

Título Manual de Projetos da SANEAGO | 13.03 Projeto de Estrutura Metálica**Objetivo** Manual de Projetos da SANEAGO**Aplicação** SANEAGO**DIRETORIA DE EXPANSÃO (DIEXP)****SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS E PROJETOS (SUESP)****GRUPO 13 – PROJETO ESTRUTURAL, DE FUNDAÇÃO E DE CONTENÇÃO**
MÓDULO 13.03 – PROJETO DE ESTRUTURA METÁLICA**Sumário**

1. Apresentação.....	1
2. Referências Normativas a Consultar.....	1
3. Definições de Projeto Estrutural e Mecânico.....	2
4. Diretrizes para o Projeto de Estruturas Metálicas.....	3
5. Pintura Anticorrosiva.....	4
5.1 Preparo da Superfície.....	5
5.2 Aplicação.....	5
6. Considerações sobre as Ligações e o seu Nível de Detalhamento.....	5
7. Apresentação do Projeto.....	6
7.1 Memorial de Cálculo.....	7
7.2 Desenhos.....	7
7.3 Modelo BIM.....	8
8. Considerações Finais.....	8
9. Controle de Revisões.....	8

1 – APRESENTAÇÃO

Este Módulo, denominado Projeto de Estrutura Metálica, aponta, em termos gerais, os estudos que devem ser realizados, os parâmetros mínimos a serem atendidos, as normas a serem consultadas e o conteúdo indispensável contido nos documentos entregues no âmbito da SANEAGO. Ressalta-se que os estudos, projetos e documentos produzidos não se limitam ao que aqui é apresentado, podendo ser complementados conforme necessário.

2 - REFERÊNCIAS NORMATIVAS A CONSULTAR

As principais referências para os serviços instruídos por este documento estão relacionadas a seguir. Salienta-se que a relação apresentada não exclui a necessidade de consulta e atendimento de outros documentos normativos relacionados e legislação pertinentes.

- ABNT NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios;
- ABNT NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio;
- ABNT NBR 16239: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações com perfis tubulares;
- ABNT NBR 15980: Perfis laminados de aço para uso estrutural – Dimensões e tolerâncias;
- ABNT NBR 6355: Perfis estruturais de aço formados a frio – Padronização;
- ABNT NBR 5884: Perfil I estrutural de aço soldado por arco elétrico – Requisitos gerais;
- ABNT NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações – Procedimento;
- ABNT NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações – Procedimento;
- ABNT NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento;
- ABNT NBR 7348: Pintura industrial – Preparação de superfície de aço com jateamento abrasivo ou hidrojateamento;
- ABNT NBR 11003: Pintura industrial — Determinação da aderência pelos métodos de corte na pintura;
- ABNT NBR 14847: Inspeção de serviços de pintura em superfícies metálicas — Procedimento;
- ABNT NBR 15158: Pintura industrial — Limpeza de superfícies de aço por produtos químicos;
- ABNT NBR 15185: Inspeção visual de superfícies de aço-carbono para pintura industrial;
- 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 and of steel substrates after overall removal of previous coatings*;
- ISO 12944-2: *Paints and varnishes — Corrosion protection of steel structures by protective paint systems — Part 2: Classification of environments*;
- ISO 12944-3: *Paints and varnishes — Corrosion protection of steel structures by protective paint systems — Part 3: Design considerations*;
- Manual de Projetos da SANEAGO;
- Manual de Obras da SANEAGO.

Outras normativas e bibliografias consolidadas podem ser utilizadas desde que submetidas e autorizadas pelo setor de projetos da SANEAGO.

3 - DEFINIÇÕES DE PROJETO ESTRUTURAL E MECÂNICO

Os projetos de estruturas metálicas muitas vezes se confundem com projetos mecânicos e hidromecânicos, devido à presença de estruturas metálicas em ambos.

No âmbito da SANEAGO, os Projetos Mecânicos/Hidromecânicos abrangem conjuntos e subconjuntos de equipamentos complementares das unidades, os sistemas de máquinas de fluxo e térmicas, sistemas de movimentação de carga (guindastes, pontes rolantes, talha e trole de monovias), os elementos de máquinas, as tubulações industriais (espessura de tubulação de aço), e demais assuntos correlatos a estes. Muitos destes componentes são apresentados no próprio Projeto Hidráulico, que, no contexto da SANEAGO, abrange também definições e especificações hidromecânicas.

Desta forma, devem ser dimensionadas e apresentadas no volume de Projetos Estruturais as seguintes estruturas metálicas:

- Travessias aéreas;
- Vigas de rolamento de monovias (e seus pórticos de apoio – quando aplicável);
- Coberturas, incluindo as estruturas metálicas de apoio de telhas;
- Galpões;
- Edificações;
- Pilaretes de apoio de tubulações;
- Demais estruturas metálicas.

Considerando o exemplo de um guindaste, a especificação técnica do equipamento deve ser entregue no Projeto Hidráulico/Hidromecânico, não necessitando de detalhamento no Projeto Estrutural. No entanto, a base de concreto que servirá de apoio para este equipamento deve ser dimensionada no Projeto Estrutural.

Já considerando o exemplo de uma monovia, a especificação técnica do equipamento da talha e trole deve ser entregue no Projeto Hidráulico/Hidromecânico. Devem ser apresentados e dimensionados no Projeto Estrutural os detalhes da viga metálica de rolamento, seus pórticos de apoio (quando houver), suas fixações na estrutura e/ou base de concreto, bem como a estrutura de concreto na qual será fixada.

Ressalta-se que não é permitido o uso de edificações metálicas para unidades que estão expostas a maiores riscos de deterioração por corrosão, por exemplo estações elevatórias de esgoto (entende-se por edificações metálicas estruturas térreas ou com mais de um pavimento, formadas por pórticos de vigas e pilares metálicos).

4 - DIRETRIZES PARA O PROJETO DE ESTRUTURAS METÁLICAS

Diferentemente das estruturas de concreto armado, cujos parâmetros relacionados à sua produção e ao seu dimensionamento variam em função da agressividade do meio, os elementos estruturais das estruturas metálicas são formadas por barras confeccionadas previamente na indústria, que podem ser de perfil laminado, dobrado (formado a frio) ou soldado, compondo seções transversais com dimensões comerciais e tipos de aço padronizados e normatizados (conforme NBR 15980, NBR 6355 e NBR 5884, respectivamente). Desse modo, cabe ao calculista escolher inicialmente quais os tipos de seções transversais ele irá utilizar no projeto, visando ao melhor aproveitamento da capacidade resistente que cada seção possui em adequação ao esforço solicitante preponderante no elemento estrutural em que será aplicada.

Em seguida, o calculista escolhe o tipo de perfil que será adotado, visto que o dimensionamento das barras em perfil laminado e soldado é regido pela NBR 8800 (havendo ainda procedimentos complementares específicos para perfis tubulares na NBR 16239), enquanto que o dimensionamento das barras em perfil formado a frio é regido pela NBR 14762. Ambas as normas adotam o método dos estados limites como critério de projeto, mas os modos de falha e as suas equações de esforços resistentes são diferentes, de modo que é terminantemente proibido o uso de uma norma para dimensionar perfis aos quais ela não corresponde.

Também cabe ao calculista conhecer não apenas os aços estruturais e as suas propriedades mecânicas, mas também para quais tipos de perfis e geometrias de seções transversais eles são aplicados. Esse conhecimento impede que o calculista faça o seu projeto considerando perfis com tipos de aço que não são encontrados no mercado. Os catálogos dos fabricantes trazem essas informações. Quando os catálogos informam a possibilidade de fornecimento daquele tipo específico de perfil em mais de um tipo de aço estrutural, é preferível que o calculista utilize aquele de menor resistência ao escoamento e à tração, tendo em vista a economicidade do projeto e, em caso de a disponibilidade regional desse perfil ser apenas no aço de maior resistência, a possibilidade de fazer essa troca sem a necessidade de revisão do projeto. Essa mesma recomendação se aplica para a escolha dos tipos de aço das chapas, parafusos e soldas adotados no projeto das ligações.

Em relação aos carregamentos a serem considerados, além das prescrições da NBR 6120 e da NBR 6123, devem ser seguidas as considerações específicas apresentadas no Anexo B da NBR 8800. Destacam-se as seguintes indicações:

- Em coberturas, as cargas permanentes relativas a telhas, telhados, forros, dutos e sprinkler podem ser adotadas conforme as Tabelas 5, 6 e 8 da NBR 6120 ou especificações de catálogos de fabricantes. Já a sobrecarga deve atender aos requisitos da Seção B.5 da NBR 8800 e da Tabela 10 da NBR 6120. Também devem ser consideradas as disposições adicionais da Seção 6.4 e do Anexo D da NBR 6120, que tratam sobre cargas variáveis em função da inclinação da cobertura e requisitos contra o fenômeno do empoçamento progressivo. Quanto à carga de vento, devem ser seguidas as indicações específicas da NBR 6123 em função da geometria da cobertura (formato, número de águas, etc.), em especial para os casos de coberturas isoladas conforme a Seção 7.2. As terças de cobertura, por apresentarem carregamentos inclinados em relação aos seus eixos principais de inércia, devem ser dimensionadas considerando flexão oblíqua, e devem ainda atender à indicação sobre ações concentradas conforme a Seção B.2 da NBR 8800.
- Em travessias aéreas, o peso dos tubos de aço cheios d'água podem ser adotados conforme catálogo de fabricantes. Além disso, deve ser considerada uma sobrecarga referente à manutenção. A carga de vento deve ser aplicada tanto nas barras da treliça, conforme as disposições das Seções 8.3 e 8.4 da NBR 6123, quanto na própria tubulação, conforme as disposições da Seção 6.2.2 (Tabela 14) da NBR 6123.
- Em vigas de rolamento de monovias, em decorrência do carregamento móvel, o dimensionamento deve ser feito de acordo com as envoltórias de esforços solicitantes para as barras e de reações para as fixações. Além disso, devem ser considerados os fatores de majoração de esforços e os carregamentos horizontais transversal e longitudinal referentes ao impacto e aos efeitos da movimentação da carga, conforme aplicação por analogia das Seções B.4.4 e B.7 da NBR 8800 e do Anexo C da NBR 6120, que tratam sobre pontes rolantes.

5 - PINTURA ANTICORROSIVA

As superfícies de aço devem receber pintura de proteção anticorrosiva e de acabamento, adequada às condições de operação, considerando grau de corrosividade C4-H da norma ISO 12944-2. Os materiais devem vir com pintura de fábrica e reserva de tinta para retoque caso necessário na montagem em campo.

5.1 - Preparo da Superfície

Antes do preparo da superfície, deve ser feita inspeção visual conforme as normas NBR 14847 e NBR 15185. Identificar os pontos que apresentam vestígios de óleo, graxa, gordura, outros contaminantes e danos no revestimento, assim como o grau de corrosão em que se encontra a superfície (A, B, C, ou D, de acordo com a ISO 8501-1). A remoção dos contaminantes deve ser efetuada pelo processo de limpeza por ação físico-química, segundo a NBR 15158.

As superfícies de aço devem ser tratadas utilizando jato abrasivo, com procedimento conforme a NBR 7348. O abrasivo deve ser composto de uma mistura de granalhas de aço esférica e angular (shot e grit), com tamanho e proporção compatíveis para a obtenção de um perfil de rugosidade entre 50 e 75 micrômetros. O grau de acabamento mínimo das superfícies deve ser Sa 2½, segundo as normas ISO 8501-1 e NBR 7348.

Todas as quinas e arestas vivas devem ser devidamente chanfradas ou arredondadas de acordo com a Figura D.5 da norma ISO 12944-3.

5.2 - Aplicação

Deve ser aplicado esquema de pintura conforme descrito a seguir:

- Tinta de fundo: deve ser aplicada uma demão de tinta bicomponente de base epóxi com alta espessura e teor de sólidos, curada com poliamina, com espessura de película seca mínima de 180 micrômetros.
- Tinta de acabamento: deve ser aplicada uma demão de tinta de poliuretano acrílico alifático, de altos sólidos por volume, com espessura de película seca mínima de 60 micrômetros.
- Espessura de película seca mínima total de 240 micrômetros.

A verificação da aderência deve ser realizada conforme a NBR 11003.

Outro esquema de pintura pode ser aceito, desde que seja aprovado pela SANEAGO.

Para aplicações de menor impacto corrosivo (unidades administrativas), é permitido um esquema de pintura anticorrosiva mais simples (tintas alquídicas/esmalte sintético).

6 - CONSIDERAÇÕES SOBRE AS LIGAÇÕES E O SEU NÍVEL DE DETALHAMENTO

O projeto básico de estrutura metálica deve apresentar as verificações de dimensionamento e os desenhos de detalhes das ligações principais da estrutura. Entende-se por ligações principais aquelas entre os elementos estruturais mais robustos, que participam efetivamente da transmissão de carregamentos (pilares, vigas principais, vigas secundárias, tesouras, contraventamentos verticais, etc.) e cujos esforços solicitantes nos vínculos das extremidades são tão consideráveis que exigem o dimensionamento específico. Já as ligações secundárias são aquelas entre os elementos estruturais que participam de sistemas complementares de caráter mais construtivo e estabilizante do que propriamente estrutural (travamentos, contenções laterais, alinhamentos, contraventamentos horizontais, etc) e, portanto, apresentam esforços solicitantes tão pouco significantes que dispensam as verificações de resistência dos elementos e dispositivos de ligação. Por exemplo, as ligações entre vigas de cobertura e pilares e as ligações entre banzos, diagonais e montantes de treliças com ou sem chapa de Gusset são ligações principais, enquanto que as ligações entre terças de cobertura e as vigas nas quais se apoiam, os tirantes rígidos e os frechais são ligações secundárias.

As ligações principais não devem ser caracterizadas por indicações genéricas baseadas na experiência do calculista – como, por exemplo, indicação da espessura da chapa igual ou superior à espessura do perfil metálico ou outra relação empírica similar – e muito menos ter a sua especificação deixada livremente a cargo do fabricante. As ligações secundárias, por sua vez, normalmente possuem padronização em manuais práticos de grandes fornecedores do mercado, em bibliografia técnica ou nos procedimentos internos de fabricação das metalúrgicas. Nesses casos em que a especificação das ligações não é feita pelo calculista, cabe a ele, no mínimo, a informação das vinculações de extremidade adotadas no modelo estrutural, a fim de impedir que haja transferência de esforços em desacordo com a situação de projeto.

As ligações de apoio da estrutura metálica na fundação ou de sua fixação em estrutura de concreto armado por meio de chumbadores (mecânicos ou químicos, pré ou pós-instalados) são sempre ligações

principais. O seu dimensionamento deve levar em consideração todos os modos de falha possíveis, inclusive aqueles referentes ao colapso do substrato de concreto, podendo ser previstas armaduras adicionais para a finalidade de combatê-los. Essa interface deve ser analisada em compatibilidade com o detalhamento da estrutura de concreto. No caso de chumbadores químicos, estes devem ser especificados conforme os catálogos técnicos dos seus fabricantes, e podem ser utilizados os softwares de cálculo que os mesmos disponibilizam.

Especificamente no caso das ligações de apoio de travessias ou estruturas análogas, a sua concepção deve impedir a transferência de forças horizontais e momentos fletores aos elementos de apoio. Nesse sentido, o seu detalhamento deve considerar, nas duas extremidades, chumbadores alinhados perpendicularmente ao eixo da travessia, e, em uma das extremidades, furos oblongos e apoio elastomérico.

O dimensionamento (verificação das chapas, parafusos e soldas) das ligações deve atender ao disposto na Seção 6 da NBR 8800 e na Seção 10 da NBR 14762. Além dos critérios de cálculo, como o esforço solicitante mínimo, também devem ser observadas as restrições e os critérios construtivos, como a espessura mínima da solda em função da espessura do metal base e a distância mínima entre furos e entre furo e borda de chapas e perfis. Para as ligações principais mais comuns, o dimensionamento pode ser feito de forma analítica, através das equações normativas e da bibliografia de referência para cada modo de falha possível, normalmente auxiliado por planilha de cálculo ou rotinas componentes do mesmo software de cálculo do modelo estrutural global. Ligações mais complexas, com muitas barras chegando no mesmo nó ou com configurações diferentes das preconcebidas disponíveis nos softwares comuns exigem o dimensionamento em softwares específicos de análise pelo método dos elementos finitos com verificação de tensões e deformações equivalentes.

As ligações devem ser preferencialmente parafusadas para evitar soldas de campo, que normalmente são executadas com rigor e qualidade muito inferiores ao que se consegue no ambiente de condições controladas da fábrica, além de estragarem a pintura em pontos sensíveis, exigindo reparos in loco igualmente de baixa qualidade. No projeto, além das conexões entre elementos estruturais, devem ser concebidas as ligações para atender a possíveis necessidades relacionadas ao transporte e à montagem, como as ligações de emenda decorrentes das limitações de comprimento das barras e dos veículos de transporte. A configuração das ligações deve levar em consideração aspectos relacionados à facilidade de montagem, limpeza e manutenção, bem como ao impedimento do acúmulo de umidade e impurezas.

7 - APRESENTAÇÃO DO PROJETO

Em geral, devem ser apresentados os arquivos listados no **Módulo 01.02 – Diretrizes Gerais** e nos padrões conforme o **Módulo 01.03 – Formatação dos Documentos**, que devem conter no mínimo as informações descritas nesta seção.

7.1 - Memorial de Cálculo

Memorial de Cálculo
Formatação do documento conforme o modelo padrão SANEAGO, incluindo codificação de documentos.
Normas técnicas (indicar a versão utilizada) e bibliografia de referência;
Número da ART relativa ao projeto;
Especificação dos softwares e/ou planilhas utilizadas para dimensionamento e detalhamento;
Especificação do projeto de referência (hidráulico, arquitetônico, etc);
Memorial descritivo das estruturas apresentadas, incluindo os tipos de perfis (laminado, formado a frio ou soldado) utilizados nos elementos estruturais;

Memorial de Cálculo
Características dos materiais: Tipo de aço estrutural (incluindo resistência ao escoamento e à ruptura) para perfis, chapas, parafusos e soldas.
Ações/carregamentos considerados: - Listagem dos tipos e valores das ações; - Listagem das situações temporárias e permanentes de carregamento; - Para ações devido a materiais e equipamentos específicos, referenciar o respectivo catálogo do fabricante.
Combinações de ações consideradas;
Especificação da geometria dos elementos que compõem a estrutura dimensionada (comprimento, altura, largura, espessura, etc);
Modelo estrutural adotado (vinculações, modelo de discretização dos elementos, etc);
Apresentação dos esforços solicitantes para as situações de ELU e ELS definidas;
Verificação em ELU dos perfis para todos os modos de falha aplicáveis;
Verificação em ELS do deslocamento máximo dos elementos;
Extração da planta de cargas da superestrutura (para posterior dimensionamento dos elementos de apoio).

7.2 – Desenhos

Desenhos
Formatação dos desenhos conforme o modelo padrão SANEAGO, incluindo carimbo e codificação de documentos.
Planta de locação;
Tabela de carga dos apoios, com combinações críticas (forças e momentos máximos e mínimos para as três direções);
Planta para todos os níveis;
Cortes ou vistas que se fizerem necessários;
Nomenclatura de todos os elementos estruturais;
Detalhe das ligações principais;
Notas: - Características dos materiais; - Unidades adotadas para as cotas, níveis, esforços, etc; - Projetos de referência; - Especificação de pintura; - Execução.
Quantitativos: - Peso de perfis listados por bitola; - Peso de chapas listados por espessura; - Área de pintura; - Listas de parafusos, chumbadores, porcas, arruelas, soldas; - Volume de graute para nivelamento.

7.3 - Modelo BIM

Modelo BIM
Modelo BIM georreferenciado e paramétrico, elaborado conforme os módulos do Grupo 02 – Projetos em BIM .

8 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este documento integra o Manual de Projetos e é de titularidade exclusiva da SANEAGO para elaboração de projetos internos e externos. Este Módulo poderá ser alterado, suspenso ou cancelado a critério

exclusivo da Superintendência de Estudos e Projetos, sendo qualquer atualização publicada no *site* da companhia. É de responsabilidade do usuário a utilização da última versão publicada. Sugestões e comentários devem ser enviados ao e-mail manualdeprojetos@saneago.com.br.

9 - CONTROLE DE REVISÕES

REVISÃO	DATA	HISTÓRICO
00	07/2024	Emissão inicial - E-GBP

APROVAÇÃO

Este documento normativo foi aprovado conforme as diretrizes da Política de Alçadas e Limites da Saneago – PL00.0125.



Documento assinado eletronicamente por BRUNO BARBOSA CAZORLA, SUPERINTENDENTE na SUPERIN. DE ESTUDOS E PROJETOS - SUESP, em 12/07/2024 08:34:52, horário oficial de Brasília, conforme Art. 2º, § 2º, III, “b”, da Lei Estadual nº 17.039/2010 e Art. 4º, II da Lei Federal nº 14.063/2020.