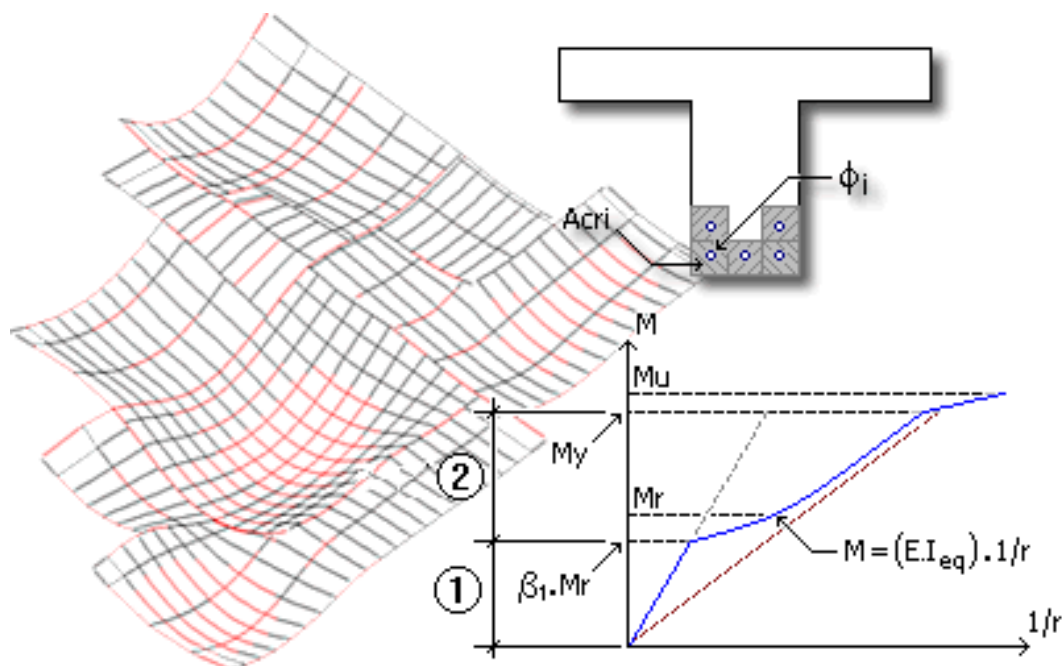
Ao invés dos valores frequentes resultantes da aplicação isolada do vento, os deslocamentos obtidos nas combinações de serviço presentes no pórtico ELS podem ser tomados como base para comparação com os limites estabelecidos pela NBR 6118. Nesse caso, incluem-se os deslocamentos horizontais provocados pelas cargas verticais.

Essa condição é controlada por um critério geral de Pórtico-TQS, em "ELS".

Nessas combinações de serviço (ELS), a atuação concomitante de ações verticais e horizontais ocasiona o aparecimento de efeitos de 2ª ordem. Esses efeitos reais são calculados por uma análise não-linear geométrica (P-), que pode ser desativada por um critério geral de Pórtico-TQS, em "ELS".

## Grelha Não-Linear

Trata-se de um modelo destinado para o cálculo de flechas e aberturas de fissuras em pavimentos de concreto armado. Considera a não-linearidade física que, nesse tipo de estrutura, é governada preponderantemente pela fissuração do concreto. Também leva em conta a presença de armaduras e a deformação lenta.



- (1) Estádio I
- (2) Estádio II

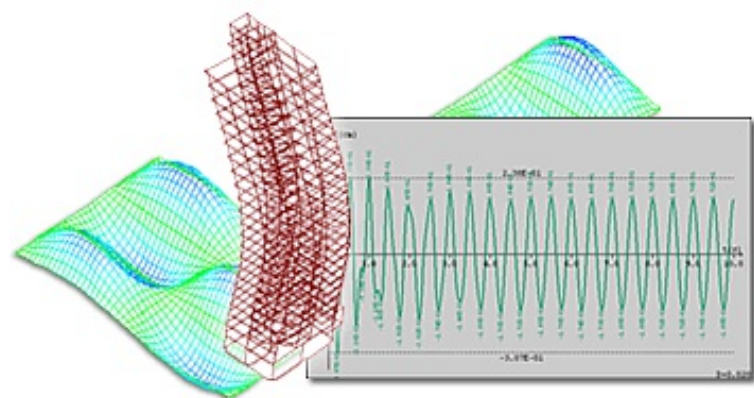
## Análise simplificada

É possível fazer uma estimativa muito simplificada das flechas em pavimentos de concreto armado por meio do modelo de grelha comum (análise linear). Nesse caso, é fundamental definir corretamente o valor do “Multiplicador de flecha elástica para simular deformação lenta”, presente nos critérios gerais de Grelha-TQS, em “Deformação lenta”.

## Análise de Dinâmica

Além da verificação de deslocamentos e aberturas de fissuras, tem-se tornado cada vez mais comum a análise de vibrações na estrutura do edifício de concreto. O objetivo é avaliar se a resposta da estrutura em serviço perante a atuação de ações externas pode causar desconforto aos usuários. Essas ações podem ser: o movimento de pessoas, o funcionamento de uma máquina e uma rajada de vento.

Os Sistemas TQS possui recursos que permitem avaliar se a presença dessas ações dinâmicas pode originar vibrações na estrutura capazes de gerar um desconforto de seus usuários.



## Conforto Perante Rajadas de Vento

*Será que quando o vento incidir nesse edifício as pessoas sentirão o prédio vibrar?*

Essa é uma pergunta bastante comum em projetos de edifícios, notadamente em casos de estruturas altas e esbeltas. Sob condições de serviço, as vibrações originadas por rajadas de vento podem causar certo desconforto dos ocupantes, principalmente nos andares superiores.

A NBR 6123, seção 9 "Efeitos dinâmicos devidos à turbulência atmosférica", estabelece um procedimento baseado numa análise dinâmica que permite avaliar se as oscilações provocadas pelo vento em edificações destinadas a ocupação humana, podem ou não causar desconforto de seus ocupantes.

Esse processo foi incorporado nos Sistemas TQS pelo Eng. Sérgio Pinheiro Medeiros. E como resultado, pode-se analisar facilmente o conforto perante a ação do vento em um edifício por meio da verificação das acelerações calculadas pelo programa.

Os resultados obtidos por essa análise são apresentados no Resumo Estrutural.

De acordo com a aceleração calculada para cada sentido de vento aplicado ao edifício, é feita uma classificação de acordo com a percepção humana. Os níveis são: imperceptível, perceptível, incômoda, muito incômoda e intolerável. As acelerações limites entre esses níveis, respectivamente, são:  $0,05 \text{ m/s}^2$ ,  $0,15 \text{ m/s}^2$ ,  $0,5 \text{ m/s}^2$  e  $1,5 \text{ m/s}^2$ .