

Esforços Solicitantes

Modelo estrutural

O cálculo de esforços solicitantes para as vigas contínuas é realizado para vigas simplesmente apoiadas (apoios intermediários articulados a rotação), com extremos articulados e/ou engastados ou, vigas vinculadas elasticamente a pilares superiores e/ou inferiores.

Os esforços solicitantes calculados são: força cortante, momento fletor e momento de torção.

As vigas tratadas são vigas prismáticas, isto é, a seção transversal da viga é constante em cada vão.

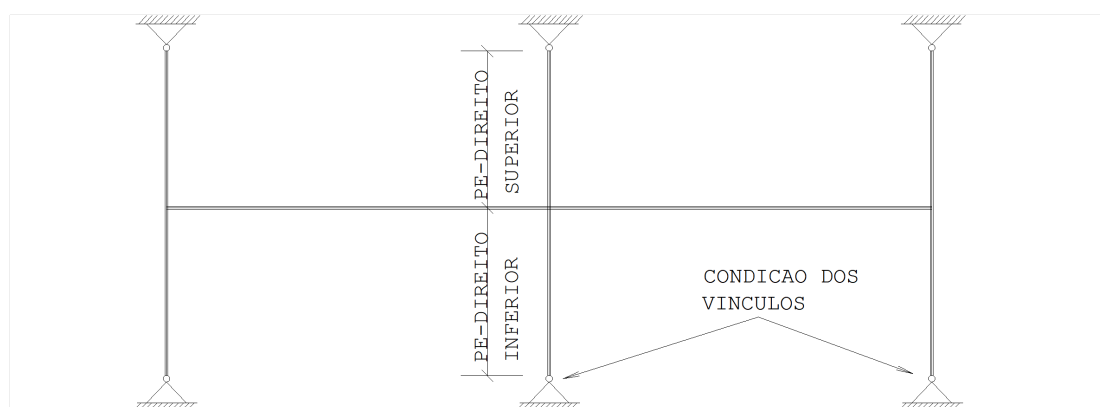
Em ambos os casos, vigas sem pilares ou com pilares, a viga é considerada indeslocável na direção horizontal.

O esquema do modelo de viga simplesmente apoiada é:



A viga simplesmente apoiada pode possuir seus extremos engastados.

O modelo de viga considerando rigidez de pilares é:



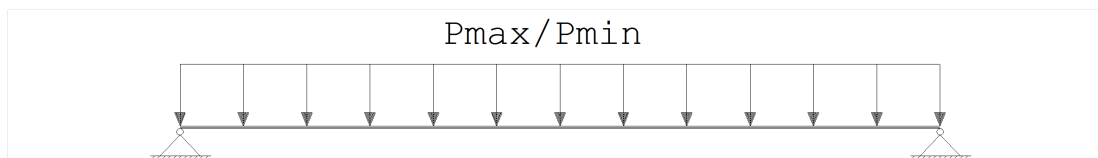
Os pilares podem estar presentes ou não em cada apoio da viga, tanto na região superior como na região inferior da viga.

O modelo adotado para cálculo é o de pórtico plano indeslocável para translação na direção horizontal, indeslocabilidade na direção vertical e possibilidade de rotação em cada apoio, considerando os dois vãos adjacentes e o pilar inferior e superior.

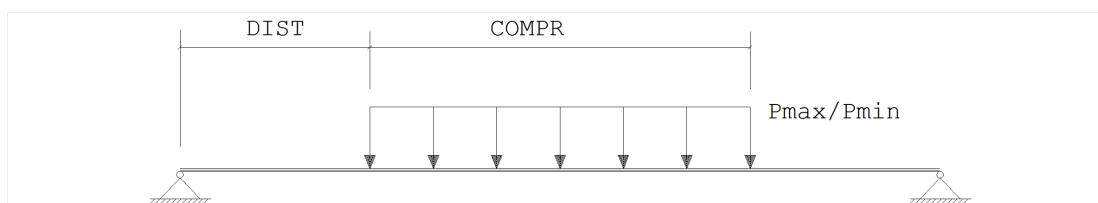
Tipos de cargas consideradas

Os seguintes tipos de cargas são consideradas pelo sistema :

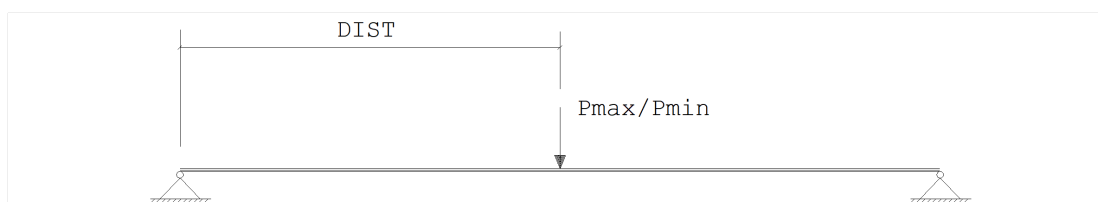
Carga uniforme distribuída em todo o vão



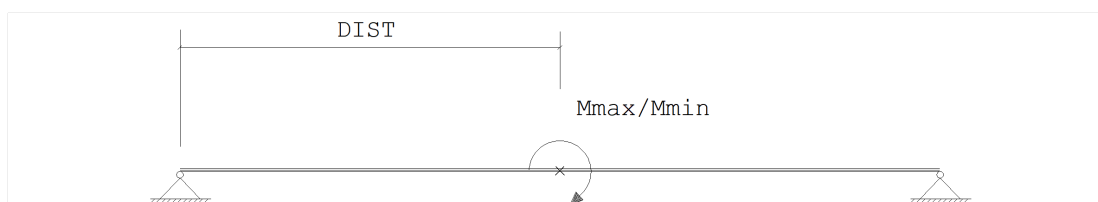
Carga uniforme parcialmente distribuída no vão



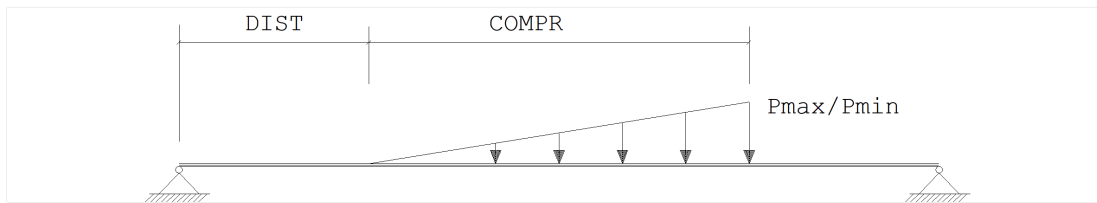
Carga concentrada direta



Momento fletor concentrado



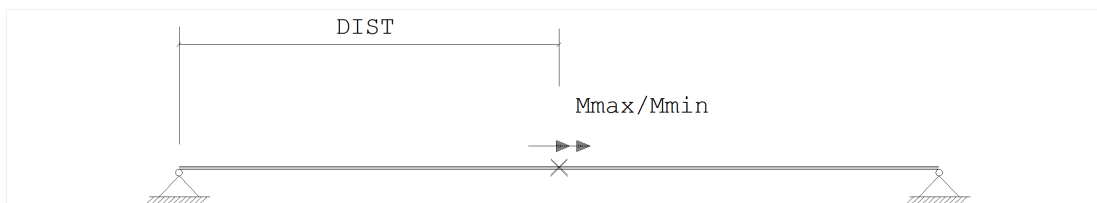
Carga distribuída triangular crescente no vão



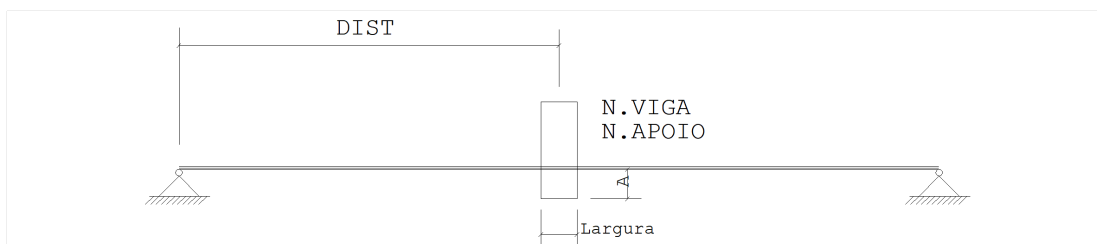
Momento de torção distribuído e uniforme em todo o vão



Momento de torção concentrado no vão



Carga concentrada indireta de reação de apoio de outra viga



Determinação de momentos fletores

Método de cálculo

O método utilizado para o cálculo de solicitações é o método da propagação dos momentos. Este é um método extremamente simples, fazendo parte do curriculum das principais escolas de engenharia civil. Por esta razão dispensaremos maiores explicações neste manual.

Bibliografia: Apostila publicada pelo Grêmio Politécnico - EPUSP - 1949. Título: Resolução de Vigas Contínuas pelo Processo de Propagação de Momentos. Autor: José Mandacarú Guerra.

Momentos fletores nos apoios

O momento negativo nos apoios da viga pode ser reduzido pelo projetista simulando uma plastificação no apoio. Esta redução pode ser automática através do fornecimento de uma percentagem de redução para os diversos apoios ou para cada apoio individualmente. Maiores detalhes sobre como fazer esta redução, está explicada no TQS-Vigas -

Com a redução dos momentos negativos nos apoios, os momentos positivos são automaticamente rebaixados. Evidentemente que os momentos fletores negativos nos balanços não podem ser rebaixados. Teoricamente, não impomos limites sobre a percentagem de rebaixamento de momentos negativos, o projetista é que decide qual a percentagem mais adequada.

Esta redução de momentos negativos é realizada também para vigas calculadas com a presença de pilares.

Um processo de imposição de momentos fletores negativos como sendo um cálculo em regime plástico também está disponível. Neste caso, os momentos fletores negativos nos apoios são determinados como sendo igual a 1/4 da soma dos momentos positivos isostáticos dos vãos adjacentes, limitados ao valor do momento mínimo que não resulte em armadura dupla na seção.

Momentos negativos nos apoios também podem ser impostos. Esta é uma importante opção para verificação de vigas contínuas onde conhecemos os momentos fletores resistentes nos apoios.

A imposição de momentos negativos pode ser realizada por apoio ou pelos extremos dos vãos. Com esta opção de extremos de vãos, podemos simular os momentos negativos de vigas pertencentes a pórticos planos ou espaciais.

Momentos fletores mínimos positivos

Nos vãos internos, o programa verifica se os valores de momentos fletores positivos calculados são menores que os momentos fletores positivos mínimos impostos pela NBR 6118. Caso isto ocorra, estes valores de momentos fletores positivos mínimos são os adotados. O valor deste momento positivo mínimo depende das dimensões dos vãos, cargas aplicadas e condições de vinculações para os vãos internos e extremos como prescreve a NBR 6118.

No caso em que os esforços solicitantes são lidos diretamente de arquivos externos (provenientes de grelhas planas, pórticos espaciais, etc) esta consideração de momentos fletores positivos mínimos é opcional.

Redução do alívio da força cortante em apoios extremos

É possível considerar uma redução no alívio da força cortante nos apoios extremos. A razão desta redução é a presença de apoios nos extremos das vigas, calculados como articulados idealmente, quando na realidade, sempre existe uma vinculação a outros elementos estruturais. Como este momento muitas vezes não é calculado e existe de fato, justifica-se a consideração da redução do alívio da força cortante. Se o momento no extremo é calculado pela consideração da presença de pilares, por exemplo, esta redução se torna desnecessária.

A redução do alívio, para um vão extremo, é calculada como sendo $(M)/L$. Na outra extremidade do vão onde o valor $(M)/L$ carrega a reação de apoio, nenhuma alteração é efetuada. As seguintes opções estão disponíveis :

Nenhum alívio é realizado

Redução do alívio de 50 %
Redução do alívio de 33 %
Redução do alívio de 25 %
Redução do alívio de 100%

Para a redução do alívio igual a 33%, além do alívio nos apoios extremos, todos os apoios intermediários também terão seus alívios reduzidos.

Capacidade do sistema

A capacidade do sistema esta delimitada por:

Máximo de 10 apoios
Máximo de 11 vãos (incluindo balanços extremos)
Máximo de 30 cargas por vão
Máximo de 100 vigas para processamento simultâneo por projeto

Apresentação de dados de entrada e resultados

Todos os dados de entrada para o programa de cálculo de solicitações são impressos. Qualquer verificação ou conferência nos dados de entrada pode ser realizada neste relatório.

Os seguintes resultados são emitidos:

Esforços solicitantes no vão para 13 pontos por vão interno (12 divisões por vão) compreendendo:

Forças cortantes máximas e mínimas

Momentos fletores máximos e mínimos

Momentos de torção máximos e mínimos

Para vigas com cargas adicionais nos extremos dos vãos, as solicitações também são impressas para os diversos carregamentos adicionais.

Reações de apoio

Esforços solicitantes nos pilares compreendendo:

Momentos fletores máximos nos pilares superiores (topo/base)

Momentos fletores mínimos nos pilares superiores (topo/base)

Momentos fletores máximos nos pilares inferiores (topo/base)

Momentos fletores mínimos nos pilares inferiores (topo/base)

No TQS-Vigas - Manual de Exemplos, que apresentamos anexo, este relatório pode ser visualizado com detalhes.

Alternância de cargas

Além de calcular a viga para um único caso de carregamento, o TQS-Vigas trata também vigas com alternância de cargas de forma automática.

Desde que o projetista forneça as cargas máximas e mínimas por vão, o TQS-Vigas realiza todas as combinações de carregamentos mais desfavoráveis para a obtenção dos valores :

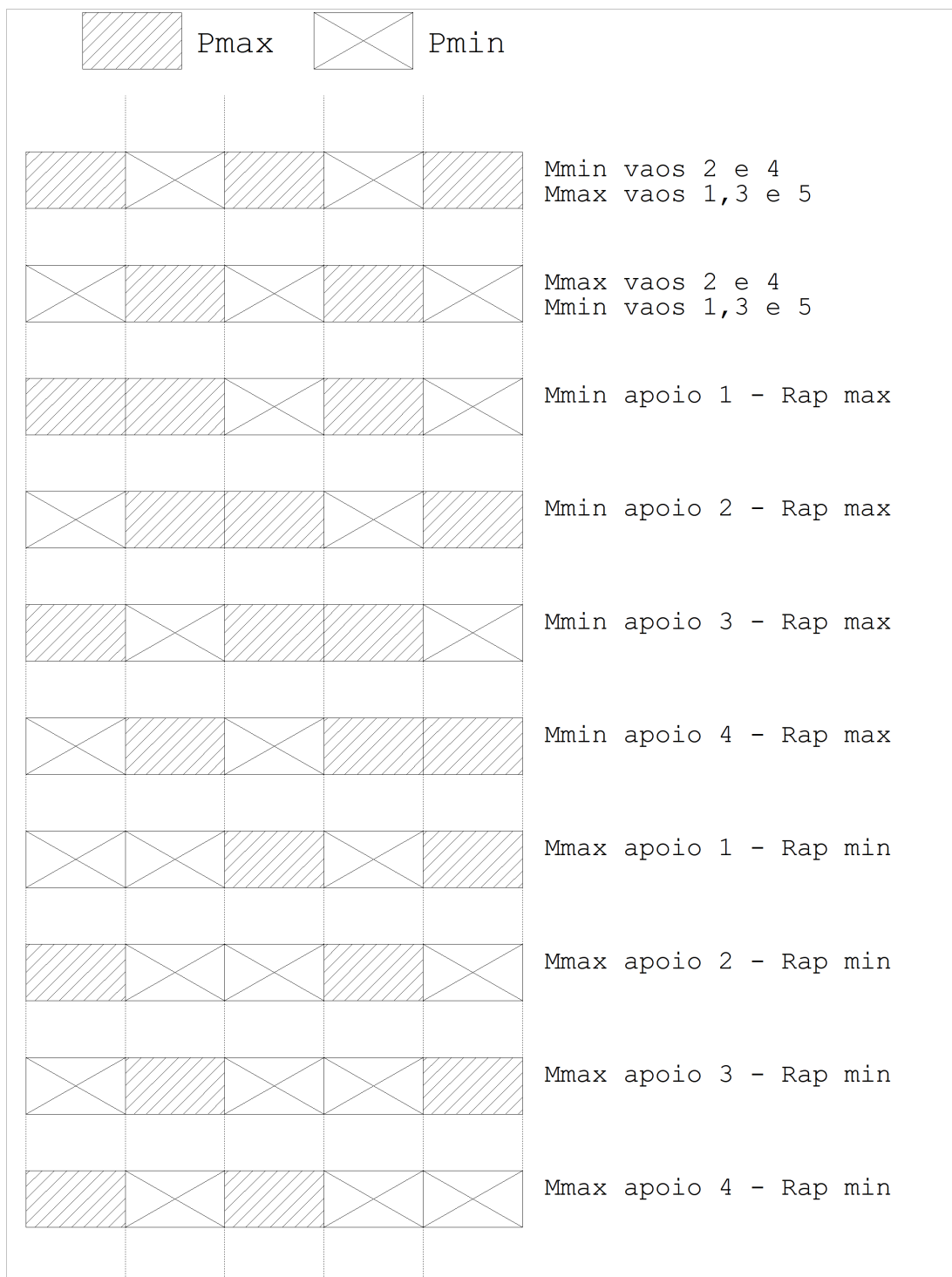
Máximos e mínimos valores de força cortante

Máximos e mínimos valores de momentos fletores no vão

Máximos e mínimos valores de momentos fletores nos apoios

Máximos e mínimos valores de momentos de torção

Esquemáticamente, temos os seguintes casos de carregamentos para uma viga carregada com cargas máximas e mínimas.



Esforços adicionais

Para vigas que possuem solicitações oriundas de ações que não podem ser representadas pelas cargas verticais e momentos aplicados, disponíveis no TQS-Vigas, fornecemos um conjunto de valores de esforços para os diversos vãos constituídos por momentos fletores e forças cortantes, denominados esforços adicionais.

Exemplificando, podemos citar o caso de vigas que participam de pórticos resistentes a cargas horizontais devido ao efeito de vento. Outro caso é a ação de recalque de apoio ou então efeitos térmicos atuantes na viga.

Estas solicitações são, geralmente, computadas à parte e adicionadas às solicitações da viga devido as cargas verticais permanentes e acidentais.

Para consideração destes esforços adicionais no TQS-Vigas, permitimos que o projetista forneça 6 grandezas por vão, 3 grandezas para o carregamento 1 e outras 3 grandezas para o carregamento 2. Estas grandezas são:

momento fletor adicional a esquerda do vão;
momento fletor adicional a direita do vão;
força cortante adicional no vão.

Os carregamentos adicionais são em número de 2 para consideração do efeito de carga horizontal na viga devido a ação do vento da esquerda para a direita e da direita para a esquerda. Os 2 carregamentos são utilizados apenas quando necessários (pode-se definir apenas um carregamento).

Com estes valores fornecidos, o programa calcula a envoltória de esforços solicitantes para as 3 condições abaixo:

1a Condição: apenas os esforços solicitantes calculados provenientes de cargas permanentes e acidentais.

2a Condição: esforços devido a cargas permanentes e acidentais mais esforços adicionais devido ao carregamento 1.

3a Condição: esforços devido a cargas permanentes e acidentais mais esforços adicionais devido ao carregamento 2.

No caso de esforços adicionais oriundos da ação de vento, o momento fletor adicional em um extremo do vão para um carregamento deverá ser igual, em módulo e com o sinal trocado, ao momento fletor adicional referente ao carregamento 2 para o mesmo extremo. A força cortante também deverá ser de sinal trocado para os 2 carregamentos e sua magnitude deverá ser :

onde,

Me é o momento fletor na extremidade esquerda do vão;

Md é o momento fletor na extremidade direita do vão;

L é o comprimento do vão.

As convenções de sinal adotadas são:

Momento fletor é negativo para tração nas fibras superiores

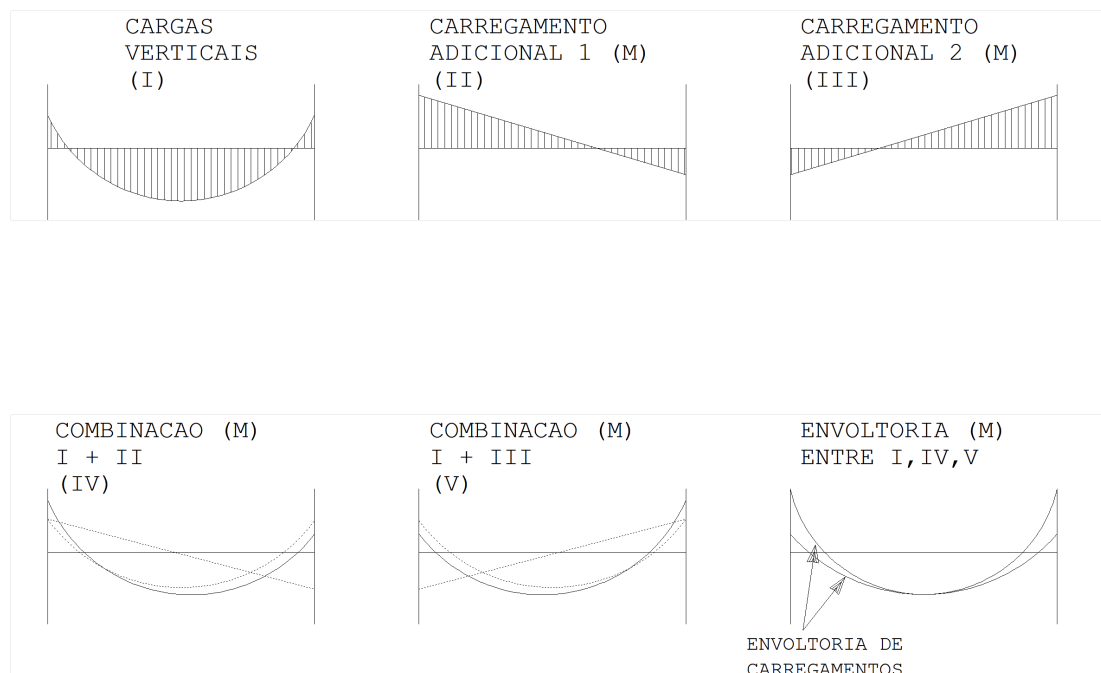
Momento fletor é positivo para tração nas fibras inferiores

Força cortante é positiva quando gira a seção no sentido horário.

Como este conceito de solicitações por vão só se aplica para ações que não implicam em carregamento no próprio vão, para a obtenção da envoltória de solicitações finais em pontos internos do vão, o TQS-Vigas faz interpolação linear a partir dos esforços

adicionais definidos nos extremos do vão já que, os diagramas de solicitações são lineares no vão.

Esquemáticamente temos:



Mesa colaborante, momento de inércia

O tipo da seção transversal da viga pode ser retangular, "L", "T", etc.

O cálculo automático da largura colaborante para a seção não retangular é realizado conforme recomendações da NBR 6118 considerando o vão da viga, tipo de vinculação e espessura da laje.

No cálculo dos esforços solicitantes, podemos utilizar ou não o momento de inércia a flexão como seção retangular ou "L", "T", etc.

Envoltória de carregamentos para diversas vigas

Uma outra opção de tratamento de esforços solicitantes em vigas contínuas é a realização de envoltórias de solicitações entre diversas vigas de mesma geometria.

Esta é uma importante opção para o detalhamento de vigas que possuem a mesma geometria, mas com esforços solicitantes ligeiramente diferentes uma da outra, onde a representação final de cada viga não é necessária pois as armaduras possuem pouca variação.

Este caso comum ocorre no detalhamento de vigas participantes de grelhas onde temos um grande número de vigas de mesma geometria mas com esforços ligeiramente diferentes uma da outra (ora uma viga possui um momento positivo maior que outra, ora o negativo de uma viga que é maior que o das outras vigas).

Outro caso interessante que pode utilizar esta opção é o projeto de vigas com cargas móveis. Basta criar diversas vigas fictícias de mesma geometria que a original e, definir diversos casos de carregamentos com a carga móvel em posições distintas na vigas simulando o caminhamento da carga móvel. Posteriormente ao cálculo das solicitações para cada viga, basta acionar o comando de envoltória entre diversas vigas para se obter o resultado da envoltória para cargas móveis. Evidentemente que, apenas uma das diversas vigas definidas é que será detalhada.

Somatória de cargas aplicadas e somatória de reações de apoio

No final do processamento do programa de esforços solicitantes, no arquivo de listagem VGESFS.LST, é feita uma comparação entre a somatória de cargas aplicadas para todas as vigas e uma somatória das reações de apoio também de todas as vigas. Caso estes dois valores não coincidam é emitida uma mensagem de advertência para uma melhor verificação da exatidão da aplicação das cargas. Um erro freqüente diagnosticado por esta consistência é o esquecimento de consideração de cargas indiretas (uma viga que se apoia em outra). Esta somatória não deve coincidir quando existem carregamentos com alternância de cargas.

Esforços solicitantes provenientes de grelha plana

O TQS-Vigas calcula vigas contínuas a partir de modelo de grelha plana. Esta condição é possível graças a criação do arquivo PRJnnnn.TEV que contem os esforços solicitantes de grelhas (força cortante, momento fletor e momento de torção) em correspondência a cada vão da viga.

O método mais adequado para utilização desta opção, é a definição do modelo de grelha plana para o pavimento a partir do TQS-Formas (que faz isto automaticamente) e geração dos arquivos de interface para o TQS-Vigas diretamente do TQS-Formas. entretanto, o projetista pode diretamente criar o arquivo PRJnnnn.TEV que servirá de base para o dimensionamento, detalhamento e desenho das vigas.

Documentação do arquivo .TEV

TEV significa "Transferência de Esforços para Vigas". Este arquivo gravado pelo GRELHA-TQS ou por outro sistema ou digitado diretamente, contém os diagramas e reações de apoio da viga.

O .TEV tem formato ASCII livre ou texto, podendo ser alterado pelo engenheiro antes do processamento das vigas.

O TQS-Vigas recebe os diagramas divididos sempre em um número fixo de pontos por vão - apesar de um vão poder ser definido na grelha por uma ou mais barras; daí a importância da definição do conceito de vão e apoios em correspondência as barras da grelha. A numeração dos vãos segue a convenção do TQS-Vigas.

Veja em detalhes a codificação dos arquivos .TEV no Manual de Entrada de Dados do TQS-Vigas.

Exemplo de arquivo .TEV

EDITW - [Prj-0018.tev]

Arquivos Editar Formatar Visualizar Exibir Ajuda

80 132

V1	
RMX	3.124 3.124
RMN	2.860 2.860
VAO 2	
MMX	- .094 .912 1.742 2.387 2.848 3.124
	3.124 2.848 2.387 1.742 .912 - .094
CMX	3.124 2.603 2.083 1.562 1.041 .521
	- .477 - .953 -1.430 -1.907 -2.384 -2.860
MMN	- .102 .835 1.595 2.186 2.608 2.861
	2.861 2.608 2.186 1.595 .835 - .102
CMN	2.860 2.384 1.907 1.430 .953 .477
	- .521 -1.041 -1.562 -2.082 -2.603 -3.124
V101	
RMX	34.829 34.927
RMN	33.658 33.753
VAO 1	

Pronto NUM

O TQS-Vigas e o arquivo .TEV

O arquivo .TEV contém apenas resultados de solicitações nos vãos da vigas e reações de apoio. Toda a parte geométrica, dimensões e títulos devem ser fornecidos ao TQS-Vigas normalmente.

Em todos os relatórios do TQS-Vigas são emitidas mensagens informando que os esforços solicitantes de grelha foram adotados em substituição aos esforços de viga continua comum. O projetista deve ficar atento a estas mensagens verificando sempre sua presença e validade.

Para que este procedimento de se juntar geometria, dimensões e solicitações de grelha seja válido, é absolutamente indispensável que as solicitações fornecidas no .TEV coincidam exatamente com os dados gerais da viga. Desta forma, não podemos fornecer esforços em 3 vãos quando a viga possui 4 vãos; neste caso, mensagem de erro é emitida e o processamento interrompido. O mesmo ocorre com as reações de apoio.

O projetista deve ter atenção especial quando fornecer o arquivo PRJ-nnnn.TEV por procedimento próprio, às excentricidades de apoio do TQS-Vigas. Deve-se notar que as solicitações são calculadas sem a consideração das excentricidades de apoio nos diversos vãos da viga. O TQS-Formas também não transfere as solicitações nesta região:



Uma viga pertencente a uma grelha tem seus pontos de apoio em outras vigas com um comportamento de apoio recalçável. A intensidade deste recalque é que definirá se o apoio terá momento negativo ou momento positivo. Conforme conceito adotado no TQS-Vigas, é fundamental que o projetista defina o que é vão e apoio para a viga de

tal forma que, no meio do vão não exista momento negativo ou que este seja desprezível.

Importante: o TQS-Vigas não detalha momentos negativos no meio do vão, apenas nos extremos do vão.

O modelo da viga que será adotado no processamento do TQS-Vigas, principalmente nestas simulações de barras de grelha, deverá corresponder ao conceito de vão e apoio de tal forma que não implique na existência de momento negativo no meio do vão.

Os diagramas fornecidos no .TEV devem corresponder exatamente aos vãos e apoios escolhidos para este modelo de viga. Quando se usa o TQS-Formas para passagem de dados ao TQS-Vigas, esta tarefa fica bastante facilitada pois o TQS-Formas até sugere ao projetista quais as vinculações corretas entre as vigas para a definição de vão e apoio.

Esforços solicitantes provenientes de pórticos espaciais

O TQS-Vigas calcula vigas contínuas a partir de modelo de pórticos espaciais. Esta condição é possível graças a criação do arquivo PRJ-nnnn.TEV e/ou do arquivo PRJnnnn.TEA, que contém os esforços solicitantes de pórticos espaciais (força cortante, momento fletor e momento de torção) em correspondência a cada vão da viga.

O método mais adequado para utilização desta opção, é a definição do modelo de pórtico espacial para o edifício a partir do TQS-Formas (que faz isto automaticamente) e geração dos arquivos de interface para o TQS-Vigas diretamente do TQS-Formas. Entretanto, o projetista pode também criar o arquivo PRJnnnn.TEV e/ou PRJ-nnnn.TEA que servirá de base para o dimensionamento, detalhamento e desenho das vigas.

O arquivo .TEV gravado pelo pórtico espacial tem o mesmo formato do gravado pela grelha plana, e é tratado da mesma maneira pelo TQS-Vigas.

Documentação do arquivo .TEA

O arquivo do tipo .TEA é muito similar ao arquivo .TEV mas diferencia deste por conter informações de solicitações adicionais (Transferência de Esforços Adicionais) para o TQS-Vigas. Este arquivo é importante para, por exemplo, adicionar aos esforços já calculados pelo TQS-Vigas (carga vertical), os esforços correspondentes ao efeito de cargas horizontais (vento) aplicadas ao pórtico espacial.

O arquivo .TEA pode englobar diversos carregamentos horizontais do pórtico espacial.

Este arquivo substitui os valores de esforços adicionais (cortante, fletor e torção) definidos para o TQS-Vigas, geralmente com 2 casos de carregamentos.

Com a ressalva acima, o arquivo .TEA tem o mesmo formato de dados do arquivo .TEV. Veja no TQS-Vigas - Manual de Entrada de Dados mais detalhes sobre o formato destes arquivos.

