

Recomendações para elaboração de projetos estruturais de edifícios de concreto

O presente trabalho tem como objetivo fornecer aos projetistas e contratantes, recomendações básicas e orientações para a elaboração de projetos estruturais em concreto armado e protendido, que atendam aos requisitos que uma estrutura deva possuir, ou seja: **segurança estrutural, durabilidade e funcionalidade.**

As recomendações estão subdivididas em duas fases:

1. Concepção estrutural e pré-formas

2. Projeto executivo de formas e armaduras

Ressalta-se que estas orientações foram elaboradas considerando-se que o profissional atuante na Engenharia Estrutural tem pleno conhecimento das normas técnicas vigentes e pertinentes à atividade do projeto.

A seguir é apresentada uma relação das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, ressaltando-se que todo projeto estrutural deverá atender integralmente ao disposto nas mesmas.

- NBR 6118:2003: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento
- NBR 6120:1980: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações - Procedimento
- NBR 6122:1996: Projeto e execução de fundações - Procedimento

- NBR 6123:1988: Forças devidas ao vento em edificações - Procedimento
- NBR 7480:1996: Barras e fios de aço destinados a armaduras de concreto armado - Especificações
- NBR 7482:1991: Fios de aço para concreto protendido - Especificação
- NBR 7483:1991: Cordoalhas de aço para concreto protendido - Especificação
- NBR 8681:2003: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento
- NBR 8953:1992: Concreto para fins estruturais - Classificação por grupos de resistência - Classificação
- NBR 9062:2001: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado - Procedimento
- NBR 14432:2001: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento
- NBR 15200:2004: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio - Procedimento
- NBR 14931:2003: Execução de estruturas de concreto - Procedimento

É importante frisar que a citação direta, neste texto, de itens inseridos nas normas técnicas, não têm como objetivo substituir suas prescrições, mas sim o de ressaltar importantes aspectos contidos nas mesmas.

1. Concepção estrutural e pré-formas

Na concepção do projeto, uma das principais preocupações do projetista estrutural deverá ser a interação com as demais disciplinas, em especial com a arquitetura, ação essa que irá direcionar grande parte das decisões de projeto.

As pré-formas deverão apresentar a definição estrutural de todos os pavimentos, já devendo ter sido contemplados:

- o dimensionamento dos diversos elementos estruturais quanto aos seus respectivos estados limites;
- as verificações necessárias para garantir a estabilidade global da estrutura;
- o respeito aos estados limites em serviço: deformações verticais, horizontais e vibrações.

O desenvolvimento do projeto estrutural deverá obedecer às prescrições da NBR 6118:2003: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento, devendo nesta fase contemplar os itens a seguir.

1.1. Qualidade e durabilidade

Uma das principais inovações introduzidas pela NBR 6118:2003 diz respeito às exigências para garantir que, independentemente da estrutura projetada, seja alcançada a vida útil prevista, para o ambiente existente, com a manutenção preventiva especificada, dentro das condições de carregamento impostas. Essas exigências devem ser adotadas de comum acordo e referendadas pelo Proprietário ou por preposto por ele indicado.

É muito importante identificar o grau de agressividade do ambiente, onde a estrutura será implantada, a fim de fixarmos a qualidade do concreto de cobertura que deverá ser utilizado e também os cobrimentos mínimos a serem adotados para garantir a perfeita proteção das armaduras ao longo do tempo.

Para atender a essas exigências de norma, o projeto estrutural deverá prever:

- escolha correta do tipo de ambiente e seu grau de agressividade (tabela 7.1, item 7.4.2 da NBR 6118:2003);
- intenção de vida útil da estrutura projetada;

- escolha da classe de resistência do concreto;
- especificação dos cobrimentos das peças estruturais (item 7.4.7 da NBR 6118:2003);
- especificação da relação água/cimento do concreto.

1.2. Materiais

O projeto deverá ter indicações explícitas dos materiais adotados:

- resistência característica à compressão aos 28 dias (f_{ck});
- o módulo de deformação tangente inicial (E_{ci}) considerado no projeto;
- relação água/cimento.

Se necessário, deverão ser especificados valores intermediários de resistência e módulo de deformação, conforme necessidades específicas do processo executivo.

Esses parâmetros formarão a especificação necessária para a contratação do fornecimento de concreto por parte do contratante.

O **módulo de elasticidade ou de deformação** será utilizado para determinação das deformações esperadas nas estruturas. Em virtude do comportamento elasto-plástico do concreto, o mesmo poderá assumir diferentes valores, em função do tipo de solicitação a que a estrutura estará sujeita:

- módulo tangente inicial (E_{ci}) para avaliação de deformações de curta duração. Assim, o E_{ci} pode ser considerado na avaliação do comportamento global da estrutura e para cálculo de perdas imediatas de protensão.
- módulo de elasticidade secante (E_{cs}) para determinação de esforços solicitantes e verificações de estado limite em serviço (deformações verticais e vibrações) dos elementos estruturais.

Na falta de ensaios ou de dados mais precisos sobre o concreto a ser utilizado, pode-se estimar os valores do módulo de elasticidade conforme expressões do item 8.2.8 da NBR 6118:2003.

1.3. Ações externas

Devem ser definidas as ações a serem aplicadas na estrutura, seus coeficientes de segurança e as combinações de carga que serão analisadas.

Os carregamentos verticais deverão prever a atuação de sobrecargas em função da utilização de cada ambiente, de acordo com o especificado na NBR 6120:1980: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações - Procedimento.

O projeto deverá conter indicações explícitas das cargas admitidas nas diversas fases da execução e utilização da estrutura, em especial, com relação aos valores previstos para:

- cargas permanentes (impermeabilização, pisos e forros, etc.);
- sobrecargas de utilização.

Além dos carregamentos verticais, deverão ser previstos outros carregamentos externos, em função das características de cada edificação.

Vento

O efeito do vento em edifícios deve ser sempre considerado, devendo o mesmo ser avaliado desde o início da concepção da estrutura.

Para a velocidade básica (V_0) devem ser adotados valores iguais ou superiores aos das velocidades de estabelecidas no gráfico de isopletas no Brasil que consta na NBR 6123:1988: forças devidas ao vento em edificações - Procedimento.

Devem ser cuidadosamente determinados:

- o fator topográfico $S1$;
- o fator de rugosidade, dimensões da edificação e altura do terreno para determinação do fator $S2$;
- o fator estatístico $S3$;
- os coeficientes de arrasto em vento de baixa ou alta turbulência.

Como a norma salienta, nos casos de dúvida e em obras de excepcional importância, o projetista da estrutura deve fazer um estudo específico de velocidade e obtenção dos coeficientes de força.

Da mesma forma, para edificações de formas, dimensões e localização fora de sua abrangência, deve-se recorrer a ensaios específicos em túnel de vento.

Para estruturas esbeltas o projetista estrutural deve verificar a necessidade de determinação dos efeitos dinâmicos devidos à turbulência atmosférica, conforme capítulo 9 da NBR 6123:1988.

Imperfeições globais

Na análise global de estruturas reticuladas, sejam elas contraventadas ou não, deve ser considerado um desaprumo dos elementos verticais (pilares e paredes) conforme item 11.3.3.4.1 da NBR 6118:2003.

O desaprumo global não deve necessariamente ser superposto ao correspondente carregamento de vento, sendo que, entre desaprumo e vento, precisa ser considerado apenas o carregamento mais desfavorável à estrutura.

Empuxos diferenciais

É de extrema importância a verificação dos esforços devidos a empuxos desequilibrados, que podem chegar a valores significativos e precisam de uma estrutura rígida para sua absorção.

Todas as possibilidades de atuação de empuxos desequilibrados deverão ser levadas em consideração no projeto e no dimensionamento dos elementos estruturais.

Carregamentos especiais

Deve-se verificar a necessidade de consideração de cargas especiais no pavimento térreo devido a:

- tráfego de veículos pesados,
- equipamentos de combate a incêndio
- equipamentos que serão utilizados durante a execução e montagem da estrutura, tais como, caminhões betoneira, rolo compressor, guindastes, etc.

Cargas dinâmicas que requeiram verificações especiais devem ser identificadas e consideradas nas análises.

1.4. Concepção estrutural

O projeto deve ter uma concepção estrutural clara, oferecendo o perfeito entendimento de como a estrutura funciona, para que se possa validar os resultados obtidos, qualquer que seja o processo de cálculo utilizado.

A concepção deverá considerar os seguintes itens:

- limitações impostas pelo projeto arquitetônico;

para execução do projeto de fundações, já que podem ser necessárias alterações na solução estrutural para viabilizar ou minimizar o custo desse item.

1.7. Produtos gerados nesta fase do projeto

Pré-formas da estrutura

Dados técnicos de projeto

Deve ser apresentado um documento com citações das especificações e critérios adotados no projeto, dentre eles:

• Critérios relacionados à durabilidade

- classe de agressividade ambiental
- tipo e qualidade do concreto (fck, relação a/c)
- cobrimentos nominais específicos para cada elemento estrutural, indicando o tipo de controle e cuidados com os espaçadores
- propriedades dos materiais (concreto: fck, f_{ctj}, E_{ci} / aço: Classe, Es, Ep)

• Critérios de execução

- cura
- prazos de desforma e retirada de escoramentos

• Cargas adotadas em projeto

- verticais
- horizontais

• Deslocamentos de controle

- informação dos deslocamentos máximos (verticais e horizontais) obtidos para a estrutura comparados aos valores de referência de norma.

• Fundações: tipo e cargas

- informação do(s) tipo(s) de fundação(ões) presentes na estrutura e as cargas adotadas nas mesmas.

• Situações especiais de projeto

- poderiam ser o caso não correntes, uso de normas técnicas estrangeiras, ensaios especiais, etc.

2. Projeto executivo

O projeto executivo deve observar todas as orientações já destacadas na 1ª fase. Deve-se confirmar com os projetistas das demais especialidades se foram adotadas soluções que garantam a durabilidade da estrutura, tais como: drenagem, proteção das juntas, colocação de rufos, acesso para fiscalização e manutenção, etc.

Nessa fase, deverão ser ainda realizadas verificações locais de tensões e concentrações de armaduras, tais como: introdução de cargas concentradas em áreas parcialmente solicitadas (protensão), concentração de armaduras nos encontros de vigas com pilares, etc.

Peças pré-moldadas devem ser verificadas em todas as fases: desforma, protensão, manuseio, estocagem, transporte, montagem e serviço.

O projeto executivo de formas deve conter todos os detalhes e indicações de métodos construtivos que permitam a sua perfeita compreensão e execução. Entre essas preocupações principais, pode-se citar:

- facilidade de interpretação dos desenhos de formas;
- construtibilidade a partir desses desenhos;
- posição das juntas, conforme modelo estrutural adotado;
- eixos de locação da obra posicionados em locais adequados;
- indicações claras de pontos especiais da estrutura: rebaixos em lajes, furos e dentes em vigas, etc.;

- especificação de materiais, cobrimentos e contra flechas;
- especificação dos carregamentos adotados.

O detalhamento deve considerar armaduras para resistir a todos os esforços obtidos nas análises estruturais consideradas.

As juntas devem ser avaliadas e detalhadas coerentemente aos modelos adotados

Devem ser previstas no detalhamento, armaduras para emendas das várias etapas de concretagem, regiões que serão concretadas posteriormente devido a presença ou entrada de equipamentos, caixas de ancoragem, etc.

Todas as regiões onde se observarem cruzamentos de armaduras, deverão ser cuidadosamente estudadas e detalhadas de forma a permitir uma perfeita montagem em concretagem.

Os projetos de detalhamento de armaduras deverão ainda prever:

- espaçamentos mínimos entre barras nos diversos elementos estruturais;
- observância das taxas limites de armadura, com particular atenção para os pilares;
- verificação de armaduras horizontais em pilares paredes;
- detalhamento das armaduras de punção, obrigatórias nos casos em que as lajes colaboram com a estabilidade global da estrutura (item 19.5.3.5 da NBR 6118:2003);
- detalhamento adequado de emendas de barras.

Para as estruturas protendidas, o projeto deve contemplar ainda:

- indicações claras para a realização da protensão.
- características desejadas para o concreto no ato da protensão;
- considerações estruturais para o funcionamento efetivo da protensão;
- cálculo de perdas iniciais e progressivas;
- verificação e detalhamento de zonas de implantação de protensão;
- verificação de interferências de montagem entre cabos;
- especificação de alongamentos teóricos, força inicial de protensão, etc.;
- indicação do sistema de protensão adotado na fase de projeto.

Considerações finais

As recomendações aqui apresentadas indicam os principais cuidados a serem tomados no desenvolvimento de um projeto estrutural de qualidade. Cabe ao projetista estrutural analisar, para cada empreendimento específico, cuidados adicionais a serem tomados.

Nesse sentido, a leitura atenta das normas técnicas e a obediência às suas prescrições são de fundamental importância para embasar as decisões técnicas de projeto, garantindo adicionalmente proteção jurídica ao projetista e ao contratante em eventuais problemas futuros.

A ABECE espera que com essas recomendações, os projetos elaborados passem a adotar um padrão mínimo de qualidade para as estruturas, o que se traduzirá em benefícios para toda a cadeia da construção civil e maior segurança ao usuário.

- adequação do sistema estrutural escolhido para cada pavimento;
- análise da interface entre a estrutura e projetos de hidráulica, elétrica e ar condicionado;
- adequação da interface da vedação interna e externa com a estrutura;
- construtibilidade (facilidade de execução).

A definição da estrutura, muitas vezes, implica em métodos executivos especiais, tais como:

- cimbramentos e descimbramentos fora dos padrões usuais;
- peças que necessitem ficar escoradas por um período maior que o restante da estrutura;
- estruturas atirantadas, que precisam ser descimbradas de cima para baixo;
- peças que serão concretadas por etapas e que entrarão em carga antes de ter sua seção final concluída;
- etc.

Todos estes pontos devem ser destacados nesta fase, pois, fazem parte da definição da estrutura e devem ser contemplados no detalhamento e na execução.

No caso de estruturas pré-moldadas, os esforços nas etapas de montagem devem ser verificados, assim como a estabilidade da estrutura parcialmente montada, ou montada mas não solidarizada, quando for o caso.

Dimensões limites dos elementos estruturais

O projetista estrutural deve respeitar as dimensões mínimas para os diversos elementos estruturais, prescritas na NBR 6118:2003. Deve ainda, sensibilizar os projetistas de outras especialidades para essa necessidade, já que muitas vezes esses limites não foram considerados nos demais projetos.

A conquista desses espaços é fundamental para que as peças atendam aos cobrimentos mínimos adequados aos vários graus de agressividade ambiental, com uma boa disposição das armaduras, fatores imprescindíveis para uma execução adequada da estrutura, influenciando diretamente na sua durabilidade.

Especial atenção deve ser dada às espessuras mínimas de lajes, que devem atender ao item 13.2.4 da NBR 6118:2003, principalmente em lajes maciças.

Devem ser verificadas também as dimensões mínimas para atendimento das prescrições das normas NBR 14432:2001 e NBR 15200:2004 relativas à resistência das peças em situação de incêndio.

As principais peças devem ser dimensionadas para que a geometria da estrutura fique definida já nesta fase.

1.5. Análise estrutural

É extremamente importante que, desde a primeira etapa, sejam verificadas a estabilidade global da estrutura, as deformações verticais e horizontais, a estabilidade local em pilares, as taxas de armadura nas peças mais carregadas, taxas de armadura diferenciadas nos pilares que podem levar a deformações diferenciais nos andares, introduzindo esforços adicionais na estrutura.

Qualquer ponto de análise que seja relevante deve ser verificado, evitando-se alterações posteriores na geometria, comprometendo os demais projetos e muitas vezes as estimativas de custo do empreendimento.

O modelo de cálculo a ser utilizado deverá corresponder à complexidade da estrutura, contemplando os critérios necessários para que se garanta a segurança estrutural e o adequado comportamento em serviço.

Deve-se dar atenção especial às regiões com excessiva concentração de esforços, verificando -se a adequação do modelo (em especial, vigas que chegam em lâminas de pilares poligonais e negativos de lajes sobre pilares) e a concentração excessiva de armaduras na região.

Na análise da estrutura em serviço, deverão ser obedecidas as prescrições de norma, considerando-se efeitos a longo prazo para deformações, variações térmicas e retração, a fim de evitar o surgimento de fissuras entre a estrutura e os elementos de vedação.

Quando as cargas variáveis forem significativas, deve-se verificar a estrutura para situações de alternância de carga.

Para estruturas muito esbeltas ou de vãos elevados, é importante que seja feita uma adequada avaliação da possibilidade de vibração da estrutura.

Deformações verticais dos pavimentos: devem atender aos limites de deslocamentos verticais estabelecidos pela tabela 13.2 da NBR 6118-2003.

Deslocamentos máximos horizontais no topo do edifício: os limites para deslocamento horizontal do topo do edifício e entre pavimentos contíguos, devem ser verificados nesta etapa, pois, pode ser necessário adotar uma estrutura mais rígida para atender aos limites de movimentos laterais estabelecidos pela tabela 13.2 da NBR 6118:2003.

1.6. Avaliação de esforços internos adicionais

De acordo com a concepção estrutural adotada, esforços adicionais poderão se desenvolver internamente aos elementos estruturais, em especial, nas condições abaixo:

- **estruturas protendidas:** no caso de estruturas protendidas, devem ser verificados os esforços hiperestáticos devido à protensão e perdas do processo.
- **efeitos globais de 2ª ordem:** a avaliação da necessidade de consideração de efeitos de 2ª ordem na estrutura poderá ser feita através da aplicação do η ou de análises não lineares (P- Δ).
- **imperfeições e efeitos de 2ª ordem locais:** Deverão ser obedecidas as prescrições da NBR 6118:2003.
- **variações térmicas e retração:** deve-se apresentar a definição das juntas que serão adotadas para minimizar os efeitos da retração e do dilatação térmica no pavimento. A definição da distância entre juntas variará de acordo com o projeto, devendo ser determinada caso a caso através do cálculo dos esforços oriundos dessas considerações.

Os efeitos da retração podem ser minimizados, através da adoção de concretagem do pavimento em etapas. Dessa forma, grande parte da retração terá ocorrido antes da solidarização completa da estrutura.

A adoção de faixas de concretagem posterior também deve ser adotada junto a elementos verticais que impeçam a movimentação da estrutura, sendo também muito importantes nas estruturas protendidas, para minimizar as perdas de protensão.

- **esforços transmitidos para as fundações:** as cargas aplicadas nas fundações deverão ser avaliadas pelo projetista estrutural e submetidas ao consultor designado