



Universidade Federal  
de Campina Grande

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIAS E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL

RONALDO IGOR MAMEDE DE SOUSA

**Universidade Federal de Campina Grande-UFCG**

ESTUDO DO USO DE ESTRUTURAS METÁLICAS NA  
CONSTRUÇÃO CIVIL EM CAMPINA GRANDE

Campina Grande  
2018

RONALDO IGOR MAMEDE DE SOUSA

## **Universidade Federal de Campina Grande-UFCG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal de Campina Grande como  
requisito para obtenção do grau de bacharel em  
Engenharia Civil.

Área de habilitação: Estruturas.

Orientador: Prof. Macel Wallace Queiroz Fernandes.

Ronaldo Igor Mamede de Sousa

**Universidade Federal de Campina Grande – UFCG**

Trabalho aprovado. Campina Grande, DATA DA APROVAÇÃO:

---

**Nome do Orientador**  
Orientador

---

**Professor**  
Convidado 1

---

**Professor**  
Convidado 2

Campina Grande  
2018

## **DEDICATÓRIA**

Por terem cuidado de mim da melhor forma desde meu primeiro dia de vida. Por terem ido deitar só depois de terem dado o seu melhor durante o dia. Por todos os sacrifícios que já fizeram e que irão fazer por mim e meus irmãos para que sejamos felizes e realizados. Dedico este trabalho aos meus pais, meus maiores ídolos e exemplos de fé em Deus, persistência e dedicação.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Pai celestial que sempre me deu a base e a fé para continuar seguindo e vencendo cada desafio ao longo da caminhada rumo à concretização dos meus sonhos. Obrigado, Deus!

A minha família, por sempre me passar confiança e a certeza de que no final tudo dar certo. Me dando forças e apoio nas decisões tomadas em prol de meu estudo e trabalho.

Especialmente aos meus pais, por me permitirem, me dando condições morais e financeiras, continuar estudando à fim de realizar o meu sonho de criança de ser Engenheiro Civil.

Aos meus amigos, mais que irmãos nos momentos difíceis, permanentemente sendo ombro amigo me impulsionando e incentivando, vislumbrando só o melhor para mim.

“A lei da mente é implacável. O que você pensa, você cria; O que você sente, você atrai; O que você acredita, torna-se realidade.”

**Buda**

## RESUMO

O aço para construção civil pode ser disponibilizado de diversas maneiras pelas indústrias siderúrgicas. Entre as formas mais comuns estão as chapas finas, as chapas grossas, os perfis laminados, os tubos, cabos e as barras (vergalhões) de aço. Essas formas podem ser combinadas das mais diversas maneiras, formando estruturas metálicas. O uso de estruturas metálicas permitiu uma flexibilidade muito maior nos projetos tanto para arquitetos quanto para os engenheiros. As estruturas metálicas permitem a concepção de projetos com formas mais fluidas e com curvas, que aparentemente não seriam possíveis de serem construídas. Enquanto nas estruturas convencionais a precisão é medida em centímetros, numa estrutura de aço a unidade empregada é o milímetro. Isso garante uma estrutura perfeitamente aprumada e nivelada, facilitando atividades como o assentamento de esquadrias e a instalação de elevadores, com redução no custo dos materiais de revestimento. O sistema construtivo em aço é perfeitamente compatível com qualquer tipo de material de fechamento, tanto vertical como horizontal, admitindo desde os mais convencionais (tijolos e blocos, lajes moldadas “*in loco*”) até componentes pré-fabricados (lajes e painéis de concreto, painéis “dry-wall, etc.). Como a estrutura em aço é totalmente pré-fabricada, há uma melhor organização do canteiro devido à ausência de grandes depósitos de areia, brita, cimento, madeiras e ferragens, reduzindo também o inevitável desperdício desses materiais. O ambiente limpo com menor geração de entulho oferece ainda melhores condições de segurança ao trabalhador, contribuindo para a redução dos acidentes na obra. Em construções onde se necessita um retorno rápido do investimento, como hotéis por exemplo, a velocidade da construção é bem maior do que quando realizado com concreto e por consequência o retorno financeiro também. Embora a utilização de peças metálicas proporcione velocidade na construção, se faz necessária a utilização de uma equipe técnica qualificada, pois caso hajam erros na execução, peças podem ficar perdidas ocasionando um custo consideravelmente maior. Diante de todos esses aspectos, este trabalho objetiva fazer um estudo, incluindo vantagens e desvantagens em obras de estrutura de aço, discutindo as normas técnicas vigentes e comparando a estrutura de aço com outros sistemas construtivos considerando diversos parâmetros, entre eles a economia, segurança e rapidez na execução da obra.

**Palavras-chave:** estruturas metálicas, equipe técnica, retorno financeiro.

## ABSTRACT

Steel for civil construction can be made available in several ways by the steel industry. Among the most common forms are thin sheets, thick plates, rolled profiles, pipes, cables and steel bars (rebar). These shapes can be combined in a variety of ways, making metal structures up. The use of metal structures allowed much greater flexibility in designs for both architects and engineers. The metal structures allow the design of projects with more fluid forms and with curves, that apparently would not be possible to be constructed. While in conventional structures precision is measured in centimeters, in a steel frame the unit used is millimeter. This ensures a perfectly upright and level structure, facilitating activities such as framing and elevators, with a reduction in the cost of coating materials. The steel construction system is perfectly compatible with any type of closing material, both vertical and horizontal, from the most conventional (bricks and blocks, in-situ molded slabs) to prefabricated components (slabs and concrete panels, Dry-wall panels, etc.). As the steel structure is completely prefabricated, there is better organization of the site due to the absence of large deposits of sand, gravel, cement, wood and iron, and also the inevitable waste of these materials. The clean environment with less generation of rubbish offers still better conditions of safety to the worker, contributing to the reduction of the accidents in the site. In buildings where there is a need for a quick return on investment, such as hotels, the speed of construction is much higher than when done with concrete and therefore the financial return as well. Although the use of metal parts provides speed in construction, it is necessary to use a qualified technical team, for the reason that in case of errors in the execution, parts can be lost causing a considerably higher cost. In view of all these aspects, this work aims to make a studying about vantages and disadvantages in a steel structural buiding , discussing current technical standards and comparing the steel structure with other construction systems considering several parameters, among them the economy, safety and speed in the execution of the work.

**Key words:** metallic structures, technical team, financial return.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Fluxo simplificado da produção de aço.....	15
Figura 2-	Diagrama de tensão e deformação de um aço.....	17
Figura 3-	Seções comuns de perfis laminados.....	21
Figura 4-	Perfis soldados.....	22
Figura 5-	Perfis conformados à frio.....	22
Figura 6-	Parafuso.....	23
Figura 7-	Tipos de soldas.....	24
Figura 8-	Conexão soldada rígida da viga na aba do pilar.....	24
Figura 9-	Conexão parafusada rígida da viga na alma.....	24
Figura 10-	Conexões parafusadas flexíveis da viga na aba do pilar.....	25
Figura 11-	Conexões parafusadas flexíveis pelas almas das vigas.....	25
Figura 12-	Pórtico deformável e indeformável.....	27
Figura 13-	Conector-sistema de viga mista.....	33
Figura 14-	Contraventamento.....	34
Figura 15-	Rodserv Star.....	34
Figura 16-	Cobertura e detalhes da catedral da bênção-Brasília.....	35
Figura 17-	Confecção da viga castelada.....	35
Figura 18-	Processo de corrosão.....	38
Figura 19-	Corrosão galvânica.....	38
Figura 20-	Detalhes da estrutura de aço para prevenção da corrosão.....	40
Figura 21-	Detalhes da estrutura de aço para prevenção da corrosão.....	40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Série Galvânica.....	39
--------------------------------	----

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1.	Justificativa.....	14
1.2.	Objetivos.....	15
1.2.1.	Objetivo Geral.....	15
1.2.2.	Objetivos específicos.....	15
2.	Revisão Bibliográfica.....	16
<b>2.1.</b>	<b>PRODUÇÃO DE AÇO.....</b>	<b>16</b>
2.1.1.	Preparação de Carga.....	16
2.1.2.	Alto-forno.....	17
2.1.3.	Refino: ferro-gusa.....	17
2.1.4.	Lingote.....	17
2.1.5.	Laminação.....	17
<b>2.2.</b>	<b>PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO.....</b>	<b>18</b>
2.2.1.	Limite de escoamento e limite de resistência.....	18
2.2.2.	Elasticidade.....	18
2.2.3.	Plasticidade.....	18
2.2.4.	Ductilidade.....	19
2.2.5.	Tenacidade.....	20
2.2.6.	Fragilidade.....	20
2.2.7.	Resiliência.....	20
2.2.8.	Dureza.....	20
2.2.9.	Fadiga.....	20
<b>2.3.</b>	<b>TIPOS DE AÇOS ESTRUTURAIS.....</b>	<b>21</b>
2.3.1.	Aços-carbono.....	21
2.3.2.	Aços com baixa liga sem tratamento térmico.....	21
2.3.3.	Aços de alta resistência e baixa liga com tratamento térmico.....	21
2.3.4.	Aços sem qualificação estrutural.....	22
<b>2.4.</b>	<b>PERFIS METÁLICOS.....</b>	<b>23</b>
<b>2.5.</b>	<b>CONEXÕES METÁLICAS.....</b>	<b>24</b>
2.5.1.	Conexões parafusadas.....	24
2.5.2.	Conexões soldadas.....	25
2.5.3.	Conexões flexíveis e rígidas.....	25
<b>2.6.</b>	<b>SISTEMAS ESTRUTURAIS METÁLICOS.....</b>	<b>27</b>
2.6.1.	Pilares.....	27
2.6.1.1.	Flambagem.....	27
2.6.2.	Vigas.....	28
2.6.3.	Pórticos deformáveis e indeformáveis.....	29
<b>2.7.</b>	<b>CARGAS SOLICITANTES EM EDIFÍCIOS.....</b>	<b>30</b>
2.7.1.	Cargas permanentes.....	30
2.7.2.	Cargas acidentais.....	30
2.7.3.	Cargas devido ao vento.....	30
<b>2.8.</b>	<b>O PROCESSO DE PROJETO A PARTIR DO USO DA ESTRUTURA DE AÇO.....</b>	<b>31</b>
<b>2.9.</b>	<b>PARÂMETROS TÉCNICOS DA ESTRUTURA DE AÇO QUE INTERFEREM NO PROJETO ARQUITETÔNICO.....</b>	<b>34</b>

2.10.	<b>PREVENÇÃO DE PATOLOGIAS DA ESTRUTURA DE AÇO NO PROJETO ARQUITETÔNICO.....</b>	37
2.11.	<b>CORROSÃO.....</b>	38
2.12.	<b>PROTEÇÃO CONTRA ALTAS TEMPERATURAS.....</b>	44
2.13.	<b>PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO.....</b>	46
3.	<b>METODOLOGIA.....</b>	48
4.	<b>ANÁLISE E DISCUSSÕES.....</b>	52
5.	<b>CONCLUSÃO.....</b>	54
6.	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	55
7.	<b>ANEXOS.....</b>	58

## 1.INTRODUÇÃO

Devido as diversas vantagens das estruturas de aço como aumento da resistência, diminuição do peso da estrutura, maiores vãos, perfis estruturais mais esbeltos e maior área útil, esse método construtivo está se tornando cada vez mais presente em nosso país.

O aço, com suas características inerentes, permitiu um grande avanço em soluções de engenharia e arquitetura além de propiciar inúmeras vantagens como elemento de construção em relação ao concreto. A maior resistência do aço permite a realização de um projeto mais leve, impactando em uma ampla redução nos custos com fundações.

A confecção imediata de várias lajes de forma contínua, a dispensa de escoramentos e o pouco manuseio de materiais diversos reduzem a área do canteiro de obras, proporcionando um ambiente limpo, com baixa geração de entulho, evitando gastos associados à sua remoção e transtornos nas vias urbanas. Tais condições do canteiro proporcionam, também, melhores condições de segurança ao trabalhador.

A diminuição do tempo de construção envolve inúmeros fatores, como a confecção da estrutura, a redução do escoramento, a dispensa do uso de formas e a possibilidade de iniciar um maior número de frentes de serviços. Além disso, a construção em estrutura metálica não é afetada por condições climáticas, como a ocorrência de chuvas.

A estrutura metálica permite a construção de pilares com uma seção menor, de vigas com menor altura e maiores vãos livres (reduzindo o número de pilares), conseqüentemente aumentando o espaço útil da construção. O maior grau de industrialização da estrutura metálica proporciona um resultado perfeito no alinhamento da construção e oferece também a garantia dos materiais serem testados previamente, permitindo um alto grau de segurança na sua utilização.

Diversos fatores podem determinar o fim da vida útil de uma edificação, podendo ser citados a necessidade de modificação de áreas internas, falta de espaço, necessidade da instalação de novos equipamentos, aumento de carga e a reconfiguração de espaços e serviços. As construções em estrutura metálica são mais facilmente adaptáveis do que as em concreto, devido a facilidade com que os membros em aço podem ser ajustados, reparados e reutilizados. Acrescenta-se a isto, a facilidade de ligações aço/aço e aço/concreto e a possibilidade de utilização de uma ampla gama de produtos no fechamento, cobertura e acabamento da obra.

Além das vantagens citadas, outras características próprias da estrutura metálica contribuem para sua competitividade econômica frente ao concreto, principalmente se aliadas a um projeto adequado. Entre essas características está a precisão de medidas, possibilitando economia significativa na mão-de-obra e argamassa de regularização, a menor necessidade de madeiramento, retorno mais rápido do investimento e menor necessidade de mão-de-obra.

A escolha do aço apropriado pode proporcionar uma maior vida útil para a edificação e minimizar operações de manutenção e limpeza, reduzindo assim os custos de conservação da obra.

Desta forma, este trabalho busca fazer um estudo, incluindo vantagens e desvantagens em edifícios em estrutura metálica de uma forma geral, objetivando, elencar os principais pontos a serem considerados para se fazer uma escolha coerente em relação ao sistema construtivo a ser usado na construção de uma edificação.

## **1.1.JUSTIFICATIVA**

A arquitetura em aço sempre esteve associada à ideia de modernidade, inovação e vanguarda, traduzida em obras de grande expressão arquitetônica e que invariavelmente traziam o aço aparente. No entanto, as vantagens na utilização de sistemas construtivos em aço vão muito além da linguagem estética de expressão marcante; redução do tempo de construção, racionalização no uso de materiais e mão de obra e aumento da produtividade, passaram a ser fatores chave para o sucesso de qualquer empreendimento.

Em virtude do grande crescimento na utilização de estruturas metálicas em edificações na construção civil. Este estudo justifica-se pela relevância de uma escolha coerente e mais econômica afim de obter um melhor custo-benefício na escolha da estrutura seja ela metálica ou outros sistemas construtivos.

## **1.2.OBJETIVOS**

### **1.2.1.OBJETIVO GERAL**

Realizar um estudo sobre o uso de estruturas metálicas direcionado a edifícios localizados na cidade de Campina Grande-PB, de acordo com as normas técnicas e considerando alguns parâmetros como economia no orçamento, segurança, rapidez na execução da obra, entre outros.

### **1.2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Aplicar questionário em obras de estrutura metálica localizados na cidade de Campina Grande-PB para auxiliar no direcionamento da pesquisa;
- Analisar das vantagens e desvantagens das estruturas metálicas;
- Fazer um levantamento das reais motivações para a utilização de estruturas metálicas na construção civil;



## **2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. O AÇO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Desde o século XVIII, quando se iniciou a utilização de estruturas metálicas na construção civil até os dias atuais, o aço tem possibilitado aos arquitetos, engenheiros e construtores, soluções arrojadas, eficientes e de alta qualidade. Das primeiras obras - como a Ponte Ironbridge na Inglaterra, de 1779 - aos ultramodernos edifícios que se multiplicaram pelas grandes cidades, a arquitetura em aço sempre esteve associada à idéia de modernidade, inovação e vanguarda, traduzida em obras de grande expressão arquitetônica e que invariavelmente traziam o aço aparente.

Essas características que transformaram a construção civil no maior mercado para os produtores de aço no exterior, começam agora a serem percebidas por aqui. De acordo com o Centro Brasileiro de Construção em Aço (CBCA), a construção em aço representa atualmente cerca de 14% do universo do setor de edificações. De acordo com o Instituto Aço Brasil, o consumo de aço para estruturas metálicas voltadas para a construção cresceu 6,4% entre 2013 e 2012. Em 2013, o setor dos fabricantes de estruturas de aço empregou aproximadamente 31 mil trabalhadores e faturou cerca de R\$ 9 bilhões. No período de 12 meses, houve um crescimento de 1,4% da capacidade produtiva destas empresas em relação a 2012. O nível de utilização dessa capacidade ficou em 73%. Os dados são da pesquisa Perfil dos Fabricantes de Estruturas de Aço – 2014, realizada pelo CBCA – Centro Brasileiro da Construção em Aço em parceria com a ABCEM – Associação Brasileira da Construção Metálica, abrangendo um universo de 166 empresas participantes.

### **2.2.PRODUÇÃO DE AÇO**

#### **2.2.1Preparação da carga**

A carga é levada por caçambas e introduzida na parte superior do alto-forno e é composta fundamentalmente por: minério de ferro, carvão coque (queima produzindo o calor necessário ao funcionamento do forno, e produz também o CO que é o principal redutor do minério de ferro), fundente (levando em conta que as impurezas do minério de ferro são, na maior parte, sílica (SiO<sub>2</sub>) e silicatos de difícil fusão, usa-se como fundente o calcário (CaCO<sub>3</sub>). O produto da reação, o CaSiO<sub>3</sub>, irá formar a escória, que será retirada na parte inferior do forno.

### **2.2.2 Alto-forno**

As impurezas contidas no minério de ferro são removidas com seu aquecimento -juntamente com carvão mineral e outras substâncias – em alto forno. O alto-forno é um forno especial com revestimento para resistir a altas temperaturas – a mais de 1200 °C. Desse processo de aquecimento resulta o ferro-gusa – utilizado na produção do aço – e a escória, constituída de impurezas que são retiradas (podendo ser usadas na fabricação de cimento).

### **2.2.3 Refino: ferro gusa**

Pela parte inferior, são escoados, a cada 4 ou 5 horas, primeiramente a escória (que é usada para pavimentação ou na fabricação de cimento) e, em segundo lugar o ferro-gusa. O ferro-gusa é aquecido em um forno chamado conversor. A injeção de oxigênio ajuda a retirar as impurezas restantes. Outras substâncias são acrescentadas para conferir propriedades. Ao fim do processo é produzido o aço na forma líquida.

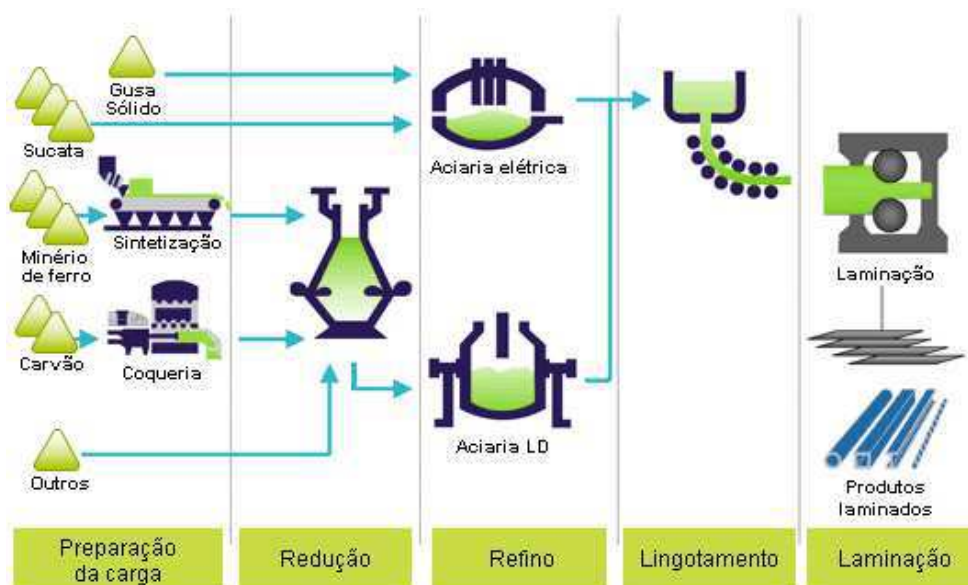
### **2.2.4Lingote**

O aço refinado é transportado à unidade de lingotamento contínuo e ali direcionado a um distribuidor com diversos veios. Em cada veio, o aço líquido passa por moldes de resfriamento para solidificar-se no formato conveniente para a laminação.

### **2.2.5 Laminação**

Na laminação o lingote de aço passa por entre dois cilindros que o comprimem para diminuir a espessura da peça de modo semelhante ao que ocorre nas máquinas de preparo de massa para pastéis.

Figura 1- Fluxo simplificado da produção de aço



Fonte: (Instituto Aço Brasil,2010)

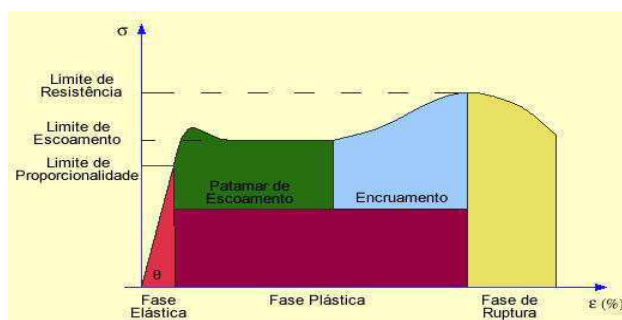
## 2.3. PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO

As propriedades mecânicas definem o comportamento do aço quando sujeito a esforços e determinam sua capacidade de resistir e transmitir estes esforços sem que rompam e sofram deformações excessivas.

### 2.3.1. Limite de escoamento e Limite de Resistência

Para entender os limites de escoamento e resistência é preciso compreender o diagrama de tensão-deformação do aço (Figura 2), que representa o material submetendo-se a um ensaio de tração.

Figura 2 -Diagrama de tensão e deformação de um aço



Fonte: (Metálica,2014)

No ensaio de tração como mostra o diagrama acima, a tensão solicitada e a deformação do material aumentam proporcionalmente (fase elástica), obedecendo a lei de Hook, até o momento em que o limite de proporcionalidade é ultrapassado e então ocorrem deformações crescentes sem variação da tensão (fase plástica). Este limite, onde a tensão é constante, é chamado de limite de escoamento e é calculado dividindo-se a carga máxima suportada, antes de escoar, pela área da seção transversal inicial.

Ainda na fase plástica, a estrutura interna do aço se rearranja causando o endurecimento do aço, ou seja, ocorre o encruamento e então há novamente variação de tensão e deformação, porém não linearmente, até o rompimento do material. A tensão máxima atingida até esse momento é usada para o cálculo do limite de resistência a tração que é igual à carga de ruptura dividida pela área da seção transversal inicial.

### **2.3.2. Elasticidade**

É a capacidade de um material retornar a sua forma original após sucessivos ciclos de carga e descarga, ou seja, a deformação é reversível. Isso acontece quando há o deslocamento dos átomos sem que alterem suas posições relativas na rede cristalina. A medida desta propriedade é através do módulo de elasticidade (E) que relaciona a tensão e a deformação linear específica  $e$ , para o aço, tem o valor de 200 GPa (ROSSATTO,2015).

### **2.3.3. Plasticidade**

É a deformação permanente ocasionada pela tensão do limite de escoamento ou superior. Essa deformação altera a estrutura interna do aço aumentando sua dureza, esse processo chama-se encruamento.

### **2.3.4. Ductilidade**

É a capacidade do material se deformar plasticamente sem que haja ruptura, podendo ser medida através da deformação. Quanto mais dúctil o aço maior é a redução área da seção transversal ou o alongamento antes da ruptura, por isso é uma propriedade muito desejada, já que constitui um aviso da presença de elevadas tensões (PALMA,2007).

### **2.3.5. Tenacidade**

É a capacidade que o aço possui de absorver tanto energia elástica como plástica por unidade de volume até a sua ruptura. Representa a área total do diagrama tensão-deformação (HOUAISS,2009).

As propriedades do aço são modificadas de acordo com os elementos de liga que fazem parte da sua composição química. Por exemplo:

- Carbono (C): aumenta o limite de resistência de maneira mais econômica, mas prejudica sensivelmente a ductilidade e a tenacidade do material, assim como elevados teores impactam a soldabilidade e a resistência à corrosão atmosférica;
- Cobre (Cu): aumenta a resistência à corrosão atmosférica e aumenta a resistência à fadiga, mas diminui discretamente a ductilidade, a tenacidade e a soldabilidade;
- Cromo (Cr): aumenta a resistência mecânica, à abrasão e à resistência atmosférica, mas diminui a soldabilidade;
- Manganês (Mn): melhora o limite de escoamento e a resistência à fadiga, prejudica de forma leve a ductilidade e a soldabilidade.

### **2.3.6. Fragilidade**

É o oposto da ductilidade, é quando os aços se tornam frágeis pela ação de diversos agentes, como baixas temperaturas, efeitos térmicos locais causados por solda, etc. É muito perigoso, pois os materiais frágeis se rompem sem aviso prévio (PALMA,2007).

### **2.3.7. Resiliência**

Capacidade de um material absorver energia mecânica em regime elástico (ou resistir à energia mecânica absorvida) por unidade de volume e readquirir a forma original quando retirada a carga que provocou a deformação (PYRRHO, PATRIOTA, 2017).

### **2.3.8. Dureza**

É a resistência ao risco e abrasão. Pode ser medido pelos processos Brinell, Rockwell ou Shore. É importante para verificar a resistência do aço.

### **2.3.9. Fadiga**

É a resistência à ruptura dos materiais e medida geralmente em ensaios estáticos. É importante no dimensionamento de elementos que sofrem ações dinâmicas, sobretudo em ações que atuam em ciclos alternados (CHAMBERLAIN, 2004).

## **2.4. TIPOS DE AÇOS ESTRUTURAIS**

O tipo de aço com a composição química adequada fica definido na aciaria. Os aços podem ser classificados em: aços-carbono, aços de baixa liga sem tratamento térmico e aços de baixa liga com tratamento térmico. Os tipos de aço estruturais são especificados em normas brasileiras e internacionais ou em normas preparadas pelas próprias siderúrgicas.

### **2.4.1 Aços-Carbono**

Os aços-carbono são aqueles que não contêm elementos de liga, podendo ainda, ser divididos em baixo, médio e alto carbono, sendo os de baixo carbono ( $C \leq 0,30\%$ ), os mais adequados à construção civil (PIGNATTA, FRUNCHTERGATEN, 2012).

### **2.4.2 Aços de baixa liga sem tratamento térmico**

Os aços de baixa liga sem tratamento térmico são aqueles que recebem elementos de liga, com teor inferior a 2%, suficientes para adquirirem maior resistência mecânica ( $f_y \geq 300$  MPa) ou maior resistência à corrosão, ou ambos. São adequados à utilização na construção civil, fazendo-se necessária uma análise econômica comparando-os com os aços-carbono, pois estes têm menor resistência, mas menor custo por unidade de peso.

### **2.4.3 Aços de alta resistência e baixa liga com tratamento térmico**

Os aços de alta resistência e baixa liga com tratamento térmico são aqueles, que além de possuírem em sua constituição os elementos de liga com teor inferior a 2%, recebem um tratamento térmico especial, posterior à laminação, necessário a adquirirem alta resistência

mecânica ( $f_y \geq 300$  Mpa). Sua aplicação está restrita a tanques, vasos de pressão, dutos forçados, ou onde os elevados esforços justifiquem economicamente sua utilização (ZEEMANN, 2016).

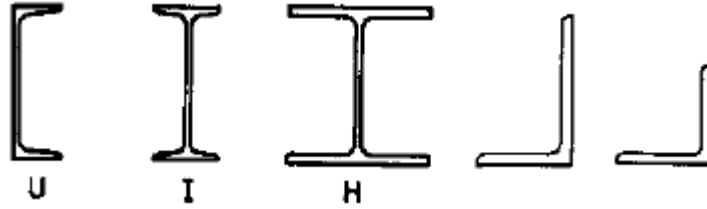
#### **2.4.4 Aços sem qualificação estrutural**

Apesar de não serem considerados “aços estruturais”, os tipos de aço especificados pela SAE (Society of Automotive Engineers) são comumente usados na construção civil como componentes de telhas, caixilhos, chapas xadrez e até, indevidamente, em estruturas.

Os produtos oferecidos pelas usinas siderúrgicas como elementos ou componentes estruturais são: chapas finas a frio, chapas zincadas, chapas finas à quente, chapas grossas, perfis laminados estruturais, tubos estruturais, barras redondas, fios trefilados, cordoalhas e cabos.

- Chapas finas à frio: São produtos com espessuras-padrão de 0,30 mm a 2,65 mm, fornecidas em bobinas e usadas principalmente como complementos em construções, como esquadrias, portas, dobradiças, batentes, calhas, rufos.
- Chapas zincadas: São produtos com espessuras-padrão de 0,25 mm a 1,95 mm, fornecidas em bobinas e usadas para fabricação de telhas para cobertura e tapamentos, calhas, rufos, caixilhos, dutos de ar condicionado e divisórias.
- Chapas finas à quente: São produtos com espessuras-padrão de 1,20 mm a 5,00 mm, fornecidas em bobinas e usadas na fabricação de perfis de chapas dobradas, para construção de estruturas metálicas leves e, principalmente, como terças e vigas de tapamento.
- Chapas grossas: São produtos com espessuras-padrão de 6,30 mm a 102 mm, fornecidas em chapas com diversas larguras-padrão e comprimentos de 6000 mm e 12000 mm. São usadas principalmente para a formação de perfis soldados para trabalhar como vigas, colunas e estacas.
- Perfis laminados estruturais: São perfis formados pelo mesmo processo para os produtos planos como as chapas, são obtidos a partir de laminação à quente, conformados por uma sucessão de passes. Os perfis nacionais seguem o padrão americano e têm seu uso bastante restrito, devido à pequena disponibilidade de tipos de seções e tamanhos. Dentre esses perfis, pode-se destacar: cantoneiras de abas iguais e desiguais, perfis “I” e perfis “U”.

Figura 3 - Seções comuns de perfis laminados



Fonte: Dimensionamento de Estruturas de Aço

- Tubos estruturais: existe uma grande variedade de tubos encontrados no mercado, sendo que podem ser redondos, quadrados e retangulares e são fornecidos em comprimentos de 6000 mm. São usados como elementos de treliças espaciais e como corrimãos.
- Barras redondas: as barras redondas são oferecidas nos diâmetros de 12,5 mm a 102,0 mm, com comprimentos de 6000 mm e 12000 mm, nos aços ASTM A36 e SAE 1010 e 1020. Usados na confecção de chumbadores, parafusos e tirantes.
- Fios, cordoalhas e cabos: Os fios são obtidos por trefilação, sendo que unidos (três ou sete fios) formam as cordoalhas. Juntando as cordoalhas, obtém-se os cabos.

## 2.5. PERFIS METÁLICOS

Os perfis mais usados são aqueles de seção transversal em I, H, U, Z e as cantoneiras em L. Os perfis podem ser obtidos diretamente por laminação (perfis laminados) ou através de operações de conformação a frio (perfis formados a frio) ou soldagem (perfis soldados).

Os perfis laminados (Figura 3) são peças únicas, produzidos por meio de deformação a quente, tendo como características principais as abas paralelas e a uniformidade estrutural por não possuir soldas ou emendas, o que representa um baixo nível de tensões residuais localizadas, segundo Luiz Andrade de Matos Dias(2006).

Os perfis soldados (Figura 4) são obtidos pelo corte composição e soldagem de chapas planas de aço, o que permite variedade de formas e dimensões das seções, podendo ser fabricados conforme a especificação, por exemplo, ASTM A36 ou ASTM A 572. São classificados em séries de acordo com sua utilização:

- Série VS: perfis soldados para vigas em que  $1,5 < d/bf \leq 4$ ;
- Série CVS: perfis soldados para vigas e pilares em que  $1 < d/bf \leq 1,5$ ;



- Série CS: perfis soldados para pilares em que  $d/b_f=1$ .

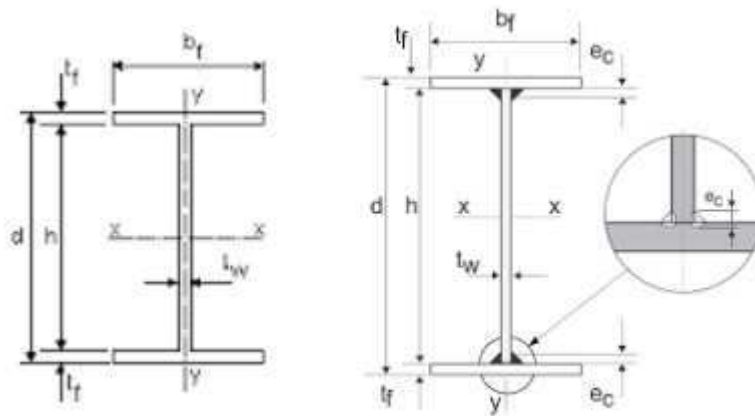


Figura 4 - Perfis soldados (Luiz Andrade de Matos Dias,2006)

Os perfis conformados a frio (Figura 5) são obtidos pelo processo de dobramento a frio de chapas de aço e são recomendados para construções leves utilizados, por exemplo, em barras de treliças.



Figura 5 – Perfis conformados à frio (Luiz Andrade de Matos Dias,2006)

## 2.6. CONEXÕES METÁLICAS

Luiz Andrade de Matos Dias (2006) explica que as siderúrgicas fornecem as chapas e perfis laminados aos fabricantes de estruturas metálicas em dimensões padronizadas, devido a isso a fabricação da peça estrutural nas dimensões do projeto requer cortes e conexões do material, estas são feitas por soldagem ou parafusamento.

### 2.6.1. Conexões parafusadas

Os parafusos são formados pela cabeça, pelo fuste e pela rosca. São identificados pelo diâmetro nominal, mas a resistência à tração é função do diâmetro efetivo (Figura 6).

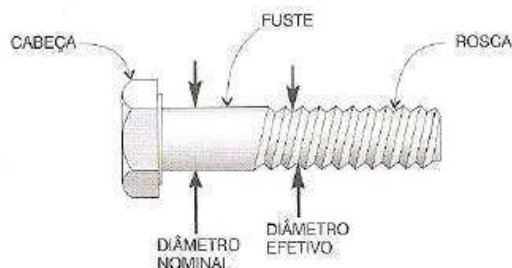


Figura 6 – Parafuso (Luiz Andrade de Matos Dias,2006)

As conexões parafusadas são classificadas pela forma de transmissão dos esforços aos parafusos, como ligação à tração, à força cortante e aos esforços combinados de ambas.

### 2.6.2. Conexões soldadas

A soldagem é a técnica usada na união de dois ou mais componentes de uma peça estrutural conservando as propriedades físicas, químicas e a continuidade do material. As vantagens da conexão soldada são: maior rigidez da ligação, diminuição de custos na fabricação por eliminar furações e melhor acabamento final. Mas há dificuldade para desmontagem e principalmente para controlar a qualidade da soldagem (ROSSATTO,2015).

Os tipos de soldagem mais comuns são: entalhe, onde o metal de solda é colocado entre os elementos a serem conectados, e filete, onde o metal de solda é colocado externamente aos elementos (Figura 7).

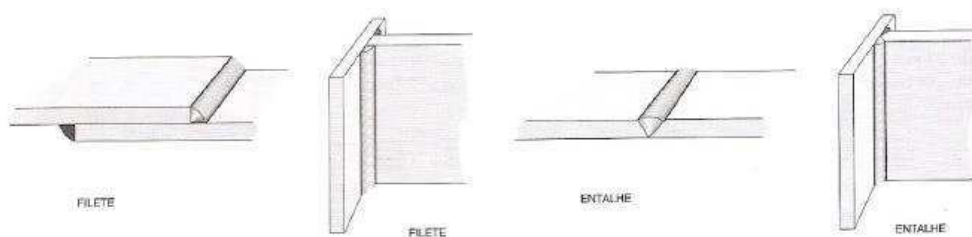


Figura 7 – Tipos de soldas (Luiz Andrade de Matos Dias,2006)

### 2.6.3. Conexões flexíveis e rígidas

As ligações rígidas são aquelas onde, teoricamente, não ocorre a rotação relativa das peças conectadas, ao contrário das ligações flexíveis que permitem essa rotação. As Figuras 8 e 9 exemplificam ligações rígidas e as Figuras 10 e 11 representam as ligações flexíveis.



Figura 8 – Conexão soldada rígida da viga na aba do pilar (Adaptado de Luiz Andrade de Matos Dias,2006)

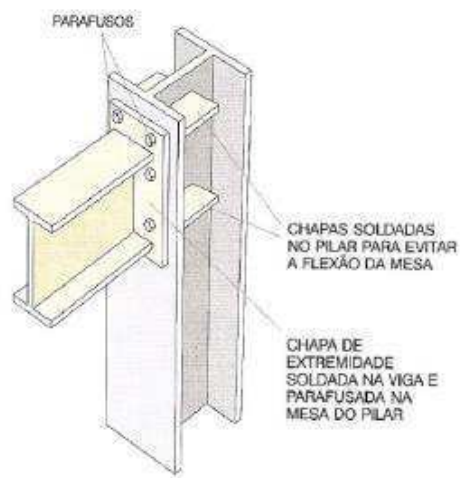


Figura 9– Conexão parafusada rígida da viga na alma (Adaptado de Luiz Andrade de Matos Dias,2006)

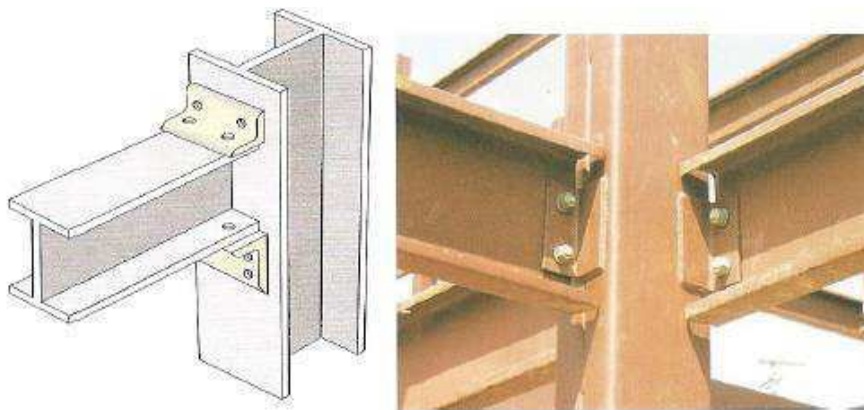


Figura 10 – Conexões parafusadas flexíveis da viga na aba do pilar (Adaptado de Luiz Andrade de Matos Dias,2006)

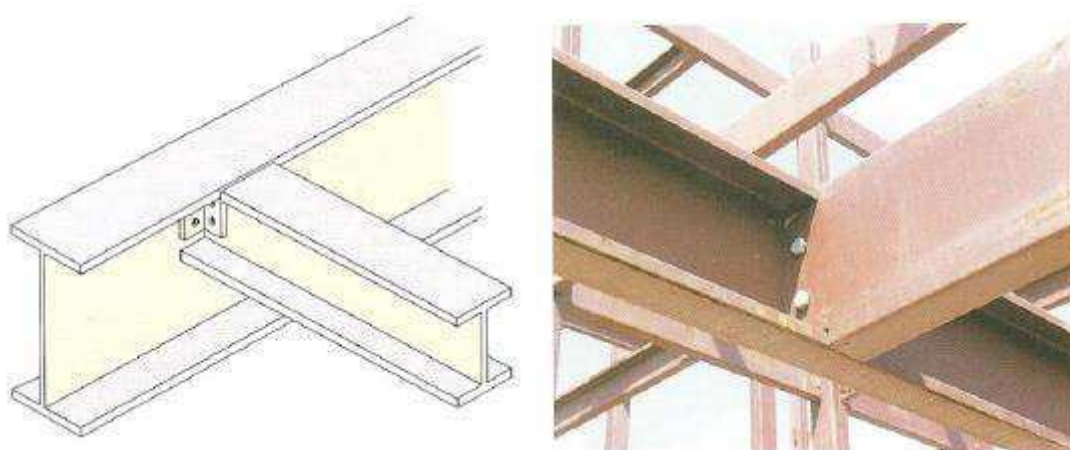


Figura 11 –Conexões parafusadas flexíveis pelas almas das vigas (Adaptado de Luiz Andrade de Matos Dias,2006)

## 2.7. SISTEMAS ESTRUTURAIS METÁLICOS

A seguir, a função de pilares e vigas assim como algumas características desses elementos.

### 2.7.1. Pilares

Os pilares são estruturas que transmitem todas as cargas para as fundações estando sujeitos essencialmente a esforços axiais de compressão. São formados a partir de perfis “I”, “H”, de alma cheia, tubulares, barras chatas ou redondas. Os pilares são conformados por peças esbeltas, podendo ocorrer o fenômeno da flambagem (ROSSATTO,2015).

#### 2.7.1.1 Flambagem

A flambagem por flexão é associada à característica que as peças esbeltas possuem de se deslocar transversalmente à linha de ação da força solicitada, comum em pilares de concreto e metálico submetidos a uma força de compressão. A carga necessária para que ocorra a flambagem depende da dimensão da seção da barra, do tipo de vinculação e do comprimento livre, então para prevenir a flambagem aumenta-se a seção da barra, altera a vinculação ou usam-se travamentos (SCARPARI,2009).

A flambagem por torção ocorre em pilares metálicos com seção transversal cruciforme quando as quatro chapas flambam na mesma direção. Na flambagem por flexotorção, ocorrem ambos os deslocamentos, por torção e por flexão, em seções esbeltas metálicas L e U.

Além dos pilares, pode ocorrer flambagem lateral nas vigas metálicas com seção em forma de I e não continuamente travadas. Com uma carga transversal distribuída ou concentrada a viga flete causando compressão na mesa superior e tração na inferior, mas como a alma é esbelta nas vigas ela tende a flambar por flexão, porém, a mesa inferior impede o movimento livre da mesa superior resultando na torção da seção junto com a flexão lateral.

### **2.7.2. Vigas**

As vigas são elementos estruturais sujeitos basicamente por esforços de flexão com objetivo de vencer vãos horizontais e transferir forças verticais para os apoios. As vigas metálicas podem ser de alma cheia, alveolares, em forma de treliças e Vierendeel (DIAS,2002).

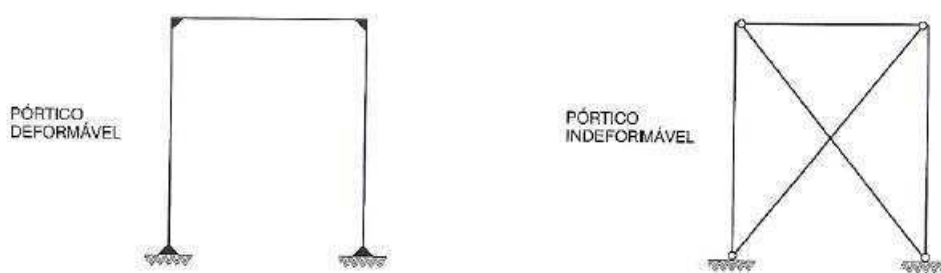
- Vigas de alma cheia: são formadas por duas mesas interligadas por uma alma, adequadas para resistir a flexão, compressão e tração. Os perfis mais usados são I laminados, I soldados e U estruturais formados a frio.
- Vigas alveolares: são obtidas a partir dos perfis I por recorte longitudinal das almas na forma de ameias com posterior deslocamento e soldagem. Elas terão maior altura que o perfil original, mas consideravelmente mais leves.
- Vigas em forma de treliças: são constituídas por barras coplanares articuladas entre si por ligação direta ou indireta e submetidas a cargas nodais. A ligação indireta é feita por chapas Gousset, permitindo o giro nos nós fazendo com que as barras resistam ao esforço normal e cortante. A ligação direta é efetuada por soldagem, então essas treliças são, na verdade, pórticos com conexões rígidas cujas barras resistem a esforços de flexão, mas são chamadas assim devido a sua forma.
- Vigas Vierendeel: são vigas compostas de barras em formas de quadro unidas por ligações rígidas e resistem a forças normais, cortantes e fletoras. São utilizadas para solucionar a necessidade de grandes vãos livres, o que resulta em uma altura de viga igual a distância entre os pavimentos da estrutura.

### 2.7.3. Pórticos Deformáveis e Indeformáveis

Toda estrutura formada por barras vinculadas entre si é denominada pórtico espacial e ele pode ser deformável ou indeformável a depender do tipo de ligação entre as barras, como se vê na Figura 12. Pórticos deformáveis possuem conexões rígidas, que fazem o pórtico deformar-se por flexão das barras, já os pórticos indeformáveis possuem conexões flexíveis e o deslocamento dos nós, que decorre da deformação axial das barras, pode ser desprezado. Quando a ação de vento é considerada devem ser travados em cruz, X, Y ou em K.

A rigidez das barras à deformação axial é muito maior que a rigidez à deformação por flexão, assim resultando em barras menores e mais leves para o sistema de pórtico indeformável.

Figura 12- Pórtico deformável e indeformável



Fonte: (Sussekind,1977)

Para garantir a estabilidade do equilíbrio de um pórtico plano deve-se enrijecer uma ligação, transformando-o em pórtico deslocável isostático, ou mais ligações, deixando o pórtico deslocável hiperestático. Porém, o aumento das ligações rígidas, acarreta em um maior custo devido ao aumento de material, como parafusos, soldas e chapas de ligação, e ao aumento dos trabalhos de fabricação e montagem da conexão (ROSSATTO, 2015).

Outra forma de garantir a estabilidade é acrescentar elementos de travamento no interior do pórtico transformando-o em um pórtico isostático indeformável. Apenas uma barra diagonal é o suficiente, mas ela seria solicitada a tração e a compressão variando de acordo com o sentido do vento. O modo mais usual e econômico é o travamento em X com duas barras na diagonal, tornando o pórtico isostático e indeformável, assim a estrutura fica mais simples de ser calculada, fabricada e montada, e ainda utilizando menor quantidade de

material. Nesse caso as barras diagonais no interior do pórtico terão de resistir somente à tração solicitada pelo vento em ambos os sentidos (SCARPARI, 2009).

## **2.8. CARGAS SOLICITANTES EM EDIFÍCIOS**

Devem ser consideradas todas as ações solicitadas na estrutura para o cálculo da resistência da mesma, que deve superar esse conjunto de ações através da combinação mais desvantajosa.

### **2.8.1. Cargas Permanentes**

As cargas permanentes são as cargas de todos os materiais que compõe o peso próprio da estrutura, desde lajes, vigas e pilares até coberturas e acabamentos. A tabela 1 da NBR 6120 (Anexo1) possui os pesos específicos aparentes dos materiais mais utilizados em edifícios para o cálculo do peso próprio na estrutura destes materiais.

### **2.8.2. Cargas acidentais**

São as sobrecargas variáveis na estrutura como o peso das pessoas, móveis, objetos estocados. A NBR 6120 possui valores mínimos de cargas acidentais de acordo com o tipo de edificação, como é mostrado no Anexo 2.

### **2.8.3. Cargas devidas ao vento**

O vento não é um problema em construções baixas e pesadas com paredes grossas, porém em estruturas esbeltas passa a ser uma das ações mais importantes a determinar no projeto de estruturas. As considerações para determinação das forças devidas ao vento são regidas e calculadas de acordo com a NBR 6123/1988 “Forças devidas ao vento em edificações”.

## 2.9.O PROCESSO DE PROJETO A PARTIR DO USO DA ESTRUTURA DE AÇO

No processo de criação do projeto arquitetônico, as idéias iniciais e os principais balizadores das decisões tomadas surgem a partir das pretensões do cliente, do local (terreno / lugar / entorno / cidade) onde a edificação será construída, do programa de necessidades, da legislação vigente, da disponibilidade de investimentos, etc (TSUTSUMOTO et al., 2014).

As soluções técnicas, principalmente a estrutura, devem surgir simultaneamente nesse processo inicial como instrumento viabilizador da obra. A concepção formal e a estrutural têm uma relação intrínseca. O arquiteto, como definidor da forma e da concepção estrutural, deve, ainda no processo de criação do projeto arquitetônico, definir o tipo de estrutura que será usada.

Não se pode afirmar que a estrutura de aço é “melhor” ou “pior”, “mais cara” ou “mais barata” que a estrutura em concreto armado. Cada método construtivo tem suas características e singularidades que são viáveis ou não, dependendo de cada caso particular. Além disso, não pode ser feita uma comparação direta de custos apenas em relação às estruturas; é preciso levar em consideração a influência que um tipo de estrutura terá sobre todo o andamento do projeto e da obra.

A estrutura de aço possui particularidades que devem ser conhecidas desde a concepção formal do projeto. Podem-se citar algumas características que influenciam a escolha desse processo construtivo:

- ⇒ Possibilidade de vencer grandes vãos, com peças mais leves, portanto, mais esbeltas;
- ⇒ Dimensões menores de vigas e pilares (a resistência é obtida através da variação de espessura das chapas), ocasionando um maior aproveitamento dos espaços;
- ⇒ Diminuição das cargas nas fundações, ideais para determinados tipos de terrenos;
- ⇒ Construção por montagem, industrializada, o que demanda uma maior precisão no projeto e maior rapidez e racionalização da execução.

Como seu processo executivo passa pela industrialização da construção, o projeto deve ser analisado de uma forma diferente do processo “artesanal”.

O projeto arquitetônico pode condicionar o uso da estrutura de aço de dois meios diferentes, que, também, podem-se interpor. O primeiro é fundamentalmente criado para atender às necessidades específicas do projeto, cujos espaços propostos possuem uma repetição dimensional e a estrutura passa a ser um meio para agilizar a construção. O segundo



está ligado ao estilo, a uma forma de expressão diferenciada a partir da estrutura. Além de espaços com dimensões padronizados, o projeto possui espaços com formas diferenciadas cuja estrutura é executada com elementos especiais (CASTRO, 2004).

A forma a ser adotada na edificação deve ser bem pensada, principalmente em relação ao custo da construção. A indústria siderúrgica produz chapas e perfis com determinadas dimensões, podendo fabricar peças especiais por encomenda, o que ocasiona um maior custo. Com isso, certa solução arquitetônica pode-se tornar inviável economicamente com a estrutura de aço, mas esta pode ser ideal para outros casos (TSUTSUMOTO et al., 2014).

A coordenação modular e o uso, conseqüentemente, do módulo base são os principais instrumentos para a organização, estruturação e inter-relação entre as medidas do projeto, a execução e a logística da obra, que permitirão a execução da proposta na prática.

Um projeto concebido a partir desses conceitos e dentro da lógica da produção industrializada, ao ser executado, ou seja, fabricado e montado, minimiza perdas de materiais e mão-de-obra, obtendo viabilidade econômico-financeira.

No caso da estrutura de aço, os produtos produzidos, como chapas e perfis, possuem dimensões relacionadas com a medida de 600 mm. O comprimento padrão das chapas é de 12000 mm, pois possibilita vários divisores inteiros (2000 mm, 3000 mm, 4000 mm, 6000 mm, etc), e facilita o transporte urbano e rodoviário das peças. Geralmente os projetos são desenvolvidos sobre malhas orientadoras de 3000x3000mm (SILVA e SANTOS, 2004).

Outro requisito fundamental para o uso da estrutura de aço é o controle dimensional. Como os componentes são fabricados fora da obra e o processo executivo é feito por montagem, é necessário um rigoroso dimensionamento, baseado na teoria de ajustes que inclui os conceitos de folga e tolerância. As peças estruturais devem-se encaixar, e esse controle deve-se iniciar no projeto arquitetônico, englobando todos os componentes construtivos utilizados na obra.

O controle dimensional remete à necessidade do detalhamento do projeto arquitetônico com o uso da estrutura metálica. As tolerâncias de fabricação e montagem da estrutura são da ordem de milímetros e é necessário que o projeto e a construção possuam acoplamentos perfeitos entre os diversos elementos, mesmo os que possuam formas geométricas complexas.

Outro fator importante é que os demais projetos (elétrico, hidráulico, etc.) sejam

feitos em conjunto com a definição arquitetônica e estrutural, levando-se em consideração os condicionantes específicos da estrutura de aço.

Portanto, há a necessidade de uma abordagem sistêmica e planejada do projeto, além de uma coordenação e um gerenciamento, realizados através de trabalho de parceria entre os diversos profissionais.

A partir desses aspectos, o detalhamento passa a ser uma fase importante de projeto para evitar erros de acoplamento que geram desperdício e retrabalho. É necessário que o detalhe arquitetônico tenha uma precisão de milímetros e que seja desenvolvido a partir do conceito dado pela engenharia simultânea para o projeto de produção.

A solução integrada (projeto arquitetônico, civil e complementares), visão do todo arquitetônico e dos detalhes racionaliza o processo de projeto e construção, simplifica os processos de fabricação – montagem e acabamentos, torna os custos compatíveis com soluções propostas e contribui para atingir os objetivos propostos para a utilização do aço na construção (SANTOS, 1984).

Entretanto, o que ocorre é que, muitas vezes, a decisão do uso da estrutura metálica é tomada posteriormente à criação da arquitetura. Conseqüentemente, no desenvolvimento do projeto estrutural, tenta adequar uma concepção feita para o concreto armado à estrutura metálica.

Soluções propostas inicialmente para uma construção mais “artesanal” não podem ser adaptadas ao produto industrializado, o que acaba por influenciar principalmente no seu custo final.

Destacam-se dois procedimentos, dentre os apontados por Novaes (1998), que são muito comuns e têm contribuído para a elaboração de projetos e especificações inadequados e imprecisos. Estes são praticados em vários projetos arquitetônicos, não sendo restritos aos que utilizam a estrutura de aço:

⇒ Decisões tomadas durante o desenvolvimento dos projetos, em geral, não consideram as particularidades da produção das edificações, ou seja, os sistemas construtivos a serem adotados;

⇒ Projetos são desenvolvidos de forma isolada, sem coordenação e sem o devido relacionamento e comunicação entre seus autores, e entre os responsáveis pelos demais projetos envolvidos.

Dessa forma, o detalhamento do projeto, quando executado, não é suficiente devido à falta de integração entre os projetistas e por não ser elaborado em atendimento aos

condicionantes dos processos construtivos utilizados.

O arquiteto deve conhecer as propriedades físicas do material e os parâmetros técnicos para a utilização do aço, para poder tirar partido das peças, conexões e contraventamentos na arquitetura. Essas questões devem ser consideradas desde a definição arquitetônica, onde deve haver uma maior participação dos profissionais das áreas correlativas.

## **2.10. PARÂMETROS TÉCNICOS DA ESTRUTURA DE AÇO QUE INTERFEREM NO PROJETO ARQUITETÔNICO**

A estrutura de aço possui algumas características e particularidades que devem ser conhecidas desde o início do processo de criação do arquiteto, para que este tome decisões corretas e explore melhor o material.

A alta resistência à compressão e à tração do aço proporciona a utilização de peças estruturais esbeltas para a absorção das cargas. Dessa maneira, toda a estrutura é consideravelmente leve e deformável, se comparada a uma estrutura convencional de concreto armado. Sendo assim, a estabilização do sistema estrutural que utiliza o aço deve prever algumas peças estruturais especiais (BANDEIRA, 2008).

É importante ressaltar que toda solução estrutural, seja em aço ou não, necessita de um sistema de estabilização que assegure sua performance dentro do estabelecido no projeto.

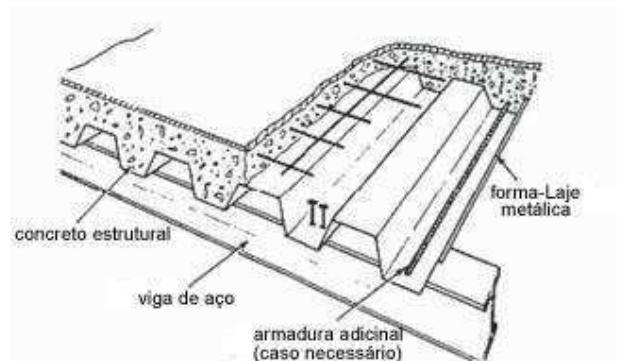
A estrutura deve absorver as combinações de esforços verticais (pisos, coberturas, peso próprio, etc), horizontais (vento) e não ter deformações excessivas que comprometam seu uso. A rigidez tridimensional é necessária para que haja uma estabilidade integral, principalmente em edificações de grande altura (TESSARI, 2006).

Quando se adota um esqueleto estrutural metálico, essa rigidez, a partir do contraventamento da estrutura, pode ser obtida de várias formas:

- Utilização de elementos de vedação e de cobertura como elementos estruturais de estabilização. No plano horizontal, podem ser utilizadas a cobertura e as lajes interna, como sistema de vigas-mistas. Nestas, vigas e lajes trabalham em conjunto através da utilização de conectores. No plano vertical, as vedações, internas ou externas, inseridas no quadro estrutural, com rigidez suficiente para assegurar sua forma inicial, são denominadas paredes de cisalhamento. Nesses dois casos, as deformações de cada elemento utilizado, estrutura e

vedações, devem ser cuidadosamente estudadas e detalhadas para eliminar o surgimento de fissuras em dilatações diferenciadas (ALVA,MALITE,2005).

Figura 13: Conector - Sistema de viga-mista

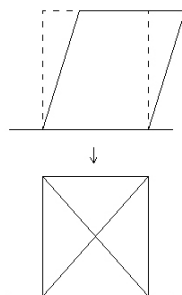


Fonte: (Metálica,2014)

- Contraventamento através da utilização de peças metálicas, formando treliças planas, que trabalham somente à tração ou à compressão. Esse princípio é baseado no fato de o triângulo ser geometricamente indeformável. As dilatações térmicas também devem ser consideradas e detalhadas, juntamente com a vedação, caso esta exista.

Além disto, essas paredes contraventadas possuem certas limitações quanto ao posicionamento de aberturas que devem ser examinadas desde o projeto. O arquiteto pode tirar partido dessas peças, principalmente no caso de estruturas aparentes, e trabalhar também as aberturas em seu projeto.

Figura 14: contraventamento



Fonte: (Bandeira,2008)

- A utilização de um núcleo central rígido, que são torres estruturadas em concreto armado, usualmente combinadas com elementos como caixa de escadas e elevadores, com rigidez suficiente para garantir o esquadro e o prumo das demais peças da estrutura.

Essa solução gera uma diferença na velocidade de execução de tecnologias diferentes, o que pode impactar o rendimento global da obra.

- O uso de sistemas de pórticos rígidos, ou seja, utilizando ligações totalmente

rígidas, com um maior consumo de solda e parafusos, e a inserção de placas metálicas nas ligações. Essa solução proporciona um aumento no peso global da estrutura, podendo influenciar no seu custo final (já que este está relacionado à quantidade de aço usado na obra). Esse tipo de travamento da estrutura é mais adequado para edificações de baixa altura, observando-se a necessidade de um detalhamento preciso de vedações e estrutura para se evitar o aparecimento de fissuras.

- Outra maneira de se estabilizar a estrutura é utilizando cabos de aço ou estais, para atirantar as peças estruturais, sendo estes, muitas vezes, trabalhados como elementos arquitetônicos, dando um embelezamento a obra.

Figura 15: Rodserv Star – São Paulo



Arquiteto Jurandyr Bueno Filho

Por ser um material leve e permitir várias conformações, a estrutura de aço é ideal para vencer grandes vãos, através de sistemas estruturais de treliças planas e espaciais, que podem ser trabalhadas de diversas formas pelo arquiteto, na concepção de seus projetos.

Figura 16: Cobertura e detalhes da Catedral da Benção - Brasília



Arquiteto Renato Bittencourt

Além disso, para se obterem grandes vãos com a utilização de vigas, podem ser utilizados os sistemas viendeel ou vigas alveolares e casteladas. Estas são peças com altura de alma significativa, executadas a partir de um único perfil e com a mesma massa inicial de material, variando apenas o tipo de corte, castelar (em losangos) ou alveolar (circulares).

Figura 17: Confeção da viga castelada



Fonte: (Bandeira,2008)

Outros elementos importantes das estruturas de aço que podem influenciar no projeto arquitetônico são os tipos de conexões e ligações das peças, as quais podem ser soldadas ou aparafusadas.

As ligações entre os perfis de vigas, pilares, contraventamentos e treliças devem ser trabalhadas no detalhamento arquitetônico, principalmente quando a estrutura estiver aparente. Esses elementos presentes nas fachadas também fazem parte da arquitetura e podem receber várias conformações provenientes do estudo em conjunto do arquiteto e do engenheiro estrutural.

O detalhamento arquitetônico não deve ser feito apenas em relação às ligações da estrutura, mas também em relação às interfaces desta com outros elementos da construção, principalmente, as vedações.

As vedações, sejam elas em painéis e placas pré-moldadas, alvenaria do tipo cortina e alvenaria convencional, são formadas por materiais com particularidades distintas da estrutura de aço e, portanto, possuem dilatações diferenciadas.

Dessa maneira, devem ser previstas juntas de movimentação para a absorção da dilatação, que estão situadas principalmente nas fachadas das edificações, incluindo os revestimentos externos. Dessa forma, no estudo da composição das fachadas, é necessário prever esse condicionante em seu desenho.

## **2.11.PREVENÇÃO DE PATOLOGIAS DA ESTRUTURA DE AÇO NO PROJETO ARQUITETÔNICO**

As patologias não surgem devido a fatores isolados; elas têm origem a partir de um conjunto de variáveis que podem ser agrupadas de acordo com o processo patológico, com

os sintomas, com o período do ciclo de vida da edificação em que ocorreram, e com seus agentes causadores.

Com o desenvolvimento da tecnologia da construção em aço, surgiu a preocupação com as patologias oriundas desse tipo de material e com as medidas de prevenção que devem ser tomadas.

Segundo Pravia e Betinelli (2003), as patologias mais comuns em estruturas de aço são:

- ⇒ Deformações excessivas;
- ⇒ Flambagem local ou global;
- ⇒ Fraturas e propagação das mesmas;
- ⇒ Corrosão.

Os profissionais responsáveis pela construção devem trabalhar de forma preventiva e não corretiva. Logo, a partir do conhecimento das patologias de ocorrências prováveis, é imprescindível buscar soluções para a sua prevenção.

Podemos, também, inserir, junto às medidas tomadas para se evitar as patologias citadas, a prevenção e a proteção da estrutura contra altas temperaturas, no caso de incêndio.

Como foi apresentado, é na fase de projeto que são tomadas as decisões de maior repercussão nos custos, velocidade e qualidade do empreendimento.

Essa etapa também está ligada à determinação da durabilidade da construção, a partir da especificação dos materiais e componentes e de seus detalhes executivos.

Além disso, o planejamento prévio, através do projeto, define as diretrizes de uma manutenção estratégica, sendo importante considerar o seu custo no projeto e na vida útil da edificação.

Como a estrutura de aço possui essas particularidades, é necessário que o arquiteto as conheça e saiba como proceder, pois o projeto deve também prever a vida útil da construção. Dessa maneira, na fase de definição do projeto, todos os detalhes e especificações devem ser considerados para a prevenção das patologias (BANDEIRA,2008).

## **2.12.CORROSÃO**

No caso dos metais, que são encontrados na natureza na forma de minério (óxidos e sais) e necessitam de grande quantidade de energia para sua obtenção, a corrosão é o processo inverso, surgido a partir da ação de determinados agentes naturais.

A corrosão (oxidação) é um processo espontâneo e contínuo, e pode ser entendido como inverso ao da metalurgia (redução). O oxigênio, extraído minério de ferro durante o processo de produção do ferro e do aço, tende a voltar a se combinar novamente com estes, retornando à forma de óxido de ferro (BANDEIRA,2008).

A corrosão atmosférica dos metais pode ser de origem química ou eletrolítica. A primeira acontece quando uma superfície metálica entra em contato com um tipo de gás poluente, ocorrendo uma reação entre os dois, com a formação de um sal ou de um óxido.

Esse óxido formará uma camada sobre a superfície do metal que pode ser permeável à difusão de oxigênio. Nessa camada, ocorre, então, a difusão de íons do metal e do oxigênio, e, mesmo se for retirada por algum processo, como abrasão, por exemplo, a oxidação permanecerá e a espessura do metal diminuirá progressivamente.

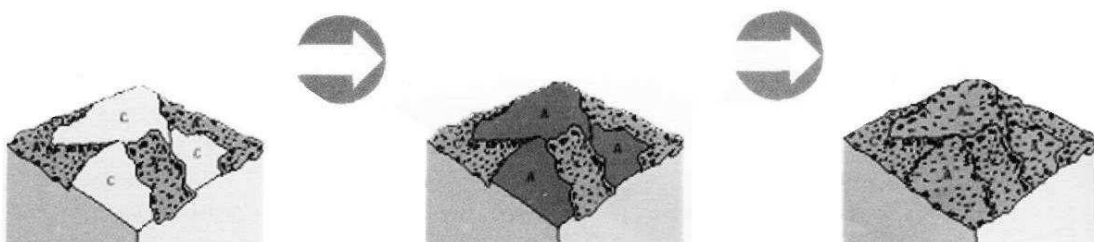
Já a corrosão eletrolítica, o tipo mais comum, envolve tanto reações químicas, quanto fluxo de elétrons, incorporando três constituintes essenciais: [...] o ânodo, o cátodo e uma solução eletricamente condutora. O ânodo (-) é o local onde o metal é corroído, a solução eletricamente condutora é o meio corrosivo, e o cátodo (+) é a parte da mesma superfície metálica (ou outro metal em contato com ela) que constitui o outro eletrodo da cela, e que não é consumido pela corrosão (PANNONI,2002).

Portanto, o processo de corrosão eletrolítica consiste de elétrons fluindo dentro do metal e íons fluindo dentro do eletrólito superficial. Este eletrólito superficial deve conter concomitantemente água e oxigênio. Na ausência de um desses elementos, não acontecerá corrosão.

A velocidade do desenvolvimento do processo corrosivo depende da condutividade do meio em que o metal se encontra. Esta será menor em meios pouco condutores, como a água pura, ou será maior em meios condutores, como a água do mar e soluções ácidas.

É importante ressaltar que a corrosão acontece no ânodo, sendo o cátodo não atingido pelo ataque. No entanto, com o tempo, as áreas catódicas se tornam anódicas, e toda a superfície acaba-se corroendo de modo uniforme.

Figura 18: Processo da corrosão

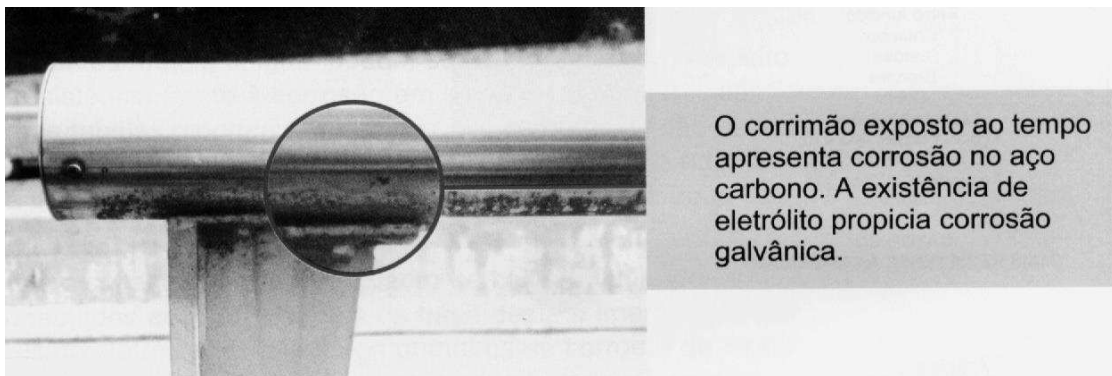




Fonte: (Bandeira,2008)

A Corrosão Galvânica é uma forma bastante comum de corrosão eletrolítica. Essa ocorre quando dois metais diferentes entram em contato e estão em um mesmo meio condutor, o que forma uma “pilha”. Um dos metais acaba por ceder elétrons ao outro, ou seja, se corrói (ânodo), enquanto o que recebe os elétrons vai se corroendo mais lentamente (cátodo). Dessa forma, considera-se que o metal que foi menos corroído foi “protegido” pelo que se deteriorou mais rapidamente.

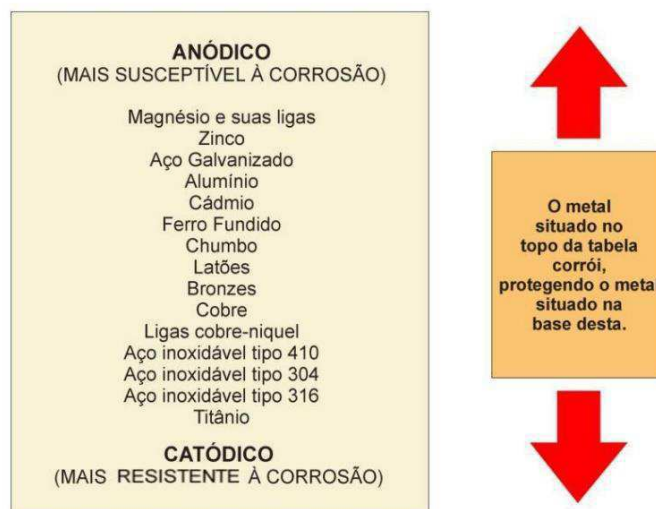
Figura 19:Corrosão Galvânica



Fonte: (Pannonni,2002)

Assim, é importante conhecer o potencial de corrosão galvânica de cada metal para especificações de projeto. Através de Tabela de Série Galvânica, pode-se analisar o comportamento de um metal na presença de outro. Os metais situados no topo da tabela, quando utilizados em contato com os metais situados na base da mesma, sofrerão uma corrosão mais acelerada. Já estes últimos serão “protegidos”, ou seja, o processo de corrosão se iniciará mais lentamente.

Tabela 1: Série Galvânica



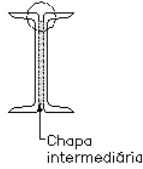
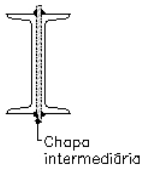



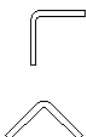


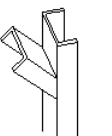
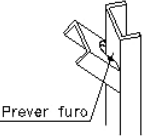
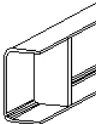
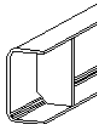
Fonte: (Metálica,2017)

A corrosão pode ser prevenida através de medidas a serem tomadas pelos profissionais responsáveis pelo projeto e pela execução da obra. Existem diversas maneiras de prevenção, entre elas, o uso de aços especiais, pinturas e detalhamentos, que devem ser analisadas em relação ao custo e ao tipo de projeto.

Alguns detalhes de projetos devem ser cuidadosamente avaliados para evitar soluções inadequadas que propiciam a corrosão. Destacam-se, aqui, alguns detalhes que podem ser considerados já no projeto arquitetônico:

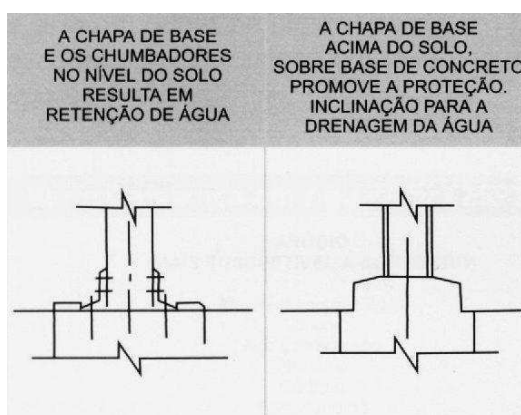
- Prever a estrutura com furos de drenagem, em quantidades e tamanhos suficientes, para garantir o escoamento da água;
- Os perfis devem ser dispostos de modo que a umidade não fique retida e, se ocorrer, deve-se criar condições que permitem o fluxo de ar, facilitando a secagem;
- Prever uma forma de escoamento da água, especialmente na junção com o piso;

Figura 20: Detalhes da estrutura de aço para prevenção da corrosão

PROBLEMA	SOLUÇÃO TÍPICA
Cuidado com o acúmulo de água e sujeira	Situações que evitem o acúmulo indevido
	
	
	
	
	
	

Fonte: (Metálica,2017)

Figura 21: Detalhes da estrutura de aço para prevenção da corrosão



Fonte: (Metálica,2017)

- Cuidar para que os acessos sejam facilitados e os espaços, os mais amplos possíveis, para oferecer manutenção adequada;
- Evitar juntas sobrepostas de metais diferentes, prevenindo contra a corrosão galvânica. Pode-se evitá-la, também, com a colocação de um isolante elétrico, não poroso, entre os dois metais;
- Evitar que peças fiquem semi-enterradas ou semi-submersas.

Na utilização de aços com maior resistência à corrosão, no caso, os aços patináveis, algumas precauções e limitações devem ser observadas:

- Evitar contato com superfícies que absorvam água;
- Evitar condições de umedecimento prolongadas. Sob condições de contínuo molhamento, determinadas por secagens insatisfatórias, a formação da pátina fica prejudicada;
- Evitar utilizar esse tipo de aço imerso na água, enterrados no solo e cobertos por vegetação sem proteção;
- Evitar contato com metais diferentes, prevenindo contra corrosão galvânica, assim como executar a solda com composição química compatível com o aço patinável;

Os aços inoxidáveis também possuem uma alta resistência à corrosão, porém seu custo é bastante alto tornando-o inviável para o uso nas estruturas das edificações.

- Em ambientes agressivos, como industriais e marinhos, o aço patinável deve receber uma proteção extra.

Outro método para a proteção contra corrosão é a pintura, que constitui o principal meio de proteção das estruturas metálicas e um dos mais utilizados.

É sempre importante lembrar que, antes da aplicação dos diversos tipos de tintas protetoras, a superfície da peça deve ser limpa e preparada.

Na fabricação do aço a elevadas temperaturas, é formada uma camada de óxidos em

sua superfície chamada carepa. Esta, diferentemente do que se imagina, não protege o aço da corrosão, pois tem um coeficiente de dilatação diferente do aço, que pode gerar fissuras facilitando a entrada de eletrólitos. Portanto, ela precisa ser removida antes da pintura, pois, uma vez fissurada, reterá os constituintes necessários ao processo corrosivo (BANDEIRA,2008).

A limpeza do aço pode ser manual ou mecânica. Esta última, além da limpeza, confere rugosidade à superfície, facilitando a fixação do revestimento.

As tintas são suspensões homogêneas de partículas sólidas (pigmentos), dispersas em um líquido (solvente e resina), em presença de componentes em menores proporções, chamados de aditivos. Os pigmentos conferem cor, opacidade, coesão e inibição do processo corrosivo, e também a consistência, a dureza e a resistência da película. Os solventes têm a finalidade de dissolver a resina e facilitar a aplicação da tinta.(PANNONNI,2002).

As tintas são divididas em tintas de fundo, intermediárias e de acabamento. As tintas de fundo (primers) devem ser aplicadas sobre a superfície metálica limpa e têm a finalidade de promover a aderência do metal ao substrato. As tintas intermediárias auxiliam na proteção, fornecendo espessura ao sistema de pintura empregado (proteção por barreira). Quanto mais espessa a camada, maior a vida útil do revestimento. Já as tintas de acabamento possuem a função de proteger todo o sistema contra a ação do meio ambiente e de fornecer a cor e o brilho requisitados (MELADO,2014).

Essas camadas de tintas devem ser compatíveis entre si. Sugere-se que sejam preferencialmente de um mesmo fabricante, o que minimizará a ocorrência de defeitos, como o descolamento.

Existem outras formas de prevenir a corrosão nas estruturas metálicas, entre elas, a criação de uma barreira entre o metal e o meio corrosivo. Esta barreira pode ser feita com o revestimento das peças estruturais com materiais não metálicos e não condutores, como cerâmica, concreto e vidro, borracha, plásticos de PVC, betumes, asfalto, etc. Além desses, pode-se revestir a peça com outro metal mais resistente à corrosão (PANNONNI,2007).

A galvanização ou zincagem também constitui um processo de proteção à corrosão por recobrimento de uma camada de zinco metálico, que funciona como um revestimento de grande resistência devido às propriedades de proteção catódica do zinco. A duração desta proteção depende da espessura da camada de zinco depositada, que deve ser contínua e uniforme, e da agressividade do ambiente onde for usado, que não deve estar sujeito a

substâncias ácidas (OLIVEIRA,2012).

## 2.13.PROTEÇÃO CONTRA ALTAS TEMPERATURAS

O objetivo principal da segurança contra incêndio é minimizar danos e proteger a vida e o patrimônio. A busca pela segurança total cresce juntamente com o custo para obtê-la.

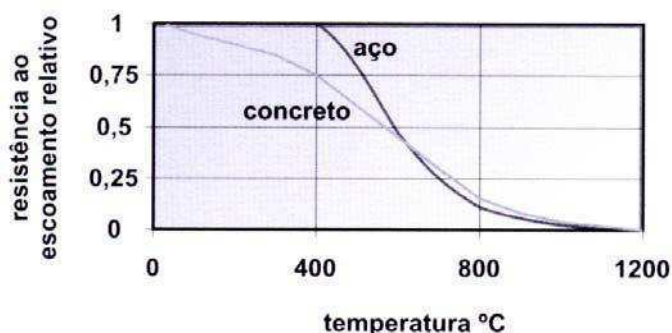
Dessa maneira, a escolha do sistema adequado de segurança deve levar em consideração os riscos de início de incêndio, de sua propagação e de suas conseqüências.

Segundo Vargas e Silva (2003), uma concepção arquitetônica racional e balanceada, fundamentada em algumas variáveis simples discutidas nas normas de segurança contra incêndio, pode resultar em soluções mais econômicas e que respeitam ao mesmo tempo as exigências de proteção ao fogo.

Em relação às estruturas, incluindo aqui qualquer tipo de material utilizado, quando atingidas por altas temperaturas, suas características químicas e físicas são alteradas, reduzindo sua resistência e rigidez. Fala-se muito que a estrutura de concreto tem uma resistência maior que a estrutura de aço.

No entanto, o comportamento desses dois materiais é semelhante em altas temperaturas. O que acontece é que as dimensões das peças estruturais executadas com esses dois materiais são diferentes. Essa diferença, ou seja, o maior “fator de massividade” do concreto faz com que ele se aqueça mais lentamente.

Gráfico 01:Redução da resistência em função da temperatura



Fonte: (Pannonni,2002)

O objetivo dos sistemas de proteção é impedir o colapso estrutural, que ocorre após uma deformação excessiva, ou ampliar o tempo de resistência a altas temperaturas das estruturas para permitir a completa evacuação das dependências da edificação.

No caso das estruturas de aço, por possuir peças mais esbeltas, a alta temperatura atinge o centro dos perfis mais rapidamente. Quanto maior for o perímetro do perfil, maior será o seu aquecimento, e este será menor se o perfil possuir uma maior espessura.

Portanto, os sistemas de proteção devem evitar que as altas temperaturas atinjam a estrutura interna dos perfis, utilizando materiais de proteção térmica.

Os tipos de materiais mais empregados são:

- Argamassa projetada – geralmente constituída de gesso ou vermiculita, cimento e resinas acrílicas, formando uma massa fluída que é aplicada por jateamento diretamente na superfície da peça de aço;
- Fibra projetada – constituída por agregados, fibras minerais e aglomerantes que também são aplicados diretamente nas peças estruturais;
- Mantas – podem ser feitas em fibra cerâmica ou lã de rocha. Sua aplicação é feita pelo envolvimento do contorno das peças pela manta com fixação por meio de pinos soldados, ou pela criação de uma caixa ao redor da peça, com auxílio de uma tela para fixação da manta;
- Placas – são elementos pré-fabricados, compostos por materiais fibrosos, vermiculita ou gesso, fixados na estrutura, proporcionando diversas possibilidades de acabamentos;
- Pintura Intumescente – constituída por polímeros com pigmentos intumescentes que reagem na presença de fogo, aumentando seu volume. Esses produtos são degradáveis na presença de água, necessitando de uma pintura de base e de acabamento compatíveis, quando utilizados em peças estruturais sujeitas à ação de intemperismo. Como o seu custo é maior, a sua utilização deve ser bem planejada.

Além disso, a proteção contra altas temperaturas pode ser feita por meio de outros elementos construtivos. A integração dos perfis estruturais com elementos da alvenaria, forros, ou outros elementos arquitetônicos cria uma diminuição do perímetro exposto dos perfis, propiciando uma economia na aplicação de sistemas de proteção contra incêndio. As possibilidades de arranjo são inúmeras e depende da concepção do projeto e do tipo de detalhe que o arquiteto preferir adotar (OLIVEIRA,2012).

A proteção contra altas temperaturas também pode ser obtida com a utilização de

estruturas mistas, principalmente pilares, pois o concreto forma uma barreira para o perfil metálico.

Apesar da necessidade de se proteger a estrutura de aço em caso de incêndio, o uso de perfis externos aparentes nas fachadas não deve ser descartado. Muitos arquitetos optam por utilizar a estrutura como parte da expressão arquitetônica, e a proteção contra altas temperaturas não se caracteriza como um empecilho.

Nesses casos, na ocorrência de incêndio, a estrutura será aquecida apenas pelas chamas que emanam na janela ou de outras aberturas da fachada do edifício.

Segundo Vargas e Silva (2003), é possível que os elementos estruturais externos possam dispensar a proteção térmica, mantendo a necessária segurança contra incêndio, se eles forem posicionados de forma adequada em relação às aberturas das fachadas.

Além disso, a utilização da pintura intumescente também pode ser uma solução para o caso de estruturas externas aparentes.

#### **2.14.PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO**

Observa-se que o aumento da temperatura é capaz de provocar uma certa redução na resistência do aço.

No século XIX, época em que começou a construção dos edifícios de vários andares, utilizava-se o concreto como material para revestir o aço, sem ter função estrutural, porém, com grandes espessuras, em virtude de o concreto não ser um isolante adequado (SILVA, 2013).

Anos após o concreto, observou-se que além de revestimento, aproveitou-se ainda como um elemento estrutural, atuando em conjunto com aço com a finalidade de promover maior resistência aos esforços. Apareceram as estruturas mistas de concreto e aço. Posteriormente teve início a construção de edifícios de vários andares de concreto armado. Inicialmente não se sabia que o concreto armado também era capaz de obter problemas por meio de temperaturas elevadas..(SILVA, 2013).

Atualmente percebe-se que a resistência do aço, da madeira, do concreto, do alumínio e da alvenaria estrutural nas situações de incêndio torna-se diminuída em decorrência da decomposição das propriedades mecânicas dos materiais, ou da diminuição da área resistente (SILVA, 2013)

Observa-se que a resistência e o módulo de elasticidade do aço e do alumínio se tornam reduzidos quando são submetidos a temperaturas elevadas. O concreto, além de apresentar uma resistência diminuída, perde ainda área de resistência devido ao “spalling”. O “spalling” é definido como um lascamento evidenciado na superfície da estrutura de concreto, gerado através da água quando está em evaporação, provocando uma pressão interna, e ainda ao comportamento diferencial dos itens que compõem o concreto. Nos concretos altamente resistentes pode acontecer o “spalling” explosivo, em decorrência da grande dificuldade de percolação da água. O “spalling” é capaz de diminuir a área de resistência do concreto, de forma a expor a armadura ao fogo. O fogo é capaz de provocar carbonização nas superfícies expostas dos elementos de madeira e conseqüentemente irá reduzir a área resistente permitindo que o incêndio seja realimentado. A camada carbonizada protege a área mais central, alcançando baixas temperaturas (SILVA, 2013).

Apesar de a redução das propriedades mecânicas do concreto e da madeira ser mais acentuada, em função da temperatura, do que a do aço, deve-se notar que a temperatura média atingida por um elemento isolado de aço em incêndio é, geralmente, maior do que a dos outros dois materiais. (SILVA, 2013).

A ABNT NBR 14432:2000 “Exigências de resistência ao fogo dos elementos construtivos das edificações” fornece a mínima resistência ao fogo requerida para as estruturas. No Estado de São Paulo, bem como em outros estados brasileiros, há exigência legal para a verificação das estruturas em situação de incêndio.

A ABNT NBR 14323:2012 “Dimensionamento das estruturas de aço em situação de incêndio” e a ABNT NBR 15200:2012 “Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio” fornecem os procedimentos para o dimensionamento das estruturas formadas por ambos os materiais.



### 3.METODOLOGIA

Este trabalho de conclusão de curso foi baseado em uma pesquisa sobre o uso de estruturas metálicas na construção civil. Para a elaboração do projeto foram executadas diversas etapas:

- Análise e estudo do referencial teórico baseado em fontes bibliográficas como notas de aula, livros, monografias, dissertações, normas técnicas (NBR 8800, NBR 6118 e NBR 6120), publicações científicas etc;
- Identificação das obras em estruturas metálicas que estavam/estão sendo construídas na cidade de Campina Grande-PB;
- Preparação de uma declaração do professor orientador autorizando a pesquisa de dados nas obras visitadas;
- Elaboração e aplicação de um questionário, contendo 20 perguntas sobre o tema nas obras em estruturas de aço da cidade;
- Obtenção e análise dos resultados, tendo em vista que diversas obras foram solicitadas mas apenas uma respondeu o questionário satisfatoriamente aos propósitos da pesquisa;

Para auxiliar no direcionamento da pesquisa, foi elaborado um questionário contendo 20 perguntas abordando o tema “O Uso de Estruturas Metálicas na Construção Civil”. Foi feito um levantamento das obras que estão sendo feitas em estruturas de aço na cidade de Campina Grande-PB. Depois disso, o questionário foi aplicado em 3 construções, porém não foi obtida resposta de 1 obra, outra obra respondeu somente algumas perguntas e apenas 1 obra respondeu o questionário de forma satisfatória.

#### **Questionário sobre edificações em estruturas de aço em Campina Grande**

1)Local da Obra?

*(A intenção dessa pergunta era saber em quais pontos da cidade predominam o uso de estruturas metálicas)*

2)Qual o tamanho da área construída?

*(com esse questionamento, pôde-se obter a relação área construída/tempo de execução)*

3)Porque/para que está sendo construído a edificação?

*(Saber o intuito da edificação, é imprescindível para perceber quais os setores que estão demandando esse tipo de tecnologia)*

4)Porque foi escolhido a estrutura de aço para a construção?

*(A motivação pode ser diversa, como peso da estrutura, tempo de execução, design,etc)*

5)Qual foi o tempo de execução da obra?

*(Com esse dado, podemos fazer um comparativo com a estrutura convencional)*

6)Qual o tamanho dos vãos?

*(O objetivo dessa pergunta é avaliar o aumento no tamanho dos vãos que é possível de se fazer com esse tipo de estrutura)*

7)Há uma estimativa da diminuição do peso da estrutura? Se houver, quanto é?

*(Com essa informação, é possível estimar a diminuição do custo com a fundação)*

8)Qual o tamanho dos perfis utilizados?

*(É fundamental saber o tamanho de perfil que está sendo mais utilizado)*

9) Que tipo de perfis foram mais utilizados? Soldado ou laminado?

10)Há mão de obra especializada no mercado para esse tipo de sistema construtivo?

*(Isso poderia ser uma dificuldade na execução da obra)*

11)Qual é o tempo necessário para capacitação de um operário?

12)Qual a parcela economizada na limpeza da obra?

13)Quanto foi economizado na fundação da edificação?

14)Qual o valor total da obra?

*(Pode-se fazer um levantamento de quanto o valor é acrescido ou diminuído em relação ao sistema de estruturas convencional)*

15) Qual o valor gasto com material?

*(Pode-se medir o percentual que é gasto com material e o que é gasto com mão de obra)*

16) Qual o valor gasto com mão de obra?

17) Se mais caro do que a estrutura em concreto armado, em quanto tempo o valor excedente será repostado devido ao menor tempo de execução?

*(Com essa informação, podemos deduzir qual o método de construção é mais vantajoso no curto e médio prazo)*

18) Quais foram as dificuldades encontradas na fase de projeto?

19) Quais foram as dificuldades encontradas na fase de execução?

20) Há algum comentário que gostaria de acrescentar? (vantagens/desvantagens, inovações tecnológicas...)

#### 4. ANÁLISE E DISCUSSÕES

Analisando o questionário que foi respondido, determinou-se alguns fatores importantes na escolha do sistema construtivo de uma edificação, tais como:

- Prazo de entrega;
- Altura e seção de vigas;
- Tipo e altura de laje utilizada;
- Tamanho dos vãos;
- Altura livre entre os pavimentos;
- Peso da estrutura;
- Limpeza do canteiro de obras;

A partir dos resultados obtidos, pôde-se observar algumas vantagens e desvantagens da solução estrutural em aço. Destacam-se as seguintes vantagens:

- Diminuição na altura das vigas, proporcionando o aumento na altura livre entre os pavimentos e aumento do espaço para as instalações hidráulicas e elétricas do edifício;
  - Redução da seção dos perfis das vigas, diminuindo assim o peso total do aço utilizado na estrutura;
  - Diminuição do peso total da estrutura, acarretando a redução de cargas na fundação;
  - Menor desperdício de materiais, possibilitando um canteiro de obras mais limpo e que requer uma menor mão de obra;
  - Prazo de entrega mais curto, propiciando um retorno do investimento de forma mais rápida dependendo da finalidade da obra;
  - Confecção de sistemas em paralelos, aumentando o número de frentes de serviço;
- É importante também, ressaltar as desvantagens:
- Risco de custos maiores: se o projeto não levar em conta todos os itens da construção, o preço pode ser de 5 a 20% maior se comparado ao processo convencional;
  - Pouco indicado em construção pequena: como se trata de uma estrutura industrial, não se justifica economicamente o pedido de poucas peças.
  - Dificuldade de transporte: a locomoção é mais difícil em locais ermos ou cidades distantes de centros urbanos.

- Desembolso em curto espaço de tempo: como os prazos são pequenos, o dinheiro tem que estar disponível para a execução;
- Contração e dilatação constantes: se essa movimentação característica do aço não for respeitada, podem surgir trincas nas paredes e nos pisos. Deve-se respeitar as especificações de projeto: se ele determinar paredes de tijolos, não é aconselhável usar blocos, por exemplo.
- Precisão é fundamental: Planejar cada detalhe da estrutura de aço e seus desdobramentos pode levar meses.

## 5. CONCLUSÃO

A utilização do aço na construção civil, em estruturas metálicas, em pequenos e grandes projetos está ganhando espaço a cada dia, mesmo considerando sua desvantagem econômica comparando-se com a estrutura convencional. Com o uso da estrutura metálica, além dos projetos serem mais sofisticados, as possibilidades arquitetônicas se ampliam pela grande potencialidade que oferecem em termos de desenho e arrojo arquitetônico. As técnicas construtivas podem ser mais extensas, os espaços mais amplos, mais abrangentes, com as necessidades dos clientes melhor atendidas.

Com a expansão da conscientização ecológica, com a constante cobrança dos movimentos ambientais, bem como com maiores exigências quanto ao uso legal das florestas, a estrutura metálica tem tudo para ganhar espaço nos projetos de Engenharia Civil e de Arquitetura, na preferência dos clientes e na conservação ambiental. A estrutura metálica pode substituir com vantagens a estrutura convencional de madeira e concreto. A Engenharia Civil tem muito a contribuir através da pesquisa, da técnica e da prática, colocando em exercício um potencial importante no desenvolvimento do Brasil.

A economia de uma obra com estrutura metálica depende de diversos fatores em comparação a uma obra em concreto armado e, por este motivo, devem ser muito bem analisadas. Por exemplo, estruturas metálicas geram cargas menores para a fundação, menor tempo de construção, menor consumo de revestimento, maior área útil e maior velocidade de giro do capital investido. Em contrapartida, o que é mais barato e acessível, sendo o concreto um material, economicamente, mais viável que o aço, mas, como possuem baixa resistência e rigidez do material, precisam de grandes seções transversais para resistir aos esforços atuantes, dando origem a conjuntos robustos, fator limitante ao projeto arquitetônico.

Quanto à determinação da estrutura que apresenta um melhor custo-benefício, verificou-se a necessidade de novos estudos que envolvam fatores variáveis, como o tempo de execução de obra, retorno do capital investido, custo de materiais, custo da execução (mão de obra, equipamentos), custo de fundações e limitações arquitetônicas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A **fabricação do aço.** Disponível em: <<https://esquadraodoconhecimento.wordpress.com/ciencias-da-natureza/quim/a-fabricacao-do-aco/>>. Acesso em: 18 jan. 2018.

ALVA, G. **Comportamento Estrutural e Dimensionamento de Elementos Mistos Aço-Concreto.** Disponível em: <[http://www.set.eesc.usp.br/cadernos/nova\\_versao/pdf/cee25\\_51.pdf](http://www.set.eesc.usp.br/cadernos/nova_versao/pdf/cee25_51.pdf)>. Acesso em: 23 nov. 2017.

BANDEIRA, A. A. C. **Análise do Uso de Estruturas de Aço em Edificações Habitacionais de Interesse Social.** Monografia - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <<http://pos.demc.ufmg.br/novocecc/trabalhos/pg1/Monografia%20Adriana%20Almeida%20de%20Castro.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

CATARINA. Florianópolis, 2006. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/88811/234096.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 04 jan. 2018.

CHAMBERLAIN, Z. **Ações do Vento em Edificações.** Disponível em: <[http://usuarios.upf.br/~zacarias/acoes\\_vento.pdf](http://usuarios.upf.br/~zacarias/acoes_vento.pdf)>. Acesso em: 15 jan. 2018.

D'AGOSTINI, M. A. S. **Análise de Viabilidade: Utilização de Estruturas Metálicas na Construção de Casas Populares.** Monografia – Universidade Alto Vale do Rio do Peixe. Caçador, 2017. Disponível em: <[http://extranet.uniarp.edu.br/acervo/Biblioteca Digital PDF/Engenharia Civil/TCC/Análise de viabilidade utilização de estruturas metálicas na construção de casas populares Michele DAgostini 2016.pdf](http://extranet.uniarp.edu.br/acervo/Biblioteca%20Digital%20PDF/Engenharia%20Civil/TCC/Análise%20de%20viabilidade%20utilização%20de%20estruturas%20metálicas%20na%20construção%20de%20casas%20populares%20Michele%20D'Agostini%202016.pdf)>. Acesso em: 16 jan. 2018.

DIAS, L. A. M. **Estruturas de aço: conceitos técnicas e linguagens.** São Paulo: Editora Zigate, 1997.

INABA, R. **Construções Metálicas: O uso do Aço na Construção Civil.** Disponível em: <<http://www.metalica.com.br/construcoes-metalicas-o-uso-do-aco-na-construcao-civil>>. Acesso em: 26 jun. 2017.

MAEDA, Caroline. **Estruturas Metálicas.** 3. Disponível em: <<http://grupo2metalica.no.comunidades.net/index.php>>. Acesso em: 09 jan. 2018.

MELADO, B. **Pintura.** Disponível em: <<https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2014/11/aula-15-pintura.pdf>>. Acesso em: 03 jan. 2018

MERIAM, J. L.; KRAIGE, L. G., **Mecânica – Estática,** Quarta Edição, Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, 1994.

NARDIN, F. A. **A Importância da Estrutura Metálica na Construção Civil**. Monografia - Universidade São Francisco. Itatiba, 2008. Disponível em: <<http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/1268.pdf>>. Acesso em: 19 jan. 2018.

OLIVEIRA, A. R. **Corrosão e Tratamento de Superfície**. Disponível em: <[http://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo\\_ctrl\\_proc\\_indust/tec\\_metal/corr\\_trat\\_superf/161012\\_corr\\_trat\\_superf.pdf](http://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo_ctrl_proc_indust/tec_metal/corr_trat_superf/161012_corr_trat_superf.pdf)>. Acesso em: 11 jan. 2018.

PANNONI, F. A **Prevenção da Corrosão em Estruturas Metálicas** . Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/16370484/a-prevencao-da-corrosao-em-estruturas-metalicas>>. Acesso em: 16 jan. 2018.

ROSSATTO, B. M. **Estudo Comparativo de Uma Edificação em Estrutura Metálica/ Concreto Armado: Estudo de Caso**. Monografia – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2015. Disponível em: <[http://coral.ufsm.br/engcivil/images/PDF/1\\_2015/TCC\\_BARBARA%20MAIER%20ROSSATTO.pdf](http://coral.ufsm.br/engcivil/images/PDF/1_2015/TCC_BARBARA%20MAIER%20ROSSATTO.pdf)>. Acesso em: 19 jan. 2018.

SILVA, V. P. **Dimensionamento de Estruturas de Aço**. Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; Apostila para a disciplina PEF 2402 – Estruturas Metálicas e de Madeira. São Paulo, jun, 2012. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/110863/mod\\_resource/content/0/apostila2012.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/110863/mod_resource/content/0/apostila2012.pdf)>. Acesso em: 19 jan. 2018.

SILVA, V. P. **Segurança das Estruturas em Situação de Incêndio. Uma Visão da América Latina**. Coimbra, maio-jun, 2013.

SÜSSEKIND, J. C. **Curso de Análise Estrutural: Método das Deformações e Processo de Cross**. Porto Alegre: Editora Globo, v. 3, 1997.

TESSARI, J. **Utilização de Poliestireno Expandido e Potencial de Aproveitamento de Seus Resíduos na Construção Civil**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/88811/234096.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 04 jan. 2018.

TRIGO, T. **Propriedades Mecânicas**. Disponível em: <<http://Propriedades Mecânicas>>. Acesso em: 08 jan. 2018.

TSUTSUMOTO, N. Y.; SANTOS, T. S.; FIORITI, C. F. **Possibilidades de Layout Com Estruturas de Aço em Edifícios Residenciais Verticais de Médio Padrão de Presidente Prudente**. 2014. 17 p. Artigo (Engenharia Civil)- -, Contribuição técnica ao Construmetal 2014 – 02 a 04 de setembro de 2014, São Paulo, SP, Brasil. Congresso Latino-Americano da Construção Metálica. Disponível em: <<http://www.abcem.org.br/construmetal/2014/downloads/contribuicao-tecnocientifica/Nayra-Yumi.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2017.



**ZEEMANN, A. Aços Baixa Liga e Alta Liga.** Disponível em:  
<<https://pt.linkedin.com/pulse/a%C3%A7os-baixa-liga-e-alta-annelise-zeemann>>. Acesso em: 28 dez. 2017.

## ANEXOS

### ANEXO 1 – Peso específico dos materiais de construção

**Tabela 1 - Peso específico dos materiais de construção**

Materiais		Peso específico aparente (kNm <sup>3</sup> )
1 Rochas	Arenito	26
	Basalto	30
	Gneiss	30
	Granito	28
	Mármore e calcáreo	28
2 Blocos artificiais	Blocos de argamassa	22
	Cimento amianto	20
	Lajotas cerâmicas	18
	Tijolos furados	13
	Tijolos maciços	18
	Tijolos silico-calcáreos	20
3 Revestimentos e concretos	Argamassa de cal, cimento e areia	19
	Argamassa de cimento e areia	21
	Argamassa de gesso	12,5
	Concreto simples	24
	Concreto armado	25
4 Madeiras	Pinho, cedro	5
	Louro, imbuia, pau óleo	6,5
	Guajuvirá, guatambu, grápia	8
	Angico, cabriuva, ipê róseo	10
5 Metais	Aço	78,5
	Alumínio e ligas	28
	Bronze	85
	Chumbo	114
	Cobre	89
	Ferro fundido	72,5
	Estanho	74
	Latão	85
	Zinco	72
6 Materiais diversos	Alcatrão	12
	Asfalto	13
	Borracha	17
	Papel	15
	Plástico em folhas	21
	Vidro plano	26

ANEXO 2 – Valores mínimos das cargas verticais

Tabela 2 - Valores mínimos das cargas verticais

		Unid.: kN/m <sup>2</sup>
	Local	Carga
1	Arquibancadas	4
2	Balcões	•
3	Bancos	2
	Escritórios e banheiros Salas de diretoria e de gerência	1,5
4	Bibliotecas	2,5
	Sala de leitura Sala para depósito de livros	4
	Sala com estantes de livros a ser determinada em cada caso ou 2,5 kN/m <sup>2</sup> por metro de altura observado, porém o valor mínimo de	6
5	Casas de máquinas	7,5
6	Cinemas	3
	Platéia com assentos fixos Estúdio e platéia com assentos móveis	4
	Banheiro	2
7	Clubes	3
	Sala de refeições e de assembleia com assentos fixos Sala de assembleia com assentos móveis	4
	Salão de danças e salão de esportes	5
	Sala de bilhar e banheiro	2
8	Corredores	3
	Com acesso ao público Sem acesso ao público	2
9	Cozinhas não residenciais	3
10	Depósitos	•
11	Edifícios residenciais	1,5
	Dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro Despensa, área de serviço e lavanderia	2
12	Escadas	3
	Com acesso ao público Sem acesso ao público (ver 2.2.1.7)	2,5
13	Escolas	3
	Anfiteatro com assentos fixos Corredor e sala de aula	2
	Outras salas	2
14	Escritórios	2
15	Fornos	0,5
16	Galerias de arte	3
17	Galerias de lojas	3
18	Garagens e estacionamentos	3
19	Ginásios de esportes	5

/continuação		Local	Carga
20 Hospitais	Dormitórios, enfermarias, sala de recuperação, sala de cirurgia, sala de raio X e banheiro		2
	Corredor		3
21 Laboratórios	Incluindo equipamentos, a ser determinado em cada caso, porém com o mínimo		3
22 Lavanderias	Incluindo equipamentos		3
23 Lojas			4
24 Restaurantes			3
25 Teatros	Palco		5
	Demais dependências: cargas iguais às especificadas para cinemas		-
26 Terraços	Sem acesso ao público		2
	Com acesso ao público		3
	Inacessível a pessoas		0,5
	Destinados a heliportos elevados: as cargas deverão ser fornecidas pelo órgão competente do Ministério da Aeronáutica		-
27 Vestíbulo	Sem acesso ao público		1,5
	Com acesso ao público		3

## RESPOSTAS

### (Primeira Obra)

1)Local da Obra:

*Bairro da Prata, Campina Grande-PB*

2)Qual o tamanho da área construída?

*426 m<sup>2</sup>*

3)Porque/para que está sendo construído a edificação?

*A edificação será uma Farmácia*

4)Porque foi escolhido a estrutura de aço para a construção?

*Para agilizar o processo de construção*

5)Qual foi o tempo de execução da obra?

*10 meses*

6)Qual o tamanho dos vãos?

*2 vãos com 213 m<sup>2</sup> de área*

7)Há uma estimativa da diminuição do peso da estrutura? Se houver, quanto é?

*Cerca de 50 % do peso, se fosse construído com uma estrutura de concreto armado.*

8)Qual o tamanho dos perfis utilizados?

*Foram utilizados perfis de 7 a 8 m de comprimento.*

9) Que tipo de perfis foram mais utilizados? Soldado ou laminado?

*Ambos*

10)Há mão de obra especializada no mercado para esse tipo de sistema construtivo?

*Sim*

11)Qual é o tempo necessário para capacitação de um operário?

*3 meses*

12)Qual a parcela economizada na limpeza da obra?

*Uma boa parcela, pois o trabalho com estrutura metálica garante um canteiro de obras mais limpo.*

13)Quanto foi economizado na fundação da edificação?

*Em torno de 50% do valor se a obra fosse feita em concreto armado.*

14)Qual o valor total da obra?

*R\$500,000.00*

15)Qual o valor gasto com material?

*Em torno de R\$ 120,000.00*

16)Qual o valor gasto com mão de obra?

*Cerca de R\$120,000.00 com mão de obra e material inclusos*

17)Se mais caro do que a estrutura em concreto armado, em quanto tempo o valor excedente será repostado devido ao menor tempo de execução?

*Foi diminuído 1 ano do tempo de execução.*

18) Quais foram as dificuldades encontradas na fase de projeto?

*Vizinhança*

19) Quais foram as dificuldades encontradas na fase de execução?

*Nenhuma*

20) Há algum comentário que gostaria de acrescentar? (vantagens/desvantagens, inovações tecnológicas...)

*As vantagens da estrutura metálica são a economia de recursos e tempo. As desvantagens são que a equipe de fechamento tem que esperar a frente da estrutura metálica concluir seu serviço.*

### **(Segunda Obra)**

1) Local da Obra:

*Construção da estrutura metálica do ginásio localizado no parque da liberdade.*

2) Qual o tamanho da área construída?

*44,00 x 32,72 = 1439,68 m<sup>2</sup>*

3) Porque/para que está sendo construído a edificação?

4) Porque foi escolhido a estrutura de aço para a construção?

*Fácil Execução, facilidade no manuseio, ganho de tempo, embelezamento da obra, etc.*

5) Qual foi o tempo de execução da obra?

*Ainda não sei, devido ainda não ter finalizado a obra.*

6) Qual o tamanho dos vãos?

*Administração = 3,95 x 5,20*

*Sala de Professores = 3,40 x 5,20*

*Sala de Primeiros Socorros = 2,80 x 5,20*

*Vestiário Feminino = 4,40 x 5,20*

*Vestiário Acessível Feminino = 2,25 x 5,20*

*Vestiário Masculino = 4,40 x 5,20*

*Vestiário Acessível Masculino = 2,25 x 5,20*

*Copa = 2,00 x 5,20*

*Depósito = 3,60 x 5,20*

*Acesso Mezanino = 1,60 x 5,20*

7) Há uma estimativa da diminuição do peso da estrutura? Se houver, quanto é?

*Não Sei!*

8) Qual o tamanho dos perfis utilizados?

*Não Sei!*

9) Que tipo de perfis foram mais utilizados? Soldado ou laminado?

*Perfis soldados.*

10) Há mão de obra especializada no mercado para esse tipo de sistema construtivo?

*Soldadores e profissionais de estrutura metálica.*

11) Qual é o tempo necessário para capacitação de um operário?

*Não Sei!*

12) Qual a parcela economizada na limpeza da obra?

*Não Sei!*

13) Quanto foi economizado na fundação da edificação?

*Não Sei!*

14) Qual o valor total da obra?

*Não Sei!*

15) Qual o valor gasto com material?

*Não Sei!*

16) Qual o valor gasto com mão de obra?

*Não Sei!*

17) Se mais caro do que a estrutura em concreto armado, em quanto tempo o valor excedente será repostado devido ao menor tempo de execução?

*Não Sei!*

18) Quais foram as dificuldades encontradas na fase de projeto?

*Execução devido à dificuldade de entender o projeto da estrutura metálica.*

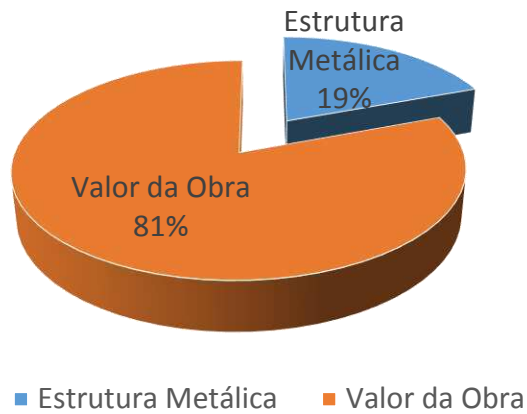
19) Quais foram as dificuldades encontradas na fase de execução?

*Nenhum!*

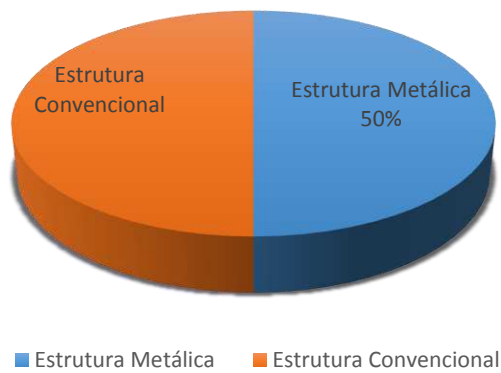
20) Há algum comentário que gostaria de acrescentar? (vantagens/desvantagens, inovações tecnológicas...)

*Nenhum.*

## Parcela investida na Estrutura

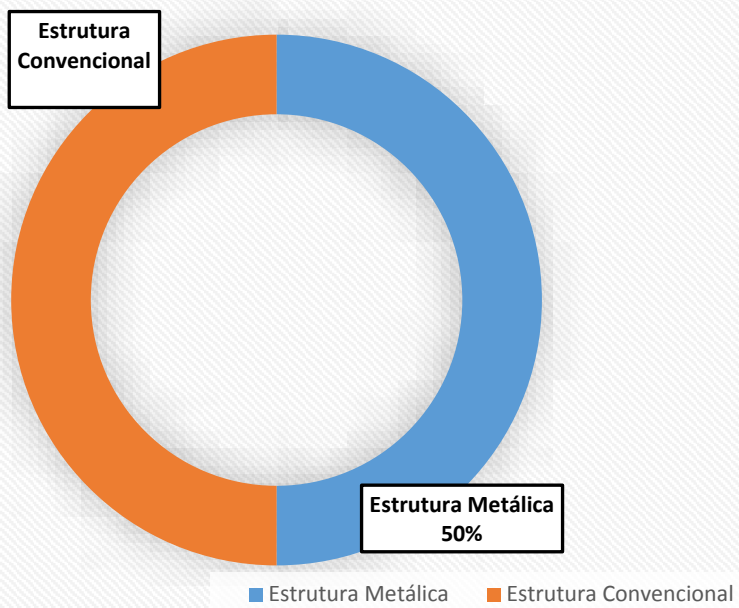


## Valor gasto com fundações





## Peso da Estrutura



## CRITÉRIO DE ESCOLHA: TEMPO DE EXECUÇÃO

