PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE

SUDECAP
SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA CAPITAL

Prefeitura Municipal de Belo Horizonte – PBH

Secretaria Municipal de Obras e Infraestrutura – SMOBI

Superintendência de Desenvolvimento da Capital – SUDECAP

Diretoria de Planejamento e Controle de Empreendimentos – DPLC-SD

Departamento de Informações e Procedimentos Técnicos – DPIT-SD

Gerência de Normas e Padrões Técnicos – GENPA-SD

**CADERNO DE ENCARGOS SUDECAP**

# CAPÍTULO 6

# ESTRUTURAS DE CONCRETO E DE AÇO

4ª EDIÇÃO

PUBLICAÇÃO: 29/03/2019

ATUALIZAÇÃO: 15/04/2024

SUMÁRIO

6 ESTRUTURAS DE CONCRETO E DE AÇO.....2

6.1 ESTRUTURA DE CONCRETO .....2

6.2 ESTRUTURA DE AÇO .....41

6.3 LIGHT STEEL FRAMING .....82

6.4 REFERÊNCIAS .....91

Este documento faz parte do Caderno de Encargos SUDECAP disponível no Portal PBH.

São reservados à Prefeitura Municipal de Belo Horizonte todos os direitos autorais. Desde que o documento seja referenciado, é permitida a reprodução do seu conteúdo. A violação dos direitos autorais sujeita os responsáveis às sanções cíveis, administrativas e criminais previstas da legislação.

# 6 ESTRUTURAS DE CONCRETO E DE AÇO

Este capítulo do Caderno de Encargos SUDECAP tem como objetivo determinar as diretrizes básicas para a execução de estruturas de concreto e de aço, envolvendo aspectos construtivos com foco em durabilidade das estruturas, qualidade dos processos e produtos envolvidos na execução, em consonância com as normas técnicas aplicáveis e vigentes.

## 6.1 ESTRUTURA DE CONCRETO

Objetiva estabelecer as diretrizes gerais para a execução dos serviços de fabricação e montagem de estruturas de concreto em sua ampla gama de aplicação.

### 6.1.1 Legislação aplicável, normas e práticas complementares

NBR NM5/00 - Concreto compactado com rolo - Determinação da umidade "*in situ*" com uso de densímetro nuclear

NBR NM26/09 - Agregados – Amostragem.

NBR NM33/94 - Concreto - Amostragem de concreto fresco.

NBR NM49/01 - Agregado miúdo - Determinação de impurezas orgânicas.

NBR NM51/01 - Agregado graúdo - Ensaio de abrasão "Los Angeles".

NBR NM67/98 - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

NBR NM 248/03 - Agregados - Determinação da composição granulométrica.

NBR NM ISO 3310-1/10 - Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação - Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico (ISO 3310-1:2000, IDT).

NBR 5738/15 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.

NBR 5739/18 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.

NBR 6118/23 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento.

NBR 6120/19 - Ações para o cálculo de estruturas de edificações.

NBR 6122/22 - Projeto e execução de fundações.

NBR 6123/23 - Forças devidas ao vento em edificações.

NBR 7187/21 - Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido.

NBR 7188/24 - Ações devido ao tráfego de veículos rodoviários e de pedestres em pontes, viadutos e passarelas.

NBR 7190/22 - Projeto de estruturas de madeira. Partes 1 a 7.

NBR 7211/22 - Agregados para concreto - Requisitos.

NBR 7212/21 - Concreto dosado em central - Preparo, fornecimento e controle.

NBR 7477/82 - Determinação do coeficiente de conformação superficial de barras e fios de aço destinados a armaduras de concreto armado.

NBR 7480/24 - Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Requisitos.

NBR 7481/22 - Tela de aço soldada nervurada para armadura de concreto - Requisitos

NBR 7678/83 - Segurança na execução de obras e serviços de construção.

NBR 7680-1/15 - Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto - Parte 1: Resistência à compressão axial.

NBR 7680-2/15 - Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto - Parte 2: Resistência à tração na flexão.

NBR 8522/21 - Concreto endurecido - determinação dos módulos de elasticidade e de deformação - Partes 1 e 2.

NBR 8548/84 - Barras de aço destinadas a armaduras para concreto armado com emenda mecânica ou por solda - Determinação da resistência à tração - Método de ensaio.

NBR 8681/03 - Ações e segurança nas estruturas - Procedimento.

NBR 8800/08 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.

NBR 8953/15 - Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência.

NBR 9062/17 - Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado.

NBR 9778/05 - Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.

NBR 9833/08 - Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico.

NBR 11768/19 - Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Partes 1 a 3.

NBR 12653/14 - Materiais pozolânicos - Requisitos.

NBR 12655/22 - Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação.

NBR 13956-1/12 - Sílica ativa para uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta - Parte 1: Requisitos.

NBR 14323/13 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio.

NBR 14432/01 - Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações.

NBR 14861/22 - Lajes alveolares pré-moldadas de concreto protendido.

NBR 14931/23 - Execução de estruturas de concreto armado, protendido e com fibras - Requisitos.

NBR 15200/12 - Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio.

NBR 15239/05 - Tratamento de superfícies de aço com ferramentas manuais e mecânicas.

NBR 15575/21 - Edificações habitacionais - Desempenho - Partes 1 e 2.

NBR 15577-1/18 - Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto.

NBR 15696/09 - Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto - Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos.

NBR 15823/17 - Concreto auto adensável - Partes 1 a 6.

NBR 15894-1/10 - Metacaulim para uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta - Parte 1: Requisitos.

NBR 15900-1/09 - Água para amassamento do concreto - Parte 1: Requisitos.

NBR 16239/13 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações com perfis tubulares.

NBR 16697/18 - Cimento Portland - Requisitos.

NBR 16733/19 - Esquemas de pintura para superfícies de aço galvanizado - Proteção anticorrosiva - Requisitos

NR-18 e atualizações - Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção.

ASTM C1218/C1218M:2017 - Standard test method for water-soluble chloride in mortar and concrete.

### 6.1.2 Definições

O presente documento estabelece os requisitos gerais para execução de estruturas de concreto simples e armado em sua ampla gama de aplicação: estruturas de muros de arrimo, edificações, canais, galerias, pontes, viadutos, entre outras. A execução das obras deve ser a mais cuidadosa possível a fim de que as dimensões, a forma e a posição das peças obedeçam às indicações do projeto, assim como as especificações contidas nas normas técnicas da NBR 6118 e NBR 14931.

Conforme definido na NBR 6118, o termo concreto estrutural se refere ao espectro completo das aplicações do concreto como material estrutural. Os elementos de concreto armado são aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência. Já os elementos de concreto simples estrutural são aqueles elaborados com concreto que não possuem qualquer tipo de armadura, ou que a possuem em quantidade inferior ao mínimo exigido para o concreto armado.

Esta seção não se aplica à produção de elementos estruturais pré-fabricados de concreto, concreto protendido e elementos de fundações profundas, tais como estacas e tubulões.

Segundo a seção 5 da NBR 14931, antes do início da execução de qualquer parte da estrutura de concreto, as especificações de projeto devem estar completas e disponíveis.

Conforme estabelece a seção 5 da NBR 6118, nas especificações de projeto devem constar todas as informações necessárias e todos os requisitos técnicos para a execução da estrutura de concreto. Tal seção classifica os requisitos de qualidade da estrutura em três grupos distintos: capacidade resistente, desempenho em serviço e durabilidade. A capacidade resistente consiste basicamente na segurança à ruptura. O desempenho em serviço consiste na capacidade de a estrutura manter-se em condições plenas de utilização durante sua vida útil, não podendo apresentar danos que comprometam em parte ou totalmente o uso para o qual foi projetada. E a durabilidade consiste na capacidade da estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e pelo contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto.

Em relação aos requisitos de qualidade do projeto, a NBR 6118, estabelece:

- Qualidade da solução adotada

Deve atender aos requisitos de qualidade estabelecidos nas normas técnicas, relativos à capacidade resistente, ao desempenho em serviço e à durabilidade da estrutura. Deve ainda considerar as condições arquitetônicas, funcionais, construtivas, estruturais e de integração com os demais projetos, explicitadas pelos responsáveis técnicos de cada especialidade, com a anuência do contratante.

- Condições impostas ao projeto

Atendimento aos requisitos de qualidade impostos às estruturas de concreto, às exigências relativas à capacidade resistente e ao desempenho em serviço, às exigências de durabilidade e às exigências particulares estabelecidas em Normas Brasileiras específicas.

- Documentação da solução adotada

Produto final do projeto estrutural constituído por desenhos, especificações e critérios de projeto (constantes nos próprios desenhos ou em documento separado). Devem conter informações claras, corretas, consistentes entre si e com as exigências normativas. O projeto estrutural deve proporcionar as informações necessárias para a execução da estrutura.

### 6.1.3 Propriedades do Concreto fresco

À massa constituída de agregado miúdo, graúdo, pasta de cimento e ar, dá-se o nome de concreto fresco. Neste tipo de mistura devem ser tomados alguns cuidados indispensáveis à obtenção de um bom concreto no estado fresco, como por exemplo, ser transportado, lançado e adensado sem segregação. Depois de endurecida, a massa deve se apresentar homogênea e com um mínimo de vazios.

Durante a produção de concreto, deve-se atentar para a garantia das propriedades apresentadas a seguir.

#### 6.1.3.1 Trabalhabilidade

O concreto deve apresentar trabalhabilidade que assegure plasticidade máxima, segregabilidade mínima e consistência apropriada, e depende:

- Da fluidez da pasta dada pela relação água/cimento;
- Da plasticidade da mistura dada pela proporção entre a pasta e os agregados;

- Da proporção entre os agregados;
- Das características dos agregados;
- De adições utilizadas no cimento;
- De aditivos utilizados na mistura.

A trabalhabilidade depende também do tipo de obra. Assim sendo, um concreto para peças de grandes dimensões e pouca armação pode não ser o mesmo indicado para peças esbeltas e muito armadas, bem como, um concreto que aceite um perfeito adensamento com vibração, provavelmente não dará uma moldagem satisfatória com adensamento manual. Todavia, a má trabalhabilidade gera porosidades, ou seja, diminui a densidade do concreto, transformando-o num concreto de qualidade inferior, com nichos na estrutura, dificuldades no adensamento e, principalmente, induzindo a um consumo exagerado de água, prejudicando qualidades fundamentais do concreto endurecido como permeabilidade e resistência.

A correção da trabalhabilidade pode ser feita a partir da granulometria dos componentes utilizados na mistura ou com o uso de aditivos específicos (como plastificantes ou incorporadores de ar). Aumentando-se os finos do concreto (cimento e areia), a trabalhabilidade aumentará. Esta regra, porém, só é válida até certo limite, pois, o concreto se torna menos trabalhável à medida que fica mais denso. A melhor proporção entre os componentes da mistura, é aquela na qual se obtém a trabalhabilidade máxima, com a menor relação água/cimento possível. Em geral, à medida que se aumenta o diâmetro do agregado, diminui-se a superfície específica e a quantidade de água necessária, aumentando-se a resistência do concreto.

#### 6.1.3.2 Fluidez e plasticidade

Juntamente com a segregabilidade, a fluidez e a plasticidade são os elementos que determinam a trabalhabilidade. Plasticidade do concreto é a sua capacidade de adaptar-se às formas e fluidez é a facilidade de escoar em planos. A plasticidade está intimamente relacionada com a granulometria e a fluidez com a quantidade de água.

#### 6.1.3.3 Compactabilidade e mobilidade

São duas propriedades das quais depende a consistência do concreto. Consistência segundo o ACI (*American Concrete Institute*) é “a relativa mobilidade ou facilidade do concreto ou argamassa escoar”. A compactabilidade pode ser caracterizada pela relação entre o peso específico de uma amostra de concreto e a soma teórica dos pesos específicos de seus componentes. Quanto maior este índice mais compacto é o concreto. Já a mobilidade é a propriedade inversamente proporcional à resistência interna e à deformação e depende de três características do concreto fresco: ângulo de atrito interno, coesão e viscosidade. É importante o estudo da mobilidade para se conhecer o comportamento do concreto fresco durante o transporte, lançamento, adensamento e acabamento.

#### 6.1.3.4 Consistência

Pode-se definir a consistência como a resistência momentânea do concreto fresco às forças que tendem a modificar sua forma. Dentro de uma mesma consistência ou grau de umidade a trabalhabilidade poderá variar com a granulometria. Os fatores que afetam a consistência do concreto são:

- Teor água/mistura seca;
- Granulometria e forma dos grãos dos agregados;
- Os aditivos;
- Tempo e temperatura.

#### 6.1.3.5 Calor de hidratação

O cimento ao hidratar-se eleva muito a sua temperatura e a massa do concreto expande-se. Ao se resfriarem, as camadas externas em contato com o ar contraem-se e, como o núcleo da massa ainda está expandindo e o concreto ainda não adquiriu coesão suficiente, as camadas externas fissuram e também se separam das internas, enfraquecendo a estrutura. A temperatura atingida é em função da temperatura ambiente, do calor de hidratação do cimento empregado, das dimensões da peça concretada, da velocidade de lançamento, das condições de aeração do ambiente, das propriedades térmicas do agregado e da quantidade de calor que pode ser irradiado.

Deve-se sempre procurar atingir temperaturas mais baixas nas ações de concretagem, principalmente naquelas de elementos com grandes volumes. Para tal, pode-se utilizar gelo em vez de água, reduzir a quantidade de cimento, utilizar cimento de baixo calor de hidratação, reduzir- se a espessura das camadas concretadas e usar-se aditivos retardadores de pega.

É bom procedimento lavar o agregado graúdo uma hora antes da mistura pois, além de diminuir-se a temperatura, ganha-se maior aderência com a pasta.

Aumentando-se muito o teor de cimento surgem retrações e deformações importantes, que trazem prejuízo a qualidade do concreto, apesar do aumento de resistência mecânica obtido. O ideal é ficar com o teor de cimento na faixa de 300 a 400 kg/m$^3$ quando se pretende concretos com alta resistência.

#### 6.1.3.6 Segregação

É a separação dos constituintes da mistura impedindo a obtenção de um concreto com características de uniformidade razoáveis. A segregação pode ocorrer por diversos motivos, podendo-se citar:

- Vibração exagerada em concretos muito plásticos;
- Lançamento de grande distância ou grande altura;
- Número exagerado de voltas na betoneira.

Existem duas formas de segregação, na primeira, os grãos maiores do agregado tendem a se separar da pasta depositando-se no fundo das formas ou da betoneira, ou rolando mais rapidamente quando transportados em calhas. A segunda forma ocorre em concretos muito plásticos, quando a pasta se separa do resto. A primeira forma normalmente ocorre em concretos pobres e secos, podendo ser combatida aumentando-se a coesão com a adição de água. Em misturas muito úmidas ocorre a segunda forma de segregação.

#### 6.1.3.7 Exudação

Tipo particular de segregação, consistindo na tendência da água de amassamento aflorar enquanto o concreto não faz pega. Formam-se nas superfícies superiores das peças, resultando um concreto poroso, fraco e de pouca durabilidade. Combate-se a exudação usando-se a água estritamente necessária para o tipo de adensamento e adicionando-se mais cimento e material pulverulento.

#### 6.1.3.8 Tempo de pega

É um fenômeno químico resultante das reações do cimento nas quais os agregados têm um pouco de influência, e que mensura com precisão a rapidez em que um determinado concreto inicia o seu endurecimento.

#### 6.1.3.9 Incorporação de ar

O ar incorporado melhora a trabalhabilidade e a impermeabilidade, mas reduz a resistência, pois as gotas de ar agem como lubrificante, interrompendo o fissuramento contínuo e aumentando os vazios, respectivamente. A diminuição de resistência devido ao aumento dos vazios pode ser compensada em parte com a redução da água devido ao aumento de trabalhabilidade.

### 6.1.4 Propriedades do Concreto endurecido

A passagem de um concreto do seu estado fresco para o endurecido requer cuidados especiais, na medida em que tais cuidados são responsáveis pela boa qualidade da peça produzida, garantindo os requisitos mínimos de segurança e durabilidade exigidos. Existem diversos fatores que afetam o desempenho dos concretos, modificando as suas propriedades e que devem ser observados atentamente pela CONTRATADA. Destacam-se:

#### 6.1.4.1 Permeabilidade

Todo concreto produzido deve ter a devida e necessária impermeabilização. Um concreto impermeável é obtido com uma correta dosagem, escolhendo materiais e relação água/cimento adequados e com uma correta vibração e adensamento.

#### 6.1.4.2 Resistência mecânica

A resistência do concreto obtida em corpos de prova em laboratório é um indício de qualidade do concreto. Influem na resistência final do concreto o tipo de cimento, o grau de adensamento, a relação água/cimento, o processo de cura, além dos agregados utilizados.

#### 6.1.4.3 Peso

O peso do concreto é função dos componentes, traço e adensamento usados. Normalmente, a resistência do concreto cai com a diminuição da densidade do concreto mantendo-se constantes os outros fatores. A introdução de ar incorporado diminui o peso e a resistência do concreto.

#### 6.1.4.4 Retração

Ao secar, o concreto diminui de volume por perda de água. A retração gera gretas capilares e fissuras que comprometem a impermeabilidade do concreto e, por consequência, a sua durabilidade. São os seguintes os principais tipos de retração do concreto:

- Retração por sedimentação nas primeiras horas;
- Retração por perda de água nos primeiros dias;
- Variações de volume por dilatação térmica;
- Variações do volume devido à umidade ambiente;
- Deformação lenta.

A NBR 14931, na Seção 10, recomenda e especifica ações básicas para o controle adequado da cura dos concretos. Enquanto não atingir endurecimento satisfatório, o concreto deve ser curado e protegido contra agentes prejudiciais para evitar a perda precoce de água pela superfície exposta, assegurar uma superfície com resistência adequada e assegurar a formação de uma capa superficial durável.

Os agentes deletérios mais comuns ao concreto em seu início de vida são: mudanças bruscas de temperatura, secagem, chuva forte, água torrencial, congelamento, agentes químicos, bem como choques e vibrações de intensidade tal que possam produzir fissuras na massa de concreto ou prejudicar a sua aderência à armadura. Ressalta-se que, no caso de chuva forte e água torrencial, deve-se evitar que essa água adicional seja incorporada à mistura durante o período de pega do concreto, a fim de não se alterar a relação água/cimento adotada e comprometer a resistência do material. Com o término da pega e o início do processo de endurecimento do concreto, deve-se dar início ao processo de cura da peça concretada.

O endurecimento do concreto pode ser acelerado por meio de tratamento térmico ou pelo uso de aditivos que não contenham cloreto de cálcio em sua composição e devidamente controlado, não se dispensando as medidas de proteção contra a secagem. Elementos estruturais de superfície devem ser curados até que atinjam resistência característica à compressão ($f_{ck}$), de acordo com a NBR 12655, igual ou maior que 15 MPa. No caso de utilização de água, esta deve ser potável ou satisfazer às exigências da NBR 12654.

#### 6.1.4.5 Dilatação

Para efeitos práticos e de cálculo, o coeficiente de dilatação térmica do concreto pode ser admitido como igual a $10^{-5}$/ºC. De acordo com a Seção 24 da NBR 6118, as juntas de dilatação devem ser previstas pelo menos a cada 15 metros. No caso de ser necessário afastamento maior, devem ser considerados no cálculo os efeitos da retração térmica do concreto (como consequência do calor de hidratação), da retração hidráulica e das variações de temperatura.

As variações bruscas de temperatura podem gerar tensões prejudiciais ao concreto pois, sendo ele um material razoavelmente isolante, possibilitam a ocorrência de temperaturas bem diferentes no núcleo e na superfície de uma peça com maiores dimensões. A dilatação depende da natureza do agregado, do traço e do processo de cura.

Ressalta-se que as juntas de dilatação ou movimentação devem ser convenientemente seladas.

### 6.1.5 Propriedades do concreto usinado ou pré misturado

Todo e qualquer concreto utilizado nas obras da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, em volumes acima de 06 m³ (seis metros cúbicos), deverá ser usinado, gerado em centrais dosadoras com o adequado controle de qualidade dos materiais utilizados e do processo. Ele poderá ser fornecido à CONTRATADA por um sistema de lançamento dito convencional ou bombeado e deverá respeitar todas as prescrições contidas na NBR 6118, NBR 7212, NBR 12655 e NBR 14931.

Antes de sua aplicação para produção, o concreto recebido na planta de produção deve ter sua consistência analisada com a realização do ensaio de abatimento de tronco de cone, de acordo com as exigências da NBR NM 67. Devem ser mantidos arquivados na pasta da obra pela FISCALIZAÇÃO os registros documentados internos ou laudos de laboratório com os resultados do ensaio e de qualquer adição de água posterior autorizada pelo responsável pelo recebimento.

Após o recebimento do concreto, este deve ser rastreado, de maneira a proporcionar o controle tecnológico.

#### 6.1.5.1 Transporte, lançamento e adensamento do concreto usinado

Para o transporte, lançamento e adensamento do concreto usinado, a NBR 7212 prescreve:

#### *6.1.5.1.1 Tipo de veículo*

O transporte deve ser feito por veículo dotado ou não de dispositivo de agitação, desde que apresente estanqueidade necessária, fundo e paredes revestidos de material não absorvente, a fim de que não haja perda de qualquer componente. Via de regra, o transporte até a obra deve ser feito por caminhão betoneira. Admite-se o transporte por caminhão basculante com carroceria de aço, desde que, devido às características da mistura e às condições de transporte, fique garantida a não separação das partes componentes do concreto e o abatimento seja igual ou inferior a 40 mm.

#### *6.1.5.1.2 Período de tempo para o transporte*

O tempo de transporte do concreto decorrido entre o início da mistura, a partir do momento da primeira adição da água, até a entrega do concreto deve ser:

- Fixado de forma que o fim do adensamento não ocorra após o início da pega do concreto lançado e das camadas ou partes contíguas a essa remessa (evitando-se a formação de “junta fria”);
- Inferior a 90 minutos, no caso do emprego de caminhão betoneira, observado o disposto no item *Tipo de veículo*;
- Inferior a 40 minutos, no caso de veículo não dotado de equipamento de agitação, observado o disposto no item *Tipo de veículo*.

Se esses prazos não forem atendidos e o tempo previsto para lançamento e adensamento ultrapassar os períodos previstos no item abaixo, cabe à contratante recusar o recebimento.

#### *6.1.5.1.3 Período de tempo para operações de lançamento e adensamento do concreto*

O lançamento e o adensamento do concreto devem ser:

- Iniciados em até 30 minutos após a chegada do caminhão betoneira na obra. Em situações onde este tempo de início de descarga não possa ser cumprido, o contratante deve avaliar previamente a melhor solução técnica junto à empresa prestadora dos serviços de concretagem. Não se admite adição suplementar de água, conforme NBR 7212;
- Realizados em tempo inferior a 150 minutos, contados a partir da primeira adição de água, no caso do emprego de caminhão betoneira, observado o disposto no item *Tipo de veículo*. Decorridos 150 minutos contados a partir da primeira adição de água, fica a empresa prestadora de serviços de concretagem eximida de responsabilidade do concreto aplicado;
- Realizados em tempo inferior a 60 minutos, contados a partir da primeira adição de água, no caso de veículo não dotado de equipamento de agitação, observado o disposto no item *Tipo de veículo*.

#### *6.1.5.1.4 Temperatura*

A temperatura ambiente para lançamento do concreto deve estar entre 5ºC e 30ºC, conforme a norma NBR 14931. Fora desses limites devem ser tomados cuidados especiais acordados entre as partes. A temperatura do concreto por ocasião de seu lançamento deve ser fixada de modo a evitar a ocorrência de fissuração de origem térmica.

#### *6.1.5.1.5 Condições especiais*

Devem ser verificadas as experiências anteriores e condições especiais, tais como temperatura e umidade relativa do ambiente, propriedades do cimento, características dos materiais, peculiaridades da obra, uso de aditivos retardadores, refrigeração e outras, em função das quais podem ser alterados os tempos (prazos) de transporte e descarga do concreto.

### 6.1.6 Recebimento do Concreto

De acordo com a Seção 4 da NBR 12655, os responsáveis pelo recebimento e pela aceitação do concreto são a CONTRATANTE através do FISCAL TÉCNICO DE OBRAS e a CONTRATADA com o responsável técnico da obra. Todavia, em detrimento ao especificado nessa norma, a documentação comprobatória de seu cumprimento (relatório de ensaios, laudos e outros) deve estar disponível e ser arquivada pelo prazo de 10 (dez) anos, de modo a permitir eventuais esclarecimentos ensejados por órgãos de controle.

A NBR 12655 é aplicável a concreto de cimento Portland para estruturas moldadas na obra, estruturas pré-moldadas e componentes estruturais pré-fabricados, bem como, estabelece os requisitos para:

- Propriedades do concreto fresco e endurecido e suas verificações;
- Composição, preparo e controle do concreto;

- Aceitação e recebimento do concreto.

Adicionalmente, a NBR 12655 se aplica a concretos normais, pesados e leves, porém, não se aplica a concreto massa, concretos aerados, espumosos e com estrutura aberta (sem finos). Exigências adicionais, estabelecidas em normas nacionais vigentes, podem ser necessárias para:

- Estruturas especiais;
- Uso de outros materiais;
- Tecnologias especiais ou tecnologias inovadoras no processo de construção;
- Concreto leve;
- Concreto projetado;
- Concreto pré-fabricado;
- Pavimentos e pisos de concreto.

#### 6.1.6.1 Requisitos básicos para o concreto

Segundo a Seção 3 da NBR 12655 os materiais componentes do concreto não podem conter substâncias prejudiciais em quantidades que possam comprometer a durabilidade do concreto ou causar corrosão da armadura e devem ser adequados para o uso pretendido do concreto. A composição do concreto e a escolha dos materiais componentes devem satisfazer as exigências estabelecidas nessa norma, para concreto fresco e endurecido, observando consistência, massa específica, resistência, durabilidade, proteção das barras de aço quanto à corrosão e ao sistema construtivo escolhido para a obra.

#### 6.1.6.2 Requisitos e condições de durabilidade

As estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, de acordo com o que estabelece a NBR 6118, apresentem segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil. Segundo esta norma, a agressividade ambiental é classificada conforme apresentado na Tabela 1 nos projetos das estruturas correntes.

*Tabela 1 - Classes de agressividade ambiental apresentadas na NBR 6118. Fonte: ABNT (2023).*

| Classe de agressividade ambiental | Agressividade | Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto | Risco de deterioração da estrutura |
|---|---|---|---|
| I | Fraca | Rural | Insignificante |
| | | Submersa | |
| II | Moderada | Urbana [a, b] | Pequeno |
| III | Forte | Marinha [a] | Grande |
| | | Industrial [a, b] | |
| IV | Muito forte | Industrial [a, c] | Elevado |
| | | Respingos de maré | |

[a] Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

[b] Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, para partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

[c] Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Atendidos os critérios de projeto estabelecidos na NBR 6118, a durabilidade das estruturas é altamente dependente das propriedades do concreto. Ensaios comprobatórios do desempenho da durabilidade da estrutura frente ao tipo e ao nível de agressividade previsto em projeto devem estabelecer os parâmetros mínimos a serem atendidos. Na falta desses e devido à existência de uma forte correspondência entre a

relação água/cimento, a resistência à compressão do concreto e sua durabilidade, permite-se adotar os requisitos mínimos expressos na Tabela 2.

*Tabela 2 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto apresentada na NBR 12655. Fonte: ABNT (2022).*

| Concreto | Tipo | Classe de agressividade | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | I | II | III | IV |
| Relação Água/cimento em massa | CA | ≤ 0,65 | ≤ 0,60 | ≤ 0,55 | ≤ 0,45 |
| | CP | ≤ 0,60 | ≤ 0,55 | ≤ 0,50 | ≤ 0,45 |
| Classe de concreto (NBR 8953) | CA | ≥ C20 | ≥ C25 | ≥ C30 | ≥ C40 |
| | CP | ≥ C25 | ≥ C30 | ≥ C35 | ≥ C40 |
| Consumo de cimento Portland por metro cúbico de concreto (kg/m³) | CA e CP | ≥ 260 | ≥ 280 | ≥ 320 | ≥ 360 |
| CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.<br>CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido. | | | | | |

### 6.1.6.3 Condições especiais de exposição

Segundo a Seção 5 da NBR 12655, para condições especiais de exposição devem ser atendidos os requisitos mínimos de durabilidade expressos na Tabela 3 para a máxima relação água/cimento e a mínima resistência característica.

*Tabela 3 - Requisitos para o concreto em condições especiais de exposição apresentados na NBR 12655. Fonte: ABNT (2022).*

| Condições de exposição | Máxima relação Água / cimento, em massa, para concreto com agregado normal | Mínimo valor de $f_{ck}$ (para concreto com agregado normal ou leve) MPa |
|---|---|---|
| Condições em que é necessário um concreto de baixa permeabilidade à água, por exemplo, em caixas d' água | 0,50 | 35 |
| Exposição a processos de congelamento e descongelamento em condições de umidade ou a agentes químicos de degelo | 0,45 | 40 |
| Exposição a cloretos provenientes de agentes químicos de degelo, sais, água salgada, água do mar, ou respingos ou borrifação desses agentes | 0,45 | 40 |

De acordo com a Seção 7 da NBR 6118 a dimensão máxima característica do agregado graúdo utilizado no concreto não pode superar em 20% a espessura nominal do cobrimento, ou seja:

$$D_{máx} \leq 1{,}2\ C_{nom}$$

Qualquer armadura terá cobrimento de concreto nunca menor que as espessuras prescritas no projeto e na NBR 6118. Para garantia do cobrimento mínimo preconizado em projeto, serão utilizados espaçadores plásticos ou espaçadores de concreto, com espessuras iguais ao cobrimento previsto e que não tenham partes metálicas expostas. A resistência do concreto dos espaçadores deverá ser igual ou superior à do concreto das peças às quais serão incorporadas. Os espaçadores de concreto deverão apresentar relação água/cimento menor ou igual a 0,5. Os espaçadores serão providos de arames de fixação nas armaduras. Para cobrimento maior que 6 cm deve-se colocar uma armadura de pele complementar, em rede, cujo cobrimento não deve ser inferior aos limites especificados neste capítulo.

Para concreto armado em contato com o solo não rochoso, sob a estrutura deverá ser interposta uma camada

de concreto simples, não considerada no cálculo, com o consumo mínimo de 250 kg de cimento por metro cúbico e espessura de pelo menos 5 cm, conforme ilustrado na Figura 1 a seguir.

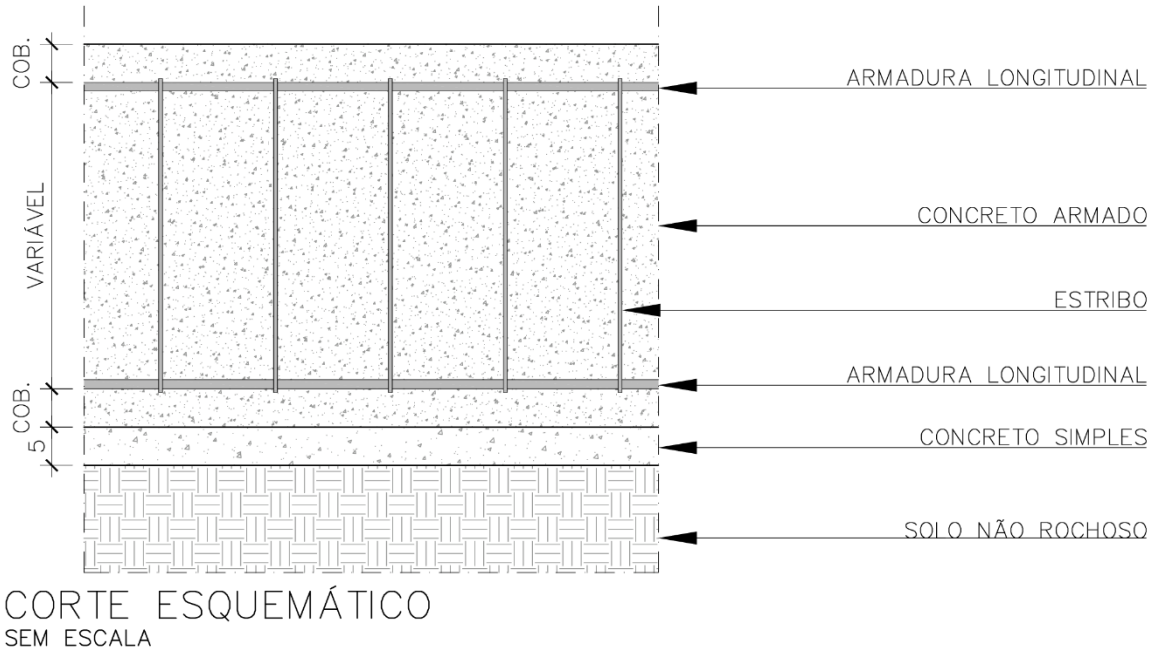



*Figura 1 - Esquema do Contato Solo - Concreto Simples - Concreto Armado. Fonte: Elaboração própria. Nota: Desenho elaborado em 03/02/2022.*

#### *6.1.6.3.1 Sulfatos*

Concretos expostos a solos ou soluções contendo sulfatos devem ser preparados com cimento resistente a sulfatos de acordo com a NBR 5737 e atender ao que estabelece a Tabela 4, no que se refere à relação água/cimento e à resistência característica à compressão do concreto ($f_{ck}$).

*Tabela 4 - Requisitos para concreto exposto a soluções contendo sulfatos apresentados na NBR 12655. Fonte: ABNT (2022).*

| **Condições de exposição em fundação da agressividade** | **Sulfato solúvel em água ($SO_4$) Presente no solo** % em massa | **Sulfato solúvel ($SO_4$) presente na água** ppm | **Máxima relação água, em massa, para concreto com agregado normal [a]** | **Mínimo $f_{ck}$ (para concreto com agregado normal ou leve) MPa** |
|---|---|---|---|---|
| Fraca | 0,00 a 0,10 | 0 a 150 | Conforme Tabela 2 | Conforme Tabela 2 |
| Moderada [b] | 0,10 a 0,20 | 150 a 1 500 | 0,50 | 35 |
| Severa [c] | Acima de 0,20 | Acima de 1 500 | 0,45 | 40 |

[a] Baixa relação água / cimento ou elevada resistência podem ser necessárias para a obtenção de baixa permeabilidade do concreto ou proteção contra a corrosão da armadura ou proteção a processos de congelamento e degelo.

[b] A água do mar é considerada para efeito do ataque de sulfatos como condição de agressividade moderada, embora o seu conteúdo de $SO_4$ seja acima de 1500 ppm, devido ao fato de que a etringita é solubilizada na presença de cloretos.

[c] Para condições severas de agressividade, devem ser obrigatoriamente usados cimentos resistentes a sulfatos.

#### *6.1.6.3.2 Cloretos*

De forma a proteger as armaduras do concreto, o valor máximo da concentração de íons cloreto no concreto endurecido, considerando a contribuição de todos os componentes do concreto no aporte de cloretos, não

pode exceder os limites estabelecidos na Tabela 5. Quando forem realizados ensaios para determinação do teor de íons cloreto solúveis em água, deve ser seguido o procedimento da ASTM C 1218.

*Tabela 5 - Teor máximo de íons cloreto para proteção das armaduras do concreto apresentado na NBR 12655. Fonte: ABNT (2022).*

| **Condições de serviço da estrutura** | **Teor máximo de íons Cloreto ($Cl^-$) no concreto** % sobre a massa de cimento |
|---|---|
| Concreto protendido | 0,05 |
| Concreto armado exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura | 0,15 |
| Concreto armado não exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura | 0,30 |
| Concreto armado em brandas condições de exposição (seco ou protegido da umidade nas condições de serviço da estrutura) | 0,40 |

De acordo com a Seção 5 da NBR 12655, não é permitido o uso de aditivos contendo cloretos em sua composição em estruturas de concreto armado ou protendido.

### 6.1.7 Recebimento dos materiais

Os materiais recebidos devem ser verificados em relação ao seu aspecto geral, quantidade, validade e demais características, garantindo que eles atendam às especificações de compra estabelecidas. O armazenamento deve ser separado por tipo de material ou especificações de projeto, com identificação clara, caso existam peças similares estocadas no mesmo local. O transporte destes materiais deve ser realizado de maneira a garantir as condições de estocagem.

#### 6.1.7.1 Agregados

É fundamental que se tenha pleno conhecimento dos agregados a serem utilizados para a obtenção do concreto. Eles podem ser subdivididos em duas categorias:

- Agregado miúdo: Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm, ressalvados os limites estabelecidos na NBR 7211, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248, com peneiras definidas pela NBR NM ISO 3310-1;
- Agregado graúdo: Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, ressalvados os limites estabelecidos na NBR 7211, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248, com peneiras definidas pela NBR NM ISO 3310-1.

Os agregados a serem utilizados nas estruturas de concreto armado deverão obedecer às exigências contidas nas NBR 7211 e NBR 6118. Dentre as recomendações mais importantes destacam-se:

- Os agregados devem possuir granulometria e forma dos grãos adequadas, resistência mecânica e serem isentos de substâncias nocivas e impurezas orgânicas, tais como: torrões de argila, materiais carbonosos e material pulverulento, nos limites propostos pela normalização;
- Deverá ser coletada amostra do agregado miúdo sempre que houver dúvidas sobre sua homogeneidade em relação à proposta para a dosagem do concreto. A amostra deverá ser coletada de acordo com a NBR NM26 e realizar todos os ensaios propostos pela NBR 7211;
- A granulometria dos agregados deverá se enquadrar em uma das faixas propostas e referenciadas nas Tabelas 6 e 7;
- Os agregados podem possuir teor de matéria orgânica, entre os limites estabelecidos pela NBR NM 49 (somente areia);
- Segundo a NBR 7211 para a aceitação de um ou mais lotes de agregados, definidos conforme NBR NM 26, deve ser estabelecido explicitamente entre o consumidor e o produtor a realização da coleta e dos ensaios das amostras respectivas por laboratório idôneo. Um lote somente deve ser aceito quando cumprir todas as prescrições da referida norma e as eventuais prescrições

especiais contratadas.

*Tabela 6 - Limites granulométricos de agregado miúdo apresentados na NBR 7211. Fonte: ABNT (2022).*

| **Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISSO 3310-1)** | **Porcentagem, em massa, retida acumulada** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Limites inferiores** | | **Limites superiores** | |
| | Zona utilizável | Zona ótima | Zona ótima | Zona utilizável |
| 9,5 mm | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6,3 mm | 0 | 0 | 0 | 7 |
| 4,75 mm | 0 | 0 | 5 | 10 |
| 2,36 mm | 0 | 10 | 20 | 25 |
| 1,18 mm | 5 | 20 | 30 | 50 |
| 600 µm | 15 | 35 | 55 | 70 |
| 300 µm | 50 | 65 | 85 | 95 |
| 150 µm | 85 | 90 | 95 | 100 |
| NOTA 1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90<br>NOTA 2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20<br>NOTA 3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50 | | | | |

*Tabela 7 - Limites granulométricos de agregado graúdo apresentado na NBR 7211. Fonte: ABNT (2022).*

| **Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISSO 3310-1)** | **Porcentagem, em massa, retida acumulada** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Zona granulométrica d/D[a]** | | | | |
| | 4,75/12,5 | 9,5/25 | 19/31,5 | 25/50 | 37,5/75 |
| 75 mm | - | - | - | - | 0 – 5 |
| 63 mm | - | - | - | - | 5 – 30 |
| 50 mm | - | - | - | 0 – 5 | 75 – 100 |
| 37,5 mm | - | - | - | 5 – 30 | 90 – 100 |
| 31,5 mm | - | - | 0 – 5 | 75 – 100 | 95 – 100 |
| 25 mm | - | 0 – 5 | 5 – 25[b] | 87 – 100 | - |
| 19 mm | - | 2 – 15[b] | 65[b] - 95 | 95 – 100 | - |
| 12,5 mm | 0 – 5 | 40[b] – 65[b] | 92 – 100 | - | - |
| 9,5 mm | 2 -15b | 80b – 100 | 95 – 100 | - | - |
| 6,3 mm | 40[b] – 65[b] | 92 – 100 | - | - | - |
| 4,75 mm | 80[b] – 100 | 95 – 100 | - | - | - |
| 2,36 mm | 95 - 100 | - | - | - | - |
| [a] Zona granulométrica corresponde à menor (d) e à maior (D) dimensões do agregado graúdo.<br>[b] Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com b. Essa variação pode também estar distribuída em vários desses limites. | | | | | |

#### 6.1.7.2 Aço

O aço recebido na planta de produção deve atender às exigências das normas NBR 7480, NBR 7481, NBR 7482, NBR 7483 e/ou NBR 7484 (de acordo com o tipo de aço utilizado), no mínimo em relação aos ensaios de:

- Tração e dobramento, no caso de fios, barras e telas para concreto armado;
- Tensão sob alongamento, tração, relaxação (se necessário), no caso de fios e cordoalhas para concreto protendido.

Devem ser mantidos laudos de laboratório ou fornecedor que comprovem o atendimento às exigências para todos os lotes entregues.

Existem dois tipos de nomenclatura para os aços, segundo a NBR 7480 Seção 4:

- Barras: produtos de bitola igual ou superior a 6,3 mm, obtidos exclusivamente por laminação à quente sem processo posterior de deformação mecânica;
- Fios: produtos de bitola inferior a 10,0 mm obtidos a partir de fio-máquina por trefilação ou laminação a frio.

De acordo com o valor característico da resistência de escoamento registrado em ensaio de tração, são classificados em: CA-25 e CA-50, enquanto os fios de aço na categoria CA-60.

As barras e fios devem apresentar suficiente homogeneidade quanto às suas características geométricas, e possuir mossas e saliências visíveis para melhorar a aderência das mesmas ao concreto.

Deve ser garantido à FISCALIZAÇÃO o livre acesso aos locais em que as peças encomendadas estejam sendo fabricadas, examinadas ou ensaiadas, tendo o direito de inspecioná-las. A inspeção pode ser efetuada diretamente pela FISCALIZAÇÃO ou através de inspetor credenciado.

Todo o sistema de controle de qualidade, envolvendo as atividades de amostragem, ensaios e análise de resultados, deverá ser realizado segundo as especificações contidas na NBR 7480, que irá subsidiar sobre a aceitação ou rejeição dos materiais disponibilizados pela CONTRATADA. É necessária a realização da amostragem dos materiais no próprio canteiro, sendo realizados sobre estas amostras ensaios de tração e dobramento.

Não é vedada a utilização de barras de aço soldadas. A soldabilidade quando requerida deve atender ao estabelecido na NBR 6118, cujos principais requisitos são apresentados no item Emendas deste capítulo do Caderno de Encargos SUDECAP.

Quando da utilização de peças protendidas nas obras, os fios e cordoalhas a serem utilizados serão inspecionados e avaliados respeitando-se às prescrições contidas na NBR 7482, NBR 7483 e NBR 7484.

O estoque do aço (bruto ou armaduras montadas) deve ser realizado em local afastado do solo e demais fontes de umidade, de modo a garantir a não ocorrência de oxidações excessivas, carepas, materiais aderidos, deformações ou dobramentos (antes da montagem). O armazenamento deve ser separado por tipo (bitola, rolos, painéis etc.).

Os materiais devem ser devidamente identificados por tipo. As armaduras montadas (se estocadas) devem ter a identificação da peça ou elemento a que se destinam.

O transporte do aço até o local de produção da peça deve ser realizado garantindo a não ocorrência de deformações e, no caso de armaduras pré-montadas, evitando-se rupturas dos vínculos de posicionamento, conformação das armaduras (incluindo sua identificação) e posicionamento de elementos de ligação ou ancoragens (quando aplicável).

#### 6.1.7.3 Cimentos

A composição química e as características mecânicas dos cimentos a serem utilizados devem ser compatíveis com o trabalho a que se destinam e respeitar as prescrições contidas na NBR 16697.

Admite-se, à partida, que sejam utilizados todos os cimentos produzidos no Brasil, tais como:

- Cimento CP II E, CP II F, CP II Z;
- Cimento CP III;
- Cimento CP IV;
- Cimento CP V ARI.

A CONTRATADA deverá respeitar todos os requisitos propostos pelas normas técnicas em relação aos cimentos, especificamente com atenção voltada para: condições de estocagem e armazenamento; inspeção periódica e ensaios; critérios de escolha em função do tipo de peça de concreto produzida e das condições de exposição a que ela estará submetida (submersa, enterrada, ar livre, etc.).

Em relação a embalagem, marcação e entrega dos cimentos, têm-se:

- O cimento pode ser entregue em sacos, *containers* ou a granel;
- Quando o cimento é entregue em sacos, estes devem ter impressos de forma bem visível em cada extremidade, as siglas e classes correspondentes, a denominação normalizada, o nome e a marca do fabricante;
- Os sacos devem conter 50 kg líquidos de cimento e estar íntegros na ocasião da inspeção e recebimento;
- No caso de cimento a granel ou *container*, a documentação que acompanha a entrega deve conter a sigla correspondente (CP E, CP Z, etc.), a classe (25, 32 ou 40), a denominação normalizada, o nome, marca do fabricante e a massa líquida de cimento entregue.

Em relação ao armazenamento em sacos, recomenda-se:

- Os sacos de cimento devem ser armazenados em locais secos e protegidos para preservação da qualidade, de forma a permitir fácil acesso à inspeção e identificação de cada lote. As pilhas devem ser colocadas sobre estrados secos e não devem ter mais de 15 sacos, para uso em até 15 dias e não mais de 10 sacos, para uso superior a 15 dias;
- A escolha do tipo de cimento a ser utilizado deverá constar do projeto executivo;
- Dependendo do porte da obra a ser realizada, os cimentos poderão ser fornecidos em silos instalados dentro do canteiro de obra ou da praça de trabalho, desde que tal modalidade de fornecimento esteja prevista na planilha contratual;
- Quando por alguma razão a FISCALIZAÇÃO detectar algum tipo de anomalia no cimento em utilização na obra, poderá solicitar a realização de ensaios de avaliação da qualidade e da atividade dos mesmos. Uma vez detectada a perda de atividade dos cimentos estocados na obra, a CONTRATADA procederá imediatamente a sua remoção do canteiro e a sua consequente reposição;
- Qualquer problema na mudança de coloração das peças em concreto aparente, motivado pela alteração do tipo de cimento, será de inteira responsabilidade da CONTRATADA, ficando a seu cargo, sem ônus para a PBH, a resolução do problema, mediante a utilização de técnicas apropriadas, tais como a estucagem;
- Não será conveniente utilizar numa mesma concretagem mistura de tipos diferentes de cimento, nem de marcas diferentes, ainda que pertencentes a um mesmo tipo;
- O estoque de cimento para concreto deve ser realizado em local coberto ou fechado, de modo que não tenha contato com a umidade e que seja garantida sua validade estabelecida pelo fabricante, não ocorrência de endurecimento, contaminação ou alterações de suas características. O transporte interno até o local de mistura deve garantir as mesmas condições de estoque;
- Especificamente para o cimento ensacado, deve ser estocado de maneira a atender a todas as condições estabelecidas na embalagem (local, empilhamento máximo etc.) e seu transporte deve evitar que os sacos sejam molhados ou rasgados até sua utilização.

#### 6.1.7.4 Água

A água é o elemento necessário à hidratação do cimento, para a reação química básica na produção de concretos e argamassas. Deve ser isenta de teores prejudiciais e de substâncias estranhas. Podem ser usadas para produção de concretos, as águas potáveis e as que apresentarem PH entre 5,8 e 8,0 e respeitem os seguintes limites máximos:

- Matéria orgânica (expressa em oxigênio consumido) 3 mg / L;
- Resíduo sólido 5000 mg / L;
- Sulfatos (expresso em íons SO4 -2) 300 mg / L;
- Cloretos (expresso em íons Cl -1) 500 mg / L;

- Açúcar 5 mg / L.

A FISCALIZAÇÃO poderá, caso algum dos limites acima não seja atendido, exigir estudos experimentais em laboratório para avaliação das consequências do uso da água em questão, em conformidade com as prescrições da NBR 6118.

Qualquer tipo de água disponibilizada diretamente pela COPASA é aceita e recomendada para a utilização em concretos.

#### 6.1.7.5 Aditivo

Aditivo, por definição, é todo e qualquer material incorporado na mistura até o limite de 5 % sobre o peso de cimento ou aglomerante utilizado na produção de concretos. É recomendável a utilização de aditivos nos concretos produzidos visando alcançar alguma propriedade desejável e importante. Dentre eles pode-se citar:

- Plastificantes e super plastificantes;
- Redutor de água;
- Incorporador de ar;
- Corantes;
- Hidrofugantes;
- Acelerador ou retardador de pega, etc.

Todos os aditivos a serem utilizados deverão atender às especificações contidas na NBR 11768. É dispensável, por parte da CONTRATADA, a realização de ensaios de recepção e controle dos aditivos a serem utilizados. Entretanto, caso haja, no ato de produção, lançamento ou cura do concreto, a aparição de alguma patologia ou dano, cuja origem tenha sido a qualidade do aditivo utilizado, a CONTRATADA é responsável pelos danos ocasionados, ficando obrigada a repor o concreto às condições prescritas pelo projeto. A qualquer tempo, a FISCALIZAÇÃO poderá exigir a contratação de um laboratório especializado, com o objetivo de avaliar o desempenho de possíveis aditivos a serem utilizados nos concretos, sem ônus para a PBH.

#### 6.1.7.6 Adições minerais

Adições minerais são produtos de origem mineral adicionados ao concreto para substituir parte do cimento e/ou para proporcionar ao concreto propriedades que normalmente ele não teria. Os principais tipos de adições utilizadas hoje no Brasil são:

- Cal Hidratada: adicionando cal hidratada ocorre a diminuição da porosidade do concreto e a aceleração da taxa de hidratação do cimento;
- Cinza de Casca de Arroz: sendo adicionada ao concreto ela reduz a permeabilidade, melhora a proteção contra corrosão e aumenta o desempenho mecânico;
- Cinza Volante: retarda o tempo de pega, proporcionando melhoria na trabalhabilidade, na segregação, na diminuição da permeabilidade e no aumento da durabilidade;
- Filler Calcário: não possui atividade pozolânica, é quimicamente inerte e apresenta melhoria na densidade, na exsudação, na capilaridade, na permeabilidade e na trabalhabilidade;
- Metacaulim: proporciona melhoria nas propriedades mecânicas e na impermeabilidade, diminui a retração, a expansão, o aparecimento de fissuras devido a variações térmicas e com isso proporciona estruturas mais duráveis;
- Sílica Ativa: aumenta o desempenho mecânico, a proteção contra a corrosão, a durabilidade, com a redução da permeabilidade.

Entende-se como adição todo e qualquer material incorporado no cimento geralmente acima de 5 % sobre o peso de cimento ou aglomerante utilizado. Caso venha ocorrer algum tipo de patologia nos concretos produzidos cuja causa esteja relacionada com o uso da adição, ela será de inteira responsabilidade da CONTRATADA, ficando a mesma responsável pela reparação dos danos ocasionados. Pode-se utilizar como adição os seguintes materiais: escória moída, pozolanas, filler, etc.

### 6.1.8 Armazenamento dos materiais

Conforme a Seção 5 da NBR 12655, os materiais componentes do concreto, devem permanecer armazenados na obra ou na central de dosagem, separados fisicamente desde o instante do recebimento até a mistura. Cada um dos componentes deve estar identificado durante o armazenamento, no que diz respeito

à classe ou à graduação de cada procedência.

#### 6.1.8.1 Cimento

O cimento deve ser armazenado separadamente, de acordo com a marca, tipo e classe. O cimento fornecido em sacos deve ser guardado em pilhas, em local fechado, protegido da ação de chuva, névoa ou condensação. Cada lote recebido em uma mesma data deve ser armazenado em pilhas separadas e individualizadas. As pilhas devem estar separadas por corredores que permitam o acesso e os sacos devem ficar apoiados sobre estrado ou paletes de madeira, para evitar o contato direto com o piso. Os sacos devem ser empilhados em altura de no máximo 15 unidades, quando ficarem retidos por período inferior a 15 dias no canteiro de obras, ou em altura de no máximo 10 unidades, quando permanecerem por período mais longo.

O cimento fornecido a granel deve ser estocado em silo estanque, provido de respiradouro com filtro para reter poeira, tubulação de carga e descarga e janela de inspeção. Cada silo deve estar munido de uma identificação com o registro de tipo, classe e marca de cimento contido, e sua configuração interna deve ser tal que induza o fluxo desimpedido do cimento até a boca de descarga, sem gerar áreas mortas.

#### 6.1.8.2 Agregados

Os agregados devem ser armazenados separadamente em função da sua graduação granulométrica, de acordo com as classificações indicadas na NBR 7211. Não pode haver contato físico direto entre as diferentes graduações. Cada fração granulométrica deve ficar sobre uma base que permita escoar a água livre de modo a eliminá-la. O depósito destinado ao armazenamento dos agregados deve ser construído de maneira tal que evite o contato com o solo e impeça a contaminação com outros sólidos ou líquidos prejudiciais ao concreto.

Os agregados devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, e não devem conter substâncias de natureza e em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra a corrosão, a durabilidade ou, quando for requerido, o aspecto visual externo do concreto.

Segundo a Seção 4 da NBR 7211, os agregados devem ser fornecidos em lotes cujas unidades parciais de transporte devem ser individualizadas, mediante uma guia de remessa na qual constem pelo menos os seguintes dados:

- Nome do produtor;
- Proveniência do material;
- Identificação da classificação granulométrica de acordo com a referida norma;
- Massa do material ou seu volume aparente;
- Data do fornecimento.

De acordo com a Seção 8 da NBR 7211, um lote somente deve ser aceito quando cumprir todas as suas prescrições e as eventuais prescrições especiais contratadas, inclusive àqueles referentes ao conceito de agregado total.

#### 6.1.8.3 Água

A água destinada ao amassamento do concreto deve ser armazenada em caixas estanques e tampadas, de modo a evitar a contaminação por substâncias estranhas.

#### 6.1.8.4 Aditivos

Aditivos são produtos químicos, que não apresentam propriedades ligantes, adicionados aos concretos com função de potencializar ou enfraquecer determinadas propriedades desses concretos. Os principais tipos de aditivos são:

- Aditivos Aceleradores de Pega: atuam na massa de concreto diminuindo o tempo para o concreto atingir o estado endurecido, elevando tanto a resistência inicial como a resistência final do concreto;
- Aditivos Aceleradores de Resistência: possibilitam o aumento da resistência inicial do concreto com a redução do cimento em relação à redução da quantidade de água;
- Aditivos Incorporadores de Ar: atuam na melhoria da trabalhabilidade, na durabilidade, diminuem a permeabilidade e a segregação, com a incorporação de pequenas bolhas de ar no concreto, de forma controlada;
- Aditivos Plastificantes: possibilitam a redução da água de amassamento. Sua ação aumenta a

trabalhabilidade, a fluidez e o abatimento dos concretos;

- Aditivos Retardadores de Pega: atuam aumentando o tempo para o início de pega do concreto, mantém a trabalhabilidade em temperaturas elevadas, retardam a elevação do calor de hidratação e com isso possibilitam diminuição do aparecimento de fissuras;
- Aditivos Superplastificantes: possibilitam a dosagem de concretos de alto desempenho e também podem ser utilizados em concretos autoadensáveis, reduzindo o teor de água aumentando a resistência do concreto.

A NBR 11768 define como aditivo para concreto o produto adicionado durante o processo de preparação do concreto, em quantidade não maior que 5 % da massa de material cimentício contida no concreto, com o objetivo de modificar propriedades do concreto no estado fresco e/ou no estado endurecido, exceto pigmentos inorgânicos para o preparo de concreto colorido. Segundo a Seção 5 dessa norma, os aditivos por ela definidos devem cumprir com os requisitos correspondentes, conforme tabelas nela constantes.

Os aditivos devem ser armazenados, até o instante do seu uso, nas embalagens originais ou em local que atenda às especificações do fabricante. Os aditivos líquidos, no instante de seu uso, quando não forem utilizados em sua embalagem original, devem ser transferidos para um recipiente estanque, não sujeito à corrosão, protegido contra contaminantes ambientais e provido de agitador, de forma a impedir a decantação dos sólidos.

O aditivo líquido, quando utilizado diretamente de sua embalagem original, deve ser homogeneizado energicamente, de forma a impedir a decantação dos sólidos contidos no aditivo, uma vez por dia e imediatamente antes de seu uso, ou deve ser submetido ao procedimento recomendado pelo fabricante. O recipiente para o armazenamento de aditivos deve estar munido de identificação que permita sua rastreabilidade.

### 6.1.9 Formas e Escoramentos

Formas são estruturas provisórias que servem para moldar o concreto fresco, resistindo a todas as ações provenientes das cargas variáveis resultantes das pressões de lançamento e adensamento do concreto fresco, até que o mesmo se torne autoportante.

Escoramentos são construções provisórias com capacidade de resistir e transmitir às bases de apoio da estrutura do escoramento todas as ações provenientes das cargas permanentes e variáveis resultantes do lançamento do concreto fresco sobre as formas horizontais e verticais, até que o concreto de torne autoportante. A Figura 2 ilustra um exemplo de montagem dos elementos das formas de um pilar.

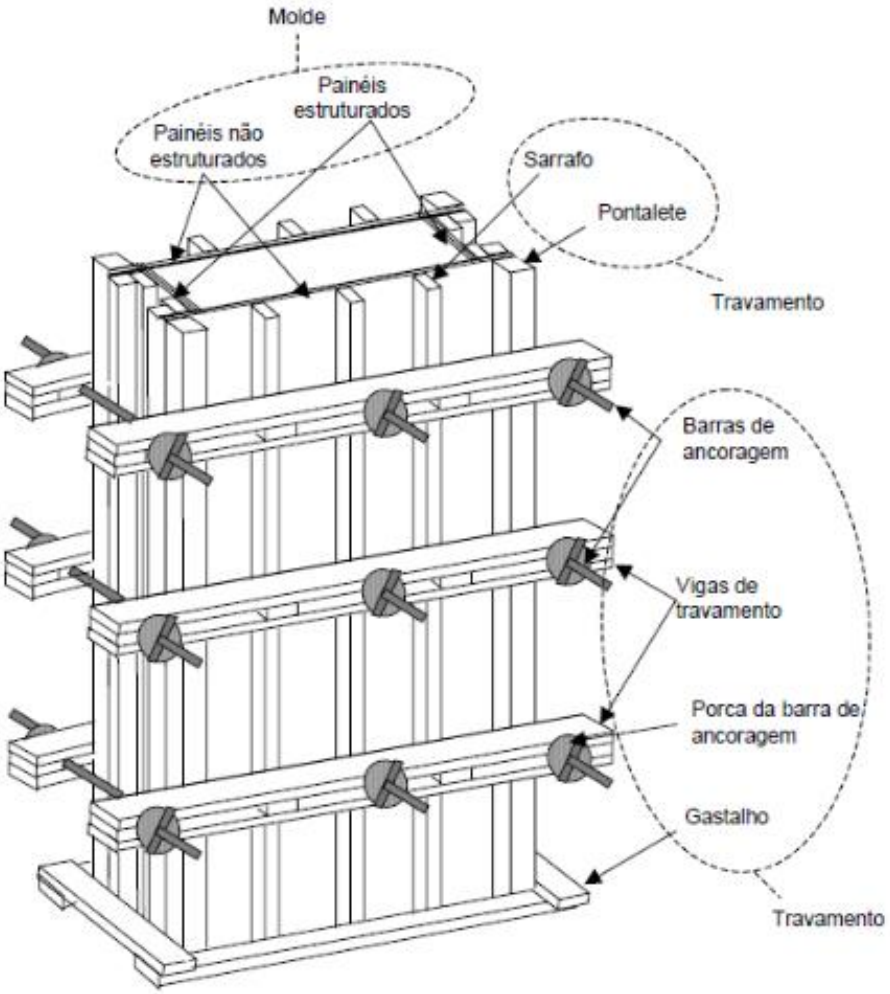



*Figura 2 - Esquema representando o conjunto de componentes da forma de um pilar. Fonte: Freire e Souza (2001).*

As formas deverão ser dimensionadas de modo que não possuam deformações prejudiciais, quer sob a ação dos fatores ambientais, quer sob a carga, especialmente a do concreto fresco, considerando nesta o efeito do adensamento sobre o empuxo do concreto.

O escoramento deverá ser considerado de modo a não sofrer, sob a ação de seu peso, do peso da estrutura e das cargas acidentais que possam atuar durante a execução da obra, deformações prejudiciais à forma da estrutura ou que possam causar esforços no concreto na fase de endurecimento. Não se admitem pontaletes de madeira com diâmetro ou menor lado da seção retangular inferior a 5 cm, para madeiras rígidas, e 7 cm para madeiras flexíveis. Os pontaletes com mais de 3 m de comprimento deverão ser contraventados. Deverão ser tomadas as precauções necessárias para evitar recalques prejudiciais provocados no solo ou na parte da estrutura que suporta o escoramento, pelas cargas por eles transmitidas.

Os materiais de execução das formas devem ser compatíveis com o acabamento desejado e indicado no projeto. Partes da estrutura não visíveis poderão ser executadas com madeira serrada em bruto. Para as partes aparentes, será exigido o uso de chapas compensadas, madeira aparelhada, madeira em bruto revestida com chapa metálica ou simplesmente outros tipos de materiais, conforme indicação no projeto. As madeiras deverão ser armazenadas em locais abrigados, onde as pilhas terão o espaçamento adequado, a fim de prevenir a ocorrência de incêndios. O material proveniente da desforma, quando não mais aproveitável, será retirado das áreas de trabalho.

Geralmente são encontrados dois tipos de estruturas de formas:

- Estruturas padrão, moduladas, com grande número de repetições e aplicação em diversas estruturas;
- Estrutura atípica como escadas, reservatórios d'água, rampas, elevadores e mesmo pequenas obras com finalidade específica.

Em relação à estrutura padrão é fundamental racionalizar o serviço, empregando materiais que possuam um alto índice de reaproveitamento e que minimizem a mão de obra. O uso do aço (escoras, painéis laterais e fundo de vigas) combinado com fibras sintéticas em forma de módulos de laje pode produzir satisfatórios resultados tanto nos fatores qualidade e prazo, como também no reaproveitamento.

Os escoramentos podem ser de dois tipos:

- Madeira: utilizando pontaletes de eucalipto sem nós visíveis ou em peças de lei serradas de dimensões mínimas de 7 cm;
- Metálicos: sistemas padronizados, versáteis e práticos, projetados por empresas especializadas e devidamente concebidas em função das necessidades impostas pelo projeto de formas.

No caso do emprego de escoramento metálico devem ser seguidas as instruções do fornecedor responsável pelo sistema.

#### 6.1.9.1 Dimensionamento

As formas e os escoramentos de madeira deverão ser dimensionados e construídos obedecendo às prescrições da NBR 7190. Escoramentos em estruturas metálicas deverão observar as prescrições da NBR 8800.

#### 6.1.9.2 Precauções contra incêndio

Deverão ser tomadas nas obras as devidas precauções para proteger as formas e o escoramento contra os riscos de incêndio, tais como cuidados nas instalações elétricas provisórias, remoção de resíduos combustíveis e limitação no emprego de fontes de calor, observando a NR 18.

As formas devem adaptar-se ao formato e às dimensões das peças da estrutura projetada, respeitadas as tolerâncias da Seção 9 da NBR 14931, caso o plano da obra, em virtude de circunstancias especiais não as exija mais rigorosas.

A forma deve ser suficientemente estanque, de modo a impedir a perda de pasta de cimento, admitindo-se como limite a surgência do agregado miúdo da superfície do concreto. Os elementos estruturantes das formas devem ser dispostos de modo a manter o formato e a posição da forma durante toda sua utilização. Durante a concretagem de elementos estruturais de grande vão deve haver monitoramento e correção de deslocamentos do sistema de formas não previstos nos projetos.

Devem ser tomadas as devidas precauções para proteger o sistema de formas de riscos de incêndio, observando a NR 18.

#### 6.1.9.3 Componentes embutidos nas formas e reduções de seção

Segundo a NBR 14931 Seção 7 a presença de componentes e furos em uma região da estrutura deve ser verificada pelo projetista. Elementos estruturantes das formas, barras, tubulações e similares, com as funções estabelecidas em projeto, além de inserts ou pinos de ancoragem, podem ser colocados dentro da seção, devendo:

- Ser fixados para assegurar o posicionamento durante a concretagem;
- Não alterar características estruturais da peça;
- Não reagir de maneira nociva ou prejudicial com os componentes do concreto, em especial o cimento Portland, ou com as armaduras;
- Não provocar manchas na superfície de concreto aparente;
- Não prejudicar o desempenho funcional e a durabilidade do elemento estrutural;
- Permitir que as operações de lançamento e adensamento do concreto fresco sejam feitas de maneira adequada.

Qualquer componente embutido deve preservar o formato durante a operação de concretagem e resistir a contaminações que possam afetar sua integridade, a do concreto ou a da armadura. No caso de ser metálico deve-se prever proteção contra corrosão.

Aberturas e orifícios usados para trabalhos temporários devem ser preenchidos e acabados com um material de qualidade similar à do concreto da estrutura.

#### 6.1.9.4 Montagem de formas para concreto armado

##### *6.1.9.4.1 Montagem de forma de pilar*

Na montagem das formas dos pilares devem ser observados os seguintes procedimentos:

- Limpar a região da base do pilar;
- Verificar as ligações das armaduras com as esperas;
- Verificar se o desmoldante foi aplicado nas formas (exceto no primeiro uso);
- Observar se o posicionamento das galgas e dos espaçadores e o espaçamento entre tensores ou agulhas atendem ao projeto;
- Conferir o prumo das formas de pilares, utilizando um prumo face, e a altura de topo de cada painel;
- Prever janelas de inspeção em pilares com mais de 3 m de altura, aproximadamente;
- Conferir a imobilidade do conjunto mão-francesa-gastalho e o esquadro do encontro dos painéis no topo do pilar;
- Verificar todos os encaixes das formas para que não haja folgas. Acertar eventuais diferenças encontradas em qualquer dos itens averiguados.

##### *6.1.9.4.2 Montagem de forma de viga*

Na montagem das formas das vigas, devem ser observados os seguintes procedimentos:

- Utilizando um prumo, observar se os pontos de fixação das linhas de náilon que definem os eixos da obra foram transferidos, do andar inferior para o pavimento a ser concretado, com exatidão. Acertar qualquer diferença encontrada;
- Verificar a locação dos topos das formas de pilares, com uma tolerância de + ou - 2 mm, bem como as dimensões internas das formas;
- Checar se o desmoldante foi aplicado na face da forma de viga (exceto no primeiro uso);
- Certificar-se do perfeito encaixe das formas na cabeça dos pilares, admitindo uma tolerância de + ou - 2 mm;
- O alinhamento dos painéis laterais deve ser conferido por intermédio de linhas de náilon unindo as cabeças dos pilares;
- Observar o nivelamento dos fundos de viga, medindo com um metro a altura da forma até a linha de náilon posicionada horizontalmente, abaixo dos fundos de viga;
- Avaliar a perfeita imobilidade de todo o conjunto, assim como o espaçamento dos garfos definido em projeto.

##### *6.1.9.4.3 Montagem de forma de lajes*

Na montagem das formas das lajes, devem ser observados os seguintes procedimentos:

- Passar desmoldante nos painéis;
- Verificar a fixação e o posicionamento dos sarrafos - guia para apoio das longarinas;
- Checar o posicionamento das longarinas e das escoras, bem como o seu travamento;
- Lançar vigas travessas;
- Lançar o assoalho da laje sobre as travessas;
- Conferir nível dos assoalhos;
- Fixar o assoalho nos sarrafos laterais das formas das vigas;
- Fixar o restante do assoalho nas vigas;
- Observar se o assoalho está todo pregado nas longarinas e com desmoldante aplicado.

#### 6.1.9.5 Precauções anteriores ao lançamento do concreto

Antes do lançamento do concreto deverão ser conferidas as dimensões e a posição das formas, a fim de assegurar que a geometria da estrutura corresponda ao projeto. Procede-se a limpeza do interior das formas

e a vedação das juntas, de modo a evitar a fuga de pasta. Nas formas de paredes, pilares e vigas estreitas e altas, deve-se deixar aberturas próximas ao fundo, para limpeza.

As formas absorventes deverão ser molhadas até a saturação, fazendo-se furos para escoamento da água em excesso. No caso em que as superfícies das formas sejam tratadas com produtos antiaderentes, destinados a facilitar a desmontagem, esse tratamento deverá ser executado antes da colocação da armadura. Os produtos empregados não deverão deixar, na superfície do concreto, resíduos que sejam prejudiciais ou possam dificultar a retomada da concretagem ou a aplicação de revestimento.

#### 6.1.9.6 Formas perdidas ou remanescentes na estrutura

De acordo com a NBR 14931, recomenda-se evitar o uso de formas perdidas. Nos casos em que não for feita a retirada da forma ou parte dela, essa condição deve ser previamente estabelecida em projeto e devem ser verificadas:

- A durabilidade do material componente da forma;
- A compatibilidade desse material com o concreto;
- A estabilidade estrutural do elemento contendo a forma perdida;
- A correta ancoragem da forma perdida.

#### 6.1.9.7 Uso de agentes desmoldantes

Quando agentes destinados a facilitar a desmoldagem forem necessários, devem ser aplicados exclusivamente na forma antes da colocação da armadura e de maneira a não prejudicar a superfície do concreto. Agentes desmoldantes devem ser aplicados de acordo com as especificações do fabricante e normas nacionais, devendo ser evitados o excesso ou a falta do desmoldante. Salvo condição específica, os produtos utilizados não devem deixar resíduos na superfície do concreto ou acarretar algum efeito que cause alteração na qualidade da superfície ou resulte em alteração de cor e prejuízo da aderência do revestimento a ser aplicado.

#### 6.1.9.8 Dispositivos para formas e escoramento

A construção das formas e do escoramento deverá ser executada de modo a facilitar a retirada de seus diversos elementos separadamente, se necessário. Para que se possa fazer essa retirada sem choque, o escoramento deverá ser apoiado sobre cunhas, caixas de areia ou outros dispositivos apropriados a esse fim.

A Figura 3 ilustra um sistema de formas.

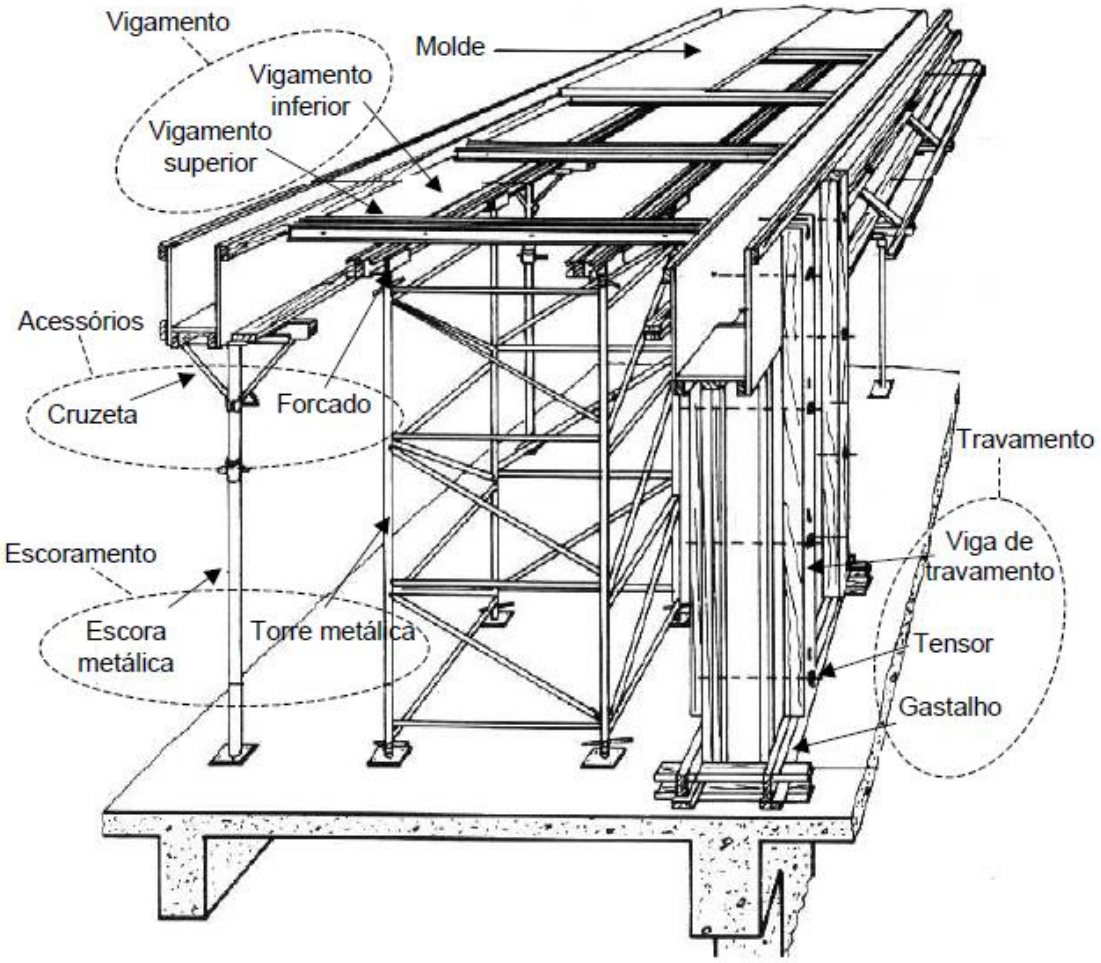



*Figura 3 - Visão geral de um sistema de formas. Fonte: Cristiani (1995).*

Deverão ser utilizados produtos que facilitem a retirada das formas após a concretagem sem, contudo, deixar manchas ou bolhas sobre a superfície dos concretos. Recomenda-se que sejam observados os prazos mínimos para desforma informados na Tabela 8 a seguir, de acordo com o elemento estrutural:

*Tabela 8 - Recomendação de prazo para desforma. Fonte: Elaboração própria.*

| Elemento Estrutural | Cimento Portland (dias) | Cimento ARI (dias) |
|---|---|---|
| Paredes, pilares e faces laterais de vigas | 3 | 2 |
| Lajes com até 10 cm de espessura | 7 | 3 |
| Lajes com até 10 cm de espessura e faces inferiores de vigas com até 10 m de vão | 21 | 7 |
| Arcos e faces inferiores de vigas com mais de 10m de vão | 28 | 10 |

## 6.1.10 Armadura

### 6.1.10.1 Emprego de diferentes classes e categorias de aço

Não poderão ser empregados na obra aços de qualidades diferentes das especificadas no projeto, sem aprovação prévia do projetista. Quando previsto o emprego de aços de qualidades diversas, deverão ser tomadas as necessárias precauções para evitar a troca involuntária.

#### 6.1.10.2 Limpeza

As barras de aço deverão ser convenientemente limpas de qualquer substância prejudicial à aderência, retirando-se as escamas eventualmente destacadas por oxidação.

A superfície da armadura deve estar livre de ferrugem e substâncias deletérias que possam afetar de maneira adversa o aço, o concreto ou a aderência entre esses materiais. Armaduras que apresentem produtos destacáveis na sua superfície em função de processo de corrosão devem passar por limpeza superficial antes do lançamento do concreto. Após limpeza deve ser feita uma avaliação das condições da armadura, em especial de eventuais reduções de seção.

#### 6.1.10.3 Dobramento, fixação das barras e barras curvadas

Segundo a NBR 14931 e a NBR 6118, o dobramento das barras, inclusive ganchos, deve ser feito respeitando os diâmetros internos de curvatura das tabelas a seguir. As barras de aço deverão ser sempre dobradas a frio. As barras não podem ser dobradas junto às emendas com soldas, observando-se uma distância mínima de 10 vezes o diâmetro.

*Tabela 9 - Diâmetro dos pinos de dobramento para armaduras longitudinais de tração apresentado na NBR 6118. Fonte: ABNT (2023).*

| **Bitola mm** | **Tipo de aço** | | |
|---|---|---|---|
| | **CA-25** | **CA-50** | **CA-60** |
| < 20 | 4 $\phi$ | 5 $\phi$ | 6 $\phi$ |
| $\geq$ 20 | 5 $\phi$ | 8 $\phi$ | - |

*Tabela 10 - Diâmetro dos pinos de dobramento para estribos apresentado na NBR 6118. Fonte: ABNT (2023).*

| **Bitola mm** | **Tipo de aço** | | |
|---|---|---|---|
| | **CA-25** | **CA-50** | **CA-60** |
| $\phi_t \leq 10$ | 3 $\phi_t$ | 3 $\phi_t$ | 3 $\phi_t$ |
| **$10 < \phi_t < 20$** | 4 $\phi_t$ | 5 $\phi_t$ | - |
| **$\phi_t \geq 20$** | 5 $\phi_t$ | 8 $\phi_t$ | - |

#### 6.1.10.4 Emendas

As emendas das barras de aço poderão ser executadas por trespasse, por luvas rosqueadas, luvas prensadas ou por solda. Os trespasses deverão respeitar, rigorosamente, os detalhes e orientações do projeto estrutural, em consonância com as especificações constantes na NBR 6118.

Segundo a NBR 6118, para emendas rosqueadas ou prensadas a resistência da emenda deve atender aos requisitos de normas específicas. Na ausência destes, a resistência deve ser no mínimo 15 % maior que a resistência de escoamento da barra a ser emendada, obtida em ensaio. A Figura 4 apresenta as emendas por soldas segundo a NBR 6118.

A emenda por solda, quando não especificada no projeto, deverá seguir as prescrições da NBR 14931 e NBR 6118, podendo ser:

- De topo, por caldeamento, para bitola não menor que 10 mm;
- De topo, com eletrodo, para bitola não menor que 20 mm;
- Por traspasse com pelo menos dois cordões de solda longitudinais, cada um deles com comprimento não inferior a 5 $\phi$, afastados no mínimo 5 $\phi$;
- Com outras barras justapostas (cobre juntas), com cordões de solda longitudinais, fazendo-se coincidir o eixo baricêntrico do conjunto com o eixo longitudinal das barras emendadas, devendo cada cordão ter comprimento de pelo menos 5 $\phi$.

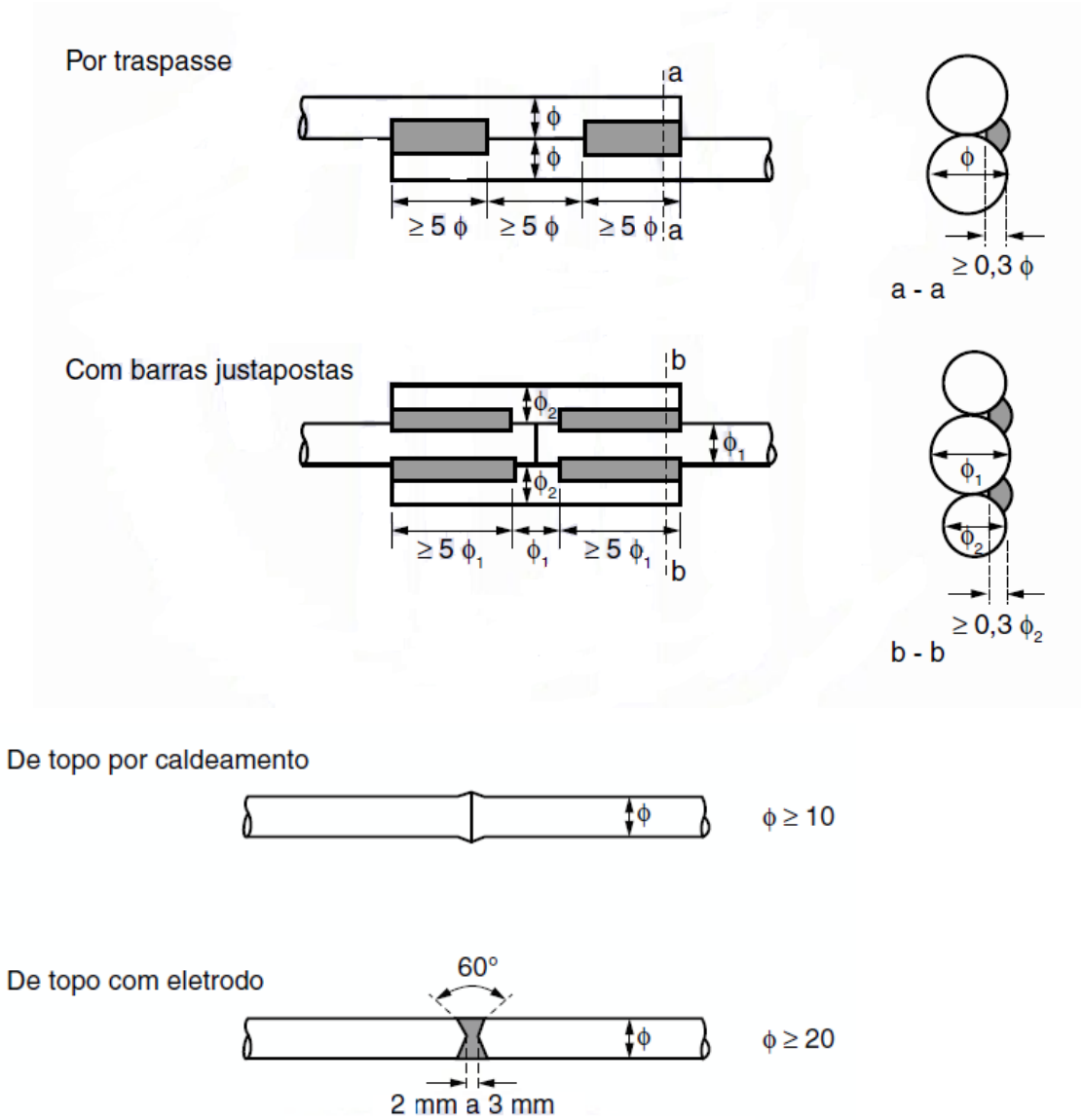



*Figura 4 - Emendas por Solda apresentada na NBR 6118. Fonte: ABNT (2023).*

As máquinas soldadoras deverão ter características elétricas e mecânicas apropriadas à qualidade do aço e à bitola da barra e ser de regulagem automática. Nas emendas por caldeamento, as extremidades das barras deverão ser planas e normais aos eixos. Já nas emendas com eletrodos, as extremidades serão chanfradas, devendo-se limpar perfeitamente as superfícies. De acordo com a NBR 6118, as emendas por solda exigem cuidados especiais quanto à composição química dos aços e dos eletrodos e quanto às operações de soldagem que devem atender às especificações de controle do aquecimento e resfriamento da barra, conforme normas específicas.

Deverão ser realizados ensaios prévios da solda na forma e com o equipamento e o pessoal a serem empregados na obra assim como ensaios posteriores para controle.

#### 6.1.10.5 Montagem

Armadura são barras de aço, cortadas, e montadas compondo a grade que será utilizada para a execução de concreto armado. Podem ser divididas em dois grupos principais:

- Armadura longitudinal: é a armadura responsável pela resistência às tensões normais oriundas do momento fletor atuante em um elemento de concreto armado;
- Armadura transversal: é a armadura responsável pela resistência às tensões de cisalhamento oriundas da força cortante atuante em um elemento de concreto armado.

A armadura deverá ser posicionada e fixada no interior das formas de modo que durante o lançamento do concreto se mantenha na posição indicada no projeto, conservando-se inalteradas as distâncias das barras entre si e às faces internas das formas. A Figura 5 mostra os principais elementos de uma viga de concreto armado.

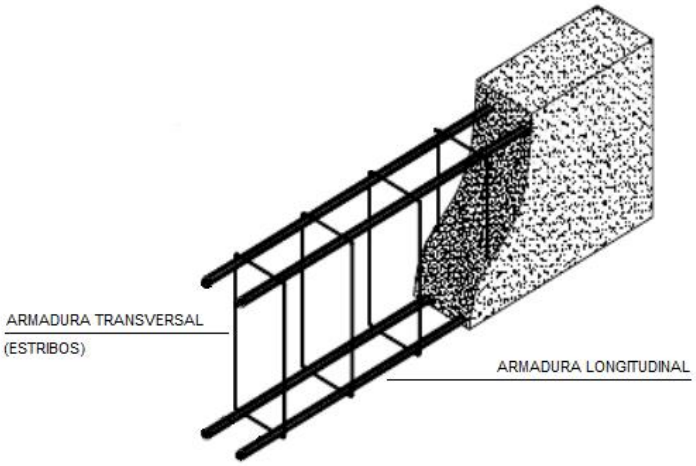



*Figura 5 - Exemplo de viga de concreto armado. Fonte: Adaptado de Pagnussatti; Silva (2011).*

#### 6.1.10.6 Proteção

Antes e durante o lançamento do concreto, as plataformas de serviços deverão estar dispostas de modo a não acarretarem deslocamento das armaduras.

As barras de espera deverão ser devidamente protegidas contra a oxidação; ao ser retomada a concretagem elas deverão ser perfeitamente limpas de modo a permitir boa aderência.

#### 6.1.10.7 Cobrimento

Deverá ser realizado respeitando-se as prescrições contidas na NBR 6118, bem como o projeto executivo. A Figura 6 ilustra o cobrimento de uma armadura.

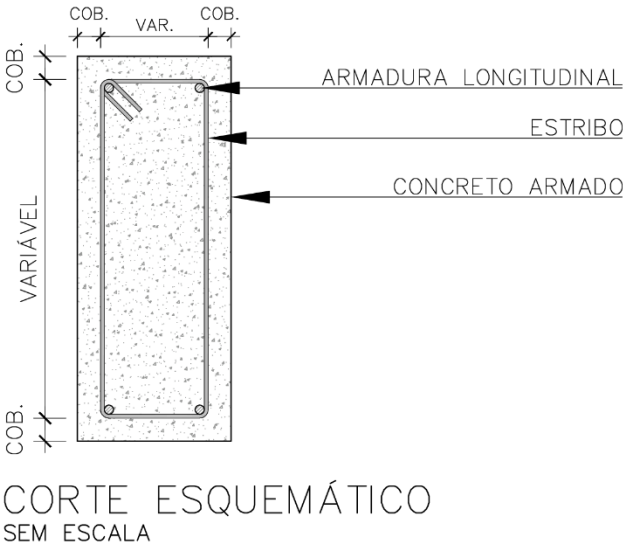



*Figura 6 - Detalhe de Cobrimento da Armadura. Fonte: Elaboração própria. Nota: Desenho elaborado em 03/02/2022.*

Qualquer barra da armadura, inclusive de distribuição, de montagem e estribos, deve ter cobrimento pelo

menos igual ao seu diâmetro, mas não menor que o especificado conforme Tabela 11 a seguir:

*Tabela 11 - Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento apresentado na NBR 6118. Fonte: Adaptado de ABNT (2023).*

| **Tipo de estrutura** | **Componente ou elemento** | **Classe de agressividade ambiental** | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | I | II | III | IV [c] |
| | | Cobrimento nominal mm | | | |
| Concreto armado | Laje [b] | 20 | 25 | 35 | 45 |
| | Viga/pilar | 25 | 30 | 40 | 50 |
| | Elementos estruturais em contato com o solo [d] | 30 | | 40 | 50 |
| Concreto protendido [a] | Laje | 25 | 30 | 40 | 50 |
| | Viga/pilar | 30 | 35 | 45 | 55 |

[a] Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

[b] Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas do item 7.4.7.5 da NBR 6118, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

[c] Nas superfícies expostas a ambientes agressivos como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

[d] No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

A agressividade ambiental deve ser classificada de acordo com o apresentado no item anterior e pode ser avaliada segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes.

#### 6.1.10.8 Sistemas de protensão

Os sistemas de protensão devem estar de acordo com o que estabelecem na NBR 14931, NBR 6118, NBR 7187, entre outras, em que se aplicar esses sistemas.

### 6.1.11 Execução do concreto

O objetivo deste item é expor as determinações da NBR 6118 e NBR 14931, bem como a experiência profissional da PBH em obras de concreto armado. Já há muitos anos, vem sendo dada ênfase especial à questão qualidade - durabilidade, ultrapassando em importância e preocupação outra questão ligada às estruturas de concreto armado - a resistência mecânica.

Procura-se enfatizar os aspectos ligados a execução de uma obra de concreto armado, para lhe garantir uma vida com qualidade superior a 50 anos.

A passagem de tubulações ou qualquer outro elemento, através de peças estruturais (vigas e/ou lajes), deve ser previsto previamente antes da concretagem. Caso contrário, será executada na peça devidamente curada, utilizando-se perfuratrizes especiais. Vale ressaltar que, tal procedimento, somente será aceito com a aprovação do projetista e o detalhamento da intervenção no projeto estrutural, especificando o diâmetro e posição relativa dos furos, salientando, ainda, os cuidados estruturais a serem tomados, tais como reforços.

Os níveis definidos no projeto estrutural, serão marcados e transferidos.

Desta forma, serão descritos neste item normas e procedimentos voltados para a execução de obras, relacionando posturas de controle, inspeção e aceitação das suas estruturas.

#### 6.1.11.1 Medida dos materiais e do concreto

Segundo a seção 5 da NBR 12655, a base de medida do concreto é o metro cúbico no estado fresco

adensado. A medida volumétrica dos agregados somente é permitida para os concretos preparados no próprio canteiro de obras, cumpridas as demais prescrições dessa norma.

- Os materiais para concreto de classe C20 e não estruturais, de acordo com a NBR 8953, devem ser medidos em massa ou em massa combinada com volume, ou seja, que o cimento seja sempre medido em massa e que o canteiro deva dispor de meios que permitam a confiável e prática conversão de massa para volume de agregados, levando em conta a umidade da areia;
- Os materiais para concreto de classe C25 e superiores, de acordo com a NBR 8953, devem ser medidos em massa.

Adições minerais como sílica ativa, metacaulim e outros materiais pozolânicos devem ser sempre medidos em massa. Para concreto proporcionado em massa deve ser atendido o disposto na NBR 7212, no que diz respeito aos equipamentos e à medida dos materiais.

#### 6.1.11.2 Mistura

Os componentes do concreto devem ser misturados até formar uma massa homogênea. Esta operação pode ser executada na obra, na central de concreto ou em caminhão betoneira. O equipamento de mistura utilizado para este fim, bem como sua operação, deve atender às especificações do fabricante quanto à capacidade de carga, velocidade e tempo de mistura.

Quando a mistura for realizada em central de concreto ou em caminhão-betoneira deve seguir o disposto na NBR 7212, no que se refere ao equipamento de mistura.

##### *6.1.11.2.1 Em betoneira estacionária*

De acordo com a Seção 5 da NBR 12655 devem ser obedecidas as especificações do fabricante.

##### *6.1.11.2.2 Em caminhão-betoneira ou centrais misturadoras*

Quando os materiais forem misturados em caminhão-betoneira ou central misturadora deve ser obedecido o disposto na NBR 7212.

#### 6.1.11.3 Preparo do concreto

##### *6.1.11.3.1 Dosagem empírica*

De acordo com a NBR 12655, o traço de concreto pode ser estabelecido empiricamente somente para o concreto das classes C10 e C15, com consumo mínimo de 300 kg de cimento por metro cúbico.

Ressalta-se que os concretos das classes C10 e C15 não são mais usados para fins estruturais, inclusive em elementos de fundação. De acordo com a NBR 6118, a menor classe de resistência para um concreto com emprego estrutural é a C20.

##### *6.1.11.3.2 Dosagem racional e experimental*

Tanto as dosagens para o preparo do concreto em obra, quanto à encomenda e ao fornecimento de concreto pré-misturado, deverão ter por base a resistência característica, $f_{ck}$, nos termos da norma NBR 6118.

Segundo a NBR 12655, a composição de cada concreto de classe C20 ou superior, a ser utilizado na obra, deve ser definida, em dosagem racional e experimental, com a devida antecedência em relação ao início da concretagem da obra. O estudo de dosagem deve ser realizado com os mesmos materiais e condições semelhantes àquelas da obra, tendo em vista as prescrições do projeto e as condições de execução. O estudo de dosagem do concreto deve ser refeito cada vez que for prevista uma mudança de marca, tipo ou classe do cimento, na procedência e qualidade dos agregados e demais materiais.

Para os casos de concreto auto adensável no estudo de dosagem devem ser verificados os requisitos da NBR 15823-1.

Destaca-se que, caso se opte, os concretos das classes C10 e C15, apesar de não serem mais especificados para elementos estruturais, também podem ter a sua composição estabelecida por dosagem racional e experimental.

##### *6.1.11.3.3 Concreto preparado pelo construtor da obra*

Conforme Seções 3 e 4 da NBR 12655, na hipótese de concreto preparado pelo construtor da obra, as seguintes etapas devem ser realizadas:

- Caracterização dos materiais componentes do concreto;
- Observação quanto aos critérios de medida dos materiais e do concreto (item 6.1.9.);

- Estudo de dosagem do concreto;
- Ajuste e comprovação do traço de concreto;
- Elaboração do concreto.

A referida norma especifica que ao profissional responsável pela execução da obra de concreto cabem as seguintes responsabilidades:

- Escolha da modalidade de preparo do concreto (conforme Seção 4 da NBR 12655);
- Escolha do tipo de concreto a ser empregado e sua consistência, dimensão máxima do agregado e demais propriedades, de acordo com o projeto e com as condições de aplicação;
- Atendimento a todos os requisitos de projeto, inclusive quanto à escolha dos materiais a serem empregados;
- Recebimento e aceitação do concreto (conforme Seção 3 da NBR 12655), sendo o recebimento do concreto constituído pela verificação da conformidade das propriedades especificadas para o estado fresco, efetuada durante a descarga da betoneira e, no caso do concreto dosado em central, abrange também a aprovação da documentação correspondente ao pedido do concreto e a aceitação, a verificação do atendimento a todos os requisitos especificados para o concreto;
- Cuidados requeridos pelo processo construtivo e pela retirada do escoramento, levando em consideração as peculiaridades dos materiais (em particular, do cimento) e as condições de temperatura ambiente;
- Atendimento aos requisitos da NBR 9062 para a liberação da protensão, da desforma e da movimentação de elementos pré-moldados de concreto;
- Verificação do atendimento aos requisitos da NBR 12655 pelos respectivos profissionais envolvidos;
- Efetuar a rastreabilidade do concreto lançado na estrutura.

Adicionalmente, o profissional responsável pela execução da obra deverá dedicar especial atenção às seguintes atividades:

- Preparo, controle, recebimento, transporte, lançamento, adensamento e cura do concreto;
- Conferência das medidas e posições das formas, limpeza, estanqueidade, saturação das formas absorventes (retirar excesso de água), cuidado com o uso dos desmoldantes e retirada das formas;
- Limpeza da armação, montagem, cobrimento (uso de espaçadores adequados), e garantia da posição das armaduras antes e durante a concretagem;
- Observar as prescrições da NR-18 e outras normas aplicáveis de segurança do trabalho.

#### 6.1.11.4 Concretagem

##### *6.1.11.4.1 Transporte*

O concreto deverá ser transportado do local do amassamento ou da boca de descarga do caminhão betoneira até o local da concretagem num tempo compatível com as condições, e o meio utilizado não deverá acarretar desagregação ou segregação de seus elementos ou perda sensível de qualquer deles por vazamento ou evaporação.

No caso de transporte por bombas, o diâmetro interno do tubo deverá ser no mínimo quatro vezes o diâmetro máximo do agregado.

O sistema de transporte deverá, sempre que possível, permitir o lançamento do concreto direto nas formas, evitando-se depósito intermediário. Se este for necessário, no manuseio do concreto deverão ser tomadas precauções para evitar segregação.

##### *6.1.11.4.2 Lançamento*

Salvo condições específicas definidas em projeto ou influência de condições climáticas ou de composição do concreto, recomenda-se que o intervalo de tempo transcorrido entre o instante em que a água de amassamento entra em contato com o cimento e o final da concretagem (incluindo o adensamento) não ultrapasse de uma a duas horas e trinta minutos, dependendo do tipo de equipamento utilizado no transporte do concreto (ver item 6.1.3). Quando a temperatura ambiente for elevada (ver item 6.1.3.) ou sob condições que contribuam para acelerar o início da pega do concreto, esse intervalo de tempo deve ser reduzido, a

menos que sejam adotadas medidas especiais, como o uso de aditivos retardadores, que aumentem o tempo de pega sem prejudicar a qualidade do concreto.

Em nenhuma hipótese se fará o lançamento ou adensamento do concreto após o início da pega.

Para os lançamentos a serem executados a seco, em recintos sujeitos à penetração de água, deverão ser tomadas as precauções necessárias para que não haja água no local em que se lança o concreto nem possa o concreto fresco vir a ser por ela lavado.

O concreto deverá ser lançado o mais próximo possível de sua posição final, evitando-se incrustação de argamassas nas paredes das formas e nas armaduras.

Deverão ser tomadas precauções para manter a homogeneidade do concreto. A altura de queda livre não poderá ultrapassar 2 m. Para peças estreitas e altas, o concreto deverá ser lançado por janelas abertas na parte lateral ou por meio de funis ou trombas.

Cuidados especiais deverão ser tomados quando o lançamento se der em ambiente com temperatura inferior a 5ºC ou superior a 30°C (ver item 6.1.3.).

- Lançamento submerso

Quando o lançamento for submerso, o concreto deverá ter no mínimo 400 kg de cimento por $m^3$, ser de consistência plástica e ser levado dentro da água por uma tubulação, mantendo-se a ponta do tubo imersa no concreto já lançado, a fim de evitar que ele caia através da água e que provoque agitação prejudicial. O lançamento poderá também ser efetuado por processo especial, de eficiência devidamente comprovada. Após o lançamento o concreto não deverá ser manuseado para lhe dar forma definitiva. Não se deverá lançar concreto submerso quando a temperatura da água for inferior a 5°C, estando o concreto com temperatura normal, nem quando a velocidade da água supere 2,0 m/s.

#### *6.1.11.4.3 Adensamento*

Durante e imediatamente após o lançamento, o concreto deverá ser vibrado ou apiloado contínua e energicamente com equipamento adequado à sua consistência. O adensamento deverá ser cuidadoso para que o concreto preencha todos os recantos da forma. Durante o adensamento deverão ser tomadas as precauções necessárias para que não se formem nichos ou haja segregação dos materiais; deve-se evitar a vibração da armadura para que não se formem vazios ao seu redor com prejuízo da aderência. Quando se utilizarem vibradores de imersão a espessura da camada deverá ser aproximadamente igual a ¾ do comprimento da agulha; se não puder atender a esta exigência não deverá ser empregado vibrador de imersão. O vibrador nunca deverá ser desligado com a agulha introduzida no concreto.

#### *6.1.11.4.4 Juntas de concretagem*

Quando o lançamento do concreto for interrompido e, assim, formar-se uma junta de concretagem, deverão ser tomadas as precauções necessárias para garantir, ao reiniciar-se o lançamento, a suficiente ligação do concreto já endurecido com o do novo trecho. Antes de reiniciar-se o lançamento, deverá ser removida a nata e feita a limpeza da superfície da junta.

Deverão ser tomadas precauções para garantir a resistência aos esforços que podem agir na superfície da junta, que poderão consistir na cravação de barras ou deixar arranques ou reentrâncias no concreto mais velho. As juntas deverão ser localizadas nas áreas de menores esforços solicitantes de cisalhamento, preferencialmente em posição normal aos esforços de compressão. O concreto deverá ser perfeitamente adensado até a superfície da junta. O responsável pelo cálculo estrutural deverá ser consultado sobre a melhor localização da junta.

A concretagem das vigas deverá atingir o terço médio do vão, não sendo permitidas juntas próximas aos apoios. Na ocorrência de juntas em lajes, a concretagem deverá atingir o terço médio do maior vão localizando-se as juntas paralelamente a armadura principal.

Em lajes nervuradas as juntas deverão situar-se paralelamente ao eixo longitudinal das nervuras. Especial cuidado deverá ser tomado quanto ao adensamento junto a interface entre o concreto já endurecido e o recém lançado, a fim de se garantir a perfeita ligação das partes. No lançamento de concreto novo sobre superfície antiga poderá ser exigida, a critério da FISCALIZAÇÃO, o emprego de adesivos estruturais.

#### *6.1.11.4.5 Programa de lançamento*

Quando a sequência das fases de lançamento do concreto puder resultar efeitos prejudiciais à resistência, à deformação ou à fissuração da estrutura, o lançamento deverá obedecer ao programa que leve em conta a retração, e seja organizado tendo em vista o projeto do escoramento e as deformações que serão nele provocadas pelo peso próprio do concreto e pelas cargas resultantes dos trabalhos de execução.

### 6.1.11.5 Lajes

#### *6.1.11.5.1 Laje Nível Zero*

A concretagem das lajes, poderá ser realizada mediante o emprego de técnicas e equipamentos específicos, possibilitando ao término do serviço, a obtenção de uma superfície com acabamento final, que poderá ser acamurçado, liso ou vitrificado, correspondendo respectivamente, aos acabamentos sarrafeado, feltrado e natado do sistema convencional.

Esta metodologia é conhecida como “sistema de laje nível zero” e consiste em incluir no processo de concretagem, equipamentos como régua vibratória, desempenadeiras mecânicas e o nível a laser. Os dois primeiros equipamentos atuam no adensamento, nivelamento e acabamento da superfície e o terceiro, permite a determinação e acompanhamento do nível de acabamento durante todo o processo.

A adoção deste sistema, dispensará tanto a realização da camada de revestimento, quando a especificação for o piso cimentado, quanto da camada de regularização (contrapiso), quando for especificado outro tipo de acabamento, gerando, portanto, substancial economia no custo da obra.

Vale lembrar que é perfeitamente admissível a execução da laje nível zero em associação com uma laje nervurada.

#### *6.1.11.5.2 Lajes Pré-moldadas*

*6.1.11.5.2.1 Montagem*

Inicialmente são colocadas as vigotas seguindo o sentido indicado em projeto. Após a colocação das nervuras deve-se colocar os blocos. A laje deve ser escorada antes do início da concretagem e deve-se, também, aplicar a contra flecha especificada em projeto. Devem ser colocadas a armadura, as caixas das instalações elétricas, hidráulicas e eletrodutos. As extremidades das vigotas que serão introduzidas nas vigas ou cintas sobre alvenaria deverão ter o concreto removido de tal forma que as barras da armadura das vigotas fiquem expostas e tenham assim aderência com o concreto da viga a ser lançado. As vigotas que porventura apresentem deformações prévias (flechas) ou sinais de corrosão não devem ser empregadas. Caso seja detalhado pelo projetista o uso da armadura negativa na ligação entre lajes deve-se empregar “caranguejos” para seu correto posicionamento.

*6.1.11.5.2.2 Procedimento de Execução do Serviço*

Para o projeto e execução, aplica-se a NBR 9062. No caso do uso de lajes alveolares protendidas, deve ser obedecido o que estabelece a NBR 14861. A parte das vigas já concretadas deve ser molhada em abundância e a superfície deve estar limpa e livre de restos de concreto ou argamassa solta. Não se deve permitir que se acumule um volume muito grande de concreto em ponto isolado sobra a laje. As nervuras devem penetrar nas vigas o mínimo exigido pelo fabricante ou recomendado em projeto. A disposição das nervuras será sempre mostrada em projeto ou ao longo do menor vão. Deve-se lançar o concreto em tempo hábil, ou seja, em tempo inferior ao início de pega levando-se em conta, porém, se foi empregado aditivo retardador de pega ou não. Nivelar os sarrafos de madeira, respeitando-se os níveis indicados em projeto.

*6.1.11.5.2.3 Laje Pré-moldada com Vigotas de Concreto*

São lajes que possuem estrutura espacial composta por vigas pré-moldadas (vigotas de concreto armado de seção “T”), materiais de enchimento que podem ser blocos cerâmicos, de concreto, concreto celular, EPS entre outros e concreto moldado no local para complementar a espessura necessária da laje.

O pavimento imediatamente inferior, quando for o caso, deve estar liberado para receber a carga proveniente do pavimento a concretar e os outros pavimentos inferiores devem estar devidamente reescorados. É interessante que as vigas já estejam concretadas até a altura do fundo da laje, para que sirvam de apoio às nervuras. No caso de concretagem com concreto bombeado, a tubulação deve ser instalada e lubrificada com argamassa, a bomba corretamente posicionada e deve-se prever de dois a quatro homens para segurar e movimentar a extremidade da tubulação (mangote). Quando se tratar de concretagem com bomba-lança (ou caminhão-lança) deve-se verificar se a lança atinge todos os pontos a concretar, se as redes públicas de telefone e eletricidade permitem a instalação e movimentação da lança e, deve-se ainda, verificar se a tubulação se encontra lubrificada com argamassa. É necessária uma pessoa para manusear a extremidade da tubulação. Em se tratando de concretagem com o auxílio de grua, a caçamba deverá ser molhada antes da concretagem e retirado qualquer resto de concreto ou argamassa acumulados de outras concretagens.

*6.1.11.5.2.4 Lajes Treliçadas*

A laje treliçada é composta por uma estrutura de aço eletro soldada. Este modelo de estrutura que combina estrutura espacial e concreto permite que se tenha uma gama muito grande de combinações de vãos e sobrecargas. Seu uso dentro da construção civil vai desde a construção de pequenas lajes para casas, lojas,

indústrias, até a utilização de grandes vãos (até 15 metros) ou grandes sobrecargas como pontes, viadutos, etc. A Figura 7 mostra um exemplo de laje de uma edificação com tijolo cerâmico como material de enchimento.

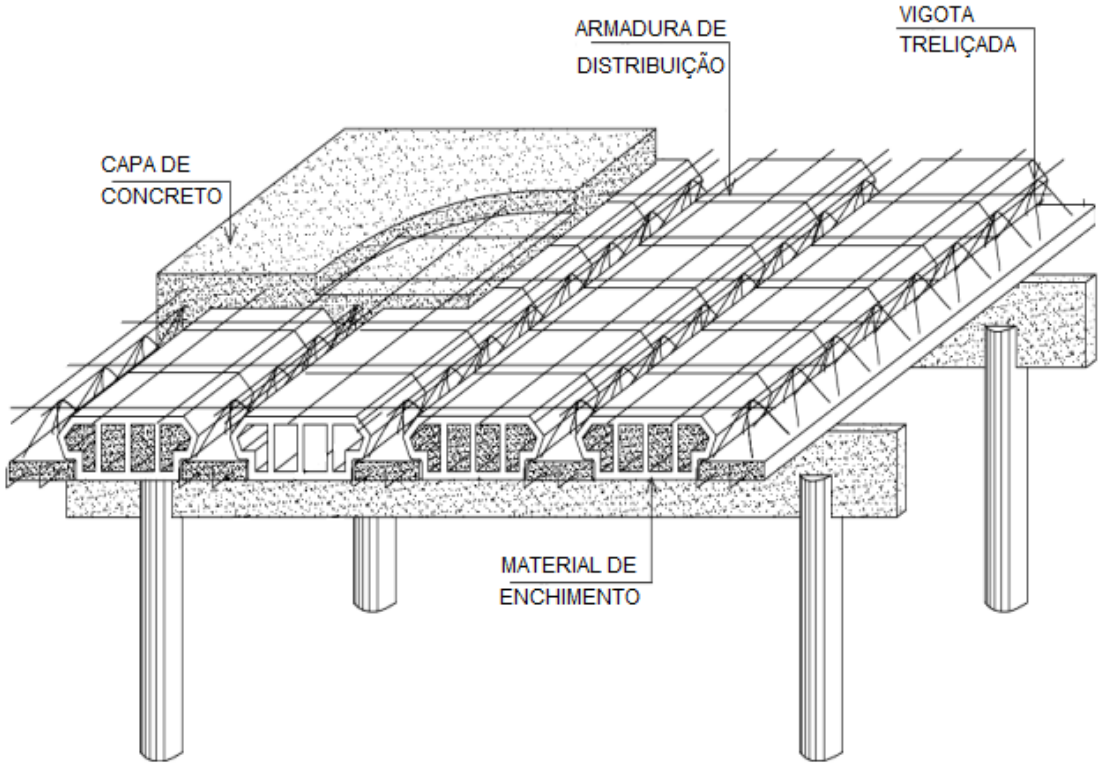



*Figura 7 - Detalhe de laje com vigota treliçada. Fonte: Adaptado de Pagnussatti; Silva (2011).*

Todos os vãos devem ser escorados com tábuas colocadas em espelhos, exceto nos escoramentos destinados às nervuras de travamento, onde deverão ser colocadas “horizontalmente”, e pontaletadas.

O escoramento deve ser apoiado sobre base firme, bem contraventada e com altura necessária para possibilitar a contra flecha da laje treliçada, quando for o caso.

A colocação das vigas deve ser realizada seguindo as indicações contidas na planta de execução que é fornecida juntamente com o material, assim, os números indicados na planta correspondem aos marcados nas vigas treliçadas. Esta planta também deve conter todas as informações sobre os ferros negativos e os de distribuição.

Para caminhar sobre a laje treliçada durante o lançamento é aconselhável fazê-lo sobre tábuas apoiadas nas vigas treliçadas.

As vigas treliçadas devem ser colocadas usando blocos em cada extremidade para espaçá-las exatamente. A primeira carreira de blocos deve se apoiar de um lado sobre a parede ou na forma (tábua) e de outro sobre a primeira viga treliçada. Coloque todos os blocos restantes entre as vigas treliçadas. Devem ser colocados com cuidado para que não fiquem folgas e não saiam do esquadro.

Nas nervuras de travamento e extremidades deverão ser colocados blocos fechados para evitar consumo desnecessário de concreto.

Os ferros devem ser distribuídos de acordo com as indicações de bitola e quantidade anotada na planta. Apoiar e amarrá-los sobre os ferros que serão colocados no sentido transversal ao das vigas treliçadas. O ferro não deverá entrar nas juntas entre as vigas treliçadas e blocos de concreto, mas ficar no meio da espessura da capa.

O material deve ser bem molhado antes de lançar o concreto. Para o concreto da capa, verificar a indicação de $f_{ck}$ contida na planta de execução.

Não é aconselhável caminhar sobre a laje recém concretada. Durante os sete primeiros dias após o lançamento do concreto, a superfície da capa deve ser bem molhada. A desforma não deve ser realizada

antes de passados 18 dias do lançamento do concreto, com o devido reescoramento. Em edifícios de múltiplos pisos, não se deve retirar o escoramento do piso inferior antes de terminar a execução da laje imediatamente superior (sempre deverão estar escoradas as duas lajes de pisos contíguos verticais). Além disto, nas lajes treliçadas de forro, não se retira o escoramento antes do carpinteiro terminar o serviço de cobertura do telhado. O escoramento deve ser retirado do centro para as extremidades. Deve-se sempre verificar se o próximo andar a ser concretado não descarregará excesso de carga através do escoramento, sobre a laje treliçada recém concretada. A retirada total ou sequencial dos escoramentos deve ser condizente com o ganho de resistência e o incremento do módulo de elasticidade na peça escorada.

##### *6.1.11.5.3 Lajes Nervuradas*

Consiste em lajes compostas por módulos, ocos ou não, e um vigamento especial cruzado, que dá a devida estabilidade e sustentação à laje.

Esse tipo de laje de concreto armado é especialmente recomendado quando da necessidade de vencer vãos, sem a necessidade de vigas intermediárias, pois possibilita o aumento da altura (h) da laje, com grande economia no volume de concreto. Nas lajes de teto de garagens, além desta finalidade, a laje nervurada com módulos plásticos, permite eliminar o revestimento do teto, por apresentar superfície de acabamento adequada a estes ambientes.

De acordo com a NBR 6118, as lajes nervuradas devem apresentar as seguintes características:

- A espessura da mesa, quando não existirem tubulações horizontais embutidas, deve ser maior ou igual a 1/15 da distância entre as faces das nervuras e não menor que 4 cm;
- O valor mínimo absoluto da espessura da mesa deve ser 5 cm, quando existirem tubulações embutidas de diâmetro menor ou igual a 10 mm. Para tubulações com diâmetro ($\phi$) maior que 10 mm, a mesa deve ter a espessura mínima de 4 cm + $\Phi$, ou 4 cm + 2$\Phi$ no caso de haver cruzamento destas tubulações;
- A espessura das nervuras não pode ser inferior a 5 cm;
- Nervuras com espessura menor que 8 cm não pode conter armadura de compressão.

### 6.1.12 Cura, retirada das formas e do escoramento

#### 6.1.12.1 Cura e outros cuidados

Enquanto não atingir endurecimento satisfatório, o concreto deverá ser protegido contra agentes prejudiciais, tais como mudanças bruscas de temperatura, secagem, chuva forte, água torrencial, congelamento, agentes químicos, bem como choques e vibrações, de intensidade tal, que possam produzir fissuração na massa do concreto ou prejudicar a sua aderência à armadura. Ressalta-se que, no caso de chuva forte e água torrencial, deve-se evitar que essa água adicional seja incorporada à mistura durante o período de pega do concreto, a fim de não se alterar o fator água/cimento adotado e comprometer a resistência do material. Com o término da pega e o início do processo de endurecimento do concreto, deve-se dar início ao processo de cura da peça concretada.

A proteção contra a secagem prematura, pelo menos durante os 7 primeiros dias após o lançamento do concreto, aumentado este mínimo quando a natureza do cimento o exigir, poderá ser efetuada mantendo-se umedecida a superfície ou protegendo com uma película impermeável ou cura química. O endurecimento do concreto poderá ser antecipado por meio de tratamento térmico adequado e devidamente controlado, não se dispensando as medidas de proteção contra a secagem.

#### 6.1.12.2 Retirada das formas e do escoramento

##### *6.1.12.2.1 Prazos*

A retirada das formas e do escoramento só poderá ser efetuada quando o concreto se achar suficientemente endurecido para resistir às ações que sobre ele atuarem e não conduzir a deformações inaceitáveis, tendo em vista o baixo valor inicial de seu módulo de elasticidade e a maior probabilidade de grande deformação lenta quando o concreto é solicitado com pouca idade. Assim, a retirada de formas deve ser bem planejada e seguida de reescoramento. Já a retirada total ou sequencial dos escoramentos deve ser condizente com o ganho de resistência e o incremento do módulo de elasticidade da peça escorada.

##### *6.1.12.2.2 Precauções*

No ato de desforma das peças, é obrigatória a amarração prévia das formas a serem retiradas, a fim de evitar a sua queda e por consequência riscos de acidente e danos a futuras reutilizações. É importante que em todo sistema de forma sejam previstas faixas de reescoramento, cujas escoras não serão removidas no ato da desforma, ali permanecendo, a fim de se evitar a deformação plástica imediata e instantânea das peças de

concreto.

A retirada do escoramento e das formas deverá ser efetuada sem choques e de acordo com o plano de desforma previamente estabelecido de acordo com o tipo da estrutura e de maneira a não comprometer a segurança e o desempenho em serviço da estrutura. Para efetuar sua remoção devem ser considerados os seguintes aspectos:

- Peso próprio da estrutura ou da parte a ser suportada por um determinado elemento estrutural;
- Cargas devidas a formas ainda não retiradas de outros elementos estruturais (pavimentos);
- Sobrecargas de execução, como movimentação de operários e material sobre o elemento estrutural;
- Sequência de retirada das formas e escoramentos e a possível permanência de escoramentos localizados;
- Operações particulares e localizadas de retirada de formas (como locais de difícil acesso);
- Condições ambientais a que será submetido o concreto após a retirada das formas e as condições de cura;
- Possíveis exigências relativas a tratamentos superficiais posteriores.

#### 6.1.12.3 Tempo de permanência de escoramentos e formas

De acordo com a NBR 14931, em elementos de concreto é fundamental que a remoção das formas e escoramentos seja efetuada em conformidade com a programação prevista no projeto estrutural. Escoramentos e formas não devem ser removidos, em nenhum caso, até que o concreto tenha adquirido resistência suficiente para:

- Suportar a carga imposta ao elemento estrutural nesse estágio;
- Evitar deformações que excedam as tolerâncias especificadas;
- Resistir a danos na superfície durante a remoção.

Deve ser dada especial atenção ao tempo especificado para a retirada do escoramento e das formas que possam impedir a livre movimentação de juntas de retração ou dilatação, bem como de articulações.

Se a forma for parte integrante do sistema de cura, como no caso de pilares e laterais de vigas, o tempo de remoção deve considerar os requisitos de cura e cuidados especiais constantes na Seção 10 da NBR 14931. A retirada das formas e do escoramento só pode ser feita quando o concreto estiver suficientemente endurecido para resistir às ações que sobre ele atuarem e não conduzir a deformações inaceitáveis, tendo em vista o baixo valor do módulo de elasticidade do concreto ($E_{ci}$) e a maior probabilidade da grande deformação diferida no tempo quando o concreto é solicitado com pouca idade.

Para o atendimento dessas condições, o responsável pelo projeto estrutural deve indicar na documentação técnica do mesmo, os valores mínimos de resistência à compressão e módulo de elasticidade que devem ser obedecidos concomitantemente para a retirada das formas e do escoramento, bem como, a necessidade de um plano de retirada do escoramento.

A retirada do escoramento e das formas deve ser efetuada sem choques e obedecer ao plano de desforma elaborado, de acordo com o tipo da estrutura.

### 6.1.13 Recebimento da estrutura de concreto

A estrutura de concreto deve ser recebida desde que cumpridas as exigências da NBR 14931, verificadas no documento de “como construído”, atendendo também ao estabelecido nas especificações de projeto e nas normas de projeto, em especial na NBR 6118.

Para auxiliar na FISCALIZAÇÃO devem ser utilizados os itens de verificação do IBRAOP - INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS, adaptados a seguir:

- Concreto

Para avaliar as características e qualidade do concreto e dos seus elementos constituintes, devem ser solicitados os laudos e/ou ensaios do controle tecnológico realizado, comparando-se com as características determinadas no projeto.

As características do cimento podem ser identificadas na própria embalagem do material ou nas especificações constantes nas notas fiscais do fornecedor da CONTRATADA.

As características dos agregados e da água devem ser verificadas a partir de solicitação à CONTRATANTE dos ensaios realizados para estes insumos, com o devido atendimento às Normas específicas para cada insumo.

A resistência característica do concreto deve ser verificada nas especificações constantes nas notas fiscais do fornecedor da CONTRATADA, nos resultados de ensaios laboratoriais, ou ainda utilizando-se do esclerômetro de reflexão (dureza superficial do concreto), conforme procedimento descrito na NBR 7584.

Em relação à aparência geral do concreto armado, a FISCALIZAÇÃO deverá verificar, por inspeção visual, a ocorrência de falha de concretagem (vazios, nichos ou brocas) na estrutura, bem como quebras e fissuras nos elementos estruturais.

A FISCALIZAÇÃO, quando da inspeção *in loco*, deve identificar visualmente e registrar os elementos/etapas estruturais executados. As dimensões dos elementos estruturais devem ser verificadas a partir da comparação entre o projetado e o executado, selecionando-se, na obra, alguns elementos estruturais mais acessíveis, verificando-se as seções e comprimento dos pilares e vigas, e espessuras e áreas de lajes, por meio de instrumentos de aferição.

Após a identificação dos elementos executados, devem ser levantadas as respectivas quantidades de concreto, utilizando-se as informações constantes no projeto estrutural, notas fiscais de compra do concreto e medidas levantadas na obra, confrontando-se com a minuta (planilha) de medição.

Em relação a estruturas pré-moldadas, a FISCALIZAÇÃO, por meio de inspeção visual e equipamentos de aferição, deverá verificar, também, as dimensões e características dos elementos de fixação (pinos) e apoio (placas de material flexível), comparando-as com o projeto e especificações.

As aberturas e orifícios previstos nos projetos de instalações, para passagens de tubulações e dutos, devem estar compatibilizados com o projeto estrutural e serem verificados por meio de inspeção visual, considerando-se que a furação poderá ser realizada após a concretagem.

- Aço

A resistência característica do aço pode ser identificada no próprio material ou nas especificações constantes nas notas fiscais do fornecedor da CONTRATADA.

A bitola do aço utilizada nas estruturas deve ser verificada mediante a utilização de instrumentos de medição.

Após a identificação dos elementos montados, devem ser levantadas as quantidades de aço dos mesmos, utilizando-se as informações constantes do projeto estrutural, notas fiscais de compra do aço e quantidades levantadas na obra, confrontando-se com a minuta (planilha) de medição.

O cobrimento das armaduras deve ser verificado a partir dos espaçadores existentes, que afastam as barras de aço das formas, e do alinhamento das barras de aço dentro das formas, comparativamente ao indicado em projeto, medindo-se a distância entre as barras de aço (estribo) e as formas nos elementos estruturais selecionados.

Caso a concretagem já tenha ocorrido, a verificação do cobrimento, bitola e espaçamento das armaduras deve ser feita por meio de aparelho de ultrassom ou equivalente, comparando-se com o cobrimento indicado em projeto.

A avaliação da ordem de grandeza da quantidade de aço utilizado na obra pode ser efetuada a partir das notas fiscais do fornecedor da CONTRATADA, comparando-se com a quantidade medida.

- Forma

O tipo de escoramento utilizado na obra, se metálico ou de madeira, verificado por meio de inspeção visual, deve ser comparado com o especificado no projeto básico/executivo.

A quantidade, o espaçamento e o diâmetro das escoras utilizadas devem ser verificados por meio de inspeção visual (contagem) e equipamentos de aferição, comparando-se com o especificado no projeto básico/executivo, planilha, composição unitária do serviço forma/escoramento e boletins (planilha) de medição.

Verificar, por meio de instrumentos de medição, se as formas executadas garantem as corretas dimensões da peça estrutural (largura, altura e comprimento), bem como sua estanqueidade, através da observação quanto à existência de “fendas” que permitam a fuga da nata de cimento.

A espessura e tipo da forma utilizada devem ser verificados mediante:

– Comparação da espessura e do tipo com a indicada no projeto e/ou especificações, por meio de instrumento de medida de espessura;

- Especificações constantes nas notas fiscais do fornecedor da CONTRATADA; ou
- Identificação na própria placa.

As aberturas e orifícios previstos em projeto para passagens de tubulações e dutos devem ser verificados por meio de inspeção visual.

Após a identificação dos elementos executados, devem ser levantadas as quantidades de forma dos elementos identificados, utilizando-se as informações constantes do projeto estrutural ou obtidas na obra, confrontando-se com o boletim (planilha) de medição.

A avaliação da ordem de grandeza da quantidade de forma utilizada na obra pode ser efetuada a partir das notas fiscais do fornecedor da CONTRATADA, comparando-se com a quantidade medida.

#### 6.1.13.1 Controle tecnológico

O controle tecnológico deverá ser realizado segundo as prescrições contidas nas normas técnicas pertinentes, entre elas as da NBR 6118 e NBR 14931, controlando todos os materiais a serem utilizados, bem como através de laboratório idôneo e certificado em padrão de referência ISO. Enfatiza-se a necessidade da realização de uma inspeção visual detalhada, pela FISCALIZAÇÃO, como parte importante desse controle, buscando-se detectar nichos, brocas, vazios, segregações, exposições de armaduras e outras patologias na estrutura. A partir deste controle é que se consegue definir uma metodologia de recuperação a ser adotada, se for o caso.

Em caso de dúvidas ou na presença de pequenas e precoces deteriorações nas estruturas que possam vir a comprometer a qualidade e durabilidade das mesmas, será, a critério da FISCALIZAÇÃO e da equipe técnica da PBH, recomendada a realização de ensaios especiais, preferencialmente não destrutivos, a fim de melhor balizar decisões sobre a recuperação, o reforço, o desmanche, a modificação do processo construtivo e até mesmo do projeto. Dentre eles enquadram-se ensaios de prova de carga realizados diretamente na estrutura. Qualquer ônus deste tipo de trabalho é de responsabilidade da CONTRATADA.

#### 6.1.13.2 Recebimento e aceitação do concreto

Em consonância com a Seção 6 da NBR 12655, para cada tipo e classe de concreto a ser colocado em uma estrutura, devem ser realizados os ensaios de controle, além de ensaios e determinações para o controle das propriedades especiais.

##### *6.1.13.2.1 Ensaio de consistência*

Devem ser realizados ensaios de consistência pelo abatimento do tronco de cone, conforme a NBR NM 67, ou de espalhamento e habilidade passante em fluxo livre, no caso de concreto auto adensável, conforme a NBR 15823-2 e NBR 15823-3, respectivamente.

Para o concreto preparado pelo construtor da obra, devem ser realizados ensaios de consistência sempre que ocorrerem alterações na umidade dos agregados e nas seguintes situações:

- Na primeira amassada do dia;
- Ao reiniciar o preparo após uma interrupção da jornada de concretagem de pelo menos 2 h;
- Na troca dos operadores;
- Cada vez que forem moldados corpos de prova.

Para o concreto preparado por empresa de serviços de concretagem, devem ser realizados ensaios de consistência a cada betonada. No caso de concreto autoadensável, a frequência de realização dos ensaios está estabelecida na NBR 15823-1

##### *6.1.13.2.2 Ensaios de resistência à compressão*

Os resultados dos ensaios de resistência, conforme a NBR 5739, realizados em amostras, devem ser utilizados para aceitação ou rejeição dos lotes.

##### *6.1.13.2.3 Formação de lotes*

A amostragem do concreto para ensaios de resistência à compressão deve ser feita dividindo-se a estrutura em lotes que atendam a todos os limites da Tabela 12. De cada lote deve ser retirada uma amostra, com número de exemplares de acordo com o tipo de controle.

*Tabela 12 - Valores máximos para a formação de lotes de concreto [a] apresentados na NBR 12655. Fonte: ABNT (2022).*

| **Identificação (o mais exigente para cada caso)** | **Solicitação principal dos elementos da estrutura** | |
|---|---|---|
| | **Compressão ou compressão e flexão** | **Flexão simples [b]** |
| Volume do concreto | 50 $m^3$ | 100 $m^3$ |
| Número de andares | 1 | 1 |
| Tempo de concretagem | Três dias de concretagem [c] | |

[a] No caso de controle por amostragem total, cada betonada deve ser considerada um lote.

[b] No caso de complemento de pilar, o concreto faz parte do volume do lote de lajes e vigas.

[c] Este período deve estar compreendido no prazo total máximo de sete dias, que inclui eventuais interrupções para tratamento de juntas.

#### *6.1.13.2.4 Amostragem*

As amostras devem ser coletadas aleatoriamente durante a operação de concretagem, conforme a NBR NM 33. Cada exemplar deve ser constituído por dois corpos de prova da mesma amassada, conforme a NBR 5738, para cada idade de rompimento, moldados no mesmo ato. Toma-se como resistência do exemplar o maior dos dois valores obtidos no ensaio de resistência à compressão.

#### *6.1.13.2.5 Tipos de controle da resistência do concreto*

Consideram-se dois tipos de controle de resistência: o controle estatístico do concreto por amostragem parcial e o controle do concreto por amostragem total. Para o controle por amostragem parcial é prevista uma forma de cálculo do valor estimado da resistência característica, $f_{ck,est}$, do lote de concreto em estudo. Para o controle por amostragem total a 100 % das betonadas a análise da conformidade deve ser realizada em cada betonada.

*6.1.13.2.5.1 Controle do concreto por amostragem total (100 %)*

Consiste na amostragem 100 %, ou seja, todas as betonadas são amostradas e representadas por um exemplar que define a resistência à compressão daquele concreto naquela betonada. Neste caso, o valor da resistência característica à compressão do concreto estimada ($f_{ck,est}$) é dado por:

$f_{ck,est} = f_{c,\text{betonada}}$

onde

$f_{c,\text{betonada}}$ é o valor da resistência à compressão do exemplar que representa o concreto da betonada.

*6.1.13.2.5.2 Controle estatístico do concreto por amostragem parcial*

Para este tipo de controle, em que são retirados exemplares de betonadas distintas, as amostras devem ser de no mínimo seis exemplares para os concretos do grupo I (classes até C50, inclusive) e 12 exemplares para os concretos do grupo II (classes superiores a C50), conforme estabelece a NBR 8953:

- Para lotes com números de exemplares $6 \leq n < 20$, o valor estimado da resistência característica à compressão ($f_{ck,est}$), na idade especificada, é dado por:

$$f_{ck,est} = 2 \times \frac{f_1 + f_2 + \cdots + f_{m-1}}{m-1} - f_m$$

onde

*m* é igual a *n/2*. Despreza-se o valor mais alto de n, se for ímpar;

*f1, f2, ..., fm* são os valores das resistências dos exemplares, em ordem crescente.

Não se pode tomar para $f_{ck,est}$ valor menor que $\psi 6 \cdot f1$, adotando-se para $\psi 6$ os valores da Tabela 13, em função da condição de preparo do concreto e do número de exemplares da amostra, admitindo-se interpolação linear.

*Tabela 13 - Valores de ψ6 apresentados na NBR 12655. Fonte: ABNT (2022).*

| Condição de preparo | Número de exemplares (n) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 10 | 12 | 14 | ≥ 16 |
| A | 0,82 | 0,86 | 0,89 | 0,91 | 0,92 | 0,94 | 0,95 | 0,97 | 0,99 | 1,00 | 1,02 |
| B ou C | 0,75 | 0,80 | 0,84 | 0,87 | 0,89 | 0,91 | 0,93 | 0,96 | 0,98 | 1,00 | 1,02 |
| NOTA: Os valores de n entre 2 e 5 são empregados para os casos excepcionais. | | | | | | | | | | | |

As condições de preparo do concreto são dadas por:

- Condição A (aplicável a todas as classes de concreto): o cimento e os agregados são medidos em massa, a água de amassamento é medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados;
- Condição B (pode ser aplicada às classes C10 a C20): o cimento é medido em massa, a água de amassamento é medida em volume mediante dispositivo dosador e os agregados medidos em massa combinada com volume, de acordo com o exposto no item "Execução do Concreto", deste Caderno de Encargos SUDECAP;
- Condição C (pode ser aplicada apenas aos concretos de classe C10 e C15): o cimento é medido em massa, os agregados são medidos em volume, a água de amassamento é medida em volume e a sua quantidade é corrigida em função da estimativa da umidade dos agregados da determinação da consistência do concreto, conforme disposto na NBR NM 67 ou outro método normalizado.

Ressalta-se novamente que os concretos das classes C10 e C15 não são mais usados para fins estruturais, inclusive em elementos de fundação. De acordo com a NBR 6118, a menor classe de resistência para um concreto com emprego estrutural é a C20.

- Para lotes representados por amostra com número de exemplares n ≥ 20:

$$f_{ck,est} = f_{cm} - 1{,}65 \times s_d$$

Sendo

$$s_d = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(f_i - f_{cm})^2}$$

onde

$f_{cm}$ é a resistência média dos exemplares do lote, expressa em megapascals (MPa);

$s_d$ é o desvio padrão dessa amostra de n exemplares, expresso em megapascals (MPa).

*6.1.13.2.5.3 Casos excepcionais*

Nos casos de concreto produzido por betonadas de pequeno volume e sempre que o número total de betonadas (lote) seja superior ao de exemplares da amostra que representa esse lote, pode-se dividir a estrutura em lotes correspondentes a no máximo 10 m³ e amostrá-los com número de exemplares entre 2 e 5. Nestes casos, denominados excepcionais, o valor estimado da resistência característica é dado por:

$$f_{ck,est} = \Psi_6 \times f_1$$

onde

Ψ6 é dado pela Tabela 13, para os números de exemplares de 2 a 5.

*6.1.13.2.5.4 Exemplo de aceitação e rejeição*

O exemplo a seguir mostra como aplicar o critério de aceitação e rejeição de concreto pela NBR 6118:

O projeto recomendou resistência característica do concreto igual a 25 MPa.

**$f_{ck}$ = 25 MPa**

Com o concreto na obra foram retirados 13 corpos de prova e enviados ao laboratório para ensaio de compressão. Após a realização dos ensaios, os valores obtidos foram demonstrados na Tabela 14 e calculados a seguir:

*Tabela 14 - Análise corpo de prova. Fonte: Elaboração própria.*

| | **DADOS DO LABORATÓRIO** | | **ANÁLISE** |
|---|---|---|---|
| **CP** | **$f_c$ (MPa)** | **OC** | **$f_c$ (MPa)** |
| 01 | 37 | $f_1$ | **29** |
| 02 | 35 | $f_2$ | **30** |
| 03 | 29 | $f_3$ | **31** |
| 04 | 33 | $f_4$ | **31** |
| 05 | 31 | $f_5$ | **32** |
| 06 | 30 | $f_6$ | **32** |
| 07 | 32 | $f_7$ | **33** |
| 08 | 39 | $f_8$ | **34** |
| 09 | 34 | $f_9$ | **34** |
| 10 | 34 | $f_{10}$ | **35** |
| 11 | 32 | $f_{11}$ | **36** |
| 12 | 31 | $f_{12}$ | **37** |
| 13 | 36 | **desconsiderar** | **39** |
| **$f_{cm}$** | **33,3** | | |

n = 12

m = n/2 = 12/2 = 6

$$f_{ck,est} = 2 \times \frac{f_1 + f_2 + \cdots + f_{m-1}}{m-1} - f_m$$

$f_{ck,\ est}$ = 2x[($f_1$ + $f_2$ +$f_3$ + $f_4$ + $f_5$)/(6-1)] – $f_6$ =2x[ (29+30+31+31+32)/5] – 32

$f_{ck,\ est}$ = 29,2 MPa

$\Psi 6$ = 0,99

$\Psi 6$ x $f_1$ = 0,99x29 = 28,7 MPa

$f_{ck,\ est}$ = 29,2 MPa ≥ $\Psi 6$ x $f_1$ = 28,7 MPa - **ok**

**$f_{ck,\ projeto}$ = 25 MPa < $f_{ck,\ est}$ = 29,2 MPa**

**OK**

### *6.1.13.2.6 Conformidade dos lotes de concreto*

Os lotes de concreto, no caso de amostragem parcial, e os exemplares, no caso de amostragem total, devem ser aceitos, quando o valor estimado da resistência característica ou o valor de cada exemplar de uma

amostragem a 100 %, atender à resistência característica do concreto à compressão especificada no projeto estrutural.

#### *6.1.13.2.7 Aceitação do concreto*

O concreto deve ser aceito desde que atendidas todas as condições estabelecidas na NBR 12655. Em caso de existência de não-conformidade, deve-se consultar a NBR 7680.

### 6.1.14 Segurança

O item Segurança e Medicina do trabalho, do capítulo 1, deste Caderno de Encargos SUDECAP que trata sobre recomendações para a Linha de Vida e outros assuntos, deve ser consultado. Todas as Normas Regulamentadoras e demais legislações pertinentes devem ser respeitadas durante a montagem das estruturas.

Conforme NR-18 deverá ser observado os seguintes itens:

- Na montagem das formas e na desforma, são obrigatórios o isolamento e a sinalização da área no entorno da atividade, além de serem previstas as medidas de prevenção de forma a impedir a queda livre das peças;
- A operação de concretagem deve ser supervisionada por trabalhador capacitado, devendo ser observadas as seguintes medidas:

  – Inspecionar os equipamentos e os sistemas de alimentação de energia antes e durante a execução dos serviços;

  – Inspecionar as peças e máquinas do sistema transportador de concreto antes e durante a execução dos serviços;

  – Inspecionar o escoramento e a resistência das formas antes e durante a execução dos serviços;

  – Isolar e sinalizar o local onde se executa a concretagem, sendo permitido o acesso somente à equipe responsável;

  – Dotar as caçambas transportadoras de concreto de dispositivos de segurança que impeçam o seu descarregamento acidental.
- Durante as operações de protensão e desprotensão dos tirantes, a área no entorno da atividade deve ser isolada e sinalizada, sendo proibida a permanência de trabalhadores atrás ou sobre os dispositivos de protensão, ou em outro local que ofereça riscos;
- Quando o local de lançamento de concreto não for visível pelo operador do equipamento de transporte ou da bomba de concreto, deve ser utilizado um sistema de sinalização, sonoro ou visual, e, quando isso não for possível, deve haver comunicação por telefone ou rádio para determinar o início e o fim do lançamento.

### 6.1.15 Critérios de levantamento, medição e pagamento

#### 6.1.15.1 Levantamento (Quantitativos de Projeto)

Deverá ser efetuado por nível, separando-se as peças por tipo (exemplo: pilares, vigas, lajes, escadas, paredes, etc.).

Serviços de forma, armação e concreto estrutural devem ser levantados separadamente, referenciados por suas respectivas unidades, a saber: $m^2$, kg e $m^3$.

#### *6.1.15.1.1 Particularidades*

*6.1.15.1.1.1 <u>Formas</u>*

- No levantamento de quantitativos deverá ser considerado o tipo de aplicação das formas conforme o elemento estrutural a ser concretado (pilares, vigas, lajes, etc.);
- Será considerada a área real de contato com o concreto;
- Os fundos de viga não serão considerados como laje e serão descontadas as áreas correspondentes a interseção com pilares;
- As vigas devem ser levantadas trecho por trecho, evitando-se, com isso, considerar formas nas laterais das interseções;

- Para os pilares, considera-se o perímetro da seção do pilar e a altura compreendida entre o piso concretado da laje inferior e o fundo da laje superior, descontando-se as interseções com as vigas.

*6.1.15.1.1.2 Concreto*

O volume das interseções dos diversos elementos estruturais será levantado uma só vez. Concretos com resistências ($f_{ck}$) diferentes, serão levantados separadamente.

Em lajes nervuradas serão descontados os volumes dos elementos inertes (blocos ou gomos vazios).

No caso de laje nível zero, para o item que remunera a mão de obra mecanizada para acabamento de laje, será considerada a mesma área (m²) da laje.

*6.1.15.1.1.3 Armação*

No quadro resumo dos projetos de armação, a quantidade levantada deverá ser exata, sem considerar perdas, uma vez que tais acréscimos já estão contemplados na composição de preço unitário.

#### 6.1.15.2 Medição

##### *6.1.15.2.1 Formas*

Será efetuada por metro quadrado ($m^2$) nas quantidades executadas, utilizando-se os critérios de levantamento.

##### *6.1.15.2.2 Concreto*

Será efetuada por metro cúbico ($m^3$) nas quantidades executadas, utilizando-se os critérios de levantamento.

##### *6.1.15.2.3 Armação*

Será efetuada por quilograma (kg) nas quantidades executadas, utilizando-se os critérios de levantamento.

#### 6.1.15.3 Pagamento

##### *6.1.15.3.1 Formas*

Os serviços serão pagos pelo preço unitário contratual, contemplando toda a mão de obra, materiais e ferramentas necessários à execução das formas e escoramentos, bem como desforma, organização e limpeza da área.

Está considerada a reutilização dos compensados e tábuas, no mínimo 3 vezes.

##### *6.1.15.3.2 Concreto*

Os serviços serão pagos pelo preço unitário contratual, contemplando fornecimento, transporte, aplicação (lançamento e adensamento), cura, bem como equipamentos e ferramentas necessários.

No caso de laje nível zero, deverá ser efetuado pagamento complementar da mão de obra que contempla acabamento e polimento do concreto com equipamento mecanizado.

##### *6.1.15.3.3 Armação*

Os serviços serão pagos pelo preço unitário contratual, contemplando o fornecimento, corte, montagem, colocação e perdas. Estão consideradas todas as ferramentas e materiais necessários, inclusive arame, espaçadores, gabaritos e caranguejos de apoio de negativos.

## 6.2 ESTRUTURA DE AÇO

Este capítulo do Caderno de Encargos SUDECAP tem como objetivo determinar as diretrizes básicas para a execução de estruturas de aço, envolvendo aspectos construtivos com foco em durabilidade das estruturas, qualidade dos processos e produtos envolvidos na execução, em consonância com as normas técnicas aplicáveis e vigentes.

### 6.2.1 Legislação aplicável, normas e práticas complementares

NBR 5884/13 - Perfil I estrutural de aço soldado por arco elétrico - Requisitos gerais.

NBR 6355/12 - Perfis estruturais de aço formados a frio - Padronização.

NBR 7348/17 - Pintura industrial - Preparação de superfície de aço com jateamento abrasivo ou hidrojateamento.

NBR 7678/83 - Segurança na execução de obras e serviços de construção.

NBR 8800/08 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.

NBR 16733/19 - Esquemas de pintura para superfícies de aço galvanizado - Proteção anticorrosiva - Requisitos.

NBR 14323/13 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio.

NBR 14432/01 - Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento.

NBR 14718/19 - Esquadrias - Guarda-corpos para edificação.

NBR 14762/10 - Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio - Procedimento.

NBR 15239/05 - Tratamento de superfícies de aço com ferramentas manuais e mecânicas.

NBR 15575-1/21 - Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais.

NBR 15575-2/13 - Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais.

NBR 16239/13 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações com perfis tubulares.

NR 18 - Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção.

AASHTO - *American Association of State Highway and Transportation Officials.*

AASHTO LRFD Bridge Design Specifications.

S2.1 - Steel Bridge Fabrication Guide Specification.

S10.1 - Steel Bridge Erection Guide Specification.

AISC - *American Institute of Steel Construction*:

AISC 303 - Code of Standard Practice for Steel Buildings and Bridges;

AISC 360 - Specification for Structural Steel Buildings;

AISC - Detailing for Steel Construction;

AISI - *American Iron and Steel Institute:*

AISI S100 - North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members;

ASTM A6 Standard Specification for General Requirements for Rolled Structural Steel Bars, Plates, Shapes, and Sheet Piling.

ASTM A36 Standard Specification for Carbon Structural Steel.

ASTM A194 Standard Specification For Carbon Steel, Alloy Steel, And Stainless Steel Nuts For Bolts For High Pressure Or High Temperature Service, Or Both.

ASTM A307 Standard Specification For Carbon Steel Bolts, Studs, And Threaded Rod 60 000 Psi Tensile Strength.

ASTM A500 Standard Specification For Cold-Formed Welded And Seamless Carbon Steel Structural Tubing In Rounds And Shapes.

ASTM A501 Standard Specification for Hot-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing.

ASTM A563 Standard Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts Carbon and Alloy Steel.

ASTM A572 Standard Specification For High-Strength Low-Alloy Columbium-Vanadium Structural Steel.

ASTM A588 Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Structural Steel, up to 50 ksi [345 MPa] Minimum Yield Point, with Atmospheric Corrosion Resistance.

ASTM A709 Standard Specification for Structural Steel for Bridges.

ASTM A992 Standard Specification for Structural Steel Shapes.

ASTM A1011 Standard Specification For Steel, Sheet And Strip, Hot-Rolled, Carbon, Structural, High- Strength Low-Alloy, High-Strength Low- Alloy With Improved Formability, And Ultra High Strength.

ASTM F436 Standard Specification fo Hardened Steel Washers (Metric).

ASTM F3125/F3125M Standard Specification For High Strength Structural Bolts And Assemblies, Steel And Alloy Steel, Heat Treated, Inch Dimensions 120 Ksi And 150 Ksi Minimum Tensile Strength, And Metric Dimensions 830 Mpa And 1040 Mpa Minimum Tensile Strength.

AREMA Manual for Railway Engineering - Volume 2.

AWS A2.4 - Standard symbols for welding, brazing, and nondestructive examination.

AWS D1.1 - Structural Welding Code - Steel.

AWS D1.3 - Structural Welding Code - Sheet Steel.

AWS D1.5 - Bridge Welding Code.

AWS WI - Welding inspection handbook.

EN 1993-1-1 - Part 1-1: General rules and rules for buildings.

EN 1993-1-2 - Part 1-2: General rules - Structural fire design.

EN 1993-1-3 - Part 1-3: General rules - Supplementary rules for cold-formed members and sheeting.

EN 1993-1-4 - Part 1-4: General rules - Supplementary rules for stainless steels.

EN 1993-1-5 - Part 1-5: General rules - Plated structural elements.

EN 1993-1-6 - Part 1-6: Strength and stability of shell structures.

EN 1993-1-7 - Part 1-7: Strength and stability of planar plated structures subject to out of plane loading.

EN 1993-1-8 - Part 1-8: Design of joints.

EN 1993-1-9 - Part 1-9: Fatigue.

EN 1993-1-10 - Part 1-10: Material toughness and through-thickness properties.

EN 1993-1-11 - Part 1-11: Design of structures with tension components.

EN 1993-1-12 - Part 1-12: General - High strength steels.

EN 1993-2 - Part 2: Steel bridges.

EN 1993-3-1 - Part 3-1: Towers, masts and chimneys - Towers and masts.

EN 1993-3-2 - Part 3-2: Towers, masts and chimneys – Chimneys.

EN 1993-4-1 - Part 4-1: Silos.

EN 1993-4-2 - Part 4-2: Tanks.

EN 1993-4-3 - Part 4-3: Pipelines.

EN 1993-5 - Part 5: Piling.

EN 1993-6 - Part 6: Crane supporting structures.

EN 1994-1-1 - Part 1-1: General rules and rules for buildings.

EN 1994-1-2 - Part 1-2: General rules - Structural fire design.

EN 1994-2 - Part 2: General rules and rules for bridges.

ISO 8501-1 - Preparation of steel substrates before application of paints and related products - Visual assessment of surface cleanliness - Part 1 - Rust grades and preparation grades of uncoated steel substrates after overall removal of previous coatings.

ISO SIS 5900 - Norma Sueca (Svensk Standard).

### 6.2.2 Condições gerais

Este subitem do Caderno de Encargos SUDECAP estabelece as diretrizes gerais, os requisitos mínimos e as instruções para o fornecimento de materiais, a fabricação e a montagem de estruturas de aço para pontes, viadutos, passarelas, coberturas, ginásios, galpões, habitações, prédios públicos e suportes de máquinas e/ou equipamentos a serem implantados pelo Município de Belo Horizonte.

O fornecimento e a fabricação de perfis de aço para estacas de fundação profunda e/ou de contenção também devem atender aos requisitos e às instruções aqui estabelecidas.

Para reforço ou reparo de estruturas de aço existentes a aplicação deste subitem poderá demandar estudos especiais e/ou levantamentos de informações tais como a data de sua construção, o tipo e a qualidade dos materiais utilizados (aços, componentes de ligações, etc.). Neste intuito, prospecções e ensaios podem ser necessários.

#### 6.2.2.1 Introdução e definições

##### *6.2.2.1.1 Tipos de desenhos para fabricação e montagem de estruturas de aço*

Os conteúdos dos documentos técnicos apresentados foram estabelecidos conforme as seguintes definições da Associação Brasileira da Construção Metálica (ABCEM), que tratam sobre o projeto de estruturas de aço:

- Desenhos de Fabricação: Desenhos, geralmente preparados pelo Fabricante da estrutura, com detalhamento de cada peça da estrutura, contendo todas as informações necessárias à sua produção na fábrica;
- Desenhos de Montagem: Desenhos, geralmente preparados pelo Fabricante da estrutura, que identificam, mostram a locação, posicionamento e fixação de cada peça na estrutura a ser montada;
- Desenhos de Projeto: São desenhos preparados pelo Projetista que mostram a concepção da Estrutura, sua locação, níveis, eixos e filas, com a locação e todas as principais dimensões. Estes desenhos incluem: Plantas de Base, plantas de níveis, elevações, vistas laterais e frontais, seções, indicação e especificação de materiais, indicação de bitolas, tipos de ligação, detalhes típicos, peso estimado e notas explicativas. Estes desenhos geralmente fazem parte dos Documentos Contratuais;
- Fábrica - Unidade fabril utilizada para a Fabricação (Exemplo: ArcelorMittal, Gerdau, Usiminas, etc.);
- Fabricação - É o conjunto dos trabalhos destinados a receber a matéria prima, preparar as chapas e perfis Estruturais através de operações de traçagem, corte, dobra, furação, desempeno, pré-montagem e composição, ponteamento, soldagem e acabamento de todas as peças da Estrutura de acordo com os Desenhos de Fabricação;
- Fabricante - Empresa, geralmente subcontratada, responsável pelos Desenhos de Fabricação e Desenhos de Montagem e pela Fabricação da Estrutura (ABCEM, 2010, p. 8).

Os “Desenhos de Projeto” devem ser desenvolvidos pelo RESPONSÁVEL TÉCNICO nas ETAPAS DE PROJETO. A elaboração dos “Desenhos de Fabricação” e dos “Desenhos de Montagem” devem ser previstas no EDITAL da obra do empreendimento, para que possa ser desenvolvida pelo Fabricante durante a EXECUÇÃO DA OBRA.

#### 6.2.2.2 Aços estruturais

Quanto às propriedades mecânicas, Fakury (2016) define que aços estruturais devem ter nível apropriado de resistência mecânica, ductilidade, tenacidade, resiliência, soldabilidade, dureza superficial e homogeneidade. Estes aços também devem ter um padrão mínimo de resistência à corrosão.

Os aços estruturais comumente utilizados no mercado brasileiro apresentam mais que 95% de ferro em sua composição química e uma quantidade de carbono que pode variar de 0,12% a 0,29%, dependendo da especificação do projeto. Também podem estar presentes pequenas quantidades de silício, enxofre, fósforo, manganês, etc. A variação na quantidade de carbono é o que exerce o maior efeito nas propriedades do aço.

De acordo com a NBR 8800, os aços destinados para perfis, barras e chapas a serem empregados em estruturas de edificações, passarelas de pedestres e suportes de equipamentos, são aqueles com qualificação estrutural assegurada por norma brasileira ou norma/especificação estrangeira, devendo possuir resistência ao escoamento máxima de 450 MPa e relação entre resistências à ruptura ($f_u$) e ao escoamento ($f_y$) não inferior a 1,18.

Conforme Bellei (2006) os aços estruturais utilizados comumente no Brasil são divididos em dois grupos: aços

carbono e aços de baixa liga e alta resistência mecânica.

#### *6.2.2.2.1 Aço-carbono*

Os aços-carbono são os mais usuais para chapas, cantoneiras, perfis U, perfis I, barras redondas e barras chatas. O nível de resistência desses aços é função principalmente da quantidade de carbono e da adição de manganês. O aumento da quantidade de carbono eleva a resistência mecânica, porém reduz a soldabilidade e a ductilidade. Entre os aços-carbono normatizados mais utilizados em estruturas no Brasil, destacam-se: ASTM A36 e MR 250 (NBR 7007).

#### *6.2.2.2.2 Aços de baixa liga e alta resistência mecânica*

Os aços de baixa liga e alta resistência mecânica, também conhecidos como aços microligados, ou ainda, aços de alta resistência, são os mais usuais para perfis I e H com mesas de faces paralelas (conhecidos no mercado brasileiro como perfis W e HP). Eventualmente também são utilizados para chapas de ligação destes perfis. Além do ferro, carbono e manganês, para obtê-los as siderúrgicas adicionam elementos de liga em pequena quantidade, tais como: cobre, níquel, cromo, nióbio, vanádio, molibdênio, titânio, entre outros. Estes elementos melhoram as propriedades mecânicas do aço, garantindo ainda uma boa soldabilidade. Deste tipo de aço, os normatizados mais utilizados em estruturas no Brasil são: ASTM A572 grau 50 e AR 350 (NBR 7007).

#### *6.2.2.2.3 Aços resistentes à corrosão atmosférica*

Os aços com adição adequada principalmente de cobre, cromo e níquel apresentam resistência à corrosão atmosférica superior aos demais tipos de aço e por este motivo são conhecidos como aços resistentes à corrosão atmosférica ou aços patináveis. Entre os aços normatizados mais utilizados em estruturas no Brasil, destacam-se: ASTM A588 e AR 350 COR (NBR 7007).

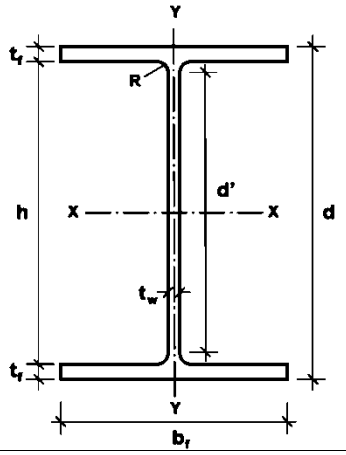
#### *6.2.2.2.4 Aços tratados termicamente*

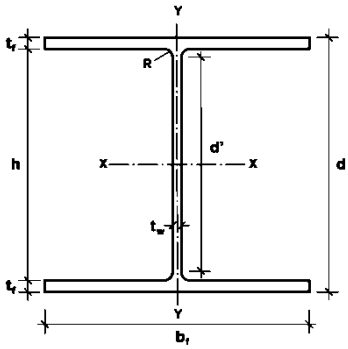
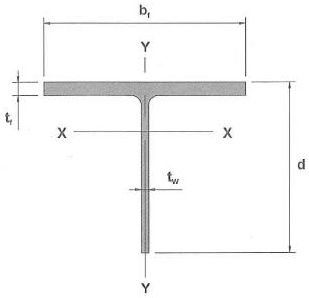
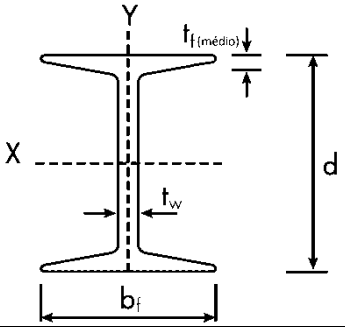
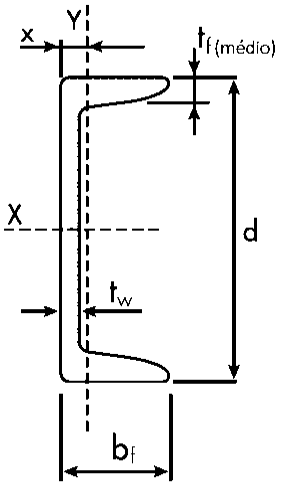
Os aços podem ter sua resistência aumentada através de tratamentos térmicos. Estes tratamentos são necessários para a produção de parafusos estruturais de alta resistência. Os parafusos de alta resistência ASTM F3125 Grau A325 e Grau A490, amplamente utilizados em estruturas de aço no Brasil, são temperados e revenidos e por este motivo, conforme FAKURY (2016), não devem ser soldados ou aquecidos. Este cuidado é necessário para evitar alterações nas propriedades mecânicas deste tipo de aço.

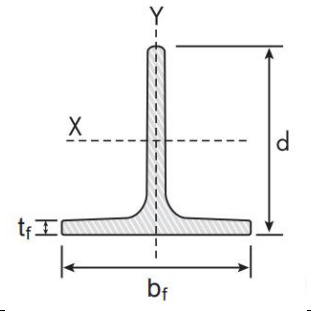
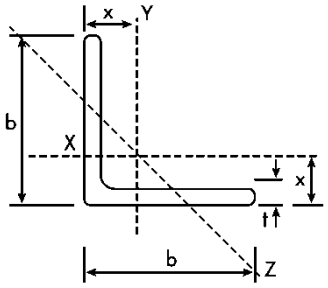
### 6.2.2.3 Perfis laminados e barras estruturais usuais e suas designações

Os perfis estruturais laminados a quente de seção aberta mais facilmente encontrados no mercado brasileiro são indicados na Tabela 15.

*Tabela 15 - Perfis laminados usuais no mercado brasileiro. Fonte: Santos (1977).*

| Tipo de perfil | Croquis da seção transversal | Dimensões usuais | Exemplo de designação | Tipo de aço usual |
|---|---|---|---|---|
| W<br>(perfil I de mesas com faces paralelas) |  | “d” nominal varia de<br>150 mm a 610 mm | W 310x23,8<br>$d_{nominal}$ = 310 mm<br>d = 305 mm<br>massa = 23,8 kg/m | ASTM<br>A572 Gr50 |

| Tipo de perfil | Croquis da seção transversal | Dimensões usuais | Exemplo de designação | Tipo de aço usual |
|---|---|---|---|---|
| HP<br>(perfil H de mesas com faces paralelas) |  | “d” nominal varia de<br>200 mm a 310 mm | HP 200x53,0<br>$d_{nominal}$ = 200 mm<br>d = 204 mm<br>massa = 53,0 kg/m | ASTM<br>A572 Gr50 |
| WT<br>(Obtidos a partir de perfis W ou HP cortados na metade de suas alturas) |  | “d” nominal varia de<br>75 mm a 305 mm | WT 155x11,9<br>$d_{nominal}$ = 155 mm<br>d = 152,5 mm<br>massa = 11,9 kg/m | ASTM<br>A572 Gr50 |
| I<br>(Mesas com faces internas inclinadas, antigo padrão norte-americano) |  | “d” varia de<br>76,2 mm a 152,4 mm | I 101,6x8,04<br>d = 101,6 mm<br>massa = 8,04 kg/m | ASTM<br>A36 |
| U |  | “d” varia de<br>76,2 mm a 305,0 mm | U 152,4x15,62<br>d = 152,4 mm<br>massa = 15,62 kg/m | ASTM<br>A36 |

| Tipo de perfil | Croquis da seção transversal | Dimensões usuais | Exemplo de designação | Tipo de aço usual |
|---|---|---|---|---|
| T<br>(mesas com faces internas inclinadas) |  | "d" varia de 15,88 mm a 50,80 mm | T 50,8x4,74<br>d = 50,8 mm<br>massa = 4,74 kg/m | ASTM<br>A36 |
| L ou<br>Cantoneira<br>(de abas iguais) |  | "b" varia de 12,70 mm (1/2") a 203,20 mm (8") | L 76,2x6,4 ou<br>L 3"x1/4"<br>b = 76,2 mm (3")<br>t = 6,35 mm (1/4") | ASTM<br>A36 |

Observação: Eventualmente poderão ser especificadas cantoneiras duplas nos projetos, formando seção T ou seção Cruz, conforme ilustrado na Figura 8. Visando viabilizar os acessos necessários para pintura, as cantoneiras duplas de seção T devem ser parafusadas nas chapas espaçadoras. As cantoneiras duplas de seção Cruz podem ser soldadas ou parafusadas nas chapas espaçadoras. A designação usual em projetos são os símbolos ⅃L ou ⅂⅂ (seção T) e ⅃⅂ (seção Cruz) com posterior indicação da dimensão da cantoneira que irá formar a seção composta.

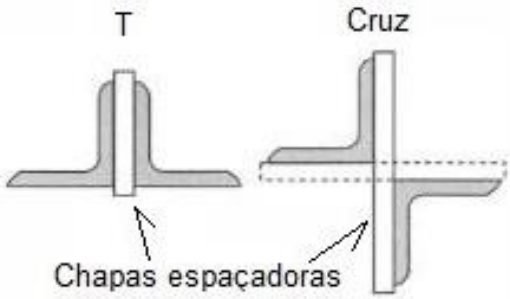



*Figura 8 - Cantoneiras duplas: Seção T e seção Cruz. Fonte: Elaboração própria. Nota: Desenho elaborado em 03/02/2022.*

As barras laminadas para uso estrutural mais facilmente encontradas no mercado brasileiro são as indicadas na Tabela 16.

*Tabela 16 - Barras laminadas usuais no mercado brasileiro. Fonte: Santos (1977).*

| Tipo de perfil | Croquis da seção transversal | Dimensões usuais | Exemplo de designação | Tipo de aço usual |
|---|---|---|---|---|
| Barra Chata |  | Largura varia de 9,53 mm (3/8") a 152,4 mm (6")<br>Espessura varia de 2,50 mm a 50,8 mm (2") | ≠ 102x6,4 ou<br>≠ 4"x1/4"<br>Largura de 101,6 mm (4") e espessura de 6,35 mm (1/4") | ASTM<br>A36 |

| Tipo de perfil | Croquis da seção transversal | Dimensões usuais | Exemplo de designação | Tipo de aço usual |
|---|---|---|---|---|
| Barra Redonda | | Diâmetro nominal varia de 6,35 mm (1/4”) a 103,19 mm (4-1/16”) | Ø16, Ø 5/8”, BR.16, ou BR.5/8” Diâmetro nominal de 15,88 mm (5/8”) | ASTM A36 |
| Barra Quadrada | | Lado nominal varia de 6,35 mm (1/4”) a 50,80 mm (2”) | Ø 19 ou Ø 3/4" Lado nominal de 19,05 mm (3/4”) | ASTM A36 |

### 6.2.2.4 Chapas estruturais

#### *6.2.2.4.1 Chapas grossas*

As chapas grossas laminadas a quente são aços planos, disponíveis no Brasil nas espessuras entre 6,00 e 150,00 mm, larguras de 900 a 3900 mm e comprimentos entre 2400 e 18000 mm.

As espessuras (mm) padronizadas mais comuns são: 6,30 - 8,00 - 9,50 - 12,50 - 16,00 - 19,00 - 22,40 - 25,00 - 25,40 - 28,50 - 31,50 - 35,00 - 37,50 - 40,00 - 44,50 - 50,00 - 57,00 - 63,00 - 70,00 - 75,00 - 89,00 - 100,00 - 125,00 - 150,00. As siderúrgicas consideram larguras padrão aquelas entre 2000 e 2750 mm e comprimentos padrão aqueles entre 6000 e 12000 mm.

#### *6.2.2.4.2 Chapas finas laminadas a quente*

As chapas finas laminadas a quente são aços planos, disponíveis no Brasil nas espessuras entre 1,20 e 5,99 mm, larguras de 600 a 2100 mm e comprimentos entre 600 e 12800 mm. Este tipo de aço também pode ser adquirido em forma de bobinas, rolos ou *blanks* em ampla variação de larguras e comprimentos. Também estão disponíveis no mercado chapas e bobinas com ressaltos em sua parte superior, próprias para pisos, conhecidas como chapas xadrez.

As espessuras (mm) padronizadas mais comuns são: 1,20 - 1,50 - 2,00 - 2,25 - 2,65 - 3,00 - 3,35 - 3,75 - 4,25 - 4,50 - 4,75 - 5,00. Algumas larguras (mm) padrão são: 1000 - 1100 - 1200 - 1500 - 1800. Alguns comprimentos (mm) padrão são: 2000 - 3000 - 6000 - 12000.

#### *6.2.2.4.3 Chapas finas laminadas a frio*

As chapas finas laminadas a frio são aços planos, disponíveis no Brasil nas espessuras entre 0,25 e 3,00 mm, larguras de 600 a 2100 mm e comprimentos entre 600 e 12800 mm. Este tipo de aço também pode ser adquirido em forma de bobinas, rolos ou *blanks* em ampla variação de larguras e comprimentos.

As espessuras (mm) padronizadas mais comuns são: 0,45 - 0,60 - 0,75 - 0,85 - 0,90 - 1,06 - 1,20 - 1,50 - 1,70 - 1,90 - 2,25 - 2,65. Algumas larguras (mm) padrão são: 1000 - 1100 - 1200 - 1300 - 1350 - 1400 - 1500 - 1800. Alguns comprimentos (mm) padrão são: 2000 - 2500 - 3000 - 6000.

#### *6.2.2.4.4 Outras opções*

Dependendo de critérios de cada siderúrgica, é possível adquirir chapas com dimensões fora do padrão, entretanto, geralmente estas chapas são vendidas a preços maiores se comparadas às chapas de dimensões padrão.

As chapas finas podem ser adquiridas de algumas siderúrgicas galvanizadas por imersão a quente (HDG – Hot-dip galvanization) ou eletrogalvanizadas (EG - Electrogalvanization).

### 6.2.2.5 Perfis soldados

Perfis soldados são aqueles formados por duas ou mais chapas e/ou perfis laminados unidos por meio de solda contínua. Estes tipos de perfis são geralmente utilizados quando se necessita obter seções transversais especiais não produzidos pelos laminadores das siderúrgicas.

Os perfis soldados mais usuais são os de seção transversal “I” simétricos ou monossimétricos, especialmente os padronizados pela NBR 5884, divididos em quatro séries, a saber:

- Série CS ($d/b_f = 1$): Perfis soldados duplamente simétricos geralmente mais apropriados para colunas (pilares), quando as ações predominantes são axiais de compressão;
- Série CVS ($1 < d/b_f \leq 1,5$): Perfis soldados duplamente simétricos geralmente mais apropriados para colunas-vigas (pilares-vigas), quando as ações predominantes são de flexão combinadas com axiais de compressão;
- Série VS ($1,5 < d/b_f \leq 4$): Perfis soldados duplamente simétricos geralmente mais apropriados para vigas, quando as ações predominantes são de flexão;
- Série VSM ($1,5 < d/b_f \leq 4$): Perfis soldados monossimétricos, que possuem mesas com a mesma largura, mas espessuras diferentes, geralmente mais apropriados para vigas mistas;

Esta mesma norma define que os perfis soldados não padronizados em suas tabelas devem ser denominados de PS (duplamente simétricos) ou de PSM (monossimétricos).

A designação usual é feita pela indicação da série (CS, CVS, VC, VSM, PS ou PSM) seguida da altura, em milímetros, e da massa em quilogramas por metro. Exemplo: CS 150x25, CVS 1000x394, VS 750x125, etc.

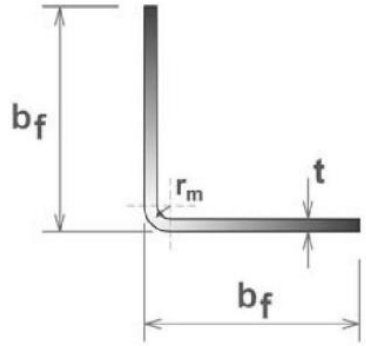
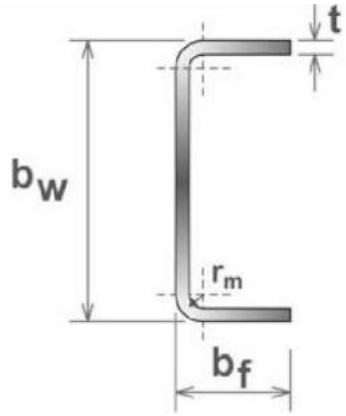
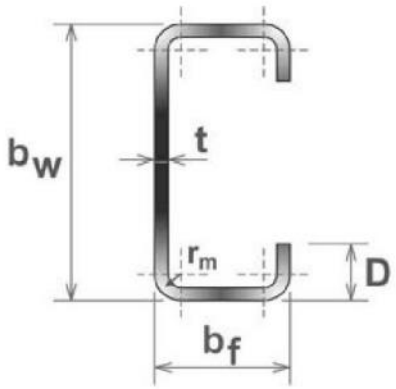
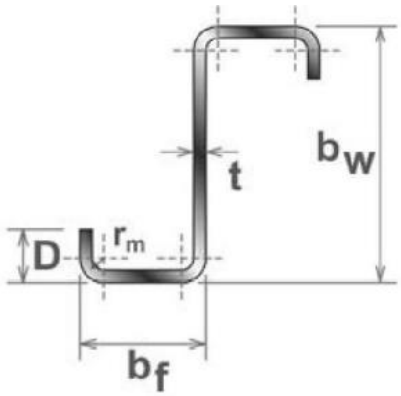
Considerando que os perfis PS e PSM não tem as suas dimensões padronizadas pela NBR 5884, quando estes forem especificados nos desenhos, deverão ser indicadas as dimensões de todas as chapas que os compõem. As indicações nos desenhos deverão ser através de croquis ou tabelas.

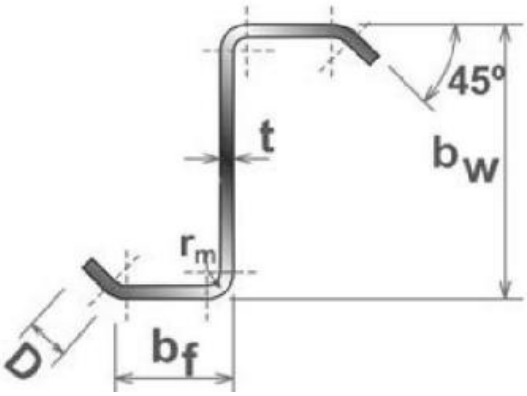
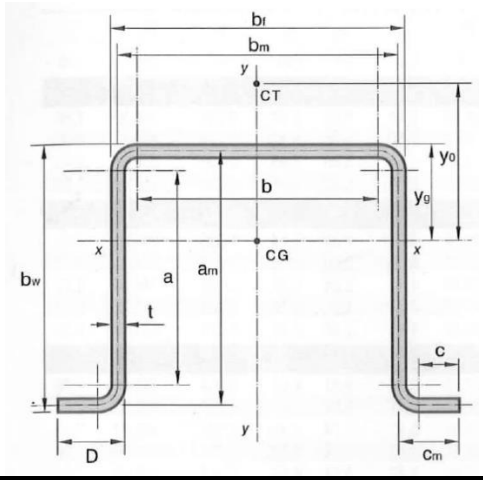
#### 6.2.2.6 Perfis formados a frio

Conforme definição da NBR 6355, os perfis estruturais de aço formados a frio são “obtidos por dobramento, em prensa dobradeira, de tiras cortadas de chapas ou bobinas, ou por conformação contínua em conjunto com matrizes rotativas, a partir de bobinas”, revestidas ou não, sendo o dobramento ou conformação executados com o aço em temperatura ambiente.

Os perfis formados a frio padronizados pela NBR 6355 são os indicados na Tabela 17.

*Tabela 17 - Perfis formados a frio padronizados apresentados na NBR 6355. Fonte: ABNT (2012).*

| Tipo de perfil | Croquis da seção transversal | Dimensões padronizadas | Exemplo de designação |
|---|---|---|---|
| L ou cantoneira (de abas iguais) |  | "$b_f$" varia de 30 mm a 200 mm | L 50x3,00<br>$b_f$ = 50 mm<br>t = 3,00 mm |
| U simples |  | "$b_w$" varia de 50 mm a 300 mm<br>"$b_f$" varia de 25 mm a 100 mm | U 150x50x2,65<br>$b_w$ = 150 mm<br>$b_f$ = 50 mm<br>t = 2,65 mm |
| U enrijecido |  | "$b_w$" varia de 50 mm a 300 mm<br>"$b_f$" varia de 25 mm a 100 mm<br>"D" varia de 10 mm a 25 mm | Ue 150x60x20x2,65<br>$b_w$ = 150 mm<br>$b_f$ = 60 mm<br>D = 20 mm<br>t = 2,65 mm |
| Z enrijecido a 90º |  | "$b_w$" varia de 50 mm a 300 mm<br>"$b_f$" varia de 25 mm a 85 mm<br>"D" varia de 10 mm a 30 mm | $Z_{90}$ 200x75x20x2,25<br>$b_w$ = 200 mm<br>$b_f$ = 75 mm<br>D = 20 mm<br>t = 2,25 mm |

| Tipo de perfil | Croquis da seção transversal | Dimensões padronizadas | Exemplo de designação |
|---|---|---|---|
| Z enrijecido a 45º |  | "$b_w$" varia de 100 mm a 300 mm<br><br>"$b_f$" varia de 50 mm a 85 mm<br><br>"D" varia de 17 mm a 30 mm | $Z_{45}$ 200x75x20x2,25<br><br>$b_w$ = 200 mm<br>$b_f$ = 75 mm<br>D = 20 mm<br>t = 2,25 mm |
| Cartola |  | "$b_w$" varia de 50 mm a 300 mm<br><br>"$b_f$" varia de 100 mm a 160 mm<br><br>"D" varia de 20 mm a 30 mm | Cr 100x50x20x3,35<br><br>$b_w$ = 100 mm<br>$b_f$ = 50 mm<br>D = 20 mm<br>t = 3,35 mm |

Perfis de outras dimensões ou seções transversais podem eventualmente ser utilizados nos projetos, desde que atendam às prescrições da NBR 5355.

No mercado brasileiro é comum utilizar perfis compostos, por exemplo: Dois perfis "U" simples ou "U" enrijecidos podem ser conectados através de soldas ou parafusos formando um perfil composto, de seção transversal "I", "I" enrijecido, tubular ou tubular enrijecido, conforme ilustrado na Figura 9.

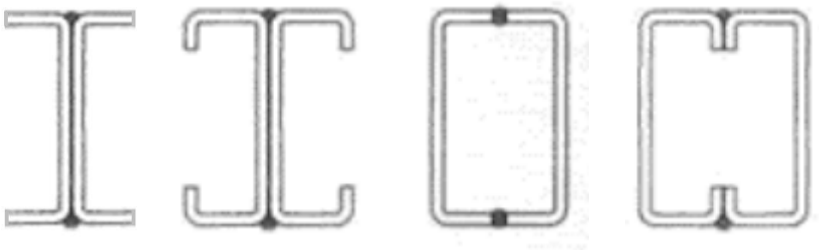


*Figura 9 - Perfil "I", Perfil "I" enrijecido, Perfil tubular e Perfil tubular enrijecido. Fonte: Elaboração própria. Nota: Desenho elaborado em 03/02/2022.*

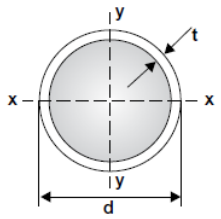
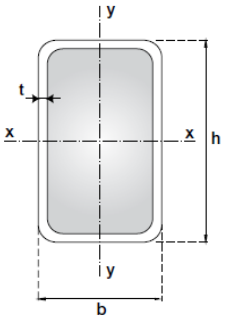
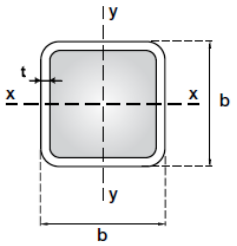
### 6.2.2.7 Perfis tubulares

Segundo Araújo (2016), os tubos estruturais de aço podem ser produzidos de maneiras distintas. Cita-se como exemplo: tubos produzidos por extrusão, tubos centrifugados (técnica de fundição), tubos sem costura laminados a quente e tubos com costura, provenientes da conformação e solda das chapas. Estes dois últimos processos são os mais utilizados.

Os tubos estruturais mais facilmente encontrados no mercado brasileiro são circulares, os retangulares e os quadrados. As dimensões, designações e tipos de aço para tubos sem costura e com costura mais usuais no mercado brasileiro são indicados na Tabela 18.

Importante ressaltar que os tubos estruturais com costura podem ser produzidos com seções, dimensões e espessuras variadas, dependendo das limitações das máquinas de cada fornecedor de tubos.

*Tabela 18 - Tubos estruturais usuais no mercado Brasileiro. Fonte: Adaptado de Araújo, A. H. M. de [et al.].*

| Tipo de tubo | Croquis da seção transversal | Dimensões usuais | Exemplo de designação | Tipos de aços usuais |
|---|---|---|---|---|
| Tubo Circular (TC) |  | Tubos sem costura: “d” varia de 33,4 mm a 355,6 mm<br>Tubos com costura: “d” varia de 15,87 mm a 323,8 mm | TC 114,3x6,4<br>d = 114,3 mm<br>t = 6,4 mm | Tubos sem costura: ASTM A501 GrB<br>Tubos com costura: ASTM A500 GrA, GrB, GrC e GrD<br>NBR 8261 |
| Tubo Retangular (TR) |  | Tubos sem costura: “hxb” varia de 60x40 mm a 400x200 mm<br>Tubos com costura: “hxb” varia de 15x10 mm a 350x200 mm | TR 300x200x8,0<br>h = 300 mm<br>b = 200 mm<br>t = 8,0 mm | Tubos sem costura: ASTM A500 GrB e GrC<br>NBR 8261<br>Tubos com costura: ASTM A500 GrA, GrB, GrC e GrD<br>NBR 8261 |
| Tubo Quadrado (TQ) |  | Tubos sem costura: “bxb” varia de 50x50 mm a 300x300 mm<br>Tubos com costura: “bxb” varia de 15x15 mm a 260x260 mm | TQ 260x260x10,0<br>b = 260 mm<br>t = 10,0 mm | Tubos sem costura: ASTM A500 GrB e GrC<br>NBR 8261<br>Tubos com costura: ASTM A500 GrA, GrB, GrC e GrD<br>NBR 8261 |

### 6.2.3 Planejamento

A CONTRATADA deverá planejar todas as etapas de detalhamento, fabricação, proteção anticorrosiva, transporte, montagem e controle de qualidade de modo a compatibilizá-las com os prazos contratuais de entrega do empreendimento. O planejamento destas etapas deverá ser apresentado detalhadamente no cronograma físico da obra.

#### 6.2.3.1 Entregas antecipadas

Chumbadores, eventuais gabaritos e demais peças da estrutura de aço que devam estar inseridos nas fundações e/ou em outras partes da estrutura de concreto deverão estar disponíveis no canteiro de obras na data necessária para não causar atrasos. As entregas antecipadas destes itens devem ser claramente indicadas no cronograma.

### 6.2.4 Fabricação

Exceto quando houver alguma disposição mais restritiva neste Caderno de Encargos SUDECAP ou nos projetos executivos, a fabricação das estruturas de aço deverá ser executada de modo a se obter um produto de acordo com as especificações da NBR 8800, complementada pelas normas AWS D1.1 ou D1.5, AISC 303 e AISC 360.

A CONTRATADA das estruturas somente poderá dar início à fabricação de posse dos projetos executivos aprovados pela CONTRATANTE, nos quais deverão indicar claramente a especificação dos materiais a serem utilizados na fabricação.

Apesar das tolerâncias dimensionais normativas, em função das características individuais de cada estrutura, é de responsabilidade da CONTRATADA eventualmente restringir estas tolerâncias bem como avaliar a necessidade e, se for o caso, executar pré-montagens em fábrica, no volume que julgar necessário, de forma a garantir a perfeita montagem de todas as estruturas de aço no campo.

#### 6.2.4.1 Detalhamento das estruturas de aço

A CONTRATANTE irá fornecer a tempo e de acordo com os documentos contratuais, os Desenhos de Projeto (projeto executivo das estruturas de aço) que tenham sido liberadas para construção.

Para executar o detalhamento das estruturas de aço a CONTRATADA deverá obedecer aos critérios contidos no documento *Detailing for Steel Construction* da AISC, complementados com os critérios indicados no “Procedimentos de Projetos Sudecap” bem como os critérios apresentados nos subitens a seguir.

##### *6.2.4.1.1 Critérios gerais para o detalhamento*

A CONTRATADA deverá conhecer e seguir os critérios gerais a seguir:

- Os desenhos de fabricação, os desenhos de montagem, as listas de materiais preliminares e complementares bem como as listas de parafusos representam os produtos mínimos a serem entregues à CONTRATANTE ao final de cada fase de detalhamento. As entregas deverão atender às especificações contidas nos Procedimentos de Projetos SUDECAP;
- Os selos dos desenhos e documentos gerados na etapa de detalhamento deverão ser preenchidos conforme orientações contidas nos Procedimentos de Projetos SUDECAP;
- Para elaboração dos desenhos e documentos objetos do escopo deverão ser especificados os mesmos materiais indicados nos projetos executivos. As modificações que se fizerem necessárias no projeto executivo, durante os estágios de detalhamento, fabricação ou montagem da estrutura de aço (Ex.: materiais, dimensões, ligações, etc.), podem ser feitas somente com a autorização formal do responsável técnico pelo projeto, devendo ficar registradas todas as eventuais modificações juntamente com o registro das autorizações (ver subitem sobre “solicitação de esclarecimento”);
- Cada desenho e/ou documento do detalhamento deverá permanecer com o mesmo número de identificação desde o início do detalhamento até o final da montagem das estruturas, qualquer que seja o número da revisão;
- Antes do início do detalhamento, a CONTRATADA deverá fornecer uma lista de desenhos e documentos (LDD) que deverá conter, no mínimo, os campos do modelo apresentado nos procedimentos da CONTRATANTE.
- Objetivando identificar eventuais interferências ainda nesta fase, o detalhamento deverá ser executado pela CONTRATADA através de softwares de modelagem 3D;
- Deverão ser respeitados todos os pontos de trabalho (“PT”) indicados nos projetos executivos;
- Para indicação das soldas deverão ser utilizados os símbolos padronizados pela norma AWS A2.4;
- Todos os produtos gerados na fase de detalhamento deverão ser verificados e aprovados por engenheiro devidamente qualificado da CONTRATADA, devendo a CONTRATADA prover a devida Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) destes serviços técnicos;
- Apenas quando solicitado pela CONTRATANTE, antes do início da fabricação, os desenhos de fabricação e/ou de montagem deverão ser enviados pela CONTRATADA à CONTRATANTE para confirmação da correta interpretação do projeto executivo e, se for o caso, para autorizar o início da fabricação. Para todos os efeitos fica esclarecido que tais aprovações ou eventuais comentários não eximem a CONTRATADA da responsabilidade pela precisão das informações

apresentadas nos desenhos e documentos elaborados por ela, ou ainda, pelo perfeito ajustamento entre os elementos estruturais que deverão ser montados na obra.

- Em caso de dúvidas, divergências, pendências, indefinições, necessidade de alteração de materiais e/ou comunicação de eventuais erros detectados relativos ao projeto executivo, estas deverão ser esclarecidas formalmente por escrito pela CONTRATADA através da emissão do documento denominado "solicitação de esclarecimento", com croquis anexados quando necessário. Cada assunto deverá ser tratado em um documento específico de "solicitação de esclarecimento". Todos os documentos (perguntas e respostas) deverão ser numerados, arquivados e cadastrados em uma planilha de controle;
- Em caso de necessidade de modificações no projeto executivo (Ex.: modificação de local do PT, modificação para solucionar interferências, etc.), estas também deverão ser solicitadas através do mesmo documento "solicitação de esclarecimento", utilizando os mesmos procedimentos do subitem anterior;
- As revisões iniciais, intermediárias e finais de todos os desenhos e documentos gerados pela CONTRATADA deverão ser encaminhados para a CONTRATANTE para o devido arquivamento;

#### *6.2.4.1.2 Abreviaturas usuais*

As abreviaturas apresentadas na Tabela 19 deverão ser utilizadas na fase de detalhamento, de modo a minimizar o número de vistas e cortes, bem como tornar os desenhos mais claros e objetivos. Caso se justifique a criação de novas abreviaturas, estas deverão ser definidas através de legenda nos desenhos e/ou documentos.

*Tabela 19 - Abreviaturas usuais no detalhamento. Fonte: Santos (1977).*

| Abreviatura | Significado |
|---|---|
| AL | Ambos os Lados |
| AP | Aba em projeção |
| CH | Chapa |
| EA | Exceto anotado |
| EL | Elevação |
| G | Gabarito |
| GAP | Gabarito da aba em projeção |
| GLA | Gabarito do lado anterior |
| GLP | Gabarito do lado posterior |
| LA | Lado anterior |
| LP | Lado posterior |
| ℄ | Linha de centro |
| ℄@℄ | Linha de centro a linha de centro |
| LT | Linha de trabalho |
| MF | Mão francesa |
| PE | Parafuso de embarque |
| PP | Parafuso permanente |
| PT | Ponto de trabalho |
| PT@PT | Ponto de trabalho a ponto de trabalho |
| R | Raio |
| RE | Recorte de encaixe |
| TC | Topo de concreto |

| | |
|---|---|
| TCB | Topo de concreto bruto |
| TCA | Topo de concreto acabado |
| TV | Topo de viga |
| U1E | Usinado em uma extremidade |
| U2E | Usinado em duas extremidades |

#### *6.2.4.1.3 Escalas*

Para detalhamento deverão ser usadas as escalas 1:20, 1:50, 1:100 e 1:200, porém, levando-se em consideração que as dimensões no desenho forneçam as informações necessárias e suficientemente claras à fabricação e à montagem. Serão tolerados pequenos desvios de escala desde que as proporções gerais sejam mantidas. Para detalhes especiais deverão ser usadas as escalas 1:2, 1:5, 1:10 e 1:15.

#### *6.2.4.1.4 Unidades*

Deverão ser utilizadas as mesmas unidades de medida do projeto executivo, exceto orientação contrária da CONTRATANTE.

#### *6.2.4.1.5 Tratativa para revisões*

As eventuais revisões dos desenhos e/ou documentos deverão ser realizadas atendendo aos procedimentos da CONTRATANTE, com especial atenção no destaque das alterações realizadas.

Como o detalhamento será executado obrigatoriamente através de software de modelagem 3D, toda e qualquer revisão deverá ser introduzida primeiramente no modelo 3D e após isto deverá ser processada a revisão do desenho e/ou documento. Ao realizar revisões, a CONTRATADA não poderá alterar as marcas das peças despacháveis nos desenhos de fabricação, afim de não gerar retrabalhos para a fábrica e para o controle de medições.

#### *6.2.4.1.6 Desenhos de fabricação*

Os desenhos de fabricação deverão traduzir para a fábrica as informações contidas nos desenhos do projeto executivo estrutural, detalhando posição a posição (subpeça a subpeça) de modo a fornecer informações completas para a fabricação de todos os elementos componentes da estrutura de aço, inclusive elementos acessórios inclusos no escopo da CONTRATADA, por exemplo: suportes para tubulação, escadas, escadas de marinheiro, guarda-corpos, trilhos, presilhas dos trilhos, etc.

Neste sentido, quando aplicável, cada desenho de fabricação deverá apresentar, no mínimo, as informações a seguir:

- Representação conforme normas de desenho técnico de todas as posições (subpeças) e peças despacháveis (elementos despacháveis);
- Detalhes ampliados, vistas e cortes necessários a maior clareza;
- Locações e dimensões em geral;
- Simbologia de todas as soldas;
- Locais e dimensões dos furos e/ou recortes;
- Croquis ou tabelas indicando as dimensões de todas as chapas que os compõem os perfis PS e PSM.
- Dimensões, locações e quantidades de parafusos de embarque e/ou definitivos, apenas para as ligações de cada peça despachável desenhada com as outras peças que a suportarão. Esta convenção é importante para evitar a duplicidade de parafusos nas listas de materiais. Exemplo de aplicação desta convenção: no desenho de fabricação de uma viga principal, deverão ser indicados os parafusos de ligação desta com os pilares que a suportará, mas não poderão ser indicados os parafusos de ligação desta viga principal com as vigas secundárias, pois estes últimos serão indicados apenas nos desenhos das vigas secundárias. Ainda assim é necessária atenção especial para não contar em duplicidade ou definir incorretamente o comprimento dos parafusos para as ligações em que duas peças se conectam de lados opostos de uma terceira peça;
- Tabela da lista de materiais com quantidades, descrição dos materiais (perfis e/ou chapas),

especificação dos materiais (ex.: norma do aço), pesos unitários, pesos totais e áreas totais de pintura de todas as posições (subpeças) e peças despacháveis. Os pesos devem ser indicados em quilogramas e as áreas de pintura em metros quadrados, com uma casa decimal;

- Tabela resumo, abaixo da lista de materiais, apresentando as quantidades e os pesos dos parafusos, porcas e arruelas para cada dimensão, tipo de aço e acabamento superficial.
- Notas explicativas;
- Marcas de montagem das peças despacháveis;
- Marcas das posições (subpeças) que compõem as peças despacháveis;
- Lista dos números dos desenhos de montagem que aparecem as peças despacháveis detalhadas;
- Testes e ensaios não destrutivos de material, de solda, etc.;
- Título identificando claramente a finalidade das peças desenhadas, por exemplo: “Pilares Inferiores da Fila X”, “Vigas da Plataforma EL.XXX,XXX”, “Terças da Cobertura”, “Travessas de Fechamento dos eixos X & Y”, “Contraventamentos Verticais da Fila X”, etc.;

Visando um melhor andamento da fabricação e da montagem, são apresentadas a seguir recomendações complementares de boas práticas que podem ser observadas pela CONTRATADA durante a elaboração dos desenhos de fabricação:

- Indicar que as chapas de ligação deverão ser despachadas juntamente com as peças que irão conectar, utilizando parafusos de embarque. Esta recomendação também vale para cantoneiras e demais elementos de ligação;
- Agrupar ao máximo em um mesmo conjunto de desenhos de fabricação aquelas peças despacháveis semelhantes ou que possuem a mesma finalidade;
- Nos mesmos desenhos de uma peça despachável apresentar as suas vistas, cortes, composição dos perfis soldados e detalhes das posições (subpeças) que o compõe, evitando distribuir estas informações outros desenhos;
- Para evitar interpretações equivocadas, não utilizar o recurso da simetria para deixar de desenhar subpeças e peças (“peças esquerdas”);
- Indicar os diâmetros dos furos através de simbologia e indicar a legenda da simbologia;
- Para a dimensão mais frequente de furos no desenho sugere-se indicar seu diâmetro através de texto no campo de notas;
- Adicionalmente às marcas de montagem dos pilares, indicar os eixos e filas, bem como qual das suas faces mostra-se para o norte ou leste;
- Indicar as elevações dos planos de referência mais importantes e cotas acumuladas para os desenhos dos pilares;
- Indicar entre parênteses e próximos à cota principal os afastamentos nos desenhos das vigas, ou seja, a distância de suas extremidades até a linha de trabalho das peças que a suportam;
- Representar os recortes de canto retos ou em raio, conforme necessidade para fabricação. Os recortes de canto reto deverão ter as menores dimensões possíveis, mas suficientes para não interferirem com soldas em geral e/ou raios dos perfis laminados. Já os recortes em raio deverão ter menores dimensões possíveis, mas suficientes para execução de soldas e, se for o caso, extrações de raiz.
- Não representar os chanfros comuns para solda, pois a simbologia de solda é suficiente para estes casos. Apresentar detalhes apenas de eventuais chanfros especiais para solda.
- Indicar os desenvolvimentos (planificação) de chapas dobradas e/ou calandradas com os seus raios de conformação, exceto para perfis formados a frio;

#### *6.2.4.1.7 Marcas das posições (subpeças)*

Quando a peça despachável desenhada for composta de mais de uma posição, estas (exceto parafusos, porcas e arruelas) deverão preferencialmente receber uma marca identificadora composta de uma ou mais letras minúsculas, excluindo-se as letras g, i, j, l e q. Serão aceitáveis também marcas compostas de um ou mais números. Através destas marcas será possível identificar na lista de material do desenho todas as

características de todas as posições necessárias para compor as peças despacháveis.

#### *6.2.4.1.8 Marcas de montagem de peças despacháveis*

No canto esquerdo da vista principal de cada peça despachável detalhada deverá ser anotada uma marca de montagem, composta de números e letras, que incorpora o número de cada desenho, conforme segue:

CCNNNN-YYYY%

Onde:

- CC: Classificação do sistema político/administrativo (02 letras), que é fornecido pela FISCALIZAÇÃO;
- NNNN: Número de arquivamento (04 algarismos), também fornecido pela FISCALIZAÇÃO;
- YYYY: Número da prancha da CONTRATANTE (02 algarismos) e total de pranchas (02 algarismos);
- % = Uma ou mais letras maiúsculas que será a marca particular da peça no desenho de fabricação (Ex.: A, B, C, D, E, (...), X, Y, Z, AA, AB, AC, etc.).

Exemplo de marca de montagem considerando um número de desenho hipotético:

- Número do desenho da CONTRATANTE: MET230 ED0027 01 30 det R02;
- Marca de montagem de uma peça despachável: ED0027-0130A.

Caso no desenho do exemplo acima estejam detalhadas três peças despacháveis, teríamos as seguintes marcas: ED0027-0130A, ED0027-0130B e ED0027-0130C.

Quando julgar necessário, a CONTRATADA poderá suprimir os seis primeiros dígitos (CCNNNN) do corpo do desenho de fabricação e indicar os mesmos no seu campo de notas.

Toda e qualquer peça avulsa (exemplo: chapa de ligação e miscelânea metálica), por ser também peça despachável, deverá ter sua própria marca de montagem.

Sempre que possível, as peças despacháveis iguais deverão ser agrupadas em uma mesma marca de montagem.

O modelo 3D deverá conter a marca completa das peças despacháveis.

#### *6.2.4.1.9 Marcas de orientação nas faces dos pilares*

Para facilitar a montagem e evitar erros de fabricação, os pilares deverão ser marcados em suas quatro faces com as letras “A”, “B”, “C” e “D”, sendo uma letra por face. Estas letras deverão ser dispostas em ordem alfabética em sentido anti-horário, conforme esquema ilustrado na Figura 10. A orientação para estas marcas deverá ser apresentada nos desenhos de fabricação.

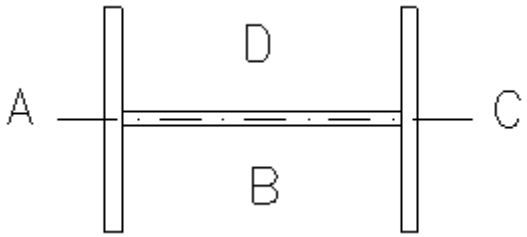



*Figura 10 - Esquema para marcação das faces dos pilares. Fonte: Elaboração própria. Nota: Desenho elaborado em 03/02/2022.*

Outras orientações:

- As letras “A” e “C” deverão ser marcadas nos flanges, enquanto as letras “B” e “D”, somente nas almas do perfil, sendo que a letra “B” deverá ser indicada na alma com maior número de detalhes, conforme o indicado na Figura 10;
- Nos desenhos de fabricação os pilares deverão ser inicialmente detalhados pela sua face “B” (alma com o maior número de detalhes) e posteriormente deverão ser feitos os rebatimentos para as faces “A” e “C” (Figura 10);

- É necessário prever a direção de uma das faces dos pilares. Para isso deverá ser descrita uma nota em local visível do desenho de fabricação, próximo à marca de montagem. Deverão ser utilizados preferencialmente os pontos de referência Leste, Nordeste e Norte para uma das faces, portanto, evitando-se utilizar os demais pontos cardeais e auxiliares. Exemplos de notas a descrever: “Marque Face A NORTE”, “Marque Face A LESTE”, “Marque Face B NORDESTE”, “Marque Face C NORTE” e assim por diante;
- Sempre que possível, as posições da face “D” e sua marcação deverão ser desenhados no detalhe da face “B”, com linha tracejada (Figura 10). A face “D” poderá ser detalhada separadamente no desenho, somente quando a quantidade de detalhes assim justificar.

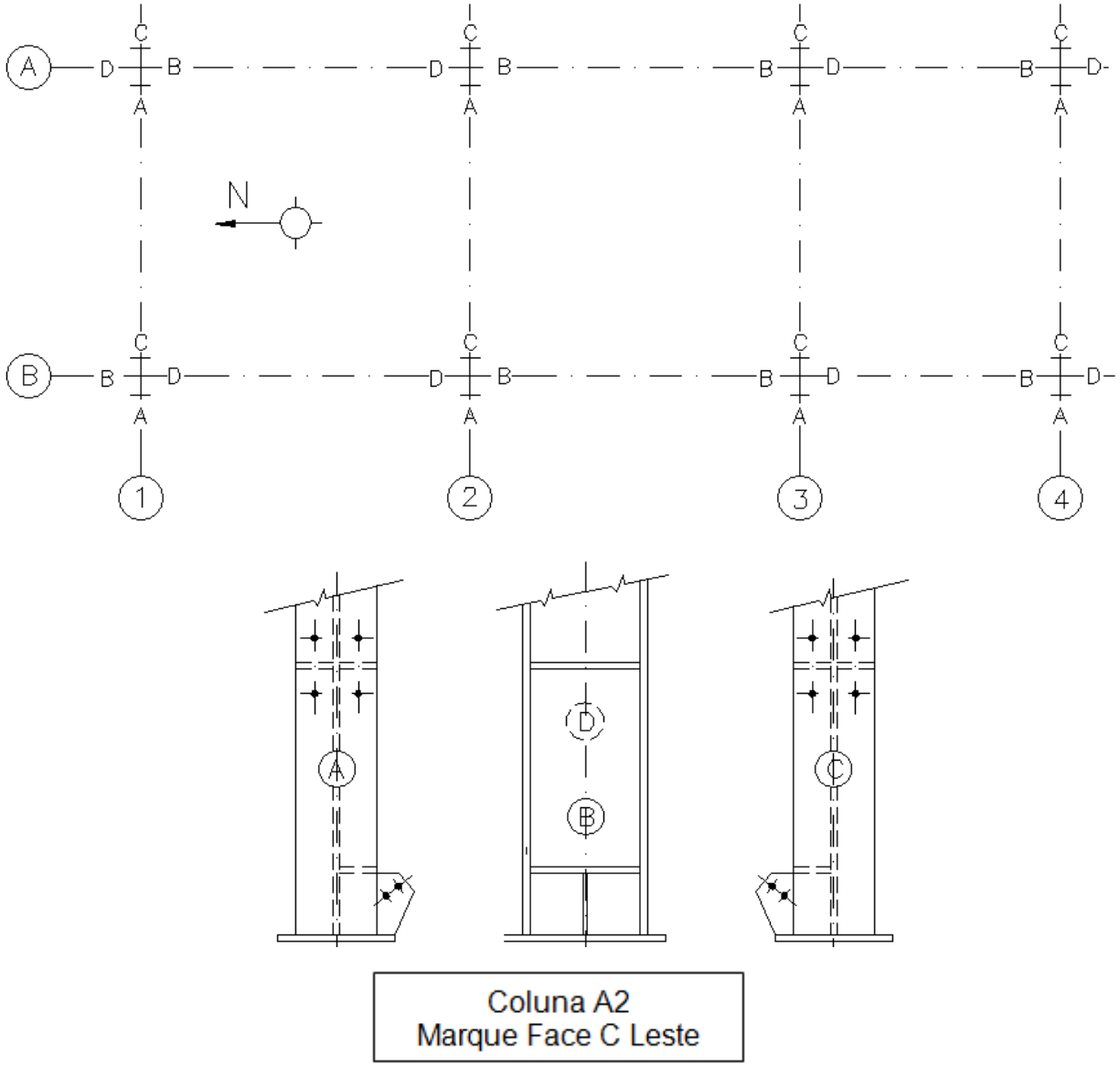



*Figura 11 - Marcações das faces dos pilares nos desenhos. Fonte: Santos (1977).*

#### *6.2.4.1.10 Desenhos de montagem*

Os desenhos de montagem deverão fornecer aos montadores todos os elementos necessários para a montagem da estrutura, inclusive mostrando o conjunto estrutural de forma esquemática e a posição relativa de montagem de cada uma das peças despacháveis.

Quando aplicável cada desenho de montagem deverá apresentar, no mínimo, as informações a seguir:

- Vistas do plano de bases com todas as dimensões e detalhes para instalação de chumbadores e *inserts* de aço;

- Vistas das estruturas dos pisos ou tabuleiros, dos planos das coberturas, dos eixos transversais e longitudinais da estrutura. Em todas as vistas deverão ser indicadas as marcas de todas as peças despacháveis;
- Dimensões em geral das estruturas, inclusive o nível dos topos de viga de cada piso ou tabuleiros e dos topos das bases de concreto bruto e/ou acabado;
- Locação, quantidade, tipo e dimensões dos parafusos, chumbadores, chumbadores químicos para fixação de cada peça despachável;
- Simbologia das soldas de campo para fixação de cada peça despachável;
- Tabela com a lista das marcas de montagem das peças despacháveis indicadas no desenho de montagem, com o número do desenho de fabricação em que cada peça foi detalhada;
- Tabela com a lista de parafusos de campo, separando cada tipo de aço, diâmetro, comprimento e acabamento;
- Documentos de referência, inclusive os números dos projetos executivos;
- Indicação das contraflechas especificadas nos projetos executivos;
- Indicação do norte verdadeiro ou magnético;
- Indicação da planta chave.

Visando um melhor andamento da montagem, são apresentadas a seguir recomendações complementares de boas práticas que podem ser observadas pela CONTRATADA durante a elaboração dos desenhos de montagem:

- Evitar detalhes desnecessários;
- O primeiro desenho de montagem, da sequência de desenhos de cada edificação ou obra de arte especial, deverá apresentar uma tabela com a lista de todos os números e títulos dos desenhos de montagem;
- Caso necessário, os desenhos de montagem de plataformas, filas, etc., poderão ser divididos em duas ou mais partes para que sejam apresentados de forma clara e legível para a montadora;
- Inserir notas explicativas quando se fizerem necessárias;
- Sugere-se considerar como padrão que serão necessárias uma porca e uma arruela para cada parafuso a ser fixado. As exceções a este padrão deverão ser claramente indicadas nos desenhos de montagem.

#### *6.2.4.1.11 Listas de materiais definitivas*

As listas de materiais definitivas deverão ser elaboradas pela CONTRATADA e deverão apresentar a lista resumo de cada bitola de perfil, espessura de chapa, tipo de aço, entre outras especificações que aparecem nos desenhos de fabricação. É necessário apresentar uma lista de material para cada edificação ou obra de arte especial.

Como regra geral, conforme critérios de medição da CONTRATANTE, nos desenhos de fabricação e nas listas de materiais definitivas, deverão ser indicados os pesos líquidos das peças, ou seja, não podem ser computados os pesos de perdas de aço, furações, soldas, parafusos, porcas e arruelas.

#### *6.2.4.1.12 Lista de parafusos*

As listas de parafusos deverão ser elaboradas pela CONTRATADA atendendo aos procedimentos da CONTRATANTE. É necessário apresentar uma lista de parafuso para cada edificação ou obra de arte especial.

As listas de parafusos deverão indicar as quantidades totais de parafusos, porcas e arruelas lisas, chanfradas ou de pressão necessários à montagem, separando cada tipo de aço, diâmetro, comprimento e acabamento;

#### *6.2.4.1.13 Tolerâncias de fabricação dos parafusos para definição dos seus comprimentos*

Para determinar os comprimentos requeridos dos parafusos ASTM F3125 Grau A325 e ASTM A307, devem ser previstas as eventuais variações de comprimento, conforme tolerâncias de fabricação estabelecidas nas normas.

Para comprimentos dos parafusos ASTM F3125 Grau A325 deverão ser consideradas as tolerâncias especificadas na norma ASME B18.2.6, que são replicadas na Tabela 20. Para comprimentos dos parafusos

A307 devem ser consideradas as tolerâncias especificadas na norma ASME B18.2.1.

*Tabela 20 - Tolerâncias de comprimento para parafusos ASTM F3125 Grau A325. Fonte: ASME B18.2.6 (2010).*

| Diâmetro nominal do parafuso | Tolerância de comprimento dos parafusos (ref.: ASME B18.2.6) | |
|---|---|---|
| | Comprimento ≤ 6” | Comprimento > 6” |
| 1/2” | -0,12” (-3,05 mm) | -0,19” (-4,83 mm) |
| 5/8” | -0,12” (-3,05 mm) | -0,25” (-6,35 mm) |
| 3/4" até 1” | -0,19” (-4,83 mm) | -0,25” (-6,35 mm) |
| 1-1/8” até 1-1/2” | -0,25” (-6,35 mm) | -0,25” (-6,35 mm) |

Com intuito de evitar problemas durante a montagem, para elaboração dos desenhos de montagem e das listas de parafusos, a CONTRATADA deverá considerar todas as variáveis para a determinação do comprimento de cada parafuso: pega (*grip*) + espessura nominal da(s) arruela(s) + espessura nominal da(s) porca(s) + folga desejada de fios de rosca + tolerância de comprimento.

Como exemplo, uma ligação com parafuso de diâmetro 3/4’’, com pega de 60 mm, uma porca e uma arruela deve ter comprimento de 3-3/4’’, conforme demonstrado a seguir:

- 60 mm + 4,5 mm + 19,25 mm + 6 mm + 4,83 mm = 94,58 mm. Portanto o comprimento comercial mais próximo a ser especificado é: 3-3/4”.

#### 6.2.4.2 Grau de corrosão

Em relação ao grau de corrosão comumente encontrado nas superfícies dos aços estruturais, em seu estado bruto, o mesmo é classificado pela NBR 8800 em quatro diferentes graus, definidos textualmente nos itens a seguir:

- Grau A: substrato de aço sem corrosão, com carepa de laminação ainda intacta;
- Grau B: substrato de aço com início de corrosão e destacamento da carepa de laminação;
- Grau C: substrato de aço onde a carepa de laminação foi eliminada pela corrosão ou que possa ser removida por raspagem, com pouca formação de cavidades visíveis (pites);
- Grau D: substrato de aço onde a carepa de laminação foi eliminada pela corrosão e com grande formação de cavidades visíveis (pites).

Na fabricação, a CONTRATADA poderá utilizar somente os aços estruturais com grau de corrosão A, B ou C, não sendo permitido o grau D.

Para maior esclarecimento, a aparência dos quatro graus de corrosão das superfícies de aço poderá ser consultada na norma ISO 8501-1.

A CONTRATADA poderá fazer o pedido de compra de materiais que forem necessários para fabricação tão logo receba os documentos contratuais, o projeto executivo das estruturas de aço que tenham sido liberadas para construção e a autorização da FISCALIZAÇÃO.

#### 6.2.4.3 Desempeno e pré-deformação de perfis laminados e soldados

Antes do seu uso na fabricação, os perfis laminados e soldados devem estar desempenados dentro das tolerâncias dimensionais normativas aplicáveis para cada caso. Na ocasião em que essas tolerâncias não estejam sendo atendidas, será permitido a CONTRATADA executar trabalhos corretivos pelo uso de aquecimento controlado e/ou desempeno mecânico.

A eventual correção dos perfis por meios térmicos deverá ser realizada limitando-se a temperatura das áreas aquecidas a 650ºC. O controle da temperatura do aço durante neste processo deverá ser feito por métodos aprovados.

Aquecimento e meios mecânicos serão também permitidos para a CONTRATADA obter as pré-deformações, quando desejadas.

#### 6.2.4.4 Corte

Como regra geral, todos os cortes de chapas e perfis de aço deverão ser executados por meios térmicos (oxicorte, plasma ou laser). Para uma maior qualidade dimensional das posições (subpeças) é recomendável que a CONTRATADA utilize no seu processo de produção, máquinas de controle numérico computadorizado (CNC).

Opcionalmente ao corte por meios térmicos, a CONTRATADA poderá utilizar:

- Corte mecânico por serras apenas para perfis laminados e soldados em geral;
- Corte mecânico por tesoura apenas para chapas de espessura até 12,5 mm que irão compor posições (subpeças) secundárias da estrutura e não sujeitas à formação de rótulas plásticas, como: nervuras, enrijecedores, etc.

Após os cortes dos materiais de aço, todas as rebarbas deverão ser removidas. Conforme NBR 8800, as bordas cortadas por meios térmicos devem obedecer às exigências da AWS D1.1, com exceção das bordas livres que estarão sujeitas à tensão estática de tração, que devem estar isentas de depressões com profundidade superior a 5 mm e de entalhes. Depressões maiores que 5 mm e entalhes devem ser removidos por esmerilhamento ou reparados por solda, para evitar o aparecimento e a propagação de fissuras.

Ainda conforme a mesma norma, os cantos reentrantes, exceto os de recortes de mesa de vigas para ligações e os de aberturas de acesso para soldagem, devem obedecer às exigências da AWS D1.1, ou quando houver indicação específica nos projetos executivos. Os recortes de mesa de vigas para ligações e as aberturas de acesso para soldagem devem obedecer aos requisitos geométricos dados da NBR 8880. Além disso, quando tais recortes ou aberturas forem executados em perfis dos Grupos 4 e 5 da ASTM A6 ou em perfis soldados com materiais de espessura superior a 50 mm, deve ser dado um preaquecimento com temperatura de pelo menos 66 °C antes do corte.

Todos os cantos reentrantes deverão ser arredondados com um raio mínimo de 13 mm.

#### 6.2.4.5 Usinagem

O processo de usinagem deverá ser empregado pela CONTRATADA para a fabricação de peças especiais, exemplo: cunhas para apoio de longarinas inclinadas de obras de artes especiais ou extremidades de ligações especiais.

#### 6.2.4.6 Dobramento e calandragem

O dobramento ou a calandragem deverão ser realizados a “frio” ou a “quente” pela CONTRATADA para conformar o aço, quando necessário, para a fabricação de peças especiais.

Considerando características como a resistência do aço, sua espessura, ângulo e raio de dobra, o dobramento ou a calandragem a frio poderá ser realizado somente quando permitido por norma. Em função destas mesmas características, quando houver necessidade de realizar dobra ou calandragem a quente, a temperatura do aço também não poderá exceder a 650ºC.

#### 6.2.4.7 Furação

Os diâmetros dos furos padrão deverão ter 1,5 mm a mais que o diâmetro nominal do parafuso ou barra redonda, conforme NBR 8800.

Quando a espessura do material for de até 19 mm e inferior ou no máximo igual ao diâmetro nominal do parafuso acrescido de 3 mm, os furos poderão ser puncionados. Para maiores espessuras, os furos deverão ser broqueados com o seu diâmetro final, podendo também ser subpuncionados ou sub-broqueados com diâmetro menor e posteriormente usinados até o diâmetro final. A matriz para todos os furos subpuncionados ou a broca para todos os furos sub-broqueados deve ter no mínimo 3,5 mm a menos que o diâmetro final do furo.

Nos locais sujeitos à formação de rótulas plásticas, os furos nas áreas tracionadas devem ser subpuncionados e usinados até o diâmetro final, ou broqueados com o diâmetro final. Quando aplicável esse requisito deverá constar nos projetos executivos da estrutura.

Após a execução dos furos, as rebarbas deverão ser removidas.

Todos os materiais e métodos de fabricação obedecerão à especificação para conexões estruturais para parafusos ASTM F3125 grau A325, na sua mais recente edição.

Não será permitido o uso de maçarico para a abertura de furos. Em casos específicos, somente poderá ser aceito mediante autorização do responsável técnico pelo projeto executivo estrutural.

As furações para chumbadores nas placas de base dos pilares poderão ser executadas por broca ou por meio térmico.

As regiões com furos para ligações parafusadas deverão apresentar-se perfeitamente desempenadas e isentas de pintura, óleo, graxa, ferrugem e poeira. Atenção especial deverá ser dada às superfícies de contato das ligações por atrito ("*slip critical*" ou "*friction type*"), para evitar a redução do coeficiente de atrito. No caso das estruturas pintadas, deverá ser utilizado um esquema de pintura especial para este tipo de ligação, conforme recomendações do fabricante da tinta.

#### 6.2.4.8 Montagem de fábrica

Quando uma peça despachável é formada por duas ou mais posições (subpeças) soldadas entre si, faz-se necessária a etapa chamada de montagem de fábrica, na qual as mesmas são posicionadas e fixadas entre si através de pontos de solda.

Esta etapa deverá ser executada de forma que as dimensões da peça despachável fiquem de acordo com o indicado nos desenhos de fabricação, considerando as tolerâncias dimensionais especificadas neste Caderno de Encargos SUDECAP.

#### 6.2.4.9 Ligações soldadas

As técnicas a serem empregadas em todas as soldas devem estar de acordo com a norma AWS D1.1, para edificações convencionais, e AWS D1.5, para obra de artes especiais, especialmente quanto a execução, a verificação da aparência e da qualidade das mesmas, bem como nos métodos eventualmente usados na correção de defeitos.

É obrigação da CONTRATADA, a seu custo, providenciar a qualificação de todos os seus soldadores, conforme especificações da AWS.

Antes da soldagem, deverão ser apresentados à FISCALIZAÇÃO os registros de qualificação dos soldadores. Os serviços de soldagem somente poderão ser executados por soldadores qualificados por sistema de testes para o tipo de solda que irão executar, devendo os resultados desses testes ser devidamente registrados e acompanhados pela FISCALIZAÇÃO. Deverá ser mantido pela CONTRATADA um registro completo com as indicações do soldador responsável por cada solda importante executada.

A CONTRATADA, quando solicitado pela FISCALIZAÇÃO, deverá apresentar uma Especificação de Procedimento de Soldagem - EPS para cada tipo de junta a ser executada, devidamente certificada conforme AWS.

Para soldas de entalhe onde não for requerida solda de penetração parcial, deverá ser obtida a espessura de garganta efetiva e o chanfro indicado nos projetos executivos.

Todas as juntas de topo para emendas não previstas no projeto executivo, visando o aproveitamento econômico dos materiais, deverão ser de penetração total utilizando-se para isto um chanfro duplo, simples, ou de cobre-junta, conforme as dimensões da peça e a posição da junta. Estas juntas deverão ser testadas com ensaio ultrassom. Não são permitidas emendas não previstas longitudinais em almas e flanges de perfis. Também não são permitidas emendas não previstas em pilares, sem a devida autorização do responsável técnico pelo projeto executivo. Para vigas serão permitidas no máximo duas emendas transversais não previstas. Deverá ser respeitada uma distância mínima de 100 mm entre a solda da emenda transversal e eventuais enrijecedores transversais.

É necessária atenção especial para as juntas sujeitas à fadiga, quando deverão ser tomados os cuidados de esmerilhamento ou arredondamento para evitar a concentração de tensões.

As superfícies preparadas para a soldagem deverão estar livres de rebarbas, graxas, tintas e outros resíduos. No caso de chapas, cujo chanfro seja executado por maçarico, as bordas deverão ser esmerilhadas.

Os eletrodos para solda manual deverão ser do tipo AWS-A 5.1 ou A 5.5, E-70XX e para solda automática de arco submerso deverá ser seguida a especificação AWS-A 5.17, F7X-EXXXX.

Todos os materiais a serem utilizados nos processos de soldagem deverão ser armazenados em locais limpos e secos, não devendo ser utilizados elementos úmidos, danificados ou sujos, nem arames enferrujados, conforme procedimentos da AWS.

Quando necessário, em função da espessura das chapas a serem soldadas, deverá ser executado o pré-aquecimento das mesmas, antes da soldagem de acordo com as especificações AWS.

A soldagem, sempre que possível, deverá ser feita em posição plana (de cima para baixo), usando-se para isso de dispositivos adequados.

Todas as juntas de topo deverão ser executadas com a utilização de “Chapas de espera” para início e fim das soldas. O primeiro passe das soldas de penetração total deverá ter sua raiz extraída antes de se iniciar a solda do outro lado, possibilitando, assim, uma penetração completa e sem descontinuidade, devendo também ser feita uma cuidadosa limpeza de escória após cada passe.

As soldas deverão ser executadas em uma sequência adequada para cada tipo de peça, de forma a minimizar os efeitos causados por tensões residuais e empenos.

As soldas automáticas deverão ser executadas através de operação contínua, sem paradas ou partidas intermediárias.

As soldas que apresentarem defeitos tais como trincas, inclusão de escória, porosidade, mordeduras, penetração incompleta, etc., e que estiverem fora das tolerâncias indicadas neste Caderno de Encargos SUDECAP, deverão ser removidas por meio de esmerilhamento ou goivamento e refeitas corretamente.

Uma atenção especial deverá ser dada às dimensões dos filetes de solda, os quais serão medidos com o auxílio de gabaritos adequados, evitando-se dimensões de filetes maiores ou menores que o solicitado.

Deverão ser removidas por meio de esmeril todas as rebarbas, respingos e marcas feitas por solda de dispositivos temporários usados na fabricação.

Não poderão ser realizadas soldas em materiais expostos à chuva ou ao vento. Os trechos soldados não devem sofrer resfriamento brusco.

#### 6.2.4.10 Materiais para ligações parafusadas

Os materiais para os parafusos, porcas e arruelas de alta resistência deverão seguir as especificações da ASTM F3125 grau A325, com acabamento galvanizado a fogo. Os parafusos e porcas para ligações secundárias deverão seguir as especificações da ASTM A307, também galvanizados a fogo. Os parafusos terão a cabeça e a porca hexagonais de dimensões conforme a norma ANSI/ASME B18.2.1 e B18.2.2, respectivamente.

As arruelas deverão ser circulares, planas e lisas, exceto para o caso de emendas nas abas inclinadas de perfis “I” ou “U” laminados, quando deverão ser usadas arruelas chanfradas. As arruelas a serem utilizadas em ligações com parafusos ASTM F3125 grau A325 deverão atender às especificações da ASTM F436. As demais arruelas, quando circulares planas e lisas, deverão ter dimensões conforme a norma ANSI B27.2 e quando chanfradas, conforme a norma ANSI B27.4.

Os parafusos e respectivas porcas deverão ser estocados limpos de sujeira e ferrugem, principalmente nas roscas, sendo indispensável acondicioná-los adequadamente.

#### 6.2.4.11 Acabamento de superfícies que transmitem esforços de compressão por contato

As ligações que transmitem esforços de compressão por contato devem ter suas superfícies de contato preparadas para obter o perfeito assentamento, usando-se usinagem (ver item específico), corte mecânico com serra ou outros meios adequados.

#### 6.2.4.12 Requisitos especiais para pilares e placas de bases

As bases dos pilares e as placas de base devem ser acabadas de acordo com os seguintes requisitos:

- Placas de base laminadas, de espessura igual ou inferior a 50 mm, podem ser usadas sem usinagem, desde que seja obtido apoio satisfatório por contato; placas de base laminadas com espessura superior a 50 mm, porém inferior a 100 mm, podem ser desempenadas por pressão, ou aplainadas em todas as superfícies de contato, a fim de se obter apoio satisfatório por contato, exceto nos casos indicados nas alíneas a seguir; placas de base laminadas com espessura superior a 100 mm, assim como base de pilares e outros tipos de placas de base, devem ser aplainados em todas as superfícies de contato, exceto nos casos indicados nas alíneas a seguir;
- A face inferior de placas de base que forem grauteadas para garantir pleno contato com o concreto da fundação não necessita de aplainamento;
- A face superior de placas de base não necessita de aplainamento se forem usadas soldas de penetração total entre tais placas e o pilar.

#### 6.2.4.13 Marcação

Todas as peças despacháveis deverão receber no seu lado esquerdo “marcas de montagem” através de marcadores de punção, de forma a permitir sua fácil e segura identificação nas etapas subsequentes. A marcação deve ser correspondente aos desenhos de detalhamento para fabricação.

Após pintura ou galvanização das peças, as mesmas deverão receber as marcas de montagem anotadas a tinta, com altura aproximada de 40 mm.

Em uma das faces de todas as colunas, além da marca de montagem, deverá ser marcada a referência de direção Leste, Nordeste ou Norte, conforme indicação dos desenhos de fabricação.

Esclarece-se que inclusive as chapas, talas e demais elementos de ligação deverão ser marcadas conforme as suas marcas de montagem definidas nos desenhos de fabricação.

Peças que serão despachadas em feixes deverão ser identificadas com plaqueta metálica fixada antes e após a pintura ou galvanização.

### 6.2.5 Tratamento anticorrosivo

Os principais tipos de tratamento anticorrosivo são a galvanização e a pintura. A galvanização é a deposição de uma camada de zinco na superfície da peça. Este processo é normalmente mais dispendioso que os sistemas de pintura, mas será especificada nos projetos executivos nos casos em que o meio ambiente é muito agressivo, a manutenção é difícil e as dimensões das peças permitirem. Nos casos mais gerais a pintura será o tratamento a ser especificado.

Independentemente do tipo de tratamento anticorrosivo especificado em projeto, o mesmo deve ser executado durante o processo de fabricação. Retoques/repinturas, se necessário, devem ser realizados durante o processo de montagem da estrutura.

#### 6.2.5.1 Acabamento para pintura ou galvanização

A menos que haja indicação em contrário nos projetos executivos, todas as peças, antes de sair da fábrica para a posterior pintura ou galvanização, deverão ter seus cantos vivos chanfrados ou arredondados pela CONTRATADA, conforme indicado na Figura 12, de modo a permitir uma espessura mais uniformizada da tinta ou da camada de zinco.

Esclarece-se que as bordas das seções transversais dos perfis laminados são naturalmente arredondadas, devido ao processo de laminação.

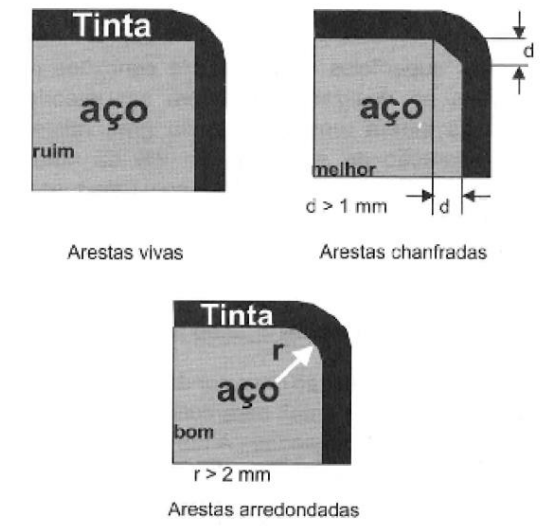



*Figura 12 - Dimensões requeridas para chanfros e arredondamentos. Fonte: Gnecco (2006).*

#### 6.2.5.2 Galvanização

Todos parafusos, porcas e arruelas deverão ser galvanizados a fogo conforme especificações da NBR 6323. Quando se tratar de materiais galvanizados, é fundamental que as mesmas sejam avaliadas quanto ao recobrimento da camada de zinco existente, sua uniformidade e durabilidade.

#### 6.2.5.3 Pintura

A pintura de fábrica e a preparação das superfícies devem estar de acordo com os requisitos de Norma Brasileira ou estrangeira aplicável. As partes das peças de aço que transmitem esforços ao concreto por aderência não podem ser pintadas.

#### 6.2.5.4 Superfícies inacessíveis

As superfícies que se tornarão inacessíveis após a fabricação, com exceção das superfícies de contato, devem ser limpas e pintadas, de acordo com as especificações de pintura do projeto, antes de tal fato ocorrer.

#### 6.2.5.5 Superfícies de contato

Não há limitações quanto à pintura de superfícies no caso de ligações com parafusos trabalhando por contato. Outras superfícies de contato, incluindo os casos de ligações parafusadas por atrito e as superfícies que transmitem esforços de compressão por contato, devem ser limpas para retirada de ferrugem, carepa de laminação, sujeira e outros materiais estranhos, sem serem pintadas, se o contato ocorrer durante a fabricação; se o contato ocorrer só na montagem, tais superfícies devem ser limpas conforme especificações do projeto e, se elas forem usinadas, devem receber uma camada inibidora de corrosão, de um tipo que possa ser facilmente removido antes da montagem, ou de um tipo que não necessite ser removido, observando-se, entretanto, o disposto no item a seguir.

#### 6.2.5.6 Superfícies adjacentes a soldas de campo

A menos que haja outra especificação, as superfícies a serem soldadas no campo, numa faixa de 50 mm de cada lado da solda, devem estar isentas de materiais que impeçam a soldagem adequada ou que produzam gases tóxicos durante a operação de soldagem. Após a soldagem, tais superfícies devem receber a mesma limpeza e proteção previstas para toda a estrutura.

### 6.2.6 Controle

A CONTRATADA deve estabelecer métodos de controle de qualidade, dentro do rigor que julgar necessário, para garantir que todo o trabalho seja executado de acordo com este Caderno de Encargos SUDECAP. Além dos procedimentos de controle de qualidade do Fabricante, o material e a qualidade do serviço devem ficar permanentemente sujeitos à inspeção por parte de profissionais qualificados, representantes do proprietário da obra. Se for requerida tal inspeção pelos representantes do proprietário da obra, esse fato deve constar nos documentos de licitação da estrutura.

#### 6.2.6.1 Procedência dos materiais

Todos os materiais a serem utilizados na fabricação deverão ser novos e ter certificados de testes de qualidade emitidos pela usina siderúrgica de origem para comprovar a procedência, composição química e as propriedades mecânicas. Estes certificados poderão ser aceitos como atestado de qualidade para os materiais provenientes do estoque da CONTRATADA. Não existindo estes certificados e havendo o interesse de utilizar os materiais em seu estoque, a CONTRATADA deverá realizar os ensaios para determinação da composição química e das propriedades mecânicas dos mesmos. Os ensaios deverão ser realizados de acordo com as normas dos materiais especificados nos projetos e sempre por empresas qualificadas, idôneas e independentes. Os custos para providenciar as amostras e os ensaios serão da CONTRATADA.

Os materiais comprados ou retirados do estoque da CONTRATADA para uso na fabricação das estruturas de aço deverão ter qualidade igual ou superior à exigida pelas normas do material especificado. Os materiais de estoque que não possuam certificados de comprovação de suas qualidades não poderão ser utilizados na fabricação sem aprovação expressa do responsável técnico pelo projeto executivo.

A FISCALIZAÇÃO, quando julgar necessário, poderá solicitar à CONTRATADA novos ensaios para comprovação de qualidade, a qual, sem novos custos, providenciará as amostras, demais insumos e recursos para execução dos ensaios.

#### 6.2.6.2 Identificação dos materiais estruturais

Conforme preconiza a NBR 8800, a CONTRATADA deverá possuir procedimento escrito e demonstrar pela prática corrente um método de identificação dos materiais, visível pelo menos durante as operações de solda das subpeças (posições) componentes das peças despacháveis.

Pelo procedimento deverá ser possível verificar a correta aplicação do material quanto a: designação da especificação; número da corrida do aço; e relatórios de ensaios necessários para comprovar atendimento às exigências especiais.

Este procedimento deverá ser amplamente divulgado para todos os envolvidos no processo de fabricação e estar visível nas áreas de fabricação.

#### 6.2.6.3 Controle de qualidade da fabricação

As exigências de inspeção da estrutura devem atender às especificações da norma AWS D1.5, para obras de artes especiais ou da AWS D1.1, para as edificações convencionais.

Todos os profissionais que irão trabalhar no controle de qualidade deverão ser certificados pela ABENDI - Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos e Inspeção para o trabalho específico que irá realizar.

#### 6.2.6.4 Tolerâncias dimensionais

É permitida uma variação de 1 mm no comprimento total de barras com ambas as extremidades usinadas, com rugosidade média igual ou inferior a 12,5 µm, para ligação por contato.

Barras sem extremidades usinadas para contato e que devem ser ligadas a outras partes de aço da estrutura, podem ter uma variação em relação ao comprimento detalhado não superior a 2 mm, para barras de até 9000 mm, e não superior a 3 mm, para barras com comprimentos acima de 9 000 mm.

A não ser que seja especificado em contrário, uma barra de perfil laminado pode ter as mesmas tolerâncias permitidas pela ASTM A6 para os perfis W. Para os perfis soldados deve ser obedecida a NBR 5884. A tolerância de falta de linearidade de barras comprimidas não pode ultrapassar 1/1000 do comprimento do eixo longitudinal entre pontos que serão lateralmente contraventados.

Vigas e treliças detalhadas sem especificação de contraflecha devem ser fabricadas de tal forma que, após a montagem, qualquer flecha devida à laminação ou à fabricação fique voltada para cima. Caso seja especificada contraflecha e a flecha decorrente da laminação ou da fabricação seja igual ou superior a 75 % desse valor, a contraflecha pode ser dispensada. A contraflecha pode ter:

- 13 mm acima do valor estipulado nas vigas de alma cheia com até 15 m de comprimento, mais 3 mm para cada 3 m ou fração que ultrapassar os 15 m;
- 1/800 da distância entre apoios acima do valor estipulado nas treliças.

Qualquer desvio permissível em alturas de seções de vigas pode resultar em mudanças bruscas de altura nos locais de emendas. Qualquer uma dessas diferenças de altura em emendas com talas, dentro das tolerâncias prescritas, deve ser compensada por chapas de enchimento, com o conhecimento do responsável pelo projeto. Nas emendas soldadas de topo, o perfil da solda pode ser adaptado para se ajustar às variações permissíveis de altura, desde que a solda tenha a seção transversal mínima necessária e que a declividade da sua superfície satisfaça os requisitos da AWS D1.1.

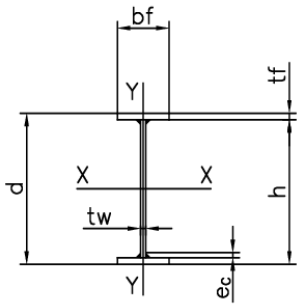
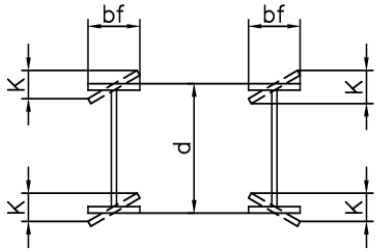
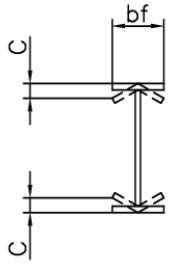
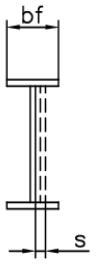
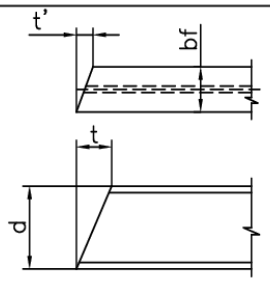
As estruturas metálicas deverão ser fabricadas obedecendo-se prioritariamente às tolerâncias indicadas nos desenhos de fabricação. Para os casos não previstos, deverão ser seguidas as recomendações contidas nas normas e especificações citadas no início desta especificação.

O Caderno de Encargos SUDECAP adota as tolerâncias na fabricação de estruturas metálicas conforme padrões descritos abaixo e indicados nas figuras seguintes:

- Padrão I - (Rigoroso) - Para estruturas que requerem maior rigor dimensional, como colunas de edifícios de múltiplos andares, vigas de rolamento, estruturas-suporte de grandes cargas, pontes ferroviárias, etc.;
- Padrão II - (Normal) - Para estruturas convencionais, como galpões industriais, exceto vigas de rolamento, vigas de edifícios, etc.;
- Padrão III - (Comercial) - Para estruturas secundárias e complementares, como estacas, postes, escadas, corrimãos, etc.

As estruturas podem estar enquadradas em um determinado padrão, mas algumas de suas partes podem estar em outro.

PERFIS SOLDADOS — Medidas em milímetros

| VARIÁVEIS | | PARÂMETROS | | TOLERÂNCIA PADRÃO I | | TOLERÂNCIA PADRÃO II | | TOLERÂNCIA PADRÃO III | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| DIMENSÕES TRANSVERSAIS |  | d | | ±3,0 | | ±4,0 | | ±5,0 | |
| | | bf | | ±3,0 | | ±4,0 | | ±5,0 | |
| | | tw & tf < 9,5 | | +6,0% | −0,25 | +6,0% | −0,25 | +6,0% | −0,25 |
| | | 9,5 ⩽ tw & tf < 12,5 | | +5,0% | | +5,0% | | +5,0% | |
| | | 12,5 ⩽ tw & tf ⩽ 19 | | +4,0% | | +4,0% | | +4,0% | |
| | | 19 < tw & tf | | +3,5% | | +3,5% | | +3,5% | |
| | | L ⩽ 12000* | | ±3,0 | | +10,0 −3,0 | | +10,0 −5,0 | |
| PARALELISMO DAS MESAS |  | K | bf ⩽ 200 | ⩽ 2,0 | | ⩽ 3,0 | | ⩽ 4,0 | |
| | | | bf > 200 | ⩽ 3,0 | | ⩽ 4,0 | | ⩽ 5,0 | |
| CURVATURA TRANSVERSAL DAS MESAS |  | C | | ⩽ 2,0 | | ⩽ 3,0 | | ⩽ 4,0 | |
| EXCENTRICIDADE DA ALMA |  | S | | ⩽ 3,0 | | ⩽ 4,0 | | ⩽ 5,0 | |
| ESQUADRO DE EXTREMIDADE |  | t' | bf ⩽ 200 | ⩽ 2,0 | | ⩽ 3,0 | | ⩽ 5,0 | |
| | | | bf > 200 | ⩽ 3,0 | | ⩽ 4,0 | | ⩽ 5,0 | |
| | | t | d ⩽ 600 | ⩽ 3,0 | | ⩽ 5,0 | | ⩽10,0 | |
| | | | d > 600 | ⩽ 3,0 | | ⩽10,0 | | ⩽15,0 | |

PARA PERFIL COM COMPRIMENTO L MAIOR DO QUE 12000mm, ADMITE-SE UMA TOLERÂNCIA ADICIONAL DE +1,0mm PARA CADA METRO EXCEDENTE.

*Figura 13 - Tolerância perfis soldados. Fonte: Adaptado de Bellei (1998).*

PERFIS SOLDADOS (continuação) — Medidas em milímetros

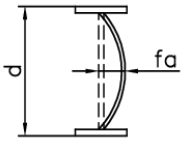
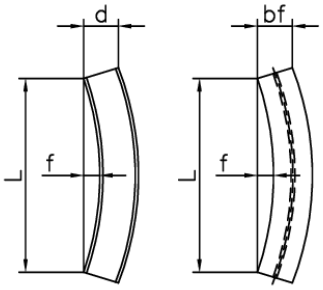
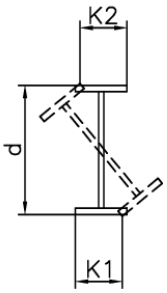
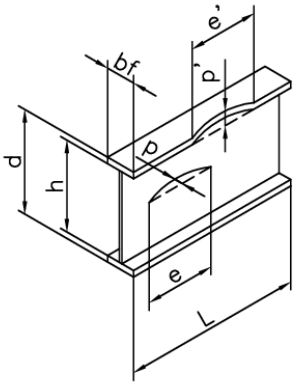
| VARIÁVEIS | | PARÂMETROS | | TOLERÂNCIAS PADRÃO I | TOLERÂNCIAS PADRÃO II | TOLERÂNCIAS PADRÃO III |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CURVATURA DA ALMA |  | fa | d≤600 | ≤3,0 | ≤4,0 | ≤5,0 |
| | | | d>600 | ≤4,0 | ≤5,0 | ≤6,0 |
| CURVATURA LONGITUDINAL |  | f | L≤12000 | $\leq \frac{L}{1000} \leq 8,0$ | $\leq \frac{L}{1000} \leq 10,0$ | $\leq \frac{L}{750} \leq 12,0$ |
| | | | L>12000 | $\leq \frac{L}{1000} - 4,0$ | $\leq \frac{L}{1000} - 2,0$ | $\leq \frac{L}{750} \leq 15,0$ |
| TORÇÃO NO PERFIL |  | K1+K2 | | $\leq \begin{cases} \frac{L}{1000} \\ \frac{d}{100} \\ 3,0 \end{cases}$ | $\leq \begin{cases} \frac{L}{1000} \\ \frac{d}{75} \\ 5,0 \end{cases}$ | $\leq \begin{cases} \frac{L}{1000} \\ \frac{d}{75} \end{cases}$ |
| | | | | ADOTAR O MENOR VALOR PORÉM ≥ 3 mm | | |
| ONDULAÇÕES LONGITUDINAIS NA MESA E NA ALMA |  | ALMA p | e≤450 | ≤3,0 | e≤600 | ≤4,0 | e≤750 | ≤5,0 |
| | | | e>450 | $\leq \frac{e}{150}$ ≤4,0 | e>600 | $\leq \frac{e}{150}$ ≤5,0 | e>750 | $\leq \frac{e}{150}$ ≤6,0 |
| | | MESA p' | e'≤300 | ≤3,0 | e'≤400 | ≤4,0 | e'≤500 | ≤5,0 |
| | | | e'>300 | $\leq \frac{e'}{100}$ ≤4,0 | e'>400 | $\leq \frac{e'}{100}$ ≤5,0 | e'>500 | $\leq \frac{e'}{100}$ ≤6,0 |
| MASSA | | | | +6,0% −2,5% | | | | |

*Figura 14 - Tolerância perfis soldados. Fonte: Adaptado de Bellei (1998).*

ESTRUTURAS — Medidas em milímetros

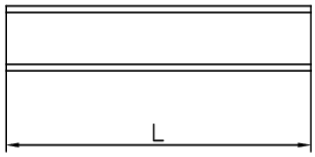
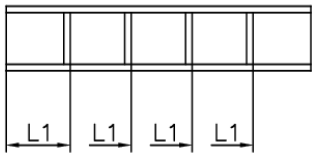
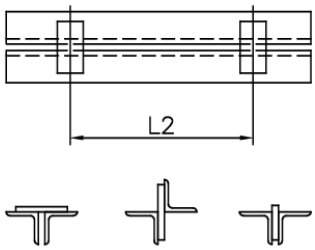
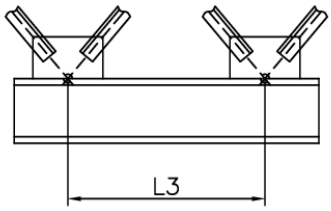
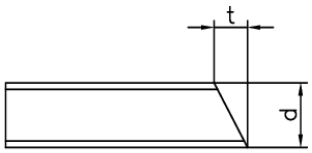
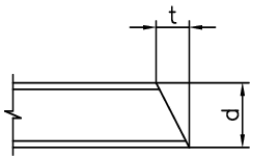
| VARIÁVEIS | | PARÂMETROS | | TOLERÂNCIAS | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | PADRÃO I | PADRÃO II | PADRÃO III |
| COMPRIMENTO |   | L | | ±3,0 | ±3,0 | – |
| POSICIONAMENTO DE CHAPAS DE REFORÇO, ENRIJECEDORES, ETC. |   | L1 | | ±3,0 | ±4,0 | – |
| |   | L2 | | ±4,0 | ±4,0 | – |
| |   | L3 | | ±3,0 | ±4,0 | – |
| COLUNAS |   | t | d ⩽ 600 | ⩽ 2,0 | ⩽ 3,0 | – |
| | | | d > 600 | ⩽ 3,0 | ⩽ 4,0 | – |
| VIGAS |   | t | d ⩽ 1000 | ⩽ 2,0 | ⩽ 3,0 | – |
| | | | d > 1000 | ⩽ 3,0 | ⩽ 4,0 | – |

*Figura 15 - Tolerâncias: Estruturas. Fonte: Adaptado de Bellei (1998).*

ESTRUTURAS (continuação) — Medidas em milímetros

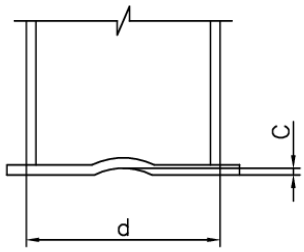
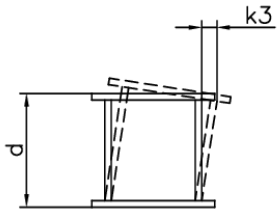
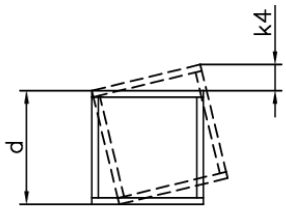
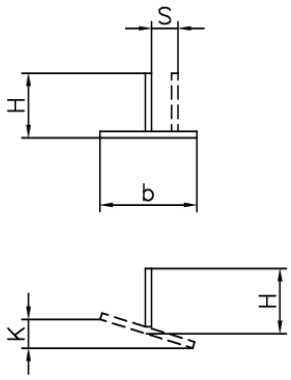
| VARIÁVEIS | | PARÂMETROS | | TOLERÂNCIAS PADRÃO I | TOLERÂNCIAS PADRÃO II | TOLERÂNCIAS PADRÃO III |
|---|---|---|---|---|---|---|
| PLANICIDADE (PLACA DE BASE) |   | C | | ≤ 4mm/m | ≤ 5mm/m | – |
| PERPENDICULARIDADE |   | k3 | d ≤ 1000 | ≤ 3,0 | ≤ 4,0 | – |
| | | | 1000 < d ≤ 2000 | ≤ 4,0 | ≤ 5,0 | |
| | | | 2000 < d ≤ 3000 | ≤ 6,0 | ≤ 6,0 | |
| | | | d > 3000 | ≤ 0,002d | ≤ 0,002d | |
| TORÇÃO DAS VIGAS CAIXÃO |   | | L ≤ 6000 | ≤ 3,0 | ≤ 4,0 | – |
| | | | 6000 < L ≤ 12000 | ≤ 0,005d | ≤ 0,006d | |
| | | | L > 12000 | ≤ 0,0065d | ≤ 0,008d | |
| PERFIL "T" SOLDADO |   | H | | ±3,0 | ±4,0 | ±5,0 |
| | | b | | ±3,0 | ±4,0 | ±5,0 |
| | | K | | ≤ 0,02b | ≤ 0,03b | ≤ 0,04b |
| | | S | b ≤ 200 | ±3,0 | ±4,0 | ±4,0 |
| | | | b > 200 | ±3,0 | ±4,0 | ±5,0 |

*Figura 16 - Tolerâncias: Estruturas. Fonte: Adaptado de Bellei (1998).*

ESTRUTURAS (continuação) — Medidas em milímetros

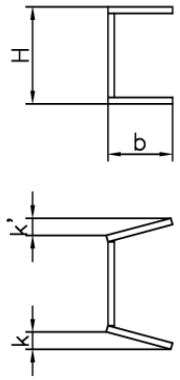
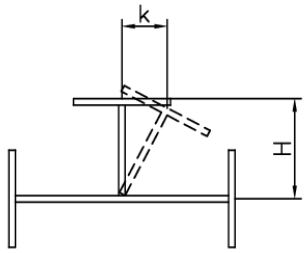
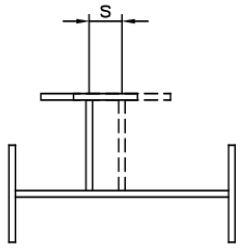
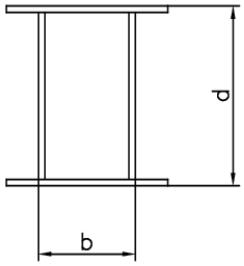
| VARIÁVEIS | | PARÂMETROS | | TOLERÂNCIAS | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | PADRÃO I | PADRÃO II | PADRÃO III |
| PERFIL "U" SOLDADO |  | H | | ±3,0 | ±4,0 | ±5,0 |
| | | b | b ⩽ 200 | ±3,0 | ±4,0 | ±4,0 |
| | | | b > 200 | ±3,0 | ±4,0 | ±5,0 |
| | | k+k' | b ⩽ 200 | k e k' ⩽ 2,0<br>⩽ 0,03b | ⩽ 0,04b | ⩽ 0,05b |
| | | | b > 200 | ⩽ 0,03b | ⩽ 0,04b | ⩽ 0,04b |
| PERPENDICULARIDADE |  | k | | ⩽0,01H ⩽ 3,0 | ⩽0,01h ⩽ 4,0 | – |
| EXCENTRICIDADE |  | s | | ⩽ 3,0 | ⩽ 3,0 | – |
| ALTURA E LARGURA |  | d | | ±3,0 | ±4,0 | – |
| | | b | | ±3,0 | ±4,0 | – |

*Figura 17 - Tolerâncias: Estruturas. Fonte: Adaptado de Bellei (1998).*

ESTRUTURAS (continuação) — Medidas em milímetros

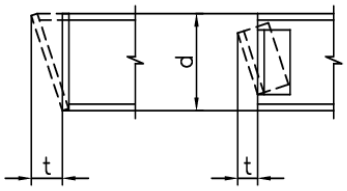
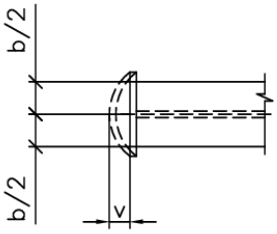
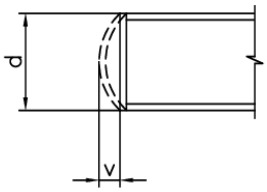
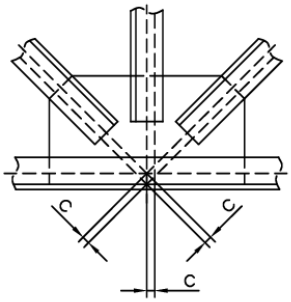
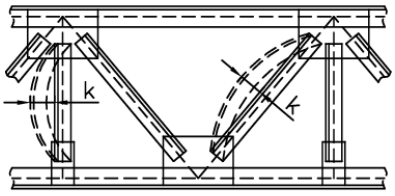
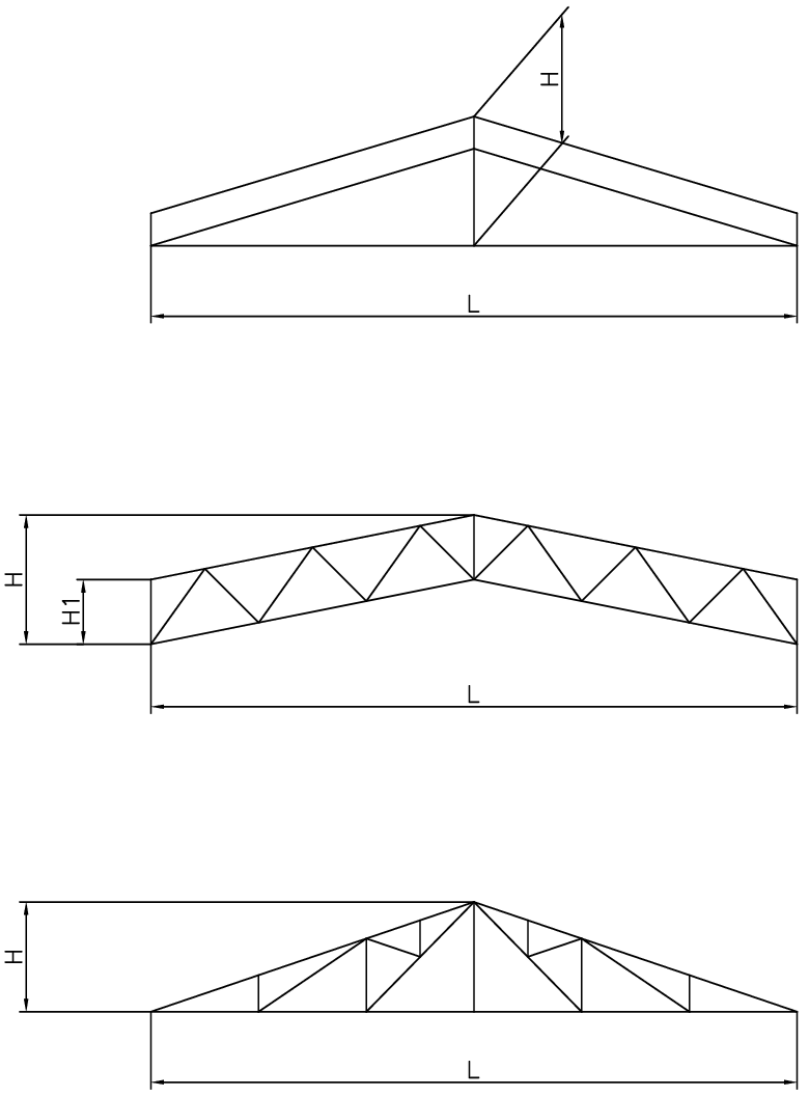
| VARIÁVEIS | | PARÂMETROS | | TOLERÂNCIAS | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | PADRÃO I | PADRÃO II | PADRÃO III |
| INCLINAÇÃO DA CONEXÃO |  | t | d ⩽ 600 | ⩽ 2,0 | ⩽ 2,0 | ⩽ 3,0 |
| | | | b > 600 | ⩽ 2,0 | ⩽ 3,0 | ⩽ 3,0 |
| CURVATURA DA CONEXÃO |  | v | d ⩽ 200 | ⩽ 2,0 | ⩽ 2,0 | – |
| | | | b > 200 | ⩽ 2,0 | ⩽ 3,0 | – |
| |  | v | | 0,002d ⩽ 2,0 | 0,003d ⩽ 3,0 | – |
| FORA DE CENTRO |  | c | | ⩽ 4,0 | ⩽ 5,0 | ⩽ 6,0 |
| CURVATURA DE DIAGONAIS E MONTANTES |  L=COMPR. DA DIAGONAL E MONTANTE | k | | ⩽ 0,001L ⩽ 10,0 | ⩽ 0,0012L ⩽ 12,0 | ⩽ 0,0015L ⩽ 15,0 |

*Figura 18 - Tolerâncias: Ligações. Fonte: Adaptado de Bellei (1998).*

ESTRUTURAS (continuação) Medidas em milímetros



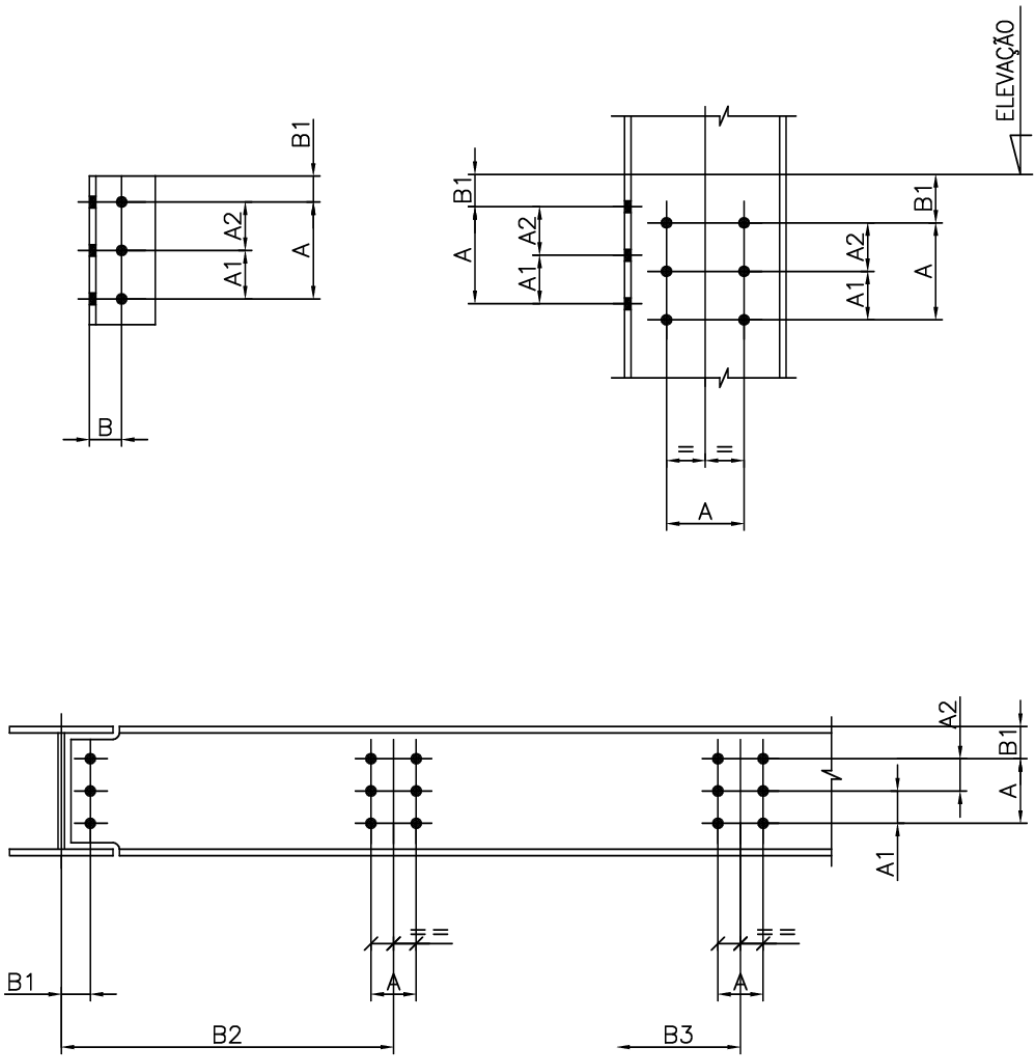

TOLERÂNCIAS PARA TESOURAS DE EDIFÍCIOS

| – | PADRÃO I | PADRÃO II | – |
|---|---|---|---|
| L ≤ 12000 | L±3 | L±4 | – |
| L > 12000 | ±0,00025L | ±0,00035L | – |
| H e H1 | ±3,0 | ±4,0 | – |

*Figura 19 - Tolerâncias: Tesouras. Fonte: Adaptado de Bellei (1998).*

ESTRUTURAS (continuação) — Medidas em milímetros

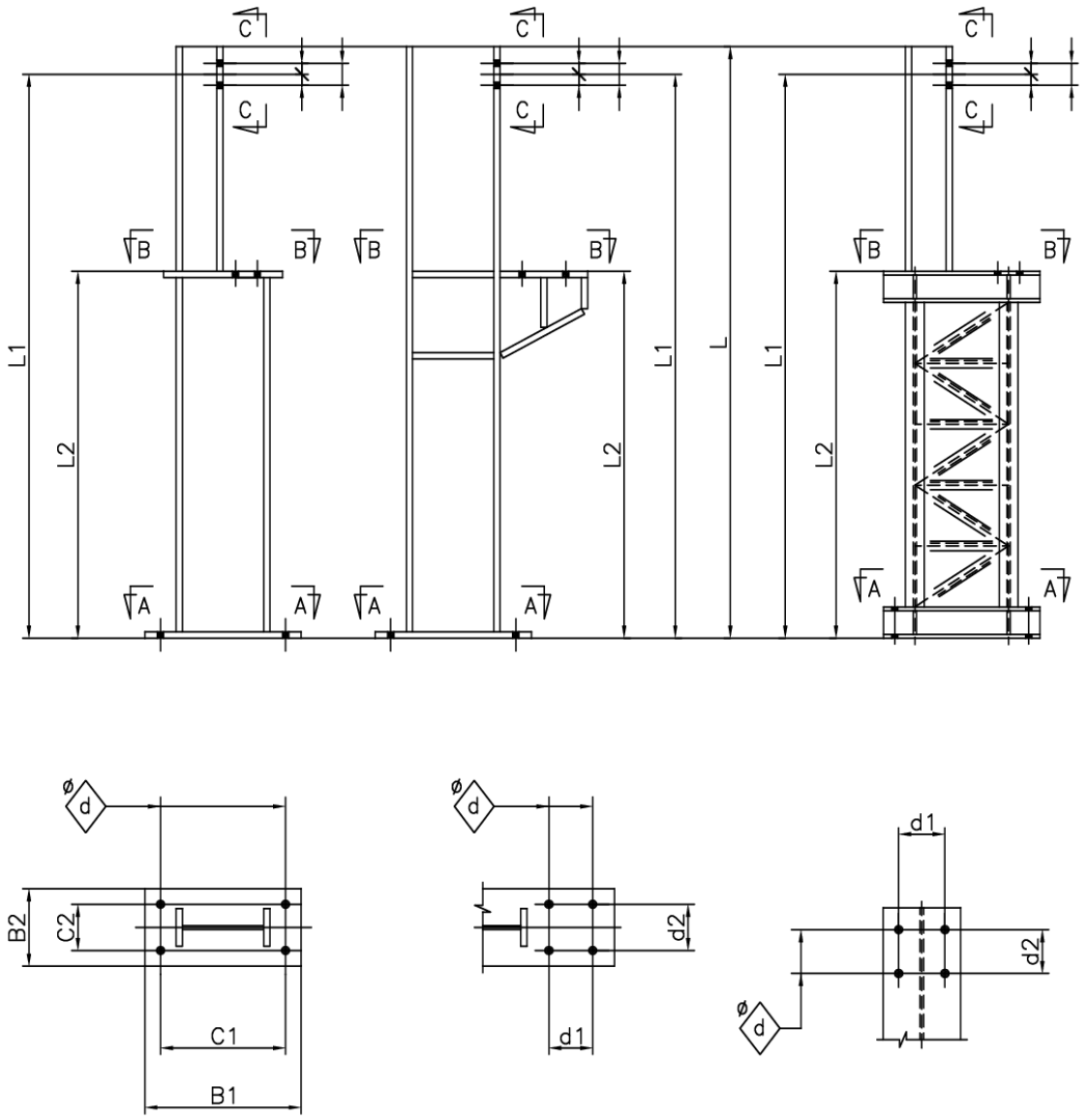
## TOLERÂNCIA NA FURAÇÃO




| VARIÁVEIS | | PARÂMETROS | TOLERÂNCIAS | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | PADRÃO I | PADRÃO II | PADRÃO III | |
| DIÂMETRO | À BROCA | ø | +1,0 −0 | +1,0 −0 | – | OBS.: AS TOLERÂNCIAS APLICÁVEIS ÀS DIMENSÕES A & B NÃO SÃO ACUMULATIVAS |
| | À PUNÇÃO | ø | +2,0 −0 | +2,0 −0 | – | |
| ESPAÇAMENTO | | A/A1/A2 | ±2,0 | ±2,0 | – | |
| POSICIONAMENTO | B1 | – | ±2,0 | ±2,0 | – | |
| | B2/B3 | B ⩽ 4000 | ±2,0 | ±2,0 | – | |
| | | 4000 < B ⩽ 9000 | ±3,0 | ±3,0 | – | |
| | | B > 9000 | ±4,0 | ±4,0 | – | |

*Figura 20 - Tolerâncias: Furação. Fonte: Adaptado de Bellei (1998).*

ESTRUTURAS (continuação) Medidas em milímetros

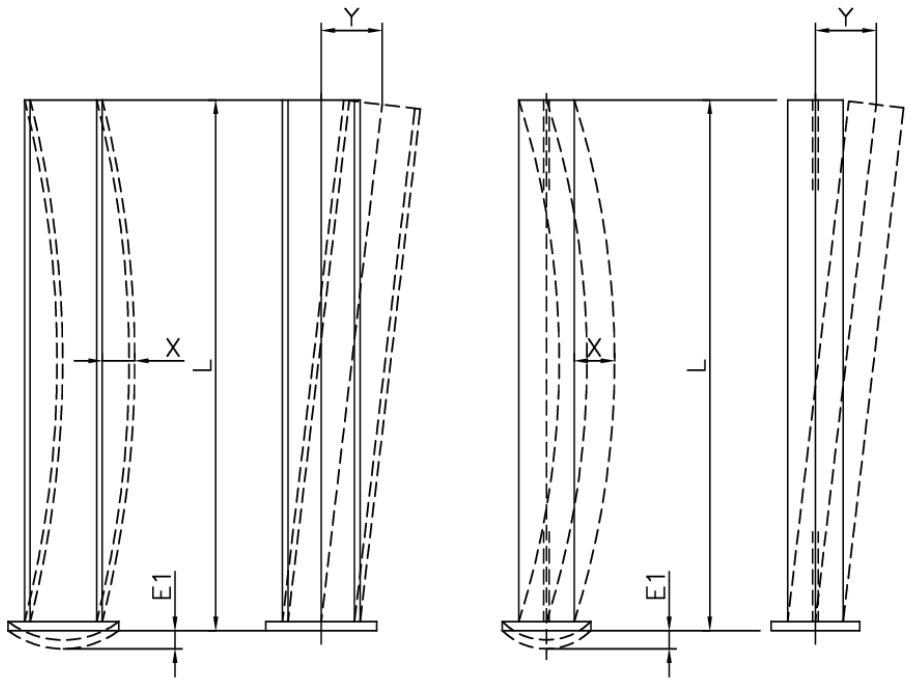



TOLERÂNCIAS PARA COLUNAS DE EDIFÍCIOS

| | L1 & L2 | B1 & B2 | C1 & C2 | d1 & d2 | DIÂMETRO DO FURO – d | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | d ⩽ 20 | 20 < d ⩽ 50 | d > 50 |
| L > 12000 | ±4,0 | ±4,0 | ±3,0 | ±2,0 | +2,0 −0 | +3,0 −0 | +4,0 −0 |
| L ⩽ 12000 | ±5,0 | | | | | | |

*Figura 21 - Tolerâncias: Colunas. Fonte: Adaptado de Bellei (1998).*

ESTRUTURAS (continuação) Medidas em milímetros




| DEFORMAÇÕES | L ≤ 12000 | | | L > 12000 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | PADRÃO I | PADRÃO II | PADRÃO III | PADRÃO I | PADRÃO II | PADRÃO III |
| X | *VEJA f EM PERFIL SOLDADO | | | | | |
| Y | ≤ 3,0 | ≤ 4,0 | – | ≤ 4,0 | ≤ 5,0 | – |
| E1 | ≤ 3,0 | ≤ 4,0 | – | ≤ 4,0 | ≤ 5,0 | – |

*Figura 22 - Tolerâncias: Colunas. Fonte: Adaptado de Bellei (1998).*

Todo o material a ser utilizado na fabricação deverá atender às tolerâncias dimensionais definidas nas normas ABNT ou ASTM que cobrem as suas especificações.

Se o material laminado não atender às tolerâncias da norma, será admitida a correção por aquecimento ou desempeno mecânico, dentro dos limites indicados nas normas e neste Caderno de Encargos SUDECAP.

#### 6.2.6.5 Garantia de qualidade de chapas grossas

Para evitar o uso indevido de chapas com dupla laminação, a CONTRADADA deverá executar ensaios de ultrassom nas chapas com espessura igual ou superior a 25 mm. O critério de aceitação da CONTRATANTE é a ASTM A578 - Nível C. As chapas não aprovadas no ensaio de ultrassom não poderão ser utilizadas na fabricação de peças estruturais.

#### 6.2.6.6 Perfis soldados

Os perfis soldados produzidos pela CONTRATADA ou adquiridos de terceiros deverão atender às especificações da NBR 5884. Quanto às tolerâncias dimensionais previstas nesta norma, estabelece-se o padrão de tolerância “I”, para perfis soldados de estruturas para obras de artes especiais, vigas de rolamento para pontes rolantes ou estruturas especiais e o padrão de tolerância “II”, para perfis soldados de estruturas para edificações convencionais.

#### 6.2.6.7 Perfis formados a frio

Os perfis formados a frio produzidos pela CONTRADADA ou adquiridos de terceiros deverão atender às especificações da NBR 6355 e deverão ter os comprimentos previstos nos projetos executivos para evitar quaisquer soldas intermediárias. Estes perfis não poderão apresentar fissuras nas dobras ou quaisquer outros defeitos que possam comprometer a sua eficiência estrutural.

#### 6.2.6.8 Inspeção

Toda a inspeção por parte dos representantes do comprador, tanto quanto possível, deve ser feita na fábrica ou no local onde o trabalho está sendo executado. O Fabricante deve cooperar com o inspetor, permitindo seu acesso a todos os locais onde está sendo executado o serviço. O inspetor do comprador deve estabelecer seu cronograma de inspeção de modo que sejam mínimas as interrupções do serviço do Fabricante.

A mão de obra e os materiais cobertos por esta especificação estarão sujeitos à inspeção por parte da CONTRATANTE e /ou seus representantes credenciados, que terão livre acesso, durante a jornada normal de trabalho a todas as instalações do Fabricante da estrutura metálica.

O Fabricante deverá proporcionar aos inspetores as facilidades e equipamentos necessários à realização de inspeção e dos testes requeridos.

O exercício do direito de inspeção pela CONTRATANTE e /ou seus representantes credenciados não exime a CONTRATADA de qualquer ônus decorrente da infração de algum item das normas e especificações relacionadas ou de fidelidade ao representado nos desenhos de fabricação.

Quando for necessária a pré-montagem de parte das estruturas metálicas, ela deverá ser realizada antes de se iniciarem os trabalhos de pintura (ou galvanização) e na presença de inspetores da CONTRATANTE.

Os serviços de inspeção a serem indicados neste plano deverão seguir basicamente o seguinte roteiro, o qual poderá sofrer modificações ou acréscimos quando da contratação dos serviços:

- Inspeção visual das estruturas metálicas;
- Controle dimensional de acordo com os desenhos de fabricação e tolerâncias admissíveis;
- Controle da matéria-prima através de certificados de teste de qualidade emitidos na sua origem ou de relatórios de ensaios executados pela CONTRATADA;
- Controle das soldas, através da verificação dos certificados de pré-qualificação de soldadores, dos processos de soldagem, da preparação das juntas para solda, das dimensões das soldas, dos alívios de tensão e ensaios não-destrutivos (ultrassom, gamagrafia, líquido penetrante, etc.) onde necessário;
- Controle de furações e respectivos acabamentos;
- Controle de acabamento, limpeza e pintura (ou galvanização) das superfícies metálicas. A inspeção da pintura deverá ser realizada observando-se as especificações contidas no documento EG-M-402;
- Acompanhamento e controle de pré-montagem e embarque das estruturas.

#### 6.2.6.9 Inspeção de soldas

A inspeção das soldas deve ser feita de acordo com os requisitos da AWS D1.1. A inspeção visual que for necessária deve ser especificada nos documentos de licitação e do projeto. Quando forem necessários ensaios não-destrutivos conforme NBR 8800, o processo, a extensão, a técnica e os padrões de aceitação devem ser claramente definidos nos documentos de licitação e de projeto.

#### 6.2.6.10 Rejeição

O material ou o serviço que não atende aos requisitos de projeto ou deste Caderno de Encargos SUDECAP pode ser rejeitado a qualquer instante durante a execução do serviço. A CONTRATADA deve receber cópias de todos os relatórios de inspeção fornecidos ao comprador pela FISCALIZAÇÃO.

### 6.2.7 Transporte

#### 6.2.7.1 Embalagem e Armazenamento

Todo o material pronto para ser embarcado deverá ser devidamente acondicionado. A embalagem deverá ser nova e feita de maneira que seja facilmente manuseada.

Todas as chapas, talas e elementos de ligação em geral deverão ser afixados nas peças principais por meio de parafusos de embarque ou outro dispositivo equivalente, para que estes elementos sejam despachados juntamente com as estruturas.

Outras peças menores como parafusos, porcas, arruelas, etc., deverão ser acondicionadas em caixas com peso bruto máximo de 100 kg. Parafusos, porcas e arruelas deverão ser acondicionados em sacos plásticos, caixas ou latas, separados por tipo de material e dimensões, antes da embalagem final.

Todas as peças pertencentes a um mesmo tipo de estrutura deverão ser acondicionadas em volumes com a mesma identificação.

As embalagens, caixas e volumes deverão ser marcados claramente, indicando-se o tipo da estrutura, conteúdo e quantidade, de tal forma que no recebimento possam ser facilmente conferidos.

Deverão ser tomados cuidados especiais para o manuseio, embalagem, carregamento e transporte de modo a evitar avarias em componentes pintados.

Os lotes de peças deverão ser embalados de forma ordenada e em conformidade com o planejamento de construção do projeto.

#### 6.2.7.2 Expedição e Transporte

Os veículos a serem utilizados pela CONTRATADA devem ter capacidade compatível com as dimensões e pesos das peças despacháveis da estrutura.

De acordo com PINHO (2005), no transporte rodoviário, o mais comum é o transporte de peças de aço sobre carretas com até 27 toneladas de capacidade, aproximadamente 13 metros de comprimento na carroceria, 2,30 metros de largura transportável e uma altura máxima sobre a plataforma com cerca de 3 metros. Acima destes limites, encontram-se os transportes especiais, sendo exigidos veículos e licenças especiais, batedores, horários específicos, etc. Normalmente, as peças das estruturas são limitadas a um comprimento máximo de 12 metros.

Nenhum material ou estrutura poderá ser embarcado sem que tenha sido anteriormente liberado pela inspeção. A fim de que possa ser programada a inspeção, a CONTRATADA deverá notificar à CONTRATANTE, com antecedência de cinco dias úteis, a data em que as Estruturas Metálicas estarão liberadas para inspeção.

É de responsabilidade da CONTRATADA o acompanhamento do embarque das estruturas para que estas estejam devidamente protegidas contra empenos, perdas e outras avarias durante o transporte.

As peças de grande porte deverão ser convenientemente imobilizadas com cabos de aço e esticadores ou por meio de calços de madeira fixados ao veículo de transporte.

Uma especial atenção deverá ser dada à colocação de calços de madeira para evitar o atrito entre as peças, bem como as deformações ocasionadas pela solicitação das mesmas segundo eixos de inércia diferentes dos considerados nos dimensionamentos das respectivas seções.

Para transporte as peças devem ser posicionadas sobre a carreta ou caminhão de forma a não gerar esforços que possam danificar as peças.

### 6.2.8 Montagem

A CONTRATADA será responsável por planejar, gerenciar e executar as todas as atividades de montagem de estruturas de aço indicadas no projeto executivo. Conforme NR-18 toda montagem, manutenção e desmontagem de estrutura metálica deve estar sob responsabilidade de profissional legalmente habilitado.

#### 6.2.8.1 Planejamento da montagem

O método e a sequência de montagem deverão ser submetidos à aprovação da FISCALIZAÇÃO e, em casos

de dúvidas ou de estruturas especiais, o RESPONSÁVEL TÉCNICO PELO PROJETO deverá ser consultado. A CONTRATADA deverá manter vias de acesso ao canteiro que permitam a movimentação dos equipamentos a serem utilizados durante a fase de montagem, bem como a manipulação das peças a serem montadas no canteiro de serviço, em conformidade com o Planejamento de Execução da Obra.

O planejamento da montagem será elaborado em conformidade com as facilidades do canteiro de serviço, como espaços adequados para armazenamento, vias de acesso e espaços de montagem livres de interferências, previamente concebido e executado pela CONTRATADA sob as condições oferecidas pela CONTRATANTE.

Antes da montagem, deverão ser conferidas as peças componentes da estrutura de aço, bem como verificadas as fundações e outras interfaces (dutos e tubos oriundos de instalações, por exemplo) quanto à exatidão dos níveis, distâncias e alinhamentos. Somente após estas conferências iniciais e a correção de eventuais desvios, é que a montagem propriamente dita poderá ter sequência.

Cumprirá a CONTRATANTE o fornecimento de marcos com coordenadas e referências de nível, necessários à correta locação da edificação e dos eixos e pontos de montagem da estrutura.

No caso de contrato específico e limitado à execução da estrutura de aço, caberá à CONTRATANTE fornecer as fundações, bases, encontros e apoios com resistências e demais características adequadas à montagem da estrutura.

#### 6.2.8.2 Requisitos de segurança

A CONTRATADA deverá fornecer os pisos, corrimãos e passadiços temporários que forem exigidos pelas normas de segurança e saúde do trabalho, de forma a proteger o pessoal de montagem contra acidentes. O item Segurança e Medicina do trabalho, do capítulo 1, deste Caderno de Encargos SUDECAP que trata sobre recomendações para a Linha de Vida e outros assuntos, deve ser consultado. Todas as Normas Regulamentadoras e demais legislações pertinentes devem ser respeitadas durante a montagem das estruturas.

#### 6.2.8.3 Descarregamento

Todas as peças da estrutura recebidas na obra devem ser armazenadas e manuseadas de tal forma que não sejam submetidas a tensões excessivas, nem sofram danos. Deve ser usado contraventamento temporário, sempre que necessário, para absorver todas as forças a que a estrutura possa estar sujeita durante a construção, incluindo as decorrentes de vento e equipamentos. O contraventamento deve permanecer montado, sem ser danificado, o tempo que for necessário para a segurança da estrutura. Toda vez que houver acúmulo de material, forças de equipamento ou de outras naturezas sobre a estrutura, durante a montagem, devem ser tomadas medidas para que sejam absorvidas as solicitações correspondentes.

#### 6.2.8.4 Estabilidade

Na montagem, a estrutura deve ser parafusada ou soldada com segurança, de forma que possa absorver toda a ação permanente, o vento e as ações de montagem.

#### 6.2.8.5 Ligações Soldadas

As soldas de campo deverão ser executadas conforme requisitos para as soldas de fábrica, indicados neste Caderno de Encargos SUDECAP.

#### 6.2.8.6 Ligações Parafusadas

A montagem inicial das estruturas é feita com espinas, em boas condições de uso, e parafusos comuns, denominados parafusos provisórios. Estes, após a colocação da estrutura no prumo, serão substituídos pelos parafusos definitivos de alta resistência.

Os furos para parafusos terão normalmente uma folga de 1,5 mm em relação ao diâmetro dos parafusos, que devem entrar normalmente sem o uso de martelos, marretas ou outros recursos dessa natureza. Quando necessário, os furos poderão ser alargados através do uso de alargadores até que resulte em uma ovalização máxima de 2 mm, não sendo permitido o uso de maçarico. As rebarbas externas dos furos deverão ser removidas. Os furos que se apresentarem defasados de mais de 2 mm deverão ser preenchidos com solda e convenientemente refeitos. Não é permitido o uso de parafusos cuja diferença do diâmetro do furo para o seu diâmetro seja superior a 2 mm.

Os deslocamentos e empenos das peças não deverão nunca ser corrigidos tracionando-se os parafusos.

As regiões com furos para ligações parafusadas deverão apresentar-se perfeitamente desempenadas e isentas de pintura, óleo, graxa, ferrugem e poeira. Atenção especial deverá ser dada as superfícies de contato das ligações por atrito ("*slip critical*" ou "*friction type*"), para evitar a redução do coeficiente de atrito. No caso

das estruturas pintadas, deverá ser utilizado um esquema de pintura especial para este tipo de ligação, conforme recomendações do fabricante da tinta.

As arruelas deverão ser circulares, planas e lisas, exceto para o caso de emendas nas abas de perfis "I" ou "C" laminados, quando deverão ser usadas arruelas chanfradas. As arruelas a serem utilizadas em ligações com parafusos de alta resistência deverão ter dimensões conforme indicado no "*Steel Construction Manual - 13rd Edition*" do AISC. As demais arruelas, quando circulares planas e lisas, deverão ter dimensões conforme a norma ANSI B27.2 e quando chanfradas, segundo a norma ANSI B27.4.

Os parafusos de alta resistência deverão ser torqueados até atingirem a força de protensão indicada no "*Steel Construction Manual - 13rd Edition*" do AISC, representada na Tabela 21. Este aperto poderá ser conseguido por intermédio de torquímetros manuais ou hidráulicos, cuja calibragem deverá ser feita por intermédio de dispositivo capaz de indicar o esforço real de tração no parafuso, segundo as diretrizes da especificação acima mencionada. Apresentar certificado de calibragem dos torquímetros e calibradores à FISCALIZAÇÃO.

*Tabela 21 - Força de protensão mínima em parafusos, dada em kN apresentado na NBR 8800. Fonte: Adaptado de ABNT (2008).*

| Diâmetro do Parafuso (polegadas) | ASTM | |
|---|---|---|
| | A325 | A490 |
| 1/2" | 53 | 66 |
| 5/8" | 85 | 106 |
| 3/4" | 125 | 156 |
| 7/8" | 173 | 216 |
| 1" | 227 | 283 |
| 1 1/8" | 250 | 357 |
| 1 1/4" | 317 | 453 |
| 1 1/2" | 460 | 659 |

Durante a parafusagem, devem ser colocados pinos ou parafusos provisórios para manter a posição relativa das peças estruturais antes de sua fixação definitiva. Espinas só podem ser utilizadas para assegurar o posicionamento das peças componentes dos conjuntos durante a montagem, não sendo permitido seu uso para, por meio de deformação, forçar a coincidência de furos, alargá-los ou distorcer o material. Coincidência insuficiente de furos deve ser motivo de rejeição de peças.

#### 6.2.8.7 Retoques de pinturas após montagem

Após pintura das peças, as mesmas deverão receber as marcas de montagem anotadas a tinta, com altura aproximada de 40 mm. A marcação das peças feita a tinta deverá ser removida durante esta etapa de retoque de pinturas.

#### 6.2.8.8 Tolerâncias de Montagem

As bases de pilares devem ser niveladas e posicionadas na elevação correta, estando em pleno contato com a superfície de apoio.

As tolerâncias de montagem são definidas em relação aos pontos de trabalho e linhas de trabalho das barras da seguinte forma:

- Para barras não horizontais, o ponto de trabalho é o centro real em cada extremidade da barra, como recebida na obra;
- Para barras horizontais, o ponto de trabalho é a linha de centro real da mesa superior ou plano superior em cada extremidade;
- Outros pontos de trabalho podem ser utilizados para facilidade de referência, desde que sejam baseados nessas definições;
- A linha de trabalho da barra é uma linha reta ligando os seus pontos de trabalho.

##### *6.2.8.8.1 Posicionamento e alinhamento*

As ligações permanentes soldadas ou parafusadas só devem ser completadas depois que a parte da estrutura, que vai se tornar rígida após a execução de tais ligações, for devidamente alinhada, nivelada e aprumada. Entretanto, a segurança durante a montagem deve ser garantida a todo momento.

*6.2.8.8.1.1 Pilares*

Pilares constituídos de uma única peça são considerados aprumados se o desvio da linha de trabalho em relação a uma linha de prumo não for superior a 1:500, sujeito às seguintes limitações adicionais:

- Os pontos de trabalho de pilares adjacentes a poços de elevadores podem ficar deslocados no máximo 25 mm em relação à linha estabelecida para o pilar, nos primeiros 20 andares; acima deste nível, o deslocamento permitido pode ser aumentado em 1 mm para cada andar adicional, até um máximo de 50 mm;
- Os pontos de trabalho de pilares de fachadas podem ficar deslocados em relação à linha estabelecida para o pilar de no máximo 25 mm da fachada para fora, e de no máximo 50 mm em sentido oposto, nos primeiros 20 andares; acima do 20º andar, o deslocamento permitido pode ser aumentado 2 mm para cada andar adicional, porém não pode exceder um total de 50 mm da fachada para fora, e de 75 mm em sentido oposto;
- Os pontos de trabalho dos pilares de fachada, ao nível de qualquer emenda e ao nível do topo dos pilares, não podem ficar fora da área delimitada por duas linhas horizontais paralelas à fachada considerada, espaçadas em 38 mm para edifícios de até 90 m de comprimento. Esse espaçamento pode ser aumentado em 13 mm para cada 30 m adicionais de comprimento, porém não pode ultrapassar 75 mm;
- Os pontos de trabalho dos pilares de fachada podem ficar deslocados em relação à linha estabelecida para o pilar, numa direção paralela à fachada considerada, não mais que 50 mm nos primeiros 20 andares; acima do 20º andar, o deslocamento permitido pode ser aumentado em 2 mm para cada andar adicional, porém não pode ultrapassar um deslocamento total de 75 mm paralelo à fachada considerada.

*6.2.8.8.1.2 Outras barras*

Com exceção das barras destinadas a pilares, aplicam-se as seguintes regras:

- O alinhamento horizontal de barras retas, não destinadas a balanço e que não contenham emendas de campo, é considerado aceitável se qualquer erro for resultante somente da variação de alinhamento dos elementos de apoio dentro dos limites admissíveis para fabricação e montagem desses elementos;
- A elevação de barras retas ligadas a pilares é considerada aceitável se a distância entre o ponto de trabalho da barra e o plano da emenda usinada do pilar, imediatamente superior, não variar além de mais 5 mm e de menos 8 mm em relação à distância especificada nos desenhos;
- A elevação de barras retas não ligadas a pilares é considerada aceitável se qualquer erro for resultante somente da variação de elevação dos elementos de apoio dentro dos limites admissíveis para fabricação e montagem desses elementos;
- Para uma barra reta destinada a um segmento de uma unidade contendo emendas de campo entre pontos de apoio, o prumo, a elevação e o alinhamento serão considerados aceitáveis se a variação angular da linha de trabalho (linha reta entre centros das seções extremas da barra considerada) com relação à prevista nos desenhos for igual ou inferior a 1/500 da distância entre os centros das emendas;
- Para uma barra reta destinada a um balanço, o prumo, a elevação e o alinhamento devem ser considerados aceitáveis se a variação angular da linha de trabalho com relação a uma linha reta na posição prevista no desenho for igual ou inferior a 1/500 do comprimento do balanço.

*6.2.8.8.1.3 Peças ajustáveis*

O alinhamento de vergas, vigas sob paredes, cantoneiras de parapeito, suportes de esquadrias e peças semelhantes de suporte, a serem usadas por outras empreiteiras e que exijam limites mais rigorosos de tolerâncias que os precedentes, não pode ficar garantido se o proprietário não solicitar ligações ajustáveis destas com a estrutura. Quando forem especificadas ligações ajustáveis, os desenhos fornecidos pelo proprietário devem indicar o ajuste total necessário para acomodar as tolerâncias da estrutura de aço, a fim de que seja obtido alinhamento adequado nas peças-suportes a serem usadas por outras empreiteiras. As tolerâncias de posicionamento e alinhamento de tais peças ajustáveis são as seguintes:

- 10 mm para o posicionamento em altura, com relação à distância dada nos desenhos entre o apoio dessas peças e o plano da emenda usinada imediatamente superior do pilar mais próximo;
- 10 mm para o posicionamento horizontal, com relação à sua locação dada nos desenhos, referida

à linha de acabamento estabelecida, em qualquer piso particular;

- 5 mm para posicionamento no alinhamento vertical e horizontal, em relação aos itens de ajuste de extremidades.

#### *6.2.8.8.2 Ajustagem de ligações comprimidas em pilares*

Podem ser aceitas frestas não superiores a 1,5 mm em emendas de pilares transmitindo esforços de compressão por contato, independentemente do tipo de emenda usado (parafusada ou soldada com penetração parcial). Se a fresta for maior que 1,5 mm, porém inferior a 6 mm, e se for verificado que não existe suficiente área de contato para transmissão dos esforços solicitantes, a fresta deve ser preenchida com calços de aço de faces paralelas. Esses calços podem ser de aço-carbono, mesmo que o aço da estrutura seja de outro tipo.

#### *6.2.8.8.3 Correção de desvios e defeitos*

Os desvios e defeitos que não puderem ser corrigidos pelos meios normais, utilizando pinos ou aparelhos manuais para o realinhamento das peças da estrutura, ou que exijam alterações na configuração das peças, deverão ser comunicados imediatamente à FISCALIZAÇÃO e ao autor do projeto para a escolha de uma solução alternativa eficiente e econômica.

### 6.2.9 Critérios de levantamento, medição e pagamento

#### 6.2.9.1 Levantamento (quantitativo para projeto)

Os serviços de estruturas metálicas serão levantados por peso, expresso em Kg, englobando todas as peças metálicas e elementos necessários à execução e montagem da estrutura, tais como, vigas, pilares, estrutura de lajes, contraventamentos, parafusos, porcas, arruelas e etc.

O peso considerado pela CONTRATANTE são os pesos líquidos das peças, ou seja, não podem ser computados pesos referentes a perdas de aço.

#### 6.2.9.2 Medição

Será efetuada aplicando-se o mesmo critério de levantamento, considerando quantitativos efetivamente executados.

#### 6.2.9.3 Pagamento

Será efetuado ao preço unitário contratual, contemplando todos os materiais, serviços, acessórios e atividades necessárias à sua execução. A execução de algum tipo especial de prova de carga, ensaio especial, projeto de reforço ou recuperação, se necessário, correrá por conta exclusiva da CONTRATADA.

## 6.3 LIGHT STEEL FRAMING

Este capítulo do Caderno de Encargos SUDECAP tem como objetivo apresentar de forma conceitual as etapas, equipamentos e metodologia utilizada durante a execução de edificações através do sistema construtivo em *Light Steel Framing* assim como critérios de controle.

### 6.3.1 Legislação aplicável, normas e práticas complementares

NBR 6355/12 - Perfis estruturais de aço formados a frio - Padronização;

NBR 14715-1/21 - Chapas de gesso para Drywall - Parte 1: Requisitos;

NBR 14762/10 - Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio - Procedimento;

NBR 15217/18 - Perfilados de aço para sistemas construtivos em chapas de gesso para Drywall - Requisitos e métodos de ensaio;

NBR 15253/14 - Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações - Requisitos gerais;

NBR 15498/21 - Chapas cimentícias reforçadas com fios, fibras, filamentos ou telas - Requisitos e métodos de ensaio.

### 6.3.2 Definições

O *Light Steel Framing* (LSF) é uma metodologia construtiva no qual são utilizados em sua estrutura, perfis leves de aço galvanizado que, quando utilizados em conjunto, compõem os elementos estruturais das

edificações. Este sistema substitui as construções executadas de forma convencional onde os materiais utilizados passam por processos de industrialização e, dessa forma, possuem garantia e controle de qualidade.

O sistema construtivo LSF requer a elaboração de projetos específicos realizados por empresas especializadas nesta área que trazem precisão no que se refere a especificação, cálculo das quantidades e mão de obra de aplicação durante a execução. Se trata de um sistema versátil onde se pode utilizar materiais diversos nos elementos de fechamento que o compõe assim como isolamentos, coberturas, instalações, etc., desde que previamente projetado e dimensionado.

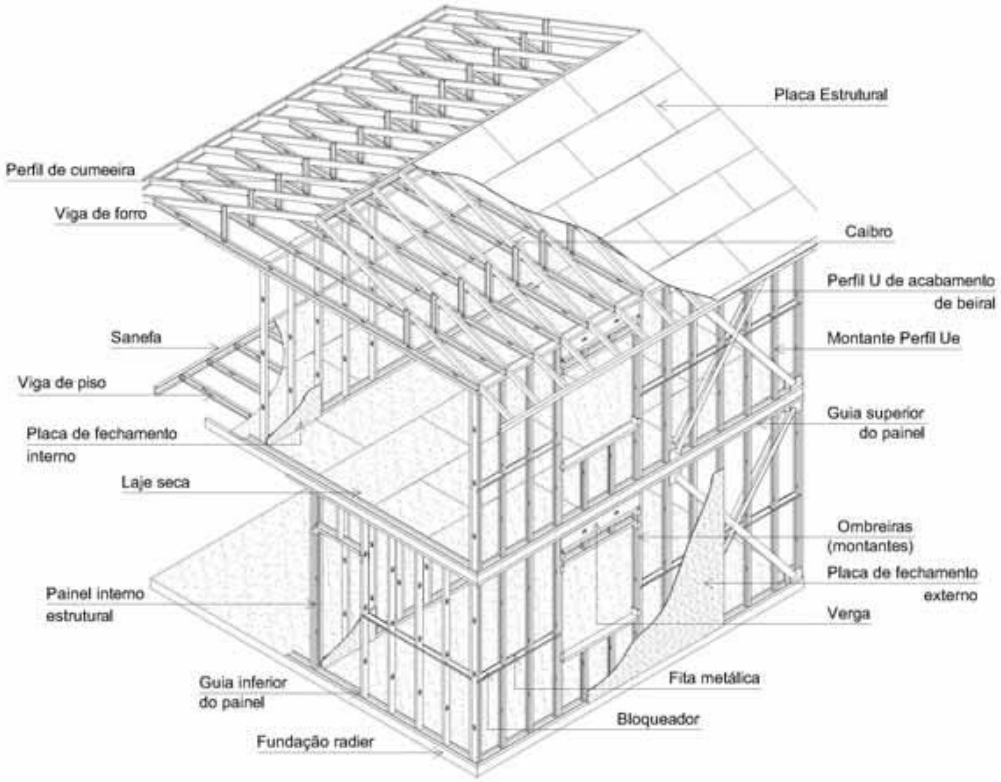



*Figura 23 - Desenho esquemático com a indicação dos elementos construtivos básicos de uma edificação em Light Steel Framing. Fonte: Santiago; Freitas; Crasto (2012).*

O LSF pode ser utilizado na construção de residências unifamiliares, edifícios com número de pavimentos reduzido, edificações destinadas a área da saúde, educação dentre outros. Segue abaixo as principais nomenclaturas:

- Perfis leves de aço galvanizado - obtidos através da conformação de bobinas de aço revestidas com zinco ou liga alumínio-zinco, por processo contínuo de imersão a quente ou por eletrodeposição conforme a NBR 15253. A espessura das chapas varia entre 0,80 e 3,0 mm, sendo as seções mais comuns aquelas com formato em “C” ou “U” enrijecido (Ue) para montantes e vigas, e o “U” que é usado como guia na base e no topo dos painéis. O limite de escoamento dos perfis de aço zincado não deve ser inferior a 230 Mpa. As características dos perfis leves principais estão ilustradas na Tabela 22 e as tipologias de galvanização, na Tabela 23.

*Tabela 22 - Características dos perfis leves principais, utilizados no sistema LSF apresentadas na NBR 15253. Fonte: ABNT (2014).*

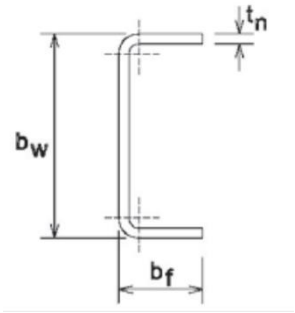
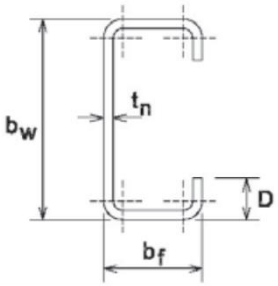
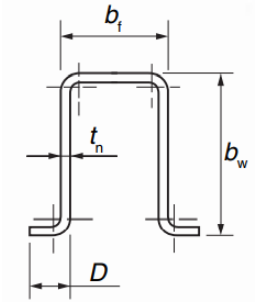
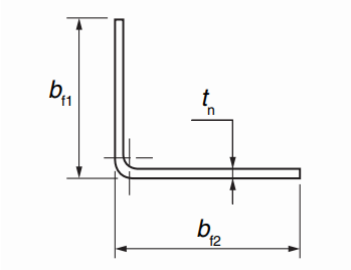
| Seção transversal | Denominação ABNT NBR 6355 | Utilização |
|---|---|---|
|  | ***U* simples**<br><br>***U*** $b_w$ x $b_f$ $t_n$ | Guia<br>Ripa<br>Bloqueador<br>Guia de entrepiso<br>Terça |
|  | ***U* enrijecido**<br><br>***Ue*** $b_w$ x $b_f$ x D x $t_n$ | Bloqueador<br>Enrijecedor de alma<br>Montante<br>Verga<br>Viga<br>Terça<br>Guia enrijecida (sistema com encaixes estampados) |
|  | **Cartola**<br><br>***Cr*** $b_w$ x $b_f$ x D x $t_n$ | Ripa |
|  | **Cantoneira de abas desiguais**<br><br>***L*** $b_{f1}$ x $b_{f2}$ x $t_n$ | Cantoneira |

*Tabela 23 - Especificação das tipologias de galvanização apresentada na NBR 15253. Fonte: ABNT (2014).*

| Tipo de revestimento | Perfis estruturais | | Perfis não-estruturais | |
|---|---|---|---|---|
| | Massa mínima do revestimento g/m² (1) | Designação do revestimento conforme normas | Massa mínima do revestimento g/m² (1) | Designação do revestimento conforme normas |
| Zincado por imersão a quente | 180 | Z180 (NBR 7008) | 100 | Z 100 (NBR 7008) |
| Zincado por eletrodeposição | 180 | 90/90 (NBR 14964) | 100 | 50/50 (NBR 14964) |
| Alumínio-zinco por imersão a quente | 150 | AZ150 (NM 86) | 100 | AZ100 (NM 86) |
| (1) A massa mínima refere-se ao total nas duas faces (média do ensaio triplo) e sua determinação deve ser conforme a NM 278 | | | | |

- Chumbador mecânico - se trata de um elemento de fixação, capaz de suportar carregamentos, utilizado para unir os perfis de aço ao substrato de base (estruturas de concreto, fundações). A Figura 24 mostra o detalhe de um chumbador;

*Figura 24 - Chumbador mecânico. Fonte: Santiago; Freitas; Crasto (2012).*

- Placas de gesso acartonado - elemento composto por um núcleo de gesso natural e aditivos, revestido com duas lâminas de cartão duplex. Constituem o fechamento vertical da face interna dos painéis estruturais e não estruturais que compõe o invólucro da edificação e também, o fechamento das divisórias internas. As chapas de gesso acartonado são vedações leves, pois não possuem função estrutural. A Figura 25 apresenta as placas de gesso acartonado armazenadas (a frente) e instaladas (ao fundo) em estrutura LSF;

*Figura 25 - Placas de gesso acartonado. Fonte: Acervo próprio (2022).*

- Placa OSB (Oriented Strand Board) - material rígido de madeira, estável e resistente a impactos que normalmente são utilizados em fechamentos de painéis ou como base do assoalho de pisos intermediários aos pavimentos. A Figura 26 ilustra o detalhe de uma placa OSB (esquerda) e foto de placas OSB instaladas (direita) em estrutura LSF;

*Figura 26 - Detalhe da Placa OSB (esquerda) e Placas OSB instaladas (direita). Fonte: Acervo próprio (2022).*

- Placa cimentícia - painel prensado e impermeabilizado composto por cimento, celulose, fio sintético e aditivos, utilizada na vedação de paredes internas e externas, revestimento para piso, forros, fachadas, beirais, oitões, shafts, entre outras aplicações. A Figura 27 a seguir ilustra a placa cimentícia sem amianto instalada em estrutura *Light Steel Framing*;

*Figura 27 - Placas cimentícias. Fonte: Acervo próprio (2022).*

- Placa impermeabilizante - se trata de uma placa de gesso "*glass mat*", produzida com aditivos especiais, revestida nas duas faces por véu de vidro e composto polimérico, o que proporciona uma alta resistência à umidade e raios UV e ótima estabilidade dimensional, usualmente aplicada como revestimento externo;
- Material termo acústico - normalmente são utilizadas a lã de rocha, lã de vidro ou lã de PET, sendo esta última, além de mais leve, resistente a umidade, adaptando assim a qualquer ambiente. A Figura 28 apresenta a lã de PET instalada em estrutura LSF.

*Figura 28 - Lã de PET instalada em estrutura LSF. Fonte: Acervo próprio (2022).*

### 6.3.3 Aplicação

O *Light Steel Framing* é indicado para todos os tipos de obra tais como aeroportos, centros poliesportivos, galpões, assim como construções de menores porte como edificações residenciais, edificações para fins comerciais, dentre outras.

As construções em *Light Steel Framing* são muito resistentes, entretanto, em decorrência da leveza dos materiais empregados, existe limitações na altura das edificações, podendo esta metodologia ser mesclada com outros sistemas construtivos.

Apesar da facilidade de execução, o sistema construtivo em LSF exige mão de obra especializada tanto na fase de projeto quanto de execução, para que se alcance o objetivo esperado.

### 6.3.4 Execução

#### 6.3.4.1 Fundação

Os critérios técnicos para a definição da tipologia da fundação seguem a normatização especifica que trata do assunto, devendo esta ser dimensionada por profissional habilitado estando este subsidiado por estudos e prospecções realizados no local da implantação e assim, será elaborado o projeto de fundações. Por se tratar de estrutura leve, a edificação em LSF exige estruturas de fundações menos robustas se comparada a outras construções, sendo usual a do tipo radier.

Um rigoroso controle de qualidade, durante a execução da obra, deve ser dado, principalmente no que diz

respeito ao nivelamento, esquadro e isolamento contra a umidade, sendo esta última prevista e detalhada no projeto.

#### 6.3.4.2 Fixação dos painéis à fundação

A definição do sistema de ancoragem será dada a partir do dimensionamento obtido através do cálculo estrutural tendo esta a função de impedir a movimentação da edificação em decorrência da pressão sofrida por ação dos ventos, principalmente.

Ancoragem química com barra roscada e a expansível com chumbadores mecânicos são as mais utilizadas podendo ser utilizados também, suportes de ancoragem. Nesta etapa é importante promover o isolamento da estrutura metálica das estruturas de fundações para que a primeira não sofra oxidação em decorrência da umidade.

#### 6.3.4.3 Painéis

Seguindo as diretrizes do projeto arquitetônico, o conceito estrutural do sistema LSF, durante a etapa de dimensionamento do projeto, divide a estrutura em painéis modulares onde os carregamentos ficam distribuídos de forma que cada um é projetado para receber uma pequena parcela de carga, o que possibilita a utilização de perfis conformados com chapas finas de aço.

Cada painel é composto por perfis usualmente espaçados de 400 mm a 600 mm em conjunto com elementos estruturais auxiliares que podem ser fitas e placas de contraventamento, assim como linhas de bloqueadores. A Figura 29 ilustra a nomenclatura dos principais elementos dos painéis.

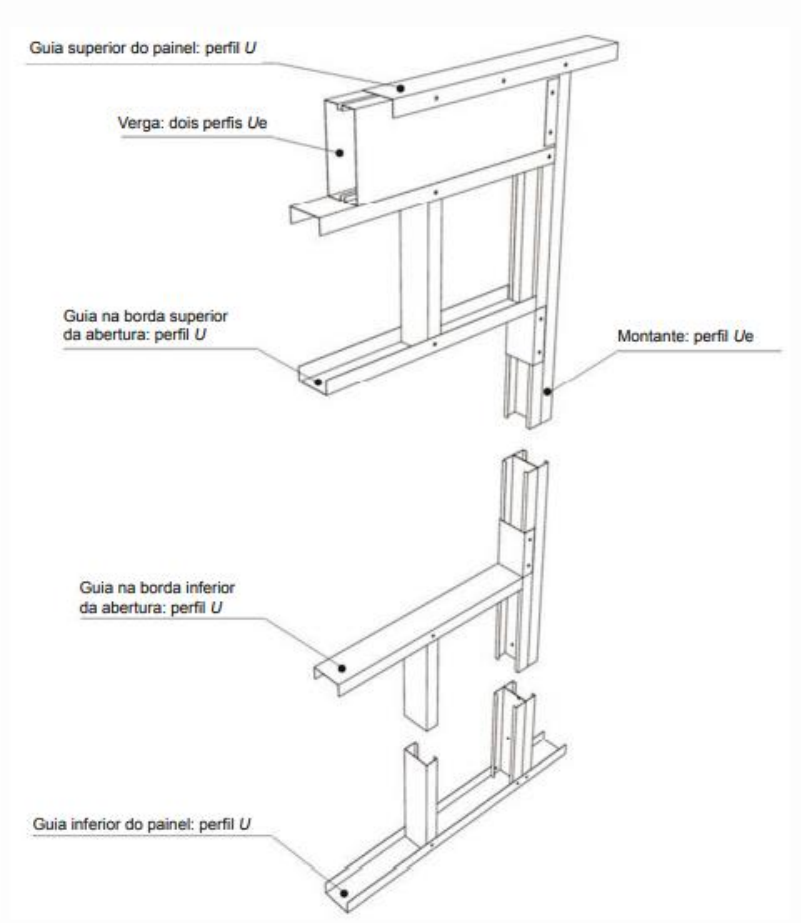



*Figura 29 - Detalhes dos elementos construtivos que compõe os painéis apresentados na NBR 15253. Fonte: ABNT (2014).*

Os perfis podem vir perfurados para a passagem das instalações elétricas e hidráulicas. Os demais subsistemas são instalados posteriormente à montagem da estrutura.

#### 6.3.4.4 Fechamento

Os painéis estruturados, em sua face externa, poderão ser fechados com placas cimentícias, placas OSB ou qualquer outro elemento utilizado para esta finalidade, conforme especificado em projeto. Caso seja utilizada

placas OSB, estas deverão ser protegidas contra a umidade e da água por meio da utilização de uma manta ou membrana não tecido, formando assim uma barreira impermeável. Essa membrana também poderá ser utilizada em placas cimentícias.

Nas faces internas, usualmente são aplicadas as placas de gesso acartonado com dimensões nominais e tolerâncias especificadas por normas técnicas sendo comercializadas com largura de 1,20 m e comprimentos que variam de 1,80 m a 3,60 m, e espessuras de 9,5 mm, 12,5 mm e 15 mm. No mercado nacional estão disponíveis, principalmente, três tipos de placa: a Placa Standard (ST); a Placa Resistente à Umidade (RU); a Placa Resistente ao Fogo (RF).

#### 6.3.4.5 Isolamento térmico e acústico

De acordo com a finalidade e regime de utilização da edificação, com base na Norma de Desempenho, NBR 15575, e diretrizes estabelecidas no projeto; faz-se necessária a utilização de materiais de isolamento térmico e acústico no interior dos painéis, antes do fechamento interno dos mesmos.

Os materiais isolantes internos aos painéis mais utilizados atualmente são as mantas de lã de PET, de lã de vidro ou lã de rocha, que são dimensionadas de acordo com as diretrizes normativas.

No que diz respeito ao ambiente externo, uma barreira impermeável poderá ser utilizada para auxiliar a estanqueidade ao ar e água da edificação e eventualmente proteger outros elementos de umidade e intempéries sendo estes tecidos, não tecidos, emulsões etc. impermeáveis à água, e podem ou não serem permeáveis ao vapor d'água, conforme as necessidades do projeto.

#### 6.3.4.6 Lajes

O mesmo conceito estrutural utilizado no sistema *Light Steel Framing*, onde os carregamentos são divididos entre os perfis verticais são aplicados aos elementos que suportam as lajes e coberturas. Estes elementos (vigas) trabalham bi apoiados e deverão, sempre que possível, transferir as cargas continuamente, ou seja, em elementos de transição, até as fundações. A Figura 30 detalha a nomenclatura dos elementos dos painéis e as vigas de apoio para as lajes.

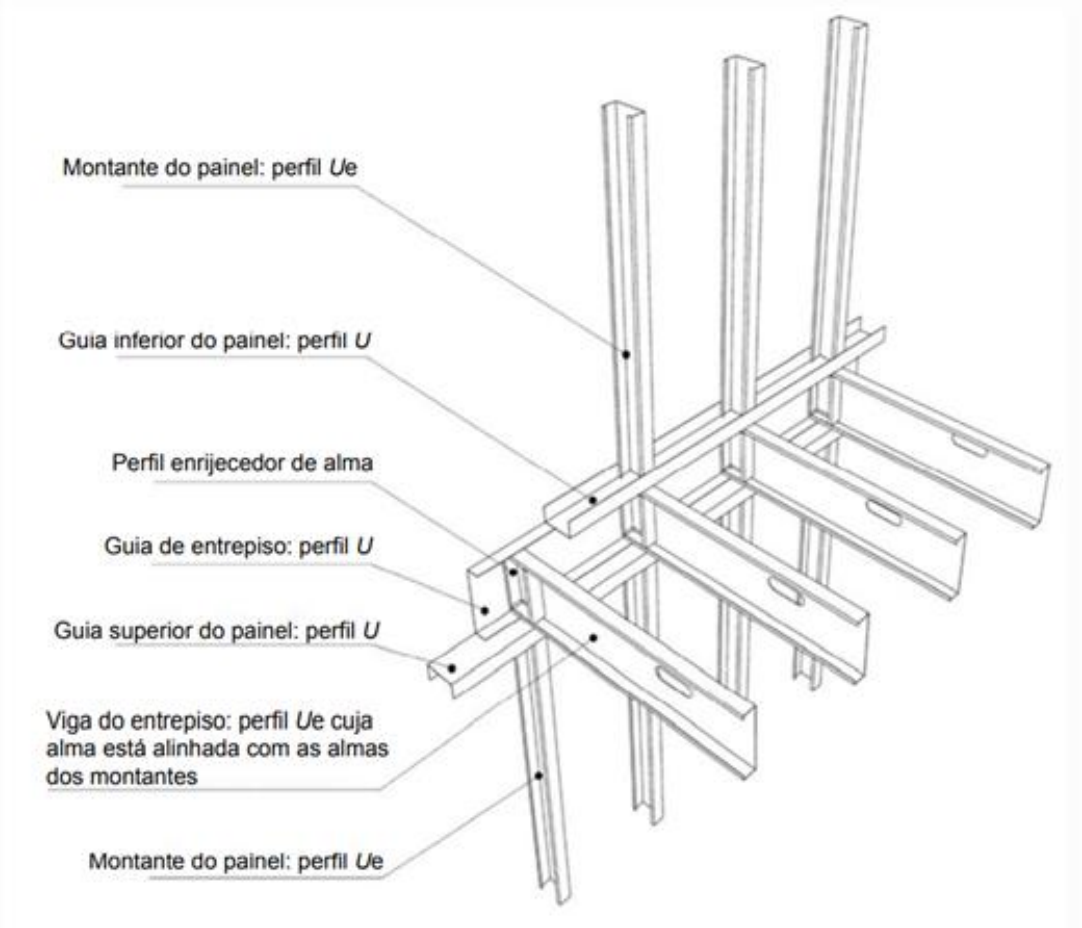



*Figura 30 - Detalhes dos elementos construtivos que compõe os painéis e as vigas de apoio para as lajes apresentados na NBR 15253. Fonte: ABNT (2014).*

#### 6.3.4.7 Cobertura

Os elementos de cobertura em LSF poderão ser dimensionados para suportar qualquer tipo de telha disponível no mercado podendo ser de aço, cerâmica, fibrocimento, shingle, concreto, plásticas etc.; assim como os demais painéis, devendo ser contra ventada e bloqueada para suportar as cargas de vento. Projetando uma cobertura de forma que suas cargas atuem diretamente nos montantes verticais até a fundação, será obtida uma otimização da mesma A Figura 31 ilustra a principal nomenclatura das peças.

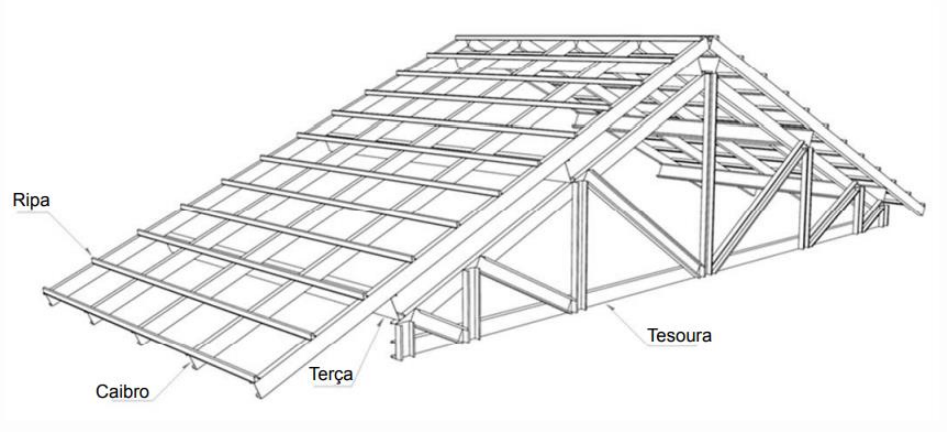



*Figura 31 - Detalhes dos elementos construtivos que compõe a estrutura do telhado apresentados na NBR 15253. Fonte: ABNT (2014).*

#### 6.3.4.8 Vantagens Executivas

As principais vantagens do LSF são:

- Isolamento termo acústico superior;
- Baixo índice de desperdícios e geração de resíduos, com materiais de fácil reciclagem;
- Rapidez na construção pois seus componentes são produzidos em indústria e assim o processo de montagem é mais eficiente;
- Metodologia construtiva de fácil manutenção uma vez que os fechamentos são formados por placas removíveis onde após realizar o procedimento corretivo basta recolocar novamente a placa no local.
- Estrutura de peso reduzido uma vez que perfis de aço galvanizado bem como os materiais usados para os fechamentos são leves e não geram esforços de carga na estrutura;
- Melhor aproveitamento de espaço tendo em vista que o sistema possui estruturas esbeltas, ocupando assim um menor espaço interno já que não são usados pilares, permitindo ao arquiteto/engenheiro projetos mais criativos e funcionais. Também a espessura das paredes internas em *Light Steel Framing* é menor se comparada a paredes de tijolos e blocos;
- É possível obter um orçamento preciso uma vez que as obras neste sistema exigem um projeto executivo mais detalhado e assim, informações mais assertivas.

As edificações construídas no sistema *Light Steel Framing* possuem níveis de geração de resíduos muito baixos, próximos de 1%, e que em se tratando do aço utilizado, possui coeficiente de reciclagem de 100 %.

Por se tratar de um sistema construtivo seco, que não utiliza água na maioria de seus processos e tão pouco na limpeza diária realizadas nos locais de implantação, limpeza de equipamentos, ferramentas, dentre outros, não há desperdício deste recurso.

Ainda falando de produtos recicláveis, os isolantes fabricados de PETs, conhecidos como lã de PET são produzidos a partir da reciclagem de garrafas possuindo alto índice de isolamento sendo estes o mais utilizado nas construções em LSF.

Amplamente utilizados no sistema construtivo LSF, os painéis de madeira prensada OSB (placa orientada de revestimento) são constituídos de madeira de reflorestamento, respeitando a característica sustentável do sistema sendo estas tratadas quimicamente para preservá-la contra o ataque de cupins e mofo. E por fim, em decorrência dos materiais empregados, é alcançado um baixo índice de troca de calor entre os ambientes internos e externos, o que reduz de forma significativa os gastos de energia com os sistemas de climatização

### 6.3.5 Controle

Análise, acompanhamento e intervenções corretivas durante todo o processo de elaboração do projeto e documentação técnica normativa deverão ser implementadas, inclusive durante a execução das obras. É recomendado que seja utilizado relatório de acompanhamento técnico, tanto na etapa de projetos quanto na de fabricação e montagem dos elementos, para que se tenha dados para análise e tomada de decisões, com a participação das áreas envolvidas nos processos.

### 6.3.6 Critérios de Medição e Pagamento

Os levantamentos e medições serão realizados de acordo com as diretrizes definidas no Edital, podendo estarem vinculadas ao avanço físico previsto no cronograma do empreendimento, desde que estes sejam aceitos e aprovados pela FISCALIZAÇÃO do contrato.

## 6.4 REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A. H. M. de [et al.]. *Projeto de estruturas de edificações com perfis tubulares de aço.* Belo Horizonte: Ed. do Autor, 2016.

BELLEI, I. H. *Edifícios industriais em aço: projeto e cálculo* - 5ª ed. São Paulo: Pini, 2006.

BELLEI, I. H.; PINHO, F. O.; Pinho, M. O. *Edifícios de múltiplos andares em aço* - 2ª ed. São Paulo: Pini, 2013.

CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações / ed. Geraldo C. Iasa. v.1. - São Paulo: IBRACON, 2005. 1.600p.

FAKURY, R. H.; SILVA, A. L. R. C.; CALDAS, R. B. *Dimensionamento básico de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto*. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

GNECCO, Celso. Tratamento de superfície e pintura - 2ª ed. Rio de Janeiro: Aço Brasil/CBCA, 2006.

IBRAOP. Instituto Brasileiro de Auditoria de Obras Públicas. PROC IBR EDIF 037/2015 - Verificar a qualidade e a quantidade dos serviços na execução de estruturas de concreto armado. Florianópolis, 2015. 5p.

NBR 6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento.

NBR 8800:2008 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.

NBR 12655:2015 - Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento.

NBR 14762:2010 - Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio - Procedimento.

NBR 16239:2013 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações com perfis tubulares.

NBR 16697:2018 - Cimento Portland - Requisitos.

NR 18:2018 e atualizações - Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção.

PINHO, M. O. Transporte e montagem - Série: Manual de Construção em Aço, Instituto Brasileiro de Siderurgia, Centro Brasileiro da Construção em Aço, Rio de Janeiro, 2005.

SANTOS, A. F. dos. Estruturas Metálicas: Projeto e detalhes para fabricação, São Paulo: McGraw-Hill, 1977.

FREIRE, T. M.; SOUZA, U. E. Classificação dos sistemas de fôrmas para estruturas de concreto armado. São Paulo: EPUSP 2001. 12p. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/296).

SANTIAGO, ALEXANDRE KOKKE. Steel framing: arquitetura / Alexandre Kokke Santiago, Arlene Maria Sarmanho Freitas, Renata Cristina Moraes de Crasto. - Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil/CBCA, 2012.

CRISTIANI, J.E.R. Fôrmas de madeira para concreto armado em edifícios de andares múltiplos. São Paulo: 1995. 107p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.