

## Novo critério para consideração da deformação lenta

### Mensagem enviada à Comunidade-TQS

Gostaria de chamar a atenção para o critério de deformação lenta na versão 13.3. Este critério multiplica todos os casos de deformação do grelha inclusive o caso 13 que já simula a mesma em projetos com protensão.

Nelson, a TQS poderia mudar para que esse critério só multiplicasse o caso 1?

### Comentário 1

Muito boa a sua observação. Embora tenhamos acrescentado este item na documentação da Versão 13.3, muitos colegas não tomam conhecimento das novidades.

Estamos em época de Natal. Eu sempre comento que muitos colegas ainda acreditam em Papai Noel. Uma crença similar à do Papai Noel acontece no cálculo de flechas em lajes e vigas em regime puramente elástico, seção plena etc.

Depois de muitos anos, talvez décadas, tomando contato com projetos onde o nosso cliente acreditava piamente nas deformações elásticas como sendo as deformações finais, resolvemos acrescentar o critério abaixo no sistema.

É importante observar que os sistemas TQS possuem um programa específico para cálculo de flechas considerando a deformação lenta, fluência, etapas de carregamento, seção fissurada, processo incremental etc, que fornece o valor da flecha numa laje c/ou viga de um pavimento integrado, com uma precisão muito boa. Trata-se do processamento da grelha considerando os efeitos da não linearidade física e geométrica. A análise e verificação de flecha sob as alvenarias também é efetuada. Isto foi disponibilizado na versão V11, quando da adaptação à NBR 611:2003. Eu imaginei, naquela oportunidade, que todos iriam processar suas lajes com este novo sistema. Não é o que tem acontecido na prática. Temos notado que os clientes processam a grelha não linear física e geométrica apenas para o pavimento tipo e no final do projeto. Na etapa de concepção do projeto, a flecha analisada é a do programa de grelha e/ou aquela obtida nas expressões empíricas dos métodos simplificados. Evidentemente que o processamento da grelha não linear física e geométrica demora muito mais que o processamento de uma grelha comum (10 vezes mais se o incremento de carga for a cada 1/10).

Para evitar esta surpresa, de se obter uma flecha inicial menor e, posteriormente, quando se processar a grelha não linear física e geométrica obter uma flecha muito maior, é que introduzimos este coeficiente para majorar as flechas elásticas (grelha e/ou processos simplificados). O fator que você apresentou abaixo, no valor de 2.5, é apenas uma sugestão inicial. Cada usuário pode e deve calibrar esta grandeza conforme sua experiência e seu tipo de projeto.

Com isto esperamos que aqueles "milagres" que ocorriam em lajes de espessuras muito reduzidas "passando" no quesito flecha não mais aconteçam. Lembra-se do método de cálculo de lajes por ruptura que dava momentos fletores menores, armação correspondente e flecha reduzida? Esta época já passou nos procedimentos de elaboração de projetos.

Este critério também pode ser feito igual a 1., caso onde você tem protensão na laje, mas vou estudar melhor a sua solicitação para apenas os carregamentos necessários à verificação do Estado Limite de Serviço (ELS).

Nelson Covas

TQS - SP

### Comentário 2

Realmente o grelha não linear é uma excelente ferramenta de análise, nos oferecendo a verificação das deformações

em vigas e lajes de forma mais exata e confiável.

Temos usado ela em quase todos os casos (exceto em pavimentos com elementos protendidos), sua resposta para a questão da análise das deformações me fez questionar:

1- O grelha não linear considera o carregamento da protensão?

2- Se não posso usar o grelha não linear para elementos protendidos, na verificação das deformações do grelha linear, nossos casos e combinações já não previam as deformações lentas?

Não querendo voltar a um assunto que considero sem futuro, mas, observo que alguns engenheiros que trabalham analisando deformação elástica sem considerar efeitos de fissuração e deformação lenta, não o fazem por desconhecimento de causa, e sim por uma busca infame de alcançar valores para `vender` um projeto mais barato, sem muitas vezes observar prescrições normativas e esforços solicitantes, fazendo vista grossa para o imenso número de patologias e até mesmo ruínas que convivemos nesse nosso Brasil. Patologias que depreciam nossos trabalhos, nossa classe e nossa engenharia.

Deste ponto de vista considero o multiplicador uma ferramenta necessária de existir puramente para trabalhos de verificações, ressaltando que para dimensionamento usássemos o grelha não linear e os casos de carregamentos para o protendido.

## Comentário 3

Vamos dividir esta mensagem em 2 partes sucintas para responder as suas questões:

### Item A) Respostas voltadas à aplicação dos sistemas TQS

1- O grelha não linear considera o carregamento da protensão?

R: Atualmente não. No futuro chegaremos a integrar a protensão na análise de pavimentos considerando a não linearidade física.

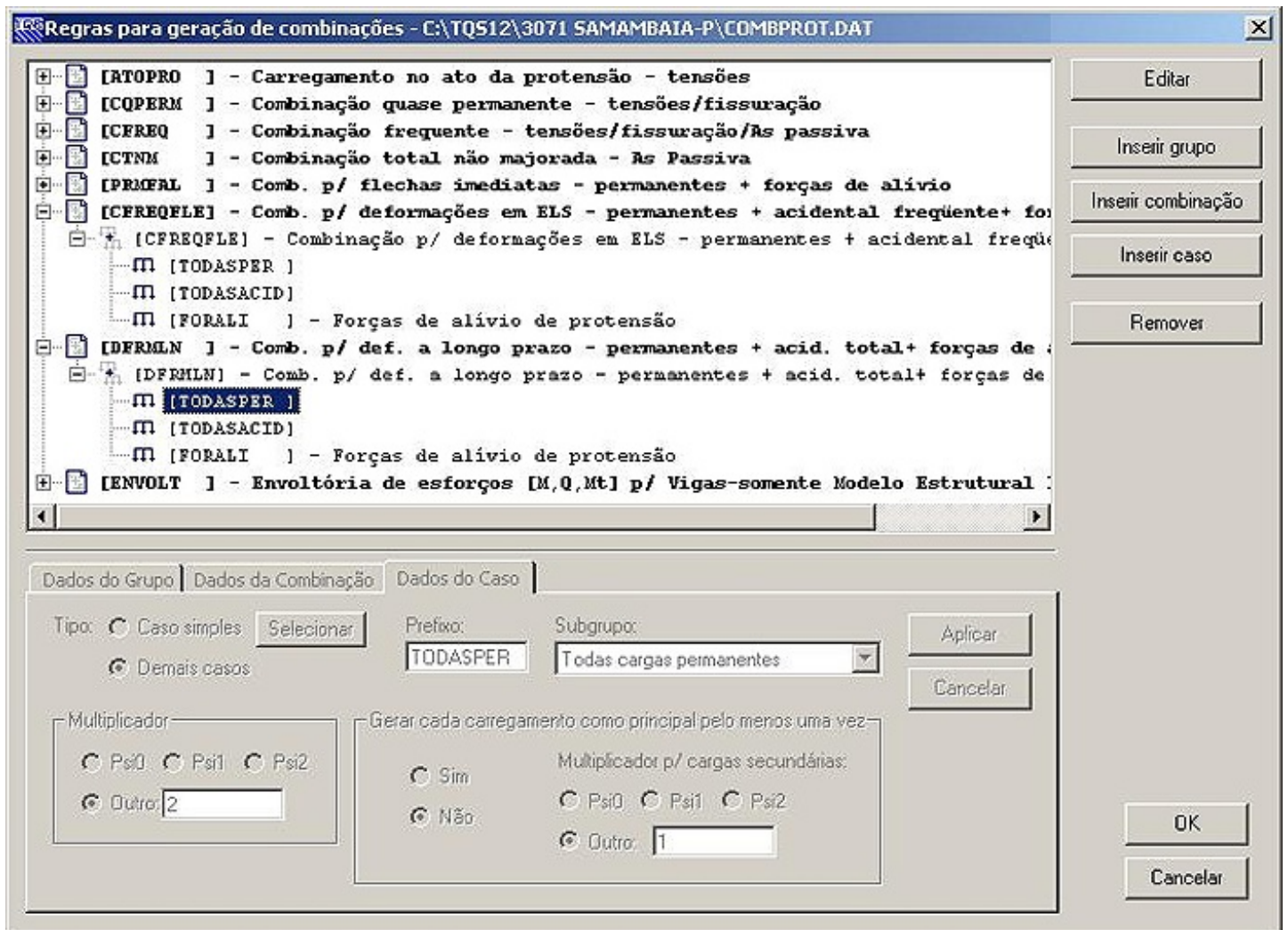
2- Se não posso usar o grelha não linear para elementos protendidos, na verificação das deformações do grelha linear, nossos casos e combinações já não previam as deformações lentas?

R: Atualmente, quando um pavimento é protendido, devemos analisar as deformações através dos resultados de Grelha Linear.

No jogo de combinações, temos um grupo destinado à avaliação de deformações.

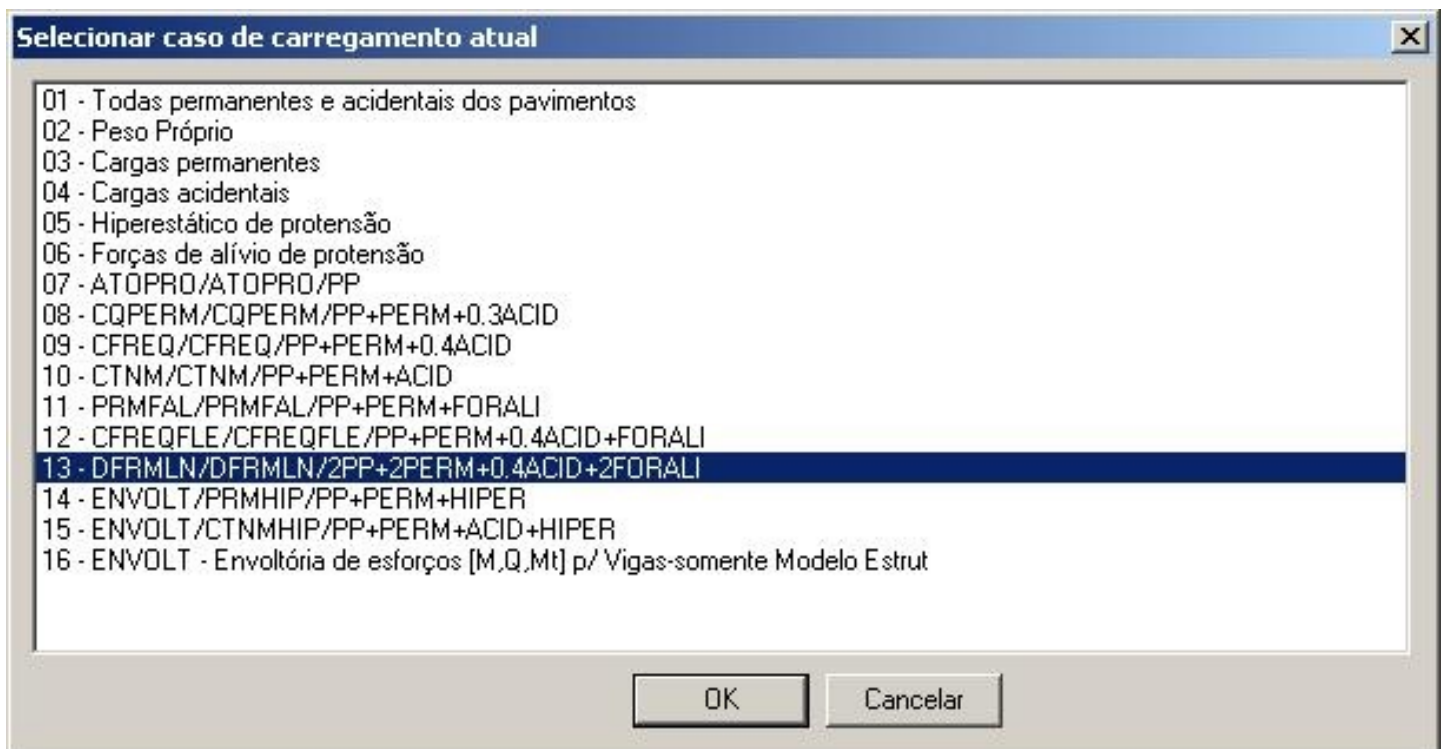
Vamos lembrar as combinações típicas que o MGC monta em pavimentos com protensão:

As Combinações são estabelecidas no arquivo COMBPROT.DAT, que é copiado para a raiz do edifício e pode ser editado no menu do Grelha-TQS, Editar > Critérios > Combinações para concreto protendido



Nas regras para criação de combinações temos os grupos CFREQFLE e DFRMLN voltados a análise de deformações.

Quando criamos ou alteramos um edifício, em cada pavimento é criado um arquivo CARRGRE.DAT, onde são efetivamente definidas as combinações que irão para os modelos de grelha, que podem ser escolhido no visualizador de grelha:



Destas combinações a mais importante é a DFRMLN, caso 13 na tela acima, onde temos  $2 \cdot (PP + PERM + FORALI) + \text{Psi}0$

(ACID).

O fator 2 já corresponde a um fator de amplificação de deformações para as ações que atuam a longo prazo na estrutura, já baseado no alfaf (veja comentários na parte B da mensagem)

Então, a partir da versão 13.3, quando analisarmos pavimentos com protensão, devemos, nos critérios gerais de grelha, retornar o novo coeficiente multiplicador de deslocamentos verticais ao valor 1, e analisar as deformações a longo prazo pela combinação DFRMLN.

## Item B) Comentários

### B.1) Grelha não linear para pavimentos em concreto armado.

O Grelha Não linear utiliza o seguinte procedimento:

Subdivide os carregamentos correspondentes às verificações em ELS para fissuração (freqüente) e deformações (quase permanente) em parcelas iguais de carregamento e efetuar sucessivos e incrementais processamentos de esforços, modificando as inércias de cada barra a cada passo conforme a solicitação acumulada.

Para simulação das deformações progressivas a longo prazo e diferidas, após a introdução das alvenarias, amplificamos as parcelas de deslocamentos obtidas em cada incremento pelo fator af.

Na realidade esta simulação é válida em seções de concreto armado convencionalmente submetidas à flexão simples.

A grande limitação de nossas análises de deformações é a de não contemplar as fases executivas, onde, principalmente, na fase onde os pavimentos fazem parte do sistema de escoramento, já ocorrem deformações no ato da concretagem de um pavimento, que transfere sua carga aos pavimentos abaixo que estão interligados pelos escoramentos.

Esta deformada inicial dos pavimentos, assim como o estado inicial de fissuração das seções antes da retirada do escoramento ainda não é contemplada em nossos modelos.

As deformações dos apoios também não é bem tratada em nossos modelos, seja ela originada pelo encurtamento dos pilares, deformações de vigas de transições ou pela deformação das fundações.

Ou seja, projetamos os pavimentos em um mundo imaginário, onde a gravidade só atuaria após a retirada dos escoramentos.

### B.2) Pavimentos com Protensão

Quando os pavimentos são protendidos, as simulações que realizados também são relativamente simplificadas perante as colocações acima.

Os efeitos exercidos pela protensão, representados pelas forças de desvio (ou forças de alívio ou cargas balanceadas) já ocorrem no ato da protensão, em geral em datas inferiores aos 7 dias de vida do pavimento, que, em geral, ainda esta escorado, e o modulo de elasticidade do concreto ainda é baixo.

No ato da protensão, em um pavimento bem projetado, boa parte da carga de peso próprio da seção já é equilibrada, e a deformada resultante é maior do que as que simulamos em nossos cálculos, que consideram o módulo de elasticidade secante para concreto com 28 dias.

Temos ainda o agravante de que atualmente não existe protensão em todo o pavimento. Em geral, nas regiões Nordeste, Norte e Centro-oeste realiza-se a protensão apenas em vigas faixas, enquanto que as lajes são munidas apenas de armaduras passivas, mas parcialmente submetidas a forças normais espraiadas da protensão, e neste caso, a avaliação das inércias reais também é complexa.

Hoje temos ferramentas prontas para se analisar as inércias em seções protendidas (vide Calculadora de Flexão Composta Obliqua da V13), mas se pensar em um processo não linear, contemplando também a não linearidade física e geométrica, teremos que ter novas variáveis e fatores correlacionados com os efeitos (escoramento, data da

protensão, etc) para se simular com fidelidade as deformações em pavimentos protendidos.

Muitos engenheiros defendem a tese de que o efeito da fluência é mais abrangente em seções protendidas, porque geralmente toda a seção transversal esta comprimida, enquanto que nas peças em concreto armado simples, uma pequena parcela da seção transversal esta comprimida. Mas deve se lembrar que a curvatura em uma seção protendida é bem menor do que a de seções em concreto armado.

Apesar deste emaranhado de conceitos, que podem deixar transparecer que nossos cálculos ainda são muito simplificados, posso confirmar que as combinações adotadas no sistema são bastante satisfatórias, refletindo em bons resultados.

### **B.3) Consideração da rigidez de vigas protendidas em modelos de pórtico espacial**

Concordo plenamente com as questões apresentadas pelo André Mourão. Se adotarmos redutores de inércia (menores do que 1) nas vigas protendidas para simular a menor deformabilidade destas, estaremos aumentando o engastamento delas com os pilares, falseando os resultados, pois na realidade, os hiperestáticos geralmente são contrários aos momentos de engastamento provocado pelas ações verticais.

O procedimento mais correto a se adotado para usuários dos sistemas é de se sempre lançar a protensão para depois realizar o processamento de esforços do pórtico espacial definitivo, onde já se busca os esforços finais destinados ao dimensionamento de pilares e vigas.

### **B.4) O novo coeficiente multiplicador de deslocamentos verticais para análises lineares de grelha.**

Depois do lançamento da V.11, onde o Grelha não linear se tornou a melhor e mais apropriada ferramenta para se realizar a análise de deformações.

Porém, ao longo destes quase 4 anos, percebi que muitos usuários insistiam em querer continuar adotando modelos mais simplificados e muitos não percebiam que os resultados das análises resultantes de modelos de grelha e de cálculo de deformações em lajes isoladas por processos simplificados não contemplavam a fluência, que introduzir amplificações de deformações a longo prazo.

Depois de observar vários casos onde vários profissionais cometeram falhas na interpretação de deformações, comentei com o sr. Nelson Covas este fato, e ele prudentemente resolveu incluir o novo fator amplificador de deformações na V13, o que pode ajudar em muito aos engenheiros a avaliar as deformações, com processamentos mais rápidos, que é o caso do grelha linear.

Aconselho a todos que sempre adotem modelos de grelha com lajes discretizadas (planas ou nervuradas) e passem a avaliar as deformações pelo caso ELS – CFREQ, que é gerado automaticamente para os modelos de grelha lineares.

Luiz Aurélio Fortes da Silva

TQS Informática Ltda