

## Incêndio

Em vigor desde 2004, a NBR 15200 "Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio" estabelece critérios para o projeto de estruturas de concreto que visam limitar o risco à vida humana, da vizinhança e da propriedade exposta ao fogo.

Resumidamente e de forma simplificada, essa norma define que, quando for necessária a verificação de incêndio, o dimensionamento da estrutura deve satisfazer a condição ELU expressa a seguir pela equação reduzida:

$$S_{d,fi} = \left( \gamma_g \cdot F_{gk} + \gamma_q \cdot \sum_2^n \psi_{2j} \cdot F_{qjk} \right) \leq R_{di}$$

Há diversos processos presentes nessa norma que permitem averiguar o atendimento da expressão acima. Dentre eles, o Método Tabular, que consiste numa verificação por meio da definição de dimensões mínimas dos elementos estruturais de acordo com a ação do fogo representada pelo TRRF (Tempo Requerido de Resistência ao Fogo).

A seção 7.2 da NBR 15200 contém as tabelas para aplicação do Método Tabular. São valores mínimos de dimensões e da distância do eixo da armadura longitudinal à face de concreto exposta ao fogo ( $c_1$ ), especificados para lajes (apoiadas em vigas, lisas e nervuradas), pilares (comuns e paredes), tirantes e vigas (biapoiadas e contínuas).

Ainda nesse método, têm-se:

Não são consideradas as armaduras transversais, pois os ensaios mostram que em incêndio a ruptura por cisalhamento não é predominante.

Podem ser consideradas as espessuras dos revestimentos na verificação das dimensões e do  $c_1$  mínimos, sendo que a eficiência dos revestimentos pode ser de 67 % a 250 %, dependendo do tipo de material empregado.

No caso de pilares e pilares-paredes, os valores mínimos variam de acordo com o adimensional  $\mu_{fi}$ , que é a relação entre o esforço solicitante normal em situação de incêndio ( $N_{Sdi}$ ) e o esforço resistente normal em temperatura ambiente ( $N_{Rd}$ ) na qual, de forma aproximada, pode-se considerar  $N_{Sdi} = 0,7 \cdot N_{Sd}$ , de tal forma que  $\mu_{fi} = 0,7 \cdot N_{Sd} / N_{Rd}$ . No caso de pilares, há uma proposta do Prof. Dr. Valdir Pignatta da Silva apresentada no artigo "Dimensionamento de pilares de concreto armado em situação de incêndio. Uma alternativa ao método tabular da NBR 15200:2004", publicado na revista "IBRACON Structures and Materials Journal", 2008, v.1, n.4, p. 379 a 392.

## Visão Geral

O processo atual de dimensionamento da estrutura do edifício presente nos sistemas, isto é, o dimensionamento de pilares, vigas, lajes e fundações não foi afetado em nada pela verificação do incêndio. As combinações de ações ELU e ELS, bem como as resistências dos materiais adotadas, continuam as mesmas.

A consideração do incêndio é sim tratada como uma verificação final adicional, a ser efetuada após o dimensionamento da estrutura (realizada em situação normal). O sistema verifica todos os elementos e indica aqueles que por ventura não estiverem de acordo com os requisitos mínimos (critérios de projeto) definidos pelo Engenheiro.

## Resumo teórico

### Definição do TRRF

A ação do fogo na estrutura pode ser representada de forma aproximada pelo TRRF (Tempo Requerido de Resistência ao Fogo), que é tempo de exposição do edifício ao incêndio-padrão (curva idealizada), cujo valor pode ser

determinado na NBR 14432:2001 "*Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimentos*" em função das características da construção e de seu uso.

O valor do TRRF do edifício deve ser definido pelo Engenheiro. A possível redução do mesmo, justificada pela adoção de outros procedimentos (ex.: Método do Tempo Equivalente), fica por total conta do Engenheiro e não será realizada de forma automática pelo sistema.

### Cálculo das solicitações em situação de incêndio ( $N_{Sdi}$ )

O cálculo da força normal de cálculo em situação de incêndio ( $N_{Sdi}$ ), necessária para a verificação de pilares, é efetuado de forma automática pelo sistema a partir dos resultados obtidos do processamento do pórtico espacial ELU e pode ser realizado de duas formas:

Uso da envoltória FOGO: leva em conta todas as combinações definidas, na qual todas ações permanentes são majoradas por e todas as ações variáveis por.

Uso da envoltória ELU: leva em conta todas as combinações últimas normais definidas de acordo com a NBR 6118:2003.

Em ambos os casos, os esforços em situação de incêndio são estimados como 70 % (critério de projeto que pode ser alterado) das solicitações em situação normal.

### Definição dos dados de lajes

A definição do tipo da laje (apoiada em vigas, lisa, nervurada unidirecional ou bidimensional), de suas dimensões ( $b_w$  e  $h$ ) e da distância da armadura longitudinal à face exposta ao fogo ( $c_1$ ) é realizada de acordo com os dados definidos no modelador estrutural bem como do detalhamento das armaduras.

No cálculo de  $c_1$ , são levados em conta os cobrimentos diferenciados por pavimento definidos nos dados do edifício e as armaduras negativas podem, opcionalmente, serem desconsideradas.

O cálculo de  $c_1$  não é efetuado para painéis de lajes pré-moldadas de forma automática.

Pode ser considerado um revestimento-padrão nas lajes, cuja espessura e material são definidos pelo Engenheiro nos critérios de projeto.

### Definição dos dados de vigas

A definição do tipo da viga (biapoiada ou contínua), de sua dimensão  $b_w$  e da distância da armadura longitudinal à face exposta ao fogo ( $c_1$ ) é realizada de acordo com os dados definidos no modelador estrutural bem como do detalhamento das armaduras.

No cálculo de  $c_1$ , são levados em conta os cobrimentos diferenciados por pavimento definidos nos dados do edifício e as armaduras negativas podem, opcionalmente, serem desconsideradas.

O cálculo de  $c_1$  não é efetuado para vigas pré-moldadas de forma automática.

Pode ser considerado um revestimento-padrão nas vigas, cuja espessura e material são definidos pelo Engenheiro nos critérios de projeto.

### Definição dos dados pilares e tirantes

A definição do tipo do pilar (normal e parede), de sua dimensão  $b_w$  e da distância da armadura longitudinal à face exposta ao fogo ( $c_1$ ) é realizada de acordo com os dados definidos no modelador estrutural bem como do detalhamento das armaduras.

O cálculo da força normal resistente em situação de incêndio ( $N_{Rd}$ ) é realizado de forma automática pelo sistema. São levados em consideração os momentos fletores de cada combinação presente na envoltória adotada (ELU ou FOGO).

Pode ser considerado um revestimento-padrão nos pilares, cuja espessura e material são definidos pelo Engenheiro nos critérios de projeto.

## Etapas necessárias

Resumidamente, são necessários os seguintes passos para verificar a estrutura de um edifício em situação de incêndio nos Sistemas TQS:

Definir o TRRF nos dados do edifício.

Estar com todo o detalhamento de vigas, lajes e pilares definido, pois é obrigatório o conhecimento prévio do posicionamento das armaduras para o cálculo correto da distância  $c_1$  nos elementos.

Definir os critérios de projeto e os valores mínimos do Método Tabular.

Processar a verificação automática do incêndio.

Analisar os resultados no relatório emitido.

Analisar os resultados por meio do visualizador gráfico e alterar certas condições não detectadas de forma automática pelo sistema.

A seguir, cada uma destas etapas será apresentada e descrita com mais detalhes.

## Definição do TRRF

O valor do TRRF deve ser definido pelo Engenheiro nos dados do edifício (aba "Cargas" - "Incêndio"), conforme mostra a figura a seguir.

A possível redução do TRRF, justificada pela adoção de outros procedimentos (ex.: Método do Tempo Equivalente), fica por total conta do Engenheiro e não será realizada de forma automática pelo sistema.

## Critérios de Projeto e Tabelas

No Gerenciador-TQS, todos os critérios de projeto e tabelas com valores mínimos para aplicação do Método Tabular podem ser editados.

1. No Gerenciador TQS, selecione a aba "Sistemas"
2. Clique no botão "TQS Formas"
3. Na aba "TQS Formas", clique no botão "Critérios"
4. Escolha a opção "Incêndio"

**ATENÇÃO:** somente serão considerados os critérios e tabelas definidos no arquivo comum a todos os pavimentos, conforme mostra a figura a seguir. Arquivos definidos em pastas locais (específico dos pavimentos) serão ignorados.

A definição das solicitações de cálculo em situação de incêndio, mais especificamente a força normal  $N_{Sdi}$  nos pilares, é necessária para aplicação do Método Tabular.

O cálculo dessas solicitações pode estar baseado em dois tipos de envoltórias: FOGO e ELU. A primeira contém combinações geradas de acordo com a expressão reduzida. Já, a segunda é composta pelas combinações comumente utilizadas no dimensionamento dos elementos.

Em ambos os casos, é necessário definir também um multiplicador para definição aproximada das solicitações em situação de incêndio a partir dos esforços em situação normal, conforme previsto na NBR 15200.

É importante lembrar que, usualmente, a envoltória FOGO contém menos combinações que a envoltória ELU, o que agiliza o tempo de processamento durante a verificação em situação de incêndio.

Outra observação interessante é que nas combinações da envoltória FOGO não há a presença do vento já que o coeficiente ponderador definido na NBR 6118:2003 para esse tipo de ação é zero.

## Processamento

A avaliação de toda a estrutura em situação de incêndio é realizada por um único comando no Gerenciador dos Sistemas TQS.

1. No Gerenciador TQS, selecione a aba "Sistemas"
2. Clique no botão "TQS Formas"
3. Na aba "TQS Formas", clique no botão " Processar - Verificação de incêndio "

São verificados todos os elementos (vigas, lajes e pilares) respeitando-se o detalhamento de suas armaduras e os critérios de projeto adotados pelo Engenheiro.

## Relatório

Os dados adotados e resultados obtidos durante a verificação da estrutura em situação de incêndio são apresentados num relatório completo, que é carregado por um comando no Gerenciador-TQS.

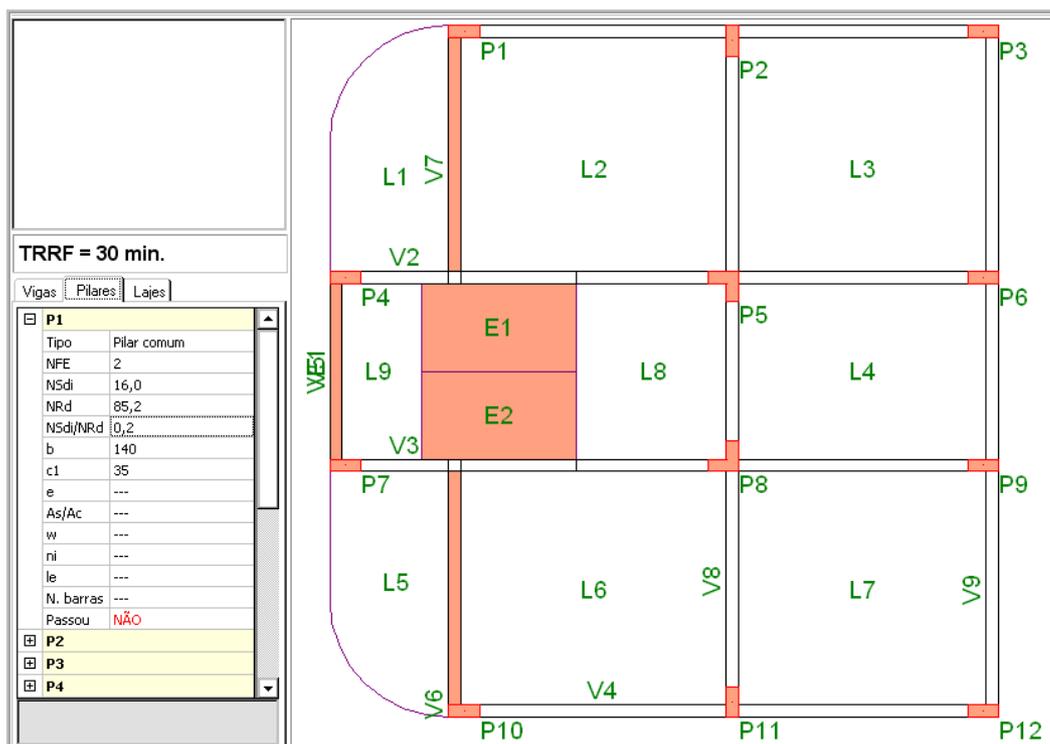
1. No Gerenciador TQS, selecione a aba "Sistemas"
2. Clique no botão "TQS Formas"
3. Na aba "TQS Formas", clique no botão " Visualizar – Incêndio”
4. Escolha a opção “Relatório"

## Visualizador gráfico

Além do relatório, os dados e resultados da verificação da estrutura em situação de incêndio também podem ser facilmente avaliados e otimizados por meio de um visualizador gráfico especialmente desenvolvido para este fim. Para carregá-lo, no Gerenciador do TQS:

1. No Gerenciador TQS, selecione a aba "Sistemas"
2. Clique no botão "TQS Formas"
3. Na aba "TQS Formas", clique no botão " Visualizar – Incêndio”
4. Escolha a opção “visualizador de resultados"

A janela deste visualizador é apresentada a seguir.



À medida que um pavimento é selecionado no canto superior esquerdo da janela, o desenho da planta de fôrma ao lado é automaticamente atualizado.

Os elementos que não passaram na verificação são coloridos na cor vermelha. É possível selecioná-los (pilar, viga ou laje), clicando-se com o *mouse* diretamente sobre a janela gráfica, ou nas tabelas ao lado.

Em cada uma dessas tabelas, são apresentados todos os dados e resultados pertinentes na verificação de cada elemento.

A grande maioria dos dados pode ser livremente editada pelo Engenheiro. A qualquer alteração, o programa automaticamente reverificará o elemento editado instantaneamente.

Todas as alterações efetuadas poderão ser salvas no momento em que o visualizador é fechado e posteriormente restauradas numa próxima entrada. É importante lembrar que as modificações realizadas neste visualizador somente têm efeito na verificação de incêndio, e não são readequadas automaticamente para as demais partes do sistema. Por exemplo, ao se alterar o detalhamento de um determinado pilar, essa modificação não será copiada para os dados do mesmo dentro do TQS-Pilar.