

**FACULDADE PATOS DE MINAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ERICA CRISTINA NUNES
LEANDRA SOUZA SARAIVA**

ESTRUTURA METÁLICA NA CONSTRUÇÃO CIVIL:
estudo de caso no Instituto Politécnico de Patos de
Minas

**PATOS DE MINAS
2016**

**ERICA CRISTINA NUNES
LEANDRA SOUZA SARAIVA**

ESTRUTURA METÁLICA NA CONTRUÇÃO CIVIL:
estudo de caso no Instituto Politécnico de Patos de
Minas

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade Patos de Minas
como requisito para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof.^o Esp. José Natal do
Amaral.

**PATOS DE MINAS
2016**

Candidatos:
ERICA CRISTINA NUNES
LEANDRA SOUZA SARAIVA

**ESTRUTURA METÁLICA NA CONSTRUÇÃO CIVIL: estudo de caso
no Instituto Politécnico de Patos de Minas**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Patos de Minas
como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil –
FACULDADE PATOS DE MINAS.

Data: 10 de novembro de 2016.

Prof.^o . Esp. José Natal do Amaral.
Orientador

Prof.^a . Esp. Nayara Silva Mota
Examinador

Prof.^a . Esp. Raquel Resende Rocha
Examinador

Aprovado (x)

Reprovado ()

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por colocar pessoas certas no meu caminho e proporcionar o dom da vida.

Aos meus familiares que sempre me apoiaram e acreditaram que eu poderia realizar esse sonho de conclusão de um curso superior.

Reconheço a colaboração de todos os meus professores e colegas de sala do curso de graduação em Engenharia Civil.

Em especial agradeço ao meu professor e orientador José Natal do Amaral por toda paciência e sabedoria transmitida. Agradeço ao Engenheiro Mecânico Wesley Magno que contribuiu de forma significativa na elaboração do tema e muitas outras informações. Agradeço também a professora Helenize pelas suas dicas e auxílio.

E, por fim, agradeço a todos que de alguma forma me apoiaram e acreditaram nesta conquista.

SARAIVA, Leandra Souza; NUNES, Erica Cristina. **Estrutura metálica na construção civil**: estudo de caso no instituto politécnico. 2016. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Politécnico, Faculdade de Patos de Minas, Patos de Minas, 2016.

ESTÁ AUTORIZADA INTEGRAL OU PARCIALMENTE A REPRODUÇÃO DESTE TRABALHO, PARA FINS DE ESTUDO E/OU PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

RESUMO

O Tema deste trabalho é Estrutura Metálica na Construção Civil com um estudo de caso no Instituto Politécnico de Patos de Minas. A Estrutura Metálica oferece grande eficiência diante da competitividade atual do mercado, e considerando ainda sua pouca utilização faz-se necessário um estudo detalhando suas vantagens. São apresentados conceitos sobre Estrutura Metálica, informações técnicas relativas à análise de uma construção, além de informações comparativas entre a construção em estrutura metálica e estrutura em concreto armado. A motivação do estudo de caso se deu pelas diversas vantagens da estrutura metálica sobre a estrutura de concreto armado, sendo que a principal razão para essa decisão foi o fato da estrutura metálica possuir um tempo muito menor de execução comparado à estrutura convencional, pois a obra tinha um prazo estabelecido muito reduzido para sua conclusão. A análise pode comprovar realmente aspectos positivos na escolha da Estrutura Metálica como método construtivo, dessa forma, a obra do Instituto Politécnico de Patos de Minas foi entregue sem atrasos dentro do prazo que foi previamente estabelecido.

Palavras-chave: Estrutura Metálica, Aço.

ABSTRACT

The theme of this work is Steel Structure Construction with a case study at the Polytechnic Institute of Patos de Minas. The Steel Structure offers great efficiency on the current competitive market, and considering its limited use is necessary a study detailing its advantages. Some concepts are presented on Steel Structure like technical information on the analysis of a building, and comparative information between construction steel structure and reinforced concrete structure. The motivation of the case study was given by the various advantages of the metal structure that's better than the reinforced concrete structure, and the main reason for this decision was the fact that the metal structure has a much shorter execution time compared to the conventional structure, because this work I had a deadline too small to completion. The analysis can actually prove a number of positive aspects in the choice of Steel Structure as a constructive method, therefore, the work of the Polytechnic Institute of Patos de Minas was delivered without delay the deadline that was set.

Keywords: .Metal Structure, Steel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Exemplo de processo siderúrgico	13
Figura 2	Exemplo de perfis laminados de abas paralelas	18
Figura 3	Exemplo de perfis de abas inclinadas	19
Figura 4	Exemplo de perfis conformados a frio	20
Figura 5	Exemplo de haste	21
Figura 6	Exemplos de chapas	22
Figura 7	Treliça tipo Home	22
Figura 8	Grelha plana	23
Figura 9	Exemplo de pórtico	23
Figura 10	Hotel Arts, Barcelona, contraventamento metálico, travamento em "X"	24
Figura 11	Esquema de painéis de placas	25
Figura 12	Laje steel deck	26
Figura 13	Parede em drywall	29
Figura 14	Figura ilustrativa do Instituto Politécnico de Patos de Minas	40
Figura 15	Projeto arquitetônico do pavimento térreo	42
Figura 16	Projeto arquitetônico do primeiro pavimento	43
Figura 17	Projeto arquitetônico do segundo pavimento	44
Figura 18	Projeto plano de viga	45
Figura 19	Projeto detalhamento vigas	46
Figura 20	Projeto pilares salas	47
Figura 21	Localização dos pilares	48
Figura 22	Início da obra	50
Figura 23	Marcação da obra	50
Figura 24	Remontagem da cobertura	51
Figura 25	Início da montagem dos pilares	51
Figura 26	Início da montagem das vigas	52
Figura 27	Início da montagem do steel deck da primeira laje	52
Figura 28	Conectores e tela	53
Figura 29	Início da concretagem primeira laje	53
Figura 30	Steel deck segunda laje	54
Figura 31	Término segunda laje	54

Figura 32	Execução de alvenarias e divisórias	55
Figura 33	Paredes de drywall	55
Figura 34	Acabamento interno	56

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Problemática	10
1.2	Objetivo Geral	10
1.3	Objetivos específicos	10
1.4	Justificativa	11
2	REVISÃO DA LITERATURA	12
2.1	Histórico da estrutura metálica	12
2.2	Conceito de estrutura	12
2.2.1	<i>Conceito de estrutura metálica</i>	12
2.3	O aço	12
2.3.1	<i>O aço e ferro-gusa</i>	13
2.3.2	<i>O processo siderúrgico</i>	13
2.3.3	<i>Propriedades dos aços estruturais</i>	14
2.3.4	<i>Aços estruturais</i>	15
2.3.4.1	<u>Aços-carbono</u>	16
2.3.4.2	<u>Aços de baixa Liga</u>	17
2.4	Perfis	18
2.4.1	<i>Perfis laminados</i>	18
2.4.2	<i>Perfis conformados a frio</i>	19
2.5	Sistemas estruturais em aço	20
2.5.1	<i>Sistemas estruturais</i>	20
2.5.2	<i>Sistemas de elementos lineares</i>	22
2.5.3	<i>Sistemas de elementos bidimensionais</i>	24
2.5.4	<i>Sistemas de lajes</i>	25
2.5.4.1	<u>Laje steel deck</u>	26
2.6	Conexão entre os elementos metálicos	27
2.7	Fechamentos para estrutura metálica	28
2.7.1	<i>Drywall</i>	28
2.8	Projeto	29
2.8.1	<i>Normas</i>	30
2.8.2	<i>Métodos de cálculo</i>	31
2.8.2.1	<u>Método das tensões admissíveis</u>	31

2.8.2.2	<u>Teoria plástica de dimensionamento das seções</u>	31
2.8.2.3	<u>Método dos estados limites</u>	32
2.9	Etapas da construção	32
2.9.1	<i>Arquitetura</i>	32
2.9.2	<i>Projeto estrutural</i>	33
2.9.3	<i>Sondagem do solo</i>	34
2.9.4	<i>Detalhamento</i>	34
2.9.5	<i>Fabricação</i>	34
2.9.6	<i>Limpeza e proteção</i>	34
2.9.7	<i>Transporte</i>	35
2.9.8	<i>Montagem</i>	35
2.9.9	<i>Controle de qualidade</i>	35
2.9.10	<i>Manutenção</i>	35
2.10	Vantagens e desvantagens da estrutura metálica	36
2.10.1	<i>Vantagens</i>	36
2.10.2	<i>Desvantagens</i>	37
3	METODOLOGIA	39
3.1	Classificação do estudo	39
3.2	Planejamento da pesquisa	39
3.3	Materiais e equipamentos	39
4	ESTUDO DE CASO	40
4.1	Apresentação	39
4.1.1	<i>Visão geral dos projetos</i>	41
4.1.2	<i>Projetos de vigas e pilares</i>	45
4.2	Justificativa para o uso da estrutura metálica	49
4.3	Fornecimento, logística e montagem da estrutura	49
4.3.1	<i>Montagem dos fechamentos e acabamentos</i>	54
4.3.2	<i>Dificuldades encontradas</i>	56
4.4	Análise comparativa entre estrutura metálica e estrutura de concreto armado para o Instituto Politécnico de Patos de Minas....	56
4.4.1	<i>Vantagens do uso da estrutura metálica para o Instituto Politécnico de Patos de Minas</i>	57
4.4.2	<i>Desvantagens do uso da estrutura metálica para o Instituto Politécnico</i>	

<i>de Patos de Minas</i>	58
5 CONCLUSÕES	59
REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

A construção civil tem crescido muito no mercado atual e vem se aprimorando principalmente nas questões de materiais para serem utilizados na construção buscando soluções eficientes e também prazos menores de execução, por isso as estruturas metálicas tem ganhado cada vez mais espaço nas edificações.

Este estudo é direcionado a fazer uma abordagem a respeito das estruturas metálicas na construção civil através de pesquisas literárias ressaltando as características e propriedades estruturais do aço juntamente com suas vantagens e desvantagens, apresenta também um estudo de caso feito no Instituto Politécnico de Patos de Minas que demonstra as fases construtivas e suas devidas intercorrências comprovando assim sua viabilidade.

Este estudo revelará que apesar da estrutura metálica ainda ser pouco utilizada em relação às estruturas de concreto armado, merece um espaço maior pelo fato de apresentar mais vantagens quando comparado com suas desvantagens.

O presente trabalho é dividido em dois grandes capítulos sendo que o primeiro apresenta toda a revisão literária, e o segundo será relacionado ao estudo de caso do Instituto Politécnico de Patos de Minas.

1.1 Problemática

A questão que baliza o presente estudo é: vantagens e desvantagens da Estrutura Metálica na construção civil e sua viabilidade.

1.2 Objetivo Geral

Avaliar vantagens e desvantagens da utilização da Estrutura Metálica na construção civil do Instituto Politécnico de Patos de Minas.

1.3 Objetivos específicos

- Descrever conceitos sobre Estrutura Metálica através de revisão literária.

- Apresentar informações técnicas relativas à análise de uma construção metálica.
- Apresentar informações técnicas comparativas entre a construção em estrutura metálica e construção em concreto armado.

1.4 Justificativa

As Estruturas Metálicas demandam são eficientes e apresentam-se como soluções diante da competitividade atual do mercado, que por sua vez vem ganhando cada vez mais espaço no meio construtivo.

Estas estruturas apresentam resistência material de alto nível, rapidez na execução da obra, eliminando etapas construtivas, além do aproveitamento das áreas úteis nas edificações.

Esse sistema apresenta vantagens significativas em comparação à estrutura de concreto armado, por isso, considerando ainda a pouca utilização da Estrutura Metálica em comparação a estrutura não metálica, faz-se necessário a realização do estudo mais detalhado a respeito de suas características e benefícios que conseqüentemente podem contribuir e fazer toda a diferença para o ramo da construção civil.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Histórico da estrutura metálica

Os primeiros indícios do uso da Estrutura Metálica na área industrial foram a partir de 1750. No Brasil o início da fabricação foi no ano de 1812, impulsionado pela implantação das siderúrgicas. (1).

2.2 Conceito de estrutura

São todos os elementos que fazem parte da construção com o objetivo de resistir às cargas que a edificação apresenta. (2)

Os elementos estruturais devem resistir aos esforços transmitindo-os aos outros elementos através dos vínculos que por sua vez os levam esforços ao solo. (2)

2.2.1 Conceito de estrutura metálica

As estruturas metálicas são formadas pela associação de diversas peças metálicas, onde podem ser ligadas por conectores ou solda. Dentre os conectores os mais usados atualmente são os parafusos. (3)

As estruturas metálicas são aplicadas em quase todas as áreas construtivas (4), dentre suas aplicações específicas pode-se citar: telhados, edifícios industriais e comerciais, residências, pontes e viadutos, escadas, torres e etc. (1)

2.3 O aço

Material de extrema importância para ser usado em estruturas, pode ser utilizado de maneira isolada ou mesmo agrupado com outros materiais, dentre os mais utilizados destaca-se o concreto e a madeira. (5)

Uma das características mais importantes encontradas no aço é a sua alta resistência e ductilidade. (5)

2.3.1 O aço e ferro gusa

O aço pode ser definido como “[...] uma liga metálica constituída basicamente de ferro e carbono, obtida pelo refino de ferro-gusa em equipamentos apropriados”. (2)

O ferro gusa é o resultado da primeira fusão do minério de ferro que por sua vez apresenta por volta de 3,5 a 4,0 % de carbono. (2)

Essa massa de ferro, logo depois, passa pelo refinamento para ser retirado o excesso de carbono e outros elementos como o fósforo e enxofre, e adicionado outros elementos, como: “[...] cobre, níquel, manganês, molibdênio, silício, titânio, vanádio, nióbio etc., para desenvolver uma resistência desejada, a ductilidade, a soldabilidade e/ou outras características como a resistência à corrosão.” (5)

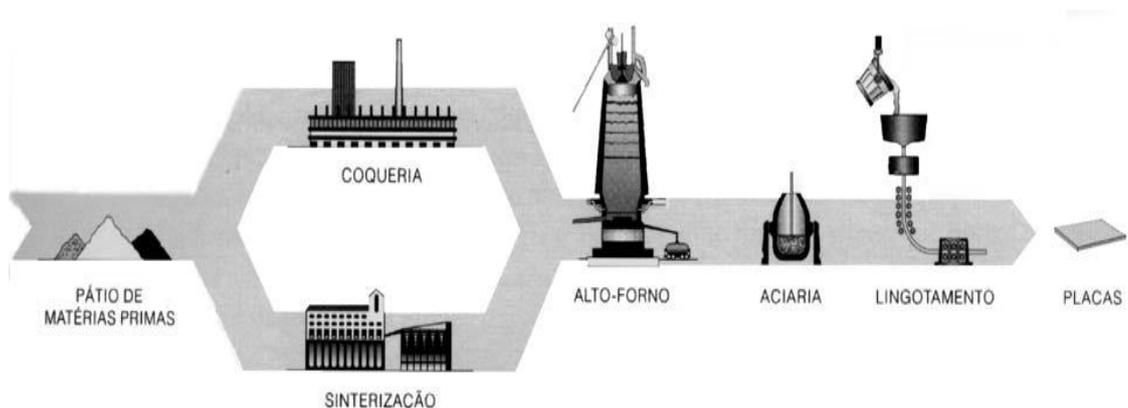
2.3.2 O processo siderúrgico

Processo onde acontece a obtenção do aço com o objetivo de preparar o produto final a ser utilizado no mercado. (2)

Na fabricação do aço acontece o aproveitamento do ferro que está presente no minério de ferro e a eliminação das impurezas. Após esse procedimento o aço sofre a adição de outros elementos para ser então solidificado para a produção das peças estruturais. (2)

O processo Siderúrgico pode ser dividido em quatro principais etapas, conforme se pode observar na figura 1. (6)

Figura 1 – Exemplo de processo siderúrgico



Fonte: (6)

1º. Preparo de matérias-primas (minério de ferro e carvão mineral): na Sinterização, produção do sinter, ocorre aglutinação do minério de ferro, para o processo de obtenção do ferro-gusa no alto-forno. (6)

Na Coqueificação acontece a eliminação das impurezas nos fornos que são chamados coqueria. O processo de destilação do carvão em ausência de ar resulta no coque metalúrgico composto basicamente de carbono com alto ponto de fusão e resistência sendo encaminhado ao alto forno posteriormente. (6)

2º. Produção do ferro-gusa: No alto forno retira-se então o oxigênio do minério resultando dessa forma no ferro-gusa. (6)

3º. Produção do aço: Pelo fato de ainda existirem elementos indesejáveis como o enxofre, fósforo e silício na composição química, na Aciaria, é feito o processo de refinamento do ferro-gusa, onde acontece a transformação do aço. (6)

4º. Conformação mecânica (Lingotamento e Laminação): Moldagem do aço que se encontra em estado líquido, que posteriormente será laminado, sendo transformado finalmente nos produtos como os perfis chapas grossas, chapas finas, etc.. (6)

2.3.3 Propriedades dos aços estruturais

Os aços industrializados são fabricados de forma a serem obtido sobre rígido controle e acompanhamento de qualidade, com desempenho extremamente confiável. (6)

Uma das características mais importantes dos aços seriam suas propriedades mecânicas, que demonstram o comportamento do aço quando sofrem algum esforço mecânico e correspondente às suas propriedades para determinação da capacidade de resistência e transmissão dos esforços sem que aconteça o rompimento ou deformações acima do limite permitido. (2)

O aço apresenta uma característica muito importante, possui aproximadamente, a mesma resistência à tração e à compressão, sendo que a tração possui maior facilidade de adaptação ao aço. Relacionado aos esforços de compressão, existe um fenômeno que pode ocorrer nas seções que é chamado de flambagem, necessitando de ajustes nas seções dos perfis ou travamentos. (6)

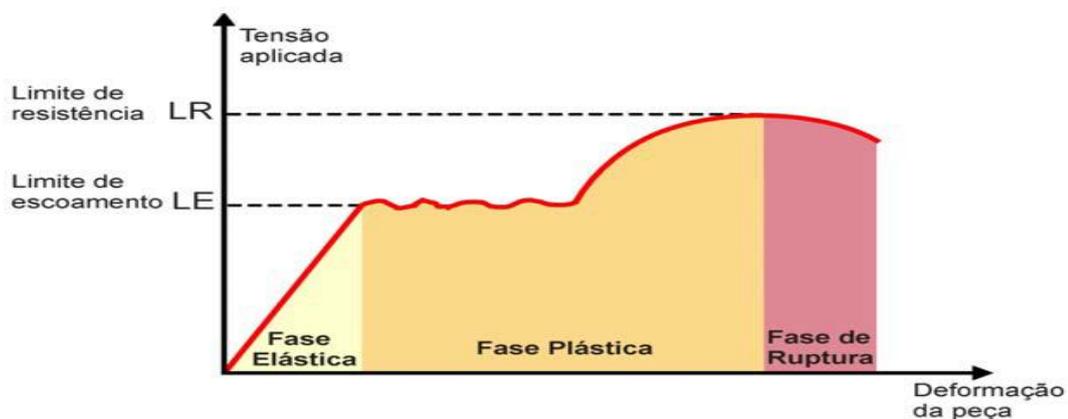
O aço pode apresentar também outras propriedades como: (6)

Elasticidade: Após o efeito de carregamento e descarregamento o material apresenta capacidade de retornar à forma anterior. A deformação do aço deve ser proporcional à mesma aplicação do esforço (fase elástica). (6)

Plasticidade: é quando o efeito de tensões atinge o limite de escoamento do aço provocando uma deformação definitiva. (6)

Pode se observar essas duas propriedades no gráfico 1. (6)

Gráfico 1 – Diagrama tensão-deformação de peça estrutural do aço



Fonte: (6)

Ductilidade: a deformação plástica acontece sem que a peça se rompa. Um aviso antes das vigas se romperem são as deformações demonstrando presença de tensões elevadas. (6)

Tenacidade: é quando um material que é submetido à carga de impacto tem a capacidade de absorver a energia que incide sobre ele. (6)

2.3.4 Aços estruturais

Conforme as características mecânicas e químicas desejáveis no produto final são fabricados os aços estruturais. (1)

Os aços estruturais devem ser adequados para uso de elementos que suportam cargas. (2)

Existem vários tipos e formas de aços disponíveis, por esse motivo há a necessidade da adequação do produto às exigências do mercado de acordo com o controle de qualidade. (2)

Os aços podem ser classificados de acordo com a sua composição química, em aços carbono e aços de baixa liga que são utilizados em estruturas, podendo sofrer tratamentos térmicos modificando-se suas propriedades mecânicas. (7)

Os aços-carbono e os aços de baixa liga com o tratamento térmico podem ter o aumento de suas resistências, porém sua soldagem fica mais complicada, fator que influencia na aplicabilidade e o seu emprego se torna pouco usual em estruturas correntes. (7)

2.3.4.1 Aços-carbono

Os aços carbono são os mais utilizados, pois o carbono produz o aumento de resistência em relação ao ferro puro, e com escala menor seria o manganês. A porcentagem de elementos adicionais seria: (7)

Carbono 1,7%.....manganês...1,65%
 Silício 0,60%.....cobre.....0,60%

São quatro categorias em relação ao teor de carbono: (7)

Baixo carbono..... $C < 0,15\%$
 Moderado..... $0,15\% < C < 0,29\%$
 Médio carbono..... $0,30\% < C < 0,59\%$
 Alto carbono..... $0,6\% < C < 1,7\%$

O aço quando sofre o aumento de carbono eleva também sua resistência, sua ductilidade, ou melhor, sua capacidade de sofrer deformações fica menor. (7)

O teor de carbono baixo a moderado é utilizado preferencialmente em estruturas de aço, onde podem ser submetidos à soldagem sem preocupações. (7)

Segundo a especificação ASTM A325, os parafusos com alta resistência usados como conectores, devem ser fabricados em aço de médio carbono sujeito à tratamento térmico. (7)

Em estruturas, os principais tipos de aços utilizados seguem a padronização do ASTM (American Society for Testing Materials), e do DIN, norma alemã, conforme especificado na Tabela 1. (7)

Tabela 1 – Propriedades mecânicas de aços-carbono

<i>Especificação</i>	<i>Teor de carbono%</i>	<i>Limite de escoamento</i>	<i>Resistência à Ruptura f_u (MPa)</i>
ASTM A7		240	370-500
ASTM A36	0,25-0,29	250(36ksi)	400-500
DIN.St37(norma alemã)	0,17-0,20	240	370-450
ASTM A307 (parafuso)	Baixo	—	415
ASTM A325 (parafuso)	Médio	635(min)	825

Fonte: (7)

2.3.4.2 Aços de baixa liga

Os aços de baixa liga são aços carbono onde é acrescentados elementos de liga como: o zircônio, vanádio, fósforo, níquel, molibdênio, manganês, cobre, cromo colúmbio. (7)

Através da modificação da microestrutura para grãos finos, esses elementos de liga provocam um aumento da resistência do aço. Desse modo obtém-se aço de ordem 0,20% com resistência maior, permitindo que os aços possam ser soldados sem preocupações específicas. (7)

Segundo a especificação ASTM A490, no ato de fabricação de barras de aço para protensão e de parafusos de alta resistência, são utilizados os aços de baixa liga com tratamento térmico. (7)

Resumo de alguns tipos de aços de baixa liga apresentado na Tabela 2. (7)

Tabela 2 – Propriedades mecânicas de aços de baixa liga

<i>Especificação</i>	<i>Principais elementos de liga</i>	<i>Limite de escoamento f_y(MPa)</i>	<i>Resistência à ruptura</i>
ASTM A242	C<0,22Mn< 1,25%	290-250	435-480
DIN.St52	C<0,20 Mn< 1,5%	360	520-620
USI-SAC-350	C<0,18 Mn< 1,4%	303-373	490-608

Fonte: (7)

2.4 Perfis

Utilizados na construção para compor a parte estrutural devem obedecer aos requisitos e propriedades mecânicas. (8)

Os perfis mais utilizados no mercado assumem formato de letras semelhantes às letras do alfabeto, sendo I, H, L, T, U e Z. (8)

Dentre todos os tipos de perfis pode-se citar: perfis laminados, perfis conformados a frio (dobrados), perfis soldados e perfis tubulares. (8)

A seguir será detalhado os perfis laminados e perfis conformados a frio (dobrados).

2.4.1 Perfis laminados

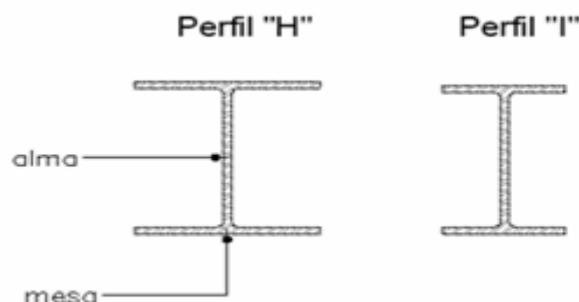
Possuem uma leveza maior que os perfis tradicionais e apresentam concordância de precisão entre a alma e as abas, além de apresentar ainda uniformidade na composição química e nas propriedades mecânicas. (9)

O sistema de obtenção para esse perfil é feito diretamente por laminação a quente, são fabricados em abas paralelas e abas inclinadas. (8)

Perfis laminados de abas paralelas: Sua produção é feita por meio de deformação a quente com formatos I e H, muito utilizados para construção civil ou aplicações em indústrias. (2)

Esses perfis “[...] são produzidos segundo as especificações da norma ASTM A 6 / A 6M em aço de alta resistência ASTM A572 Grau 50 (limite de escoamento mínimo de 350mpa).” Na Figura 2 mostra os perfis nos formatos I e H. (2)

Figura 2 – Exemplo de perfis laminados de abas paralelas

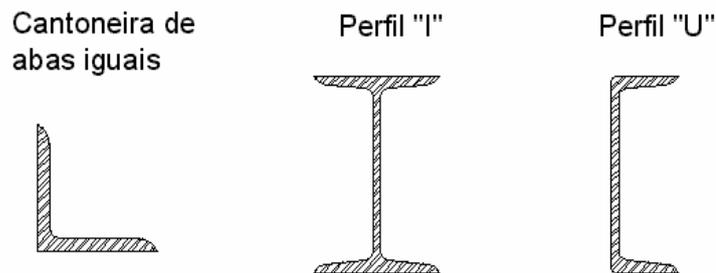


Fonte: (6)

Perfis de abas inclinadas: São fabricados em aço ASTM A 36 de média resistência, ASTM A 572 GR 50 de alta resistência mecânica apenas para cantoneiras e ASTM A 588 GR de alta resistência mecânica e resistente à corrosão atmosférica. (2)

Muito usados em estruturas de pequeno porte, como vigas, tirantes, travessa de tampamento, barras de treliças e composição de perfis. A Figura 3 mostra os perfis Laminados Padrão Americano. (2)

Figura 3 – Exemplo de perfis de abas inclinadas



Perfis Laminados Padrão Americano

Fonte: (6)

2.4.2 Perfis conformados a frio

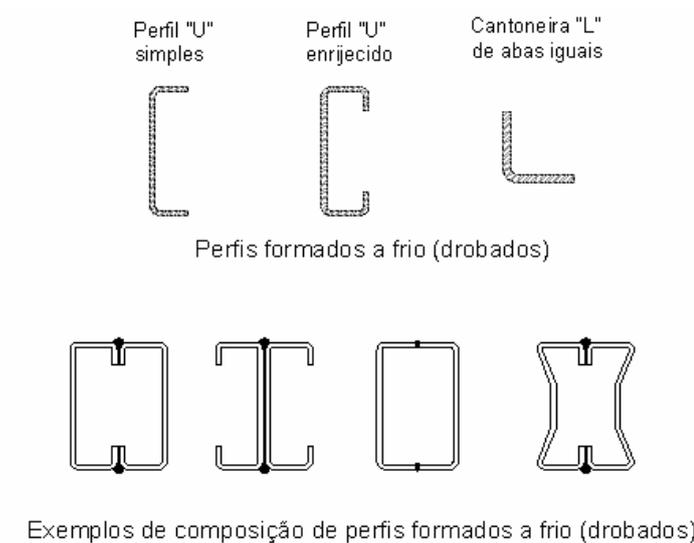
Os perfis em conformação a frio são obtidos através de chapas, tiras originadas de fardos ou de bobinas, seja através de perfilagem ou por dobragem. (8)

São utilizados aços-carbono do tipo ASTM A 570 GR 33 e GR 40. (2)

Possibilita grande liberdade de dimensões, muito utilizado em estruturas leves, em elementos como barras de treliças, tirantes e etc. (2)

São apresentados na Figura 4 os perfis conformados a frio e exemplo de composição.

Figura 4– Exemplo de perfis conformados a frio



Fonte: (6)

2.5 Sistemas estruturais em aço

2.5.1. Sistemas estruturais

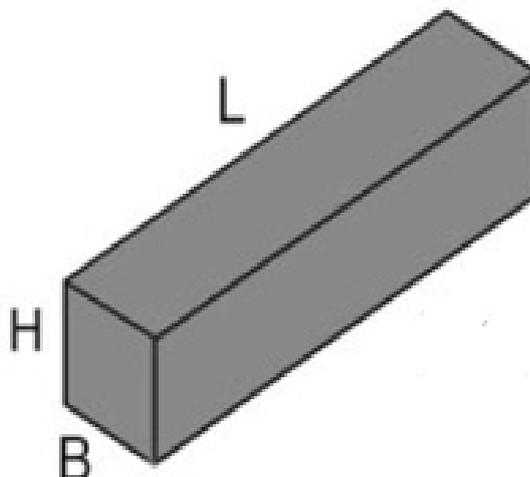
Dentre os elementos estruturais metálicos os principais são os elementos lineares alongados que são hastes ou barras e os elementos bidimensionais e planos (placas ou chapas). (10)

As hastes são “[...] elementos alongados cujas dimensões transversais são pequenas em relação ao comprimento.” (10)

As hastes podem ser classificadas em: (10)

- Tirante (tração axial).
- Colunas ou escoras (compressão axial).
- Vigas (carga transversal onde produz momentos fletores e esforços cortantes).
- Eixos (torção).

Na Figura 5 é demonstrada a localização da base (B), altura (H) e comprimento (L) da haste. (10)

Figura 5– Exemplo de haste

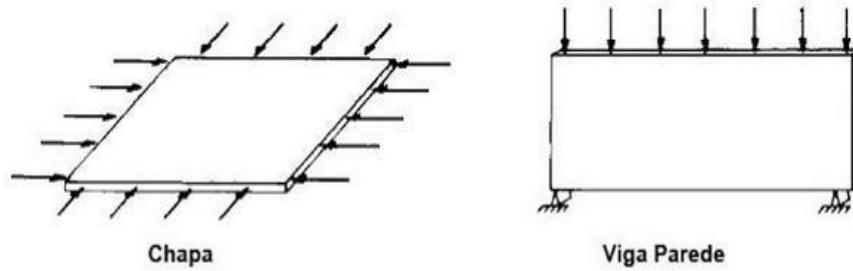
Fonte: (10)

Quando a tração ou compressão são aplicadas no eixo da peça, na seção transversal elas se distribuem de maneira uniforme. A haste quando esta sujeita a cargas transversais sofrem esforços predominantes de momentos fletores e esforços cortantes resultando em tensões normais e de cisalhamento. (7)

Os elementos lineares em aplicações práticas trabalham sob ação de solicitações combinadas. Os esforços de tração e compressão longitudinais atuam com excentricidade ao eixo da haste que dão origem às solicitações de flexotração e flexocompressão. Nas hastes comprimidas, as deformações transversais provocam solicitações de flexocompressão, esse efeito de segunda ordem que provoca alterações na geometria inicial da peça, possui grande importância nos elementos muito alongados, conduz a mesma a sofrer ruptura por flambagem. Em relação às vigas, existe a combinação entre as solicitações de flexão e cisalhamento que são muitas vezes combinadas com solicitações de torção. (10)

As Placas que também podem ser chamadas de chapas são elementos que possuem a espessura pequena em relação à largura, seu uso é realizado isoladamente ou também em sistemas planos ou espaciais. A Figura 6 apresenta exemplos de chapas. (10)

Figura 6– Exemplos de chapas



Fonte: (10)

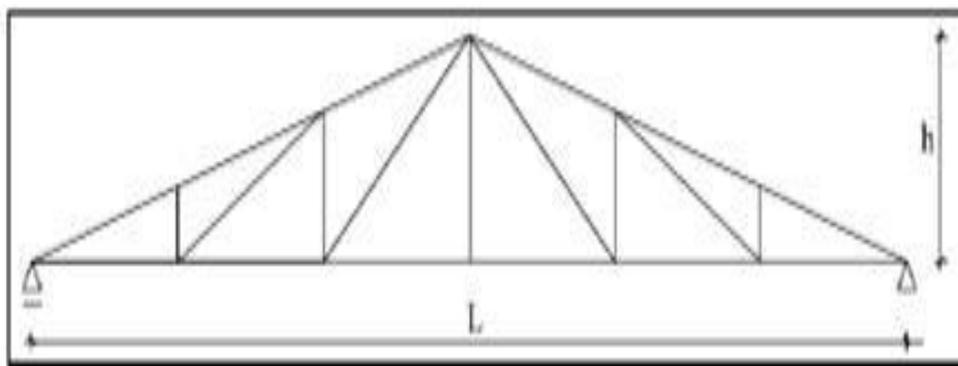
2.5.2. Sistemas de elementos lineares

São formados pela combinação de elementos lineares principais (vigas, tirantes e colunas), constituindo assim as estruturas que fazem parte da construção civil. (10)

As Treliças são utilizadas em coberturas na construção civil, como em edifícios industriais e galpões. Nas treliças as hastes trabalham de forma mais predominante de tração ou compressão simples. (10)

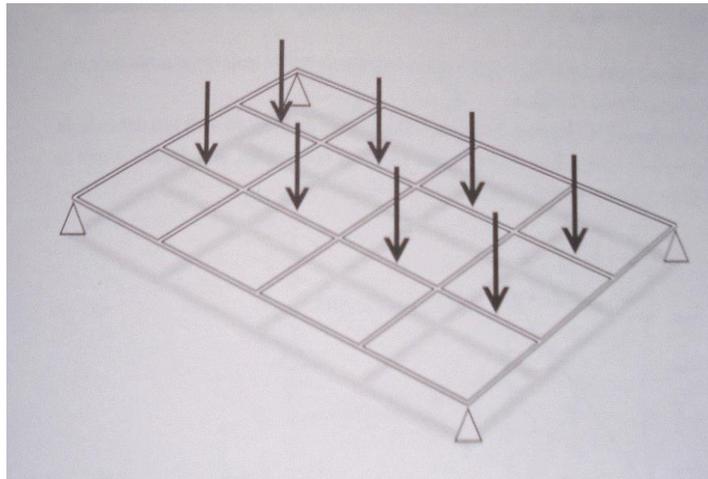
A figura 7 mostra um exemplo de treliça tipo Home. (11)

Figura 7– Treliça tipo Home

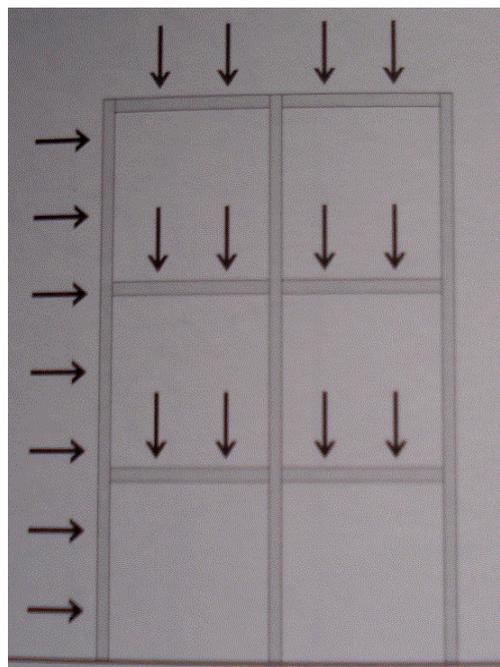


Fonte: (11)

A grelha plana é constituída por dois feixes de vigas podendo ser ortogonais ou oblíquas, suportando as cargas atuantes na direção perpendicular ao plano da grelha, conforme mostra a Figura 8. As grelhas são utilizadas em superestrutura de pontes e pisos de edifícios. (7)

Figura 8– Grelha plana**Fonte:** (12)

Os pórticos podem ser chamados também de quadros, os quais possuem associação de hastes retilíneas ou curvilíneas com ligações rígidas. A figura 9 mostra um pórtico ilustrado.

Figura 9– Pórtico**Fonte:** (10)

As terças são vigas posicionadas longitudinalmente nos planos da cobertura com a função de transferir para a treliça de cobertura as cargas que atuam no plano, como o peso do telhado e sobrepensões e sucções devidas à ação do vento. As cargas de vento provocam na terça flexão simples, e as cargas de gravidade flexão oblíqua. (7)

O principal sistema portante é o pórtico transversal onde há a associação de treliças de cobertura com duas colunas verticais. As cargas de vento passam a fazer sua transmissão às colunas, por meio das vigas longitudinais de suporte. (7)

Os sistemas de contraventamento são barras que são associadas em X, fornecem estabilidade espacial ao conjunto e fazem a distribuição do vento. Sua função é oferecer estabilidade ao conjunto e também distribuir a carga proporcionada pelo vento. A Figura 10 demonstra um exemplo de contraventamento. (7)

Figura 10–Hotel Arts Barcelona, contraventamento metálico, travamento em "X"



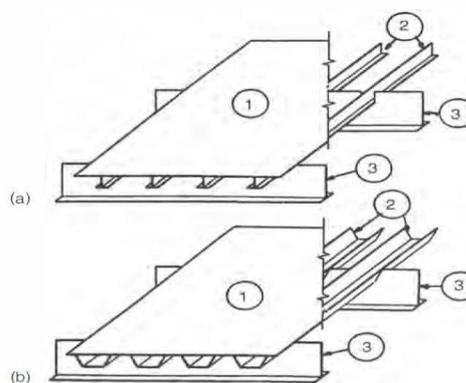
Fonte: (13)

2.5.3. Sistemas de elementos bidimensionais

Os sistemas planos de elementos bidimensionais são representados pelas chapas dobradas ou mesmo reforçados respectivamente com enrijecedores soldados. (7)

As chapas reforçadas com enrijecedores são muito usadas como laje em pontes com vãos grandes com o objetivo de reduzir o peso da estrutura. Essas chapas em uma direção têm inércia maior, podem ser chamadas também de placas ortogonalmente anisotrópicas ou ortotrópicas. A figura 11 mostra um esquema de painéis de placas que é enrijecido em uma direção, placas (1), enrijecedores (2), e viga transversal de apoio (3). (7)

Figura 11 – Esquema de painéis de placas



Fonte: (7)

2.5.4. Sistemas de lajes

As lajes são elementos que suportam e conduzem as reações verticais que são causadas pela sobrecarga e carga permanente, onde são transmitidas para a estrutura. (2)

Com o passar do tempo, e com a influência da tecnologia foram surgindo vários tipos de lajes, sendo que na estrutura metálica podem ser usados praticamente todos os tipos, podendo ser industrializada ou não. As lajes mais utilizadas para a estrutura metálica são: lajes de concreto moldadas na obra, lajes de madeira prensada OSB, lajes de madeira com placas cimentícias, lajes de painéis de concreto celular autoclavado, lajes alveolares protendidas, lajes mistas com vigotas maciças, lajes mistas com vigotas treliçadas e painéis treliçados, pré-lajes de concreto, lajes pré-fabricadas de argamassa armada e finalmente a laje steel deck que possui grandes vantagens para a construção civil. Será detalhado a seguir o sistema de lajes steel deck (fôrma laje). (2)

2.5.4.1 Laje steel deck

O steel deck é um tipo de laje que é formada por uma telha de aço galvanizado e por uma camada de concreto. Para trabalhar a tração o aço é o material ideal, usado no formato de telha trapezoidal que também exerce a função de fôrma no momento da concretagem e como armadura positiva para as cargas de serviço. (14)

Cobrindo uma largura útil de 820 a 840 mm e conformado a frio, esse tipo de laje é composto por nervuras largas, e pelo fato da utilização de conectores de cisalhamento (stud bolts) possibilita uma interação do aço com o concreto o que permite o cálculo de vigas mistas, refletindo significativamente em uma diminuição do peso da estrutura. A figura 12 mostra a laje com seus componentes. (14)

Figura 12 – Laje steel deck



Fonte: (14)

Sua fabricação é realizada em aço galvanizado especial, as espessuras são de 0,80 mm, 0,95 mm e 1,20 mm, com um comprimento de até 12 metros. (14)

São conformadas massas e ranhuras na chapa metálica o que possibilita a aderência do concreto ao aço que funciona como superfície de ancoragem. O steel deck é composto por telas eletrossoldadas que tem uma função muito importante de armadura negativa e ajudam na prevenção de trincas superficiais na laje. (14)

Pode ser utilizado tanto em edificações construídas em estrutura metálica, como também com estrutura em concreto, esse método construtivo é muito usado onde os vãos variam de 2m a 4m. Outro detalhe muito importante é que na laje

mista não são necessários escoramentos e em consequência disso agiliza o cronograma da obra. (14)

A fôrma de aço assegura a estanqueidade enquanto o isolamento térmico pode ser garantido pela espessura de concreto adequado sobre as nervuras, dessa forma as lajes steel deck demonstram bom desempenho em caso de situação de incêndio. São no mínimo 30 minutos de resistência estrutural ao fogo, podendo ser aumentada para até 120 minutos quando é usada armadura positiva adicional colocada no interior das nervuras. (14)

As vantagens que mais se destacam para a construção com o uso desse tipo de laje são as seguintes: acabamento da laje com alta qualidade; não é necessário escoramento; os gastos com desperdício de material são reduzidos; facilidade de instalação, e passagem de dutos para diversos fins; favorece a fixação de forros; sua montagem é feita independente das condições climáticas; permite facilmente a incorporação de canalizações, fios elétricos, e tirantes para sustentação de forro; e conseqüentemente maior rapidez construtiva. Todas essas vantagens refletem em economia, praticidade, e maior retorno financeiro. (14)

O Steel deck juntamente com a estrutura metálica constitui um sistema de altíssima eficiência, tem sido utilizados na construção de shoppings, centros de convenções, edifícios comerciais e residenciais, hotéis, hospitais, escolas, garagens e mezaninos, conjuntos habitacionais, e também em edifícios industriais em geral. (14)

2.6 Conexão entre os elementos metálicos

Conexões soldadas ou parafusadas são usadas nos perfis estruturais em aço. Quando as peças possuem geometria complicada as ligações soldadas são ideais para a união das mesmas. Para que haja um maior controle de qualidade, elas devem ser executadas de preferência na fábrica. (9)

A solda a arco elétrico é o processo de soldagem mais usado, que pode ser manual com eletrodo revestido, entre outros. (9)

As ligações parafusadas podem utilizar dois tipos de parafusos: (9)

- Comuns: sendo utilizados em ligações de peças, como: terças, corrimãos, guarda-corpos, e outras peças pouco solicitadas. Apresentam baixa resistência mecânica.

- Alta resistência: são designadas para ligações de responsabilidades maiores. Pelo fato de apresentar alta resistência, as ligações de um modo geral possuem um número reduzido de parafusos, além de chapas de ligação menores.

Quando a obra precisa de aços que sejam resistentes à corrosão, devem ser usados parafusos que possuem essas mesmas características. É recomendado que os parafusos e porcas estejam pintados ou galvanizados. (9)

2.7 Fechamentos para a estrutura metálica

A compatibilidade da estrutura metálica com outros materiais possibilita sua utilização com qualquer material de fechamento, (vertical e horizontal), como tijolos, blocos, lajes moldadas in loco e também pré-fabricadas como lajes, painéis de concreto, painéis drywall, dentre outros. (9)

A seguir será detalhado o sistema de fechamento interno pré-fabricado em painéis drywall.

2.7.1 Drywall

O Drywall que traduzindo significa “parede seca”, ou seja, não é necessário o uso de argamassa para a sua construção, vem substituindo os fechamentos internos convencionais de paredes, tetos, e revestimentos de edifícios de diversos tipos. O método é constituído de chapas de gesso aparafusadas em estruturas de perfis de aço galvanizado. No Brasil esse sistema tem ganhado cada vez mais espaço nos últimos anos devido às suas inúmeras vantagens, há mais de 100 anos já é utilizado na Europa e nos Estados Unidos. (15)

O sistema drywall é constituído de paredes de gesso que são mais leves e apresentam espessuras menores que as das paredes convencionais de alvenaria. Essas chapas são fabricadas de forma industrial por meio de um processo de laminação contínua onde é realizada uma mistura de gesso, água e aditivos entre duas lâminas de cartão. Esses sistemas podem ser usados apenas em ambientes internos, para os fechamentos externos, deverá ser utilizados perfis de aços estruturais (steel frame) e chapas cimentícias que resistem à ação de ventos e chuvas. (15)

As instalações elétricas e hidráulicas nas paredes de gesso são feitas pelo sistema de fixação a pólvora em tetos ou parafusadas em perfis de aço galvanizado. É facilmente adaptado a qualquer estrutura, como aço, madeira ou concreto. (15)

O sistema drywall possui grande diferencial de ter facilidade na montagem, reduzindo prazo de entrega e diminuindo os custos. Há um aumento de área útil que pode chegar a 4% a cada 100 m² e as paredes têm superfície lisa e precisa o que contribui para a diminuição de custos na preparação da superfície para a pintura. (15)

Pelo fato das paredes serem mais leves que o sistema de alvenaria tradicional, contribui redução no custo das fundações e estruturas da obra. A figura 13 mostra paredes feitas com painéis em drywall. (15)

Figura 13 — Parede em drywall



Fonte: (15)

2.8 Projeto

O projeto é uma visão antecipada da obra e tem a função de evitar problemas durante a execução da mesma. É preciso que haja uma integração entre todos os projetos para evitar prejuízos comprometendo assim o sucesso do empreendimento. (16)

Adotando o sistema estrutural metálico, o projeto estrutural deverá ser elaborado especificando todas as indicações para locação de todos os componentes da estrutura. (16)

Se forem necessárias modificações no projeto durante a fabricação ou montagem da estrutura metálica, o responsável técnico do projeto deve autorizar, sendo todas as modificações devidamente registradas. (17)

O projeto completo da estrutura de uma obra em aço pode ser então dividido de maneira geral em três grandes etapas: projeto de engenharia, projeto de fabricação e o projeto de montagem. (16)

No Projeto de engenharia serão feitas as definições dos carregamentos e a concepção estrutural onde serão especificados os tipos de perfis, com as devidas características geométricas das seções transversais e características teóricas dos vínculos. Deve ser apresentado também o cálculo dos esforços, o dimensionamento, o plano de carga nas fundações e o cálculo estimado aproximado do consumo de aço, e outros. (16)

No Projeto de fabricação todos os elementos componentes da estrutura são detalhados. Nesta etapa peças são mostradas separadamente ou em conjunto. Por exemplo, para uma treliça são feitas as indicações como comprimentos, a localização dos furos, parafusos, e outros elementos necessários. As representações gráficas aparecem com medidas não acumuladas e acumuladas, para se obter maior precisão de marcação pois os desenhos são feitos sem escala. (16)

O projeto de montagem é feito pela empresa fabricante e montadora da estrutura. Nesse projeto é apresentado sob a forma de diagramas, o sistema estrutural, as marcas de cada peça, a indicação das numerações, o posicionamento e a sequência de montagem, a metodologia, e outras especificações. (16)

2.8.1 Normas

Cada tipo de estrutura tem suas regras e especificações que estabelecem bases comuns na elaboração dos projetos. (7)

Até meados de 1980, as regras para projetar estruturas metálicas eram estabelecidos pelo Método das Tensões Admissíveis, quando foi introduzido aos poucos o Método dos Estados Limites. (7)

Baseado nos estados limites, as normas e recomendações para edificações em vigor no Brasil são: a NR14/86 (NBR8800), a canadense CAN3, a europeia EUROCODE3 e a Americana AISC/95. Para o dimensionamento de tensões

admissíveis a norma americana é a AISC/78. A norma brasileira NB14, se baseia na americana AISC/86, com exceção de assuntos relativos às curvas de flambagem que estão baseadas nas curvas europeias. (7)

2.8.2 Métodos de cálculo

2.8.2.1 Método das tensões admissíveis

Neste método, o dimensionamento é considerado satisfatório quando a máxima tensão solicitante em cada seção é inferior a uma tensão resistente reduzida por um coeficiente γ . (7)

A tensão resistente só é calculada quando atinge as seguintes condições: (7)

- Tensão de deslocamento;
- Instabilidade;
- Fadiga.

2.8.2.2 Teoria plástica de dimensionamento das seções

O dimensionamento em regime plástico deve-se primeiramente obter o início da plastificação M_y . Ultrapassando-se o momento fletor M_y , o aumento da carga causa a plastificação das fibras internas, o que aumenta o momento resistente da seção. (7)

O momento maior que a seção pode suportar M_p corresponde ao escoamento de toda a seção, a diferença $M_p - M_y$ representa uma reserva de segurança da seção em referência ao início de escoamento da mesma. (7)

A carga de serviço atuante (Q_{serv}) é comparada com a carga que produz o colapso da estrutura (Q_u), a equação da tensão resistente em regime plástico pode ser representada pela seguinte fórmula: (7)

$$\gamma Q_{serv} \leq Q_u$$

A condição de resistência está relacionada com a plastificação total das seções onde o coeficiente de segurança γ é único, aplicado somente às cargas de serviço. (7)

2.8.2.3 Método dos estados limites

Um estado limite acontece quando a estrutura não satisfaz um de seus objetivos. São dois:

- Estados limites últimos;
- Estados limites de utilização. (7)

Os estados limites últimos estão associados a cargas excessivas ao colapso da estrutura devido, à:

- Perda de equilíbrio como corpo rígido;
- Ruptura de uma ligação ou seção;
- Instabilidade em regime elástico ou não. (7)

Os estados limites de utilização (associados a cargas em serviço) incluem: (7)

- Deformações excessivas;
- Vibrações excessivas. (7)

2.9 Etapas da construção

As principais fases de qualquer tipo de obra são: arquitetura, projeto estrutural, sondagens do solo, detalhamento, fabricação, limpeza e proteção, transporte, montagem, controle de qualidade e manutenção. (4)

2.9.1 Arquitetura

É realizado um estudo da obra, como dimensões, iluminação, ventilação, formato, acabamentos e outros fatores. (4)

2.9.2 Projeto estrutural

Parte em que o projeto arquitetônico ganha um formato, nesta etapa apresenta-se os cálculos de sustentação, cargas de fundações, tipos de aço que serão usado, ligações, (demonstrando-se a estrutura será parafusada ou soldada). É uma etapa muito importante, pois o projeto deve ser bem elaborado para evitar prejuízos econômicos. (4)

Dessa forma os projetos estruturais exercem grande importância na execução da obra e por isso seus objetivos principais são: (7)

- Certificar-se da segurança estrutural para evitar colapsos;
- Evitar grandes deslocamentos, vibrações, danos locais etc..

As principais etapas do projeto estrutural são: (7)

- Anteprojeto: onde é definido o sistema estrutural, materiais e o sistema construtivo;
- Dimensionamento: onde são definidas as dimensões dos elementos estruturais e suas ligações;
- Detalhamento: onde se desenvolvem os desenhos executivos da estrutura, informando os componentes de cada elemento.

No dimensionamento e detalhamento, usam-se também as regras e recomendações referentes à: (7)

- Critérios de Certificação de segurança;
- Testes para definir os materiais e limites dos valores de características mecânicas;
- Cargas que apresentem as situações mais desfavoráveis;
- Margem de tolerância para imperfeições na execução de regras para construção e etc..

Finalmente são elaborados os desenhos de acordo com o projeto, com a representação da definição estrutural, através de desenhos unifilares feitos por escritórios especializados de engenharia em estruturas metálicas. (16).

2.9.3 Sondagem do solo

Tipo de solo pode determinar o esquema estrutural, por exemplo: um solo de qualidade inferior faz com que o calculista evite engastar a estrutura no solo, enquanto um solo de alta qualidade não apresentará empecilhos para engastar a estrutura no solo. (4)

2.9.4 Detalhamento

Nesta fase as peças são detalhadas, obedecendo às determinações do projeto, o detalhamento pode ser adotado de maneira que podem diferir de um fabricante para outro. (4)

2.9.5 Fabricação

As peças que farão parte da estrutura serão finalmente fabricadas, obedecendo todas as determinações do projeto, a maneira da sequência de cada fabricante pode variar no processo de fabricação. (4)

2.9.6 Limpeza e proteção

As peças que vão compor a estrutura vão ser protegidas contra corrosão, passarão pela limpeza, onde serão pintadas ou galvanizadas, ou permanecer no estado natural se for permitido. (4)

As estruturas metálicas normalmente são pintadas com uma ou duas demãos de tinta de fundo, um exemplo seria o primer que é utilizado ainda na oficina, logo após a limpeza. O acabamento acontece quando a estrutura já está no campo com uma ou duas demãos. (5)

Na galvanização acontece o recobrimento da estrutura com uma camada de zinco metálico que funciona protegendo a estrutura contra a corrosão. (4)

Existem vários tipos de pintura, dessa forma é preciso considerar o ambiente onde a estrutura está situada para então poder fazer corretamente a escolha mais adequada do método de proteção, pois cada local possui um tipo de agressividade. (4)

2.9.7 Transporte

O tamanho das peças é indicado evitando transportes especiais, por isso é necessário que na fase inicial do projeto essas informações de medidas já estejam disponíveis. (4)

2.9.8 Montagem

É necessário um planejamento, pois as peças vão se agrupar para então formar uma estrutura, devem ser especificados os equipamentos, as ferramentas que serão usadas na montagem, para o sucesso desta fase, um projeto bem feito com certeza faz toda a diferença. A estrutura será realmente segura se os projetos anteriores realizados estiverem em perfeita combinação. (4)

2.9.9 Controle de qualidade

Deve estar presente em todas as fases da obra, inspecionando peças, fazendo verificação se tudo está dentro das normas, procedimentos devem ser estabelecidos, como por exemplo, a solda na estrutura, se está dentro dos padrões, e etc. (4)

2.9.10 Manutenção

Com a obra concluída, faz-se um plano de inspeção, que pode variar de acordo com o local e uso da estrutura. Deve apresentar também a média de vida da parte estrutural e problemas de corrosão de acordo com umidade dentre outros. Os locais que necessitem de manutenção de pintura e inspeção por toda vida devem apresentar fácil acesso. Dentro de um período de vinte anos ou mais, as estruturas deveriam ser visitadas e inspecionadas pelo projetista ou preposto. (4)

2.10 Vantagens e desvantagens da estrutura metálica

2.10.1 Vantagens

As vantagens em utilizar estrutura metálica, demonstram opção inteligente e inovadora no momento do projeto e construção, dentre elas podem-se citar: (9)

Liberdade no projeto de arquitetura: permite maior liberdade de projeto, pelo fato da tecnologia do aço permitir essa possibilidade resultando em projetos arrojados e com arquitetura totalmente diferenciada. (9)

Maior área útil: pelo fato dos pilares apresentarem as seções mais esbeltas comparadas às de concreto armado, contribui para o aproveitamento da parte interna, resultando em área útil maior. (9)

Flexibilidade: a estrutura metálica pode ser facilmente adaptada, como em ampliações, reformas ou mudança de ocupação. As tubulações (água, dutos de ar condicionado, de eletricidade, de esgoto, telefonia, informática, dentre outros) são passadas de maneira mais fácil. (9)

Compatibilidade com outros materiais: a compatibilidade da estrutura metálica com outros materiais é uma grande vantagem, pois ela pode ser utilizada com qualquer material de fechamento. (9)

Menor prazo de execução: pelo fato de poder iniciar a fabricação da estrutura no mesmo momento da etapa das fundações possibilita o andamento de mais de uma fase simultaneamente. A necessidade de fôrmas e escoramentos é menor, a chuva não atrapalha na montagem da estrutura, podendo reduzir até 40% o tempo de execução, quando comparado com outros processos convencionais. (9)

Racionalização de materiais e mão-de-obra: percebe-se que na construção com estrutura metálica em relação à estrutura de concreto o desperdício de materiais é reduzido, e a necessidade de mão de obra se torna menor pelo fato dos sistemas estruturais metálicos serem industrializados. (9)

Alívio nas fundações: a estrutura metálica por ser mais leve que a de concreto armado, conseqüentemente reduz o custo da fundação, podendo chegar a 30%, de acordo com cada tipo de obra. (9)

Garantia de qualidade: pelo fato dos perfis serem fabricados industrialmente e com mão de obra qualificada, conseqüentemente possui uma garantia de qualidade pelo fato do acompanhamento do controle de qualidade na fase industrial. (9)

Antecipação do ganho: aliando a rapidez de execução e à entrega do imóvel, há uma antecipação do ganho e recuperação do investimento do capital. (9)

Organização do canteiro de obras: o canteiro de obra fica organizado; pelo fato da ausência de depósitos de material de construção, isso contribui para segurança e redução de acidentes no ambiente de trabalho. (9)

Precisão construtiva: as estruturas de concreto são medidas em centímetros, já a estrutura metálica a unidade usada é o milímetro, com isso a estrutura fica com mais qualidade em sua forma aprumada e nivelada, e também a redução de custo dos materiais de revestimento. (9)

Reciclabilidade: caso não sejam permanentes, as estruturas podem ser desmontadas e reutilizadas em outras obras pelo fato do aço ser 100% reciclável. (9)

Preservação do meio ambiente: a estrutura metálica comparada com outras formas de estrutura agride menos o meio ambiente, pois o consumo de madeira na obra é reduzido, diminuindo a emissão de material particulado, além de não ter poluição sonora feita pelas serras quando estão trabalhando a madeira. (9)

2.10.2 Desvantagens

A baixa resistência provocada por efeito de temperatura elevada (situações de incêndio) e a corrosão são as principais desvantagens no uso de estrutura metálica na construção civil. (9)

Corrosão: quando o aço fica em contato com o meio ambiente, pela presença de oxigênio e água tem a tendência à corrosão, sua deterioração começa pela superfície do metal até sua total degradação. Para combater a corrosão ou mesmo diminuir o seu avanço existem alternativas que demonstram um ótimo resultado, como a utilização de aços resistentes à corrosão ou até mesmo o uso de zincagem ou pinturas adequadas. Para que as estruturas possam ser protegidas existem vários revestimentos, como: manta de lã de rocha, argamassa de vermiculita, mantas de fibras cerâmicas, argamassas compostas de gesso e fibras, concreto e alvenaria, ou tinta intumescente. (9)

Efeito de temperatura elevada: As propriedades físicas do aço podem ser modificadas devido a altas temperaturas. Quando as temperaturas chegam a ultrapassar os 100°C tendem a eliminar o limite de escoamento. As temperaturas

altas passam a reduzir as resistências a escoamento (f_y) e ruptura (f_u) e também o módulo de elasticidade (E). As temperaturas altas, cima de 250 a 300°C, provocam também a fluência nos aços. (7)

Podem-se citar também as seguintes desvantagens: execução em fábrica limitada por causa de transporte até local da montagem, necessidade de equipamentos e mão de obra especializada para a fabricação e montagem, e também o fornecimento limitado de materiais. (1)

3 METODOLOGIA

3.1 Classificação do estudo

Esta pesquisa pode ser classificada, quanto aos objetivos, como descritiva. No estudo de caso foram feitas pesquisas através de entrevistas, análise de projetos e fotos do processo construtivo para o levantamentos de dados as quais foram analisados e interpretados.

3.2 Planejamento da pesquisa

A pesquisa foi desenvolvida através de uma obra construída em estrutura metálica. Pelo fato do estudo de caso ter acontecido após a obra ter sido construída, foi realizado o recolhimento de informações e entrevistas com o Engenheiro Civil Marcelo Malheiro de Queiroz responsável técnico pela obra, o Engenheiro Mecânico e Civil José Natal do Amaral responsável pelo projeto estrutural.

3.3 Materiais e equipamentos

Foram utilizadas as fotos de cada etapa da construção e os projetos arquitetônicos da obra cedidos pelo engenheiro José Natal do Amaral.

O projeto arquitetônico é um elemento muito importante na obra, sua finalidade se baseia em prever problemas que possam vir acontecer na hora da execução e garantir que a obra seja executada como foi planejada. (18)

Os projetos de detalhamentos de pilares e vigas foram dimensionados de acordo com as solicitações das cargas causadas pelo vento e também pelas solicitações das cargas verticais, os quais tem significativa influência no dimensionamento de edifícios em estrutura metálica. (19)

4 ESTUDO DE CASO

Este capítulo tem por objetivo descrever a obra analisada, além de apresentar as vantagens e desvantagens do processo construtivo adotado, plantas, implantação e localização.

4.1 Apresentação

A obra em análise é o Instituto Politécnico de Patos de Minas, mais um campus da Faculdade Patos de Minas, localizado na Avenida Juscelino Kubitschek na cidade de Patos de Minas no estado de Minas Gerais. São quase 20.000 metros quadrados de área total. (20)

A primeira parte do Instituto Politécnico de Patos de Minas é constituída de um térreo e mais dois andares. Faz parte também do instituto, as salas destinadas ao curso de gastronomia que ficam localizadas na saída para a avenida Ari Pessoa Franco.

Há espaços de convivência arborizados, estacionamento, e também áreas de lanchonetes. A figura 14 mostra uma ilustração do instituto com uma vista que demonstra toda a edificação já concluída no terreno.

Figura 14 – Figura ilustrativa do Instituto Politécnico de Patos de Minas



Fonte: (20)

O engenheiro civil Marcelo Malheiro de Queiroz é o responsável técnico pela obra, sendo a concepção arquitetônica elaborada pela Arquiteta e Urbanista Nicione Maria Silva Milani; o projeto estrutural pelo Engenheiro Mecânico e Civil José Natal do Amaral e o detalhamento de fabricação e ligações foi concebido pelo Engenheiro Civil Lucas Coelho de Moraes. A obra teve início em 28 de outubro de 2014 e foi finalizada na primeira semana de fevereiro de 2015. (18)

4.1.1 Visão geral dos projetos

A obra em questão foi construída em estrutura metálica, com exceção da edificação já existente no local composta por um térreo e mais um pavimento (hall de entrada, salas de direção e secretaria) e das salas onde funciona o curso de gastronomia, com estrutura em concreto armado, realizando-se as adaptações e reformas necessárias.

Existia no local da obra dois galpões, um foi demolido e o outro reaproveitado, pois era feito de estrutura metálica tendo 6 metros de pé direito, o qual recebeu um acréscimo de 3 metros totalizando assim 9 metros de pé direito.

A fundação de toda a edificação foi feita em estaca de concreto armado executada em loco, sendo que cada uma delas foi projetada e executada com 30 cm de diâmetro.

O modelo estrutural é totalmente composto por pilares e vigas em estruturas metálicas, com pilares em perfis H, e vigas em perfis I de abas paralelas, sendo a conexão da estrutura feita por parafusos. Nas lajes foi utilizado o steel deck com sistema de stud bolt's para união da laje às vigas, formando assim o sistema de vigas mistas (aço-concreto) semelhante à viga T em lajes convencionais.

Para fechamentos foram utilizados diversos métodos como: paredes de tijolos cerâmicos convencionais, divisórias em formicas, PVC, gesso e o drywall (na grande maioria dos fechamentos internos).

As coberturas são em telhas de aço galvanizado com estruturas em perfis treliçados convencionais. A maior parte das esquadrias que foram instaladas na obra é fabricada em alumínio, e as portas de madeira e alumínio.

Tanto o projeto arquitetônico quanto o projeto estrutural foram concebidos considerando-se as edificações existentes no terreno que seriam inclusas no projeto.

O Instituto Politécnico de Patos de Minas possui um térreo e mais dois pavimentos com 2 elevadores.

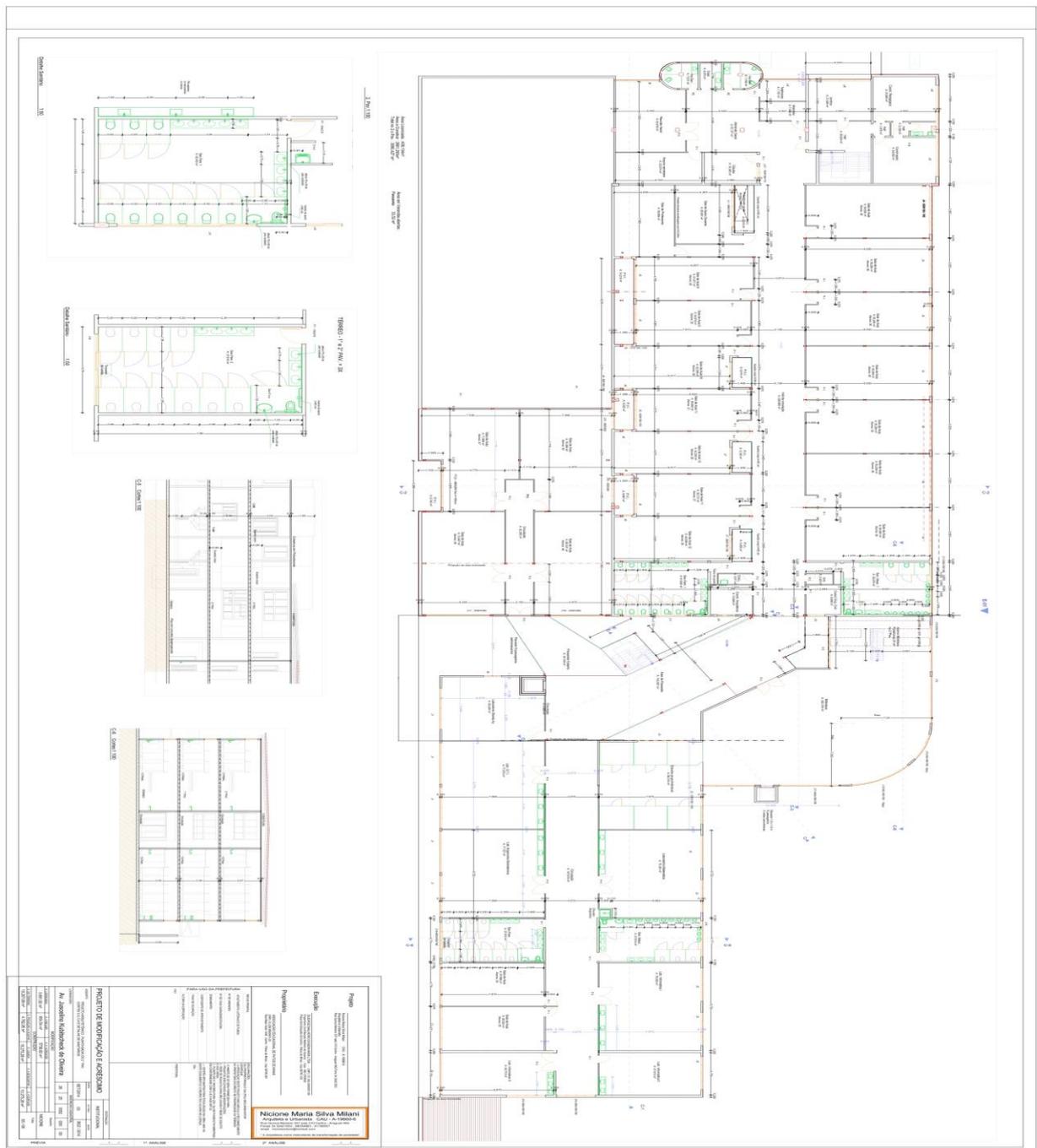
O térreo é composto de 12 salas de aulas, 14 laboratórios, 1 auditório, 1 copa, 1 pavilhão de exposição, 1 secretaria, 1 sala de espera, 1 financeiro, 1 sala de projeto social, 2 camarins, e 1 palco. Os banheiros estão distribuídos em alguns locais do térreo, sendo 6 no total e 2 lavabos. A figura 15 apresenta o projeto arquitetônico do pavimento térreo do Instituto Politécnico de Patos de Minas.

Figura 15– Projeto arquitetônico do pavimento térreo



O primeiro pavimento é constituído de 20 salas de aula, 7 laboratórios, 7 instalações sanitárias, 4 salas de coordenação, 1 sala de reunião, 1 sala de administração, 1 jurídico, 1 sala de telefonista, 1 sala do motorista, 1 sala de arquivo, 1 copa, 1 sala de apoio docente, 1 sala de professores, 1 sala de apoio ao docente, e 1 biblioteca. A figura 16 apresenta o projeto arquitetônico do primeiro pavimento do Instituto Politécnico de Patos de Minas.

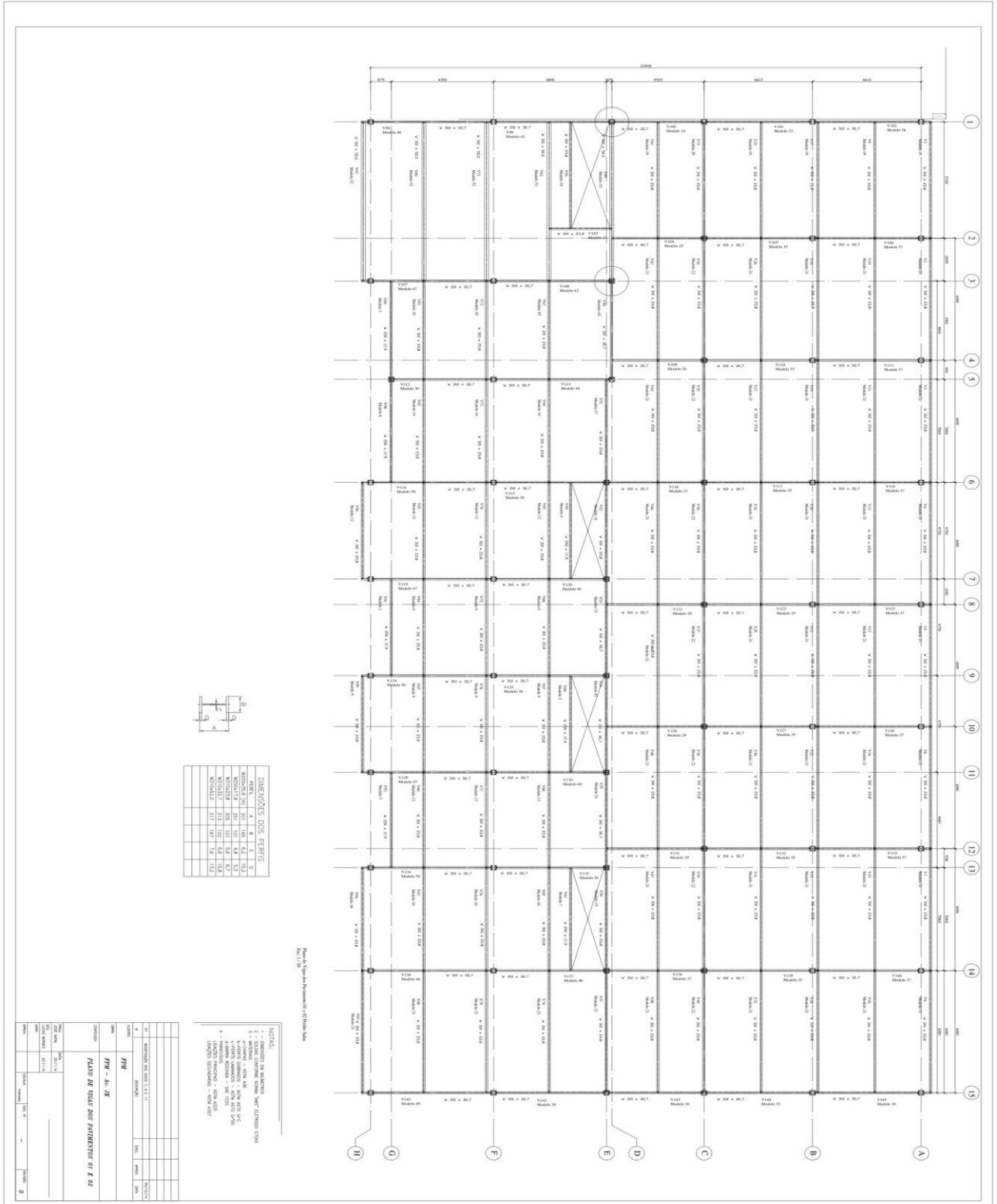
Figura 16– Projeto arquitetônico primeiro pavimento



4.1.2 Projetos de vigas e pilares

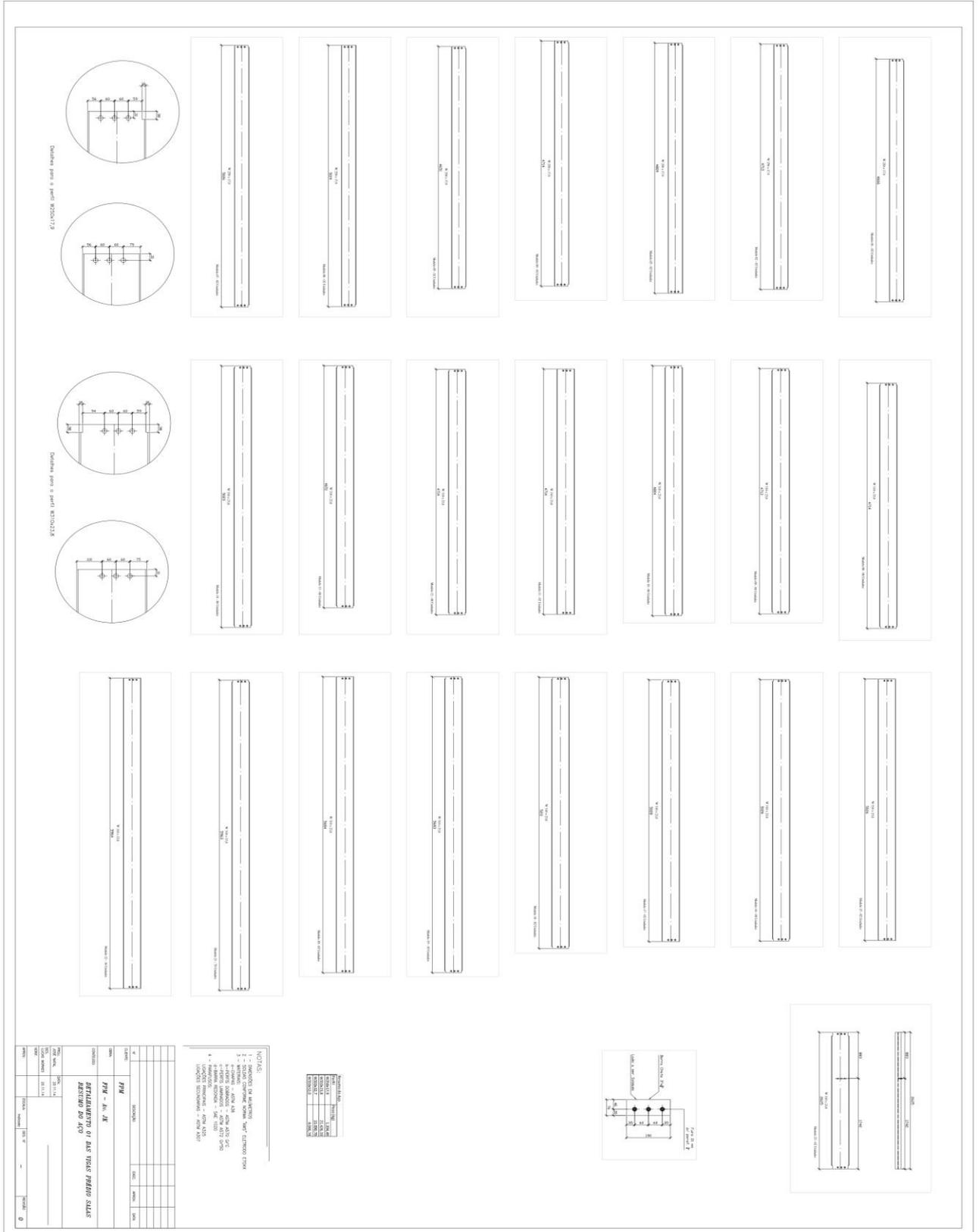
A figura 18 apresenta o projeto de plano de vigas de perfil I, que são perfis laminados de abas paralelas.

Figura 18– Projeto plano de viga



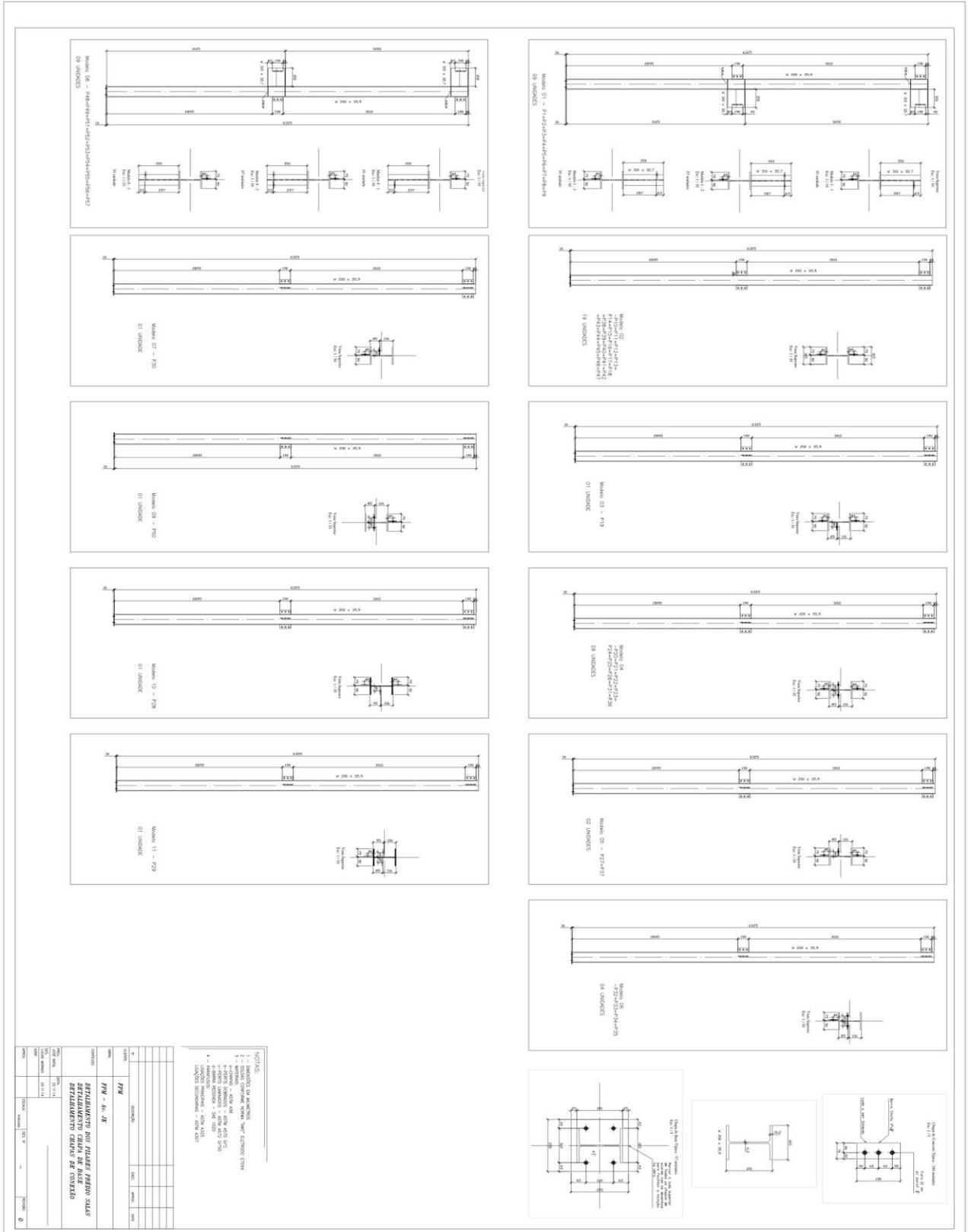
A figura 19 se refere ao detalhamento das vigas da estrutura do instituto.

Figura 19– Projeto detalhamento vigas



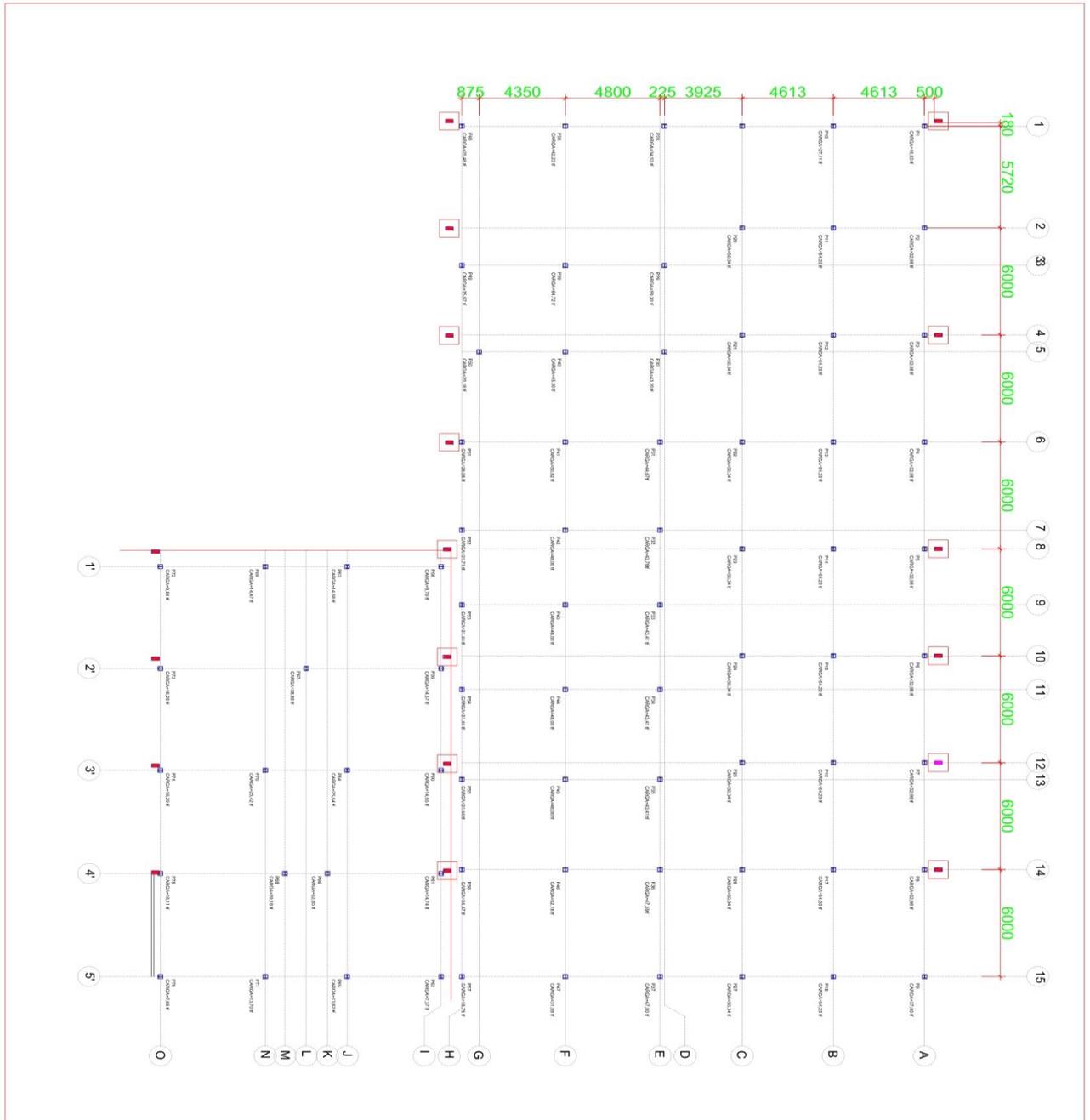
A figura 20 mostra o detalhamento dos pilares das salas onde foi utilizado o perfil H de abas paralelas.

Figura 20– Projeto pilares salas



A figura 21 mostra a locação de cada pilar e suas respectivas cargas, pois, cada pilar tem uma carga diferente variando conforme a área de influência.

Figura 21– Locação dos pilares



4.2 Justificativas para o uso da estrutura metálica

Para esta obra o grande diferencial foi o prazo de execução, haja vista que a Faculdade Patos de Minas necessitaria de um espaço para início das aulas dos novos cursos de engenharia e o tempo disponível para construção de no mínimo 20 salas de aula era de apenas quatro meses.

Devido ao tempo muito reduzido para construção de um novo polo, a direção da Faculdade chegou a cogitar a locação de um espaço provisório até o término da construção de uma edificação definitiva. Porém os técnicos envolvidos no projeto demonstraram que era possível, utilizando estrutura metálica, construir no tempo disponível. Opção esta que além de tornar possível a execução definitiva do novo polo, reduziria os custos tanto de construção quanto de locação.

4.3 Fornecimento, logística e montagem da estrutura

A concepção do projeto estrutural e o fornecimento de toda a estrutura metálica, inclusive a montagem final, foram feitas pelas empresas Dúctil Construções em Aço (DIFERPAM) e Açofama Indústria e Comércio Ltda.

O material foi entregue na obra de acordo com a demanda, ou seja, a obra não possuía estoque, por isso os materiais eram entregues no canteiro de obra de acordo com a etapa que estava sendo executada.

Para montagem da estrutura foi utilizado apenas um caminhão munck que além de ser o veículo usado para o transporte da estrutura, removia e inseria as estruturas no local especificado no projeto através do guindaste.

A figura 22 mostra o primeiro dia da obra, bem como a preparação para a execução da mesma. O galpão ao fundo em estrutura metálica foi reaproveitado sendo aumentado o pé direito de 6 metros para 9 metros, enquanto o outro galpão, ao lado esquerdo da foto, foi totalmente demolido.

Figura 22– Início da obra



A figura 23 mostra o local sem o galpão em estrutura metálica, retirado para os ajustes necessários, liberando assim o espaço na obra para a marcação e gabarito para posteriormente dar início aos processos de fundações. A edificação que aparece ao fundo na foto é feita em estrutura de concreto armado e a edificação que aparece à esquerda é feita em estrutura metálica, ambas foram reaproveitadas e adaptadas ao projeto.

Figura 23– Marcação da obra



Com as estacas concluídas, iniciou então a remontagem da cobertura. Optou-se por realizar a montagem dessa etapa antes mesmo da execução dos blocos para evitar possíveis atrasos que poderiam acontecer em decorrência da proximidade do período chuvoso. A figura 24 mostra a montagem das treliças e terças para a preparação para posteriormente receber a cobertura.

Figura 24 – Remontagem da cobertura



Com a primeira parte da cobertura já concluída houve a instalação dos pilares. A figura 25 mostra a cobertura já concluída com parte dos pilares já instalados no local.

Figura 25– Início da montagem dos pilares



Com os pilares instalados e aprumados foi feita a instalação das vigas, essa montagem foi iniciada na altura do terceiro piso facilitando a entrada do caminhão munck no canteiro de obras. A figura 26 mostra parte das vigas já instaladas.

Figura 26 – Início da montagem das vigas



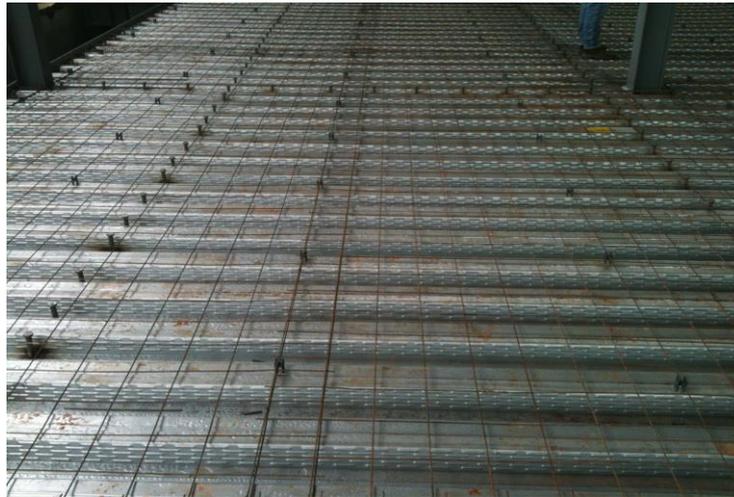
A figura 27 mostra que após a inserção de todas as vigas, foi realizada a montagem do steel deck, optou-se em iniciar pela primeira laje para facilitar a entrada e intervenções do caminhão munck nesta etapa da obra.

Figura 27 – Início da montagem do steel deck da primeira laje



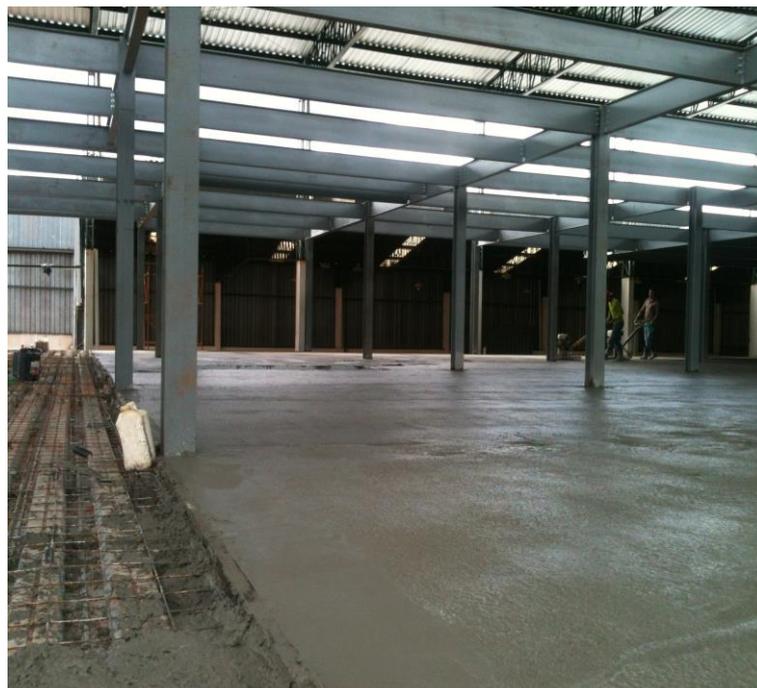
A figura 28 mostra a instalação dos conectores e tela. Os conectores de cisalhamento que assumem a função de estribo, permitem a ligação da viga metálica com o concreto armado e evita o deslocamento entre concreto e aço, dessa forma trabalha como viga T.

Figura 28– Conectores e tela



A figura 29 mostra a concretagem do steel deck da primeira laje, sendo finalizado também nesta etapa o acabamento do piso.

Figura 29– Início da concretagem primeira laje



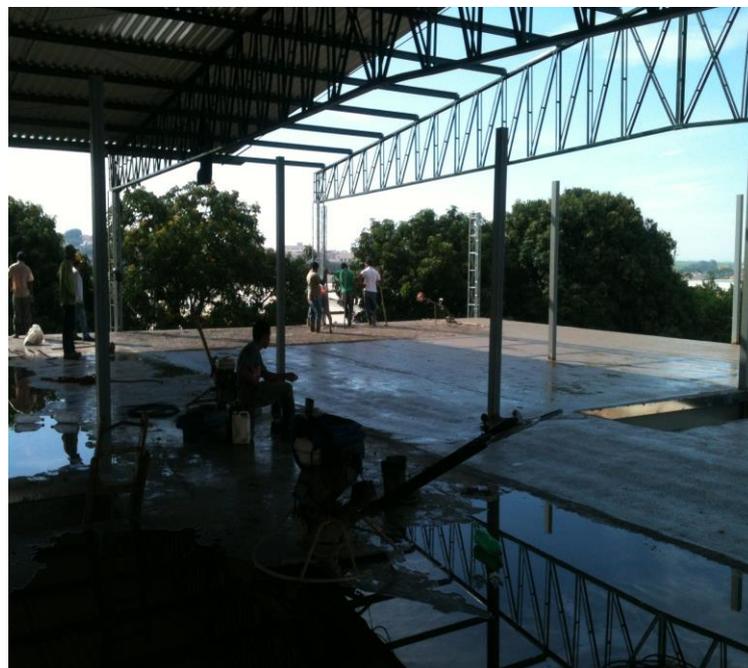
A figura 30 mostra o início da montagem do steel deck da segunda laje.

Figura 30– Steel deck segunda laje



A figura 31 mostra o término da concretagem da segunda laje.

Figura 31– Término segunda laje



4.3.1 Montagem dos fechamentos e acabamentos

A figura 32 mostra a execução das alvenarias em tijolos cerâmicos e também as divisórias para receber os painéis de drywall.

Figura 32 – Execução de alvenarias e divisórias



A figura 33 mostra a parede com Drywall quase concluída. Esse sistema possui o diferencial de ter facilidade na montagem, o que reduziu o prazo de entrega e diminuiu nos custos.

Figura 33 – Paredes de drywall



A figura 34 mostra os acabamentos internos, na qual se percebe que as vigas e pilares ficaram aparentes, dessa forma houve uma grande economia e também agilidade no acabamento. O material que foi utilizado no acabamento das estruturas metálicas foi a pintura industrial com fundo de epóxi e acabamento de esmalte sintético.

Figura 34 – Acabamento interno

4.3.2 Dificuldades encontradas

Uma das dificuldades encontradas foi a proximidade do período chuvoso que trouxe grande preocupação com a execução das fundações: com o desmonte do galpão que existia no local e recuperação de toda a estrutura, imediatamente após a perfuração das estacas do bloco 1, fez-se a instalação da estrutura com a cobertura na altura correta para o prédio, inclusive sem as claraboias existentes hoje, com isso contornou em parte os transtornos com as chuvas durante a execução das lajes deste bloco.

Outra dificuldade encontrada foi a aquisição de todos os materiais metálicos, visto que só existe um fabricante deste tipo de vigas no Brasil (Açominas) e este estava com algumas linhas de laminação em manutenção. Assim a aquisição de alguns modelos foi feito em distribuidoras, sendo que os pilares foram adquiridos de um distribuidor que os importou da Alemanha e dispunha de estoque conseguindo atender às necessidades da obra no prazo.

4.4 Análise comparativa entre estrutura metálica e estrutura de concreto armado para o Instituto Politécnico de Patos de Minas

Quando se optou pela estrutura metálica não foi levado em consideração inicialmente o custo, mas sim o prazo de entrega, pois, se a escolha da estrutura fosse em concreto armado a conclusão da obra não seria cumprida na data prevista.

A execução da estrutura metálica exige uma quantidade menor de mão de obra, enquanto a estrutura em concreto exige um número bem maior de trabalhadores.

Quanto ao acabamento, as vigas e pilares ficaram aparentes permitindo assim que houvesse uma maior simplicidade, gerando uma grande economia nesta etapa da obra. Caso fosse feito em concreto armado o investimento e o tempo teriam que ser muito maiores para sua conclusão.

Não foi elaborado orçamento da obra com estrutura em concreto armado (pilares e vigas), pois isso acarretaria tempo e custo adicionais com a elaboração de um projeto estrutural para a obra. Por experiência dos construtores e custo dos materiais em nossa região, estima-se que o custo para a obra metálica, como foi executada, ficou cerca de 15% menor que em concreto armado. O quadro 1 mostra um comparativo entre estrutura metálica e estrutura em concreto armado.

Quadro 1 – Comparativo entre estrutura metálica e estrutura em concreto armado

Estrutura metálica	Estrutura em concreto armado
Menor tempo de execução	Maior tempo de execução
Menor quantidade de mão de obra	Necessidade maior de mão de obra
Permite acabamento mais simples	Exige acabamento mais elaborado
Maior economia na etapa de acabamento	Maior investimento na etapa de acabamento

4.4.1 Vantagens do uso da estrutura metálica para o Instituto Politécnico de Patos de Minas

A obra em estrutura metálica traz o diferencial de a construção acontecer em paralelo fora do canteiro de obra, ou seja, toda a estrutura metálica foi cortada, perfurada e pintada paralelamente à execução das fundações, e assim que os blocos de fundações foram liberados a montagem aconteceu rapidamente.

O fato das estruturas já chegarem prontas no canteiro, permitia que o local de trabalho permanecesse sempre limpo, organizado, e conseqüentemente contribuiu para que o ambiente se tornasse muito mais seguro.

A característica das vigas e pilares metálicos não dependerem de tempo de cura foi um grande diferencial para a redução de tempo. Outra grande vantagem é o fato das lajes dispensarem escoramentos, pois, com isso permitiu a atuação de frentes de serviços de fechamentos mesmo logo após a concretagem.

Dessa forma foi possível perceber que todos esses fatores contribuíram de alguma forma para o bom andamento da obra e conseqüentemente agilizou o processo de execução e conclusão da mesma.

4.4.2 Desvantagens do uso da estrutura metálica para o Instituto Politécnico de Patos de Minas

A desvantagem que pôde ser notada foi somente quanto à dificuldade da mão de obra em aceitar o novo método construtivo, pois estão acostumados a pensar somente em concreto armado convencional. Outra desvantagem também seria que a construção exige o auxílio de equipamentos e maquinários pesados.

Como para o aço a precisão dimensional é milimétrica, a execução das fundações teve que ser acompanhada de perto, ou seja, foram a equipe dos profissionais da estrutura metálica que fizeram a conferência e locação dos pilares com toda a precisão, para que os mesmos fossem locados e concretados sem erros, pois isto acarretaria retrabalho na estrutura metálica e atrasos no prazo de montagem.

5 CONCLUSÕES

As construções atuais necessitam cada vez mais de um prazo menor de entrega, por isso a Estrutura Metálica é uma ótima opção, pois reduz significativamente o tempo de conclusão da obra.

As diversas vantagens da estrutura metálica superam o modo convencional da estrutura em concreto armado, pois o avanço tecnológico contribui para que as construções sejam executadas em curto espaço de tempo de forma industrializada, ou seja, as estruturas juntamente com os seus fechamentos já chegam prontos da fábrica possibilitando que na obra haja otimização do processo que em sua maior parte é de montagem desses elementos.

Através do estudo de caso foi possível perceber que apesar de algumas dificuldades enfrentadas durante a obra, a escolha pela estrutura metálica no lugar da estrutura em concreto armado demonstrou vários aspectos positivos como: a necessidade menor de mão de obra, a organização e limpeza do local, a execução da estrutura antes mesmo do término das fundações. O fato das vigas e pilares metálicos não dependerem de tempo de cura e da execução das lajes dispensarem escoramento e permitirem a atuação de frentes de serviços de fechamentos logo após a concretagem, são grandes diferenciais para redução de tempo.

Todas essas vantagens contribuíram de forma imprescindível para que como planejado parte do Instituto Politécnico fosse entregue na data prevista, atendendo a necessidade da faculdade e dos alunos em usufruir de espaços planejados, seguros e confortáveis no Instituto Politécnico de Patos de Minas.

REFERÊNCIAS

1. PINHEIRO, Antônio Carlos da Fonseca Bragança. **Estruturas metálicas**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2005. 301 p.
2. DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Estruturas de aço conceitos, técnicas e linguagem**. São Paulo: Zigurate Editora, 1997. 316 p.
3. PEDERIVA JÚNIOR, Paulo Fernando. **Comparação dos custos envolvidos na construção de pavilhões com estruturas pré- moldadas e moldadas**. 2009. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Tecnologia, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Injuí, 2009. Disponível em: <<http://www.projetos.unijui.edu.br/petegc/wp-content/uploads/2010/03/TCC-Paulo-Fernando-Pederiva-Júnior.pdf>>. Acesso em: 28 mar. 2016.
4. BELLEI, Ildony H.. **Edifícios industriais em aço: projetos e cálculos**. 6. ed. São Paulo: Pini Ltda, 2010. 491 p.
5. BELLEI, Ildony H.; PINHO, Fernando O.; PINHO, Mauro O. **Edifícios de múltiplos andares em aço**. 2. ed. São Paulo: Pini Ltda, 2008. 556 p.
6. BANDEIRA, Adriana Almeida de Castro. **Análise do uso de estruturas de aço em edificações habitacionais de interesse social**. 2008. 122 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Construção Civil, Departamento de Engenharia de Materiais de Construção, Universidade Federal de Minas, Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <[http://pos.demc.ufmg.br/novocecc/trabalhos/pg1/Monografia Adriana Almeida de Castro.pdf](http://pos.demc.ufmg.br/novocecc/trabalhos/pg1/Monografia%20Adriana%20Almeida%20de%20Castro.pdf)>. Acesso em: 07 maio 2016.
7. PFEIL, Michéle; PFEIL, Walter **Estruturas de aço dimensionamento prático.7.ed**. Rio de Janeiro: LTD, 2000. 336p.
8. GUARNIER, Christiane Roberta Fernandes. **Metodologias de detalhamento de estruturas metálicas**. 2009. 396 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Minas Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp110861.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2016.
9. MURASHIGE, Erika. **Aplicação de estruturas metálicas em residências**. 2005. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Anhembí Morumbi, São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://engenharia.anhembib.com.br/tcc-05/civil-10.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2016.
10. RIBEIRO NETO, Juliano Geraldo. **Estruturas metálicas**: Goiânia: Não, 2016. 58 slides, color. Disponível em: <<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17448/material/2-CONCEPCOES ESTRUTURAIIS.pdf>>. Acesso em: 25 jun. 2016.

11. PEREIRA Paulo César Moreira. **Resistência dos Materiais**: treliças. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgH1YAA/resistencia-dos-materias-trelicas>>. Acesso em: 11 jun. 2016.
12. **ESTRUTURAS** metálicas: definições. Disponível em: <<http://grupo2metalica.no.comunidades.net/1-definicoes>>. Acesso em: 11 set. 2016.
13. DIAS, Ricardo Henrique. **Arquitextos**: Importância e interferências da concepção dos subsistemas verticais em edifícios altos na arquitetura. 2004. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/05.055/520>>. Acesso em: 11 set. 2016.
14. **LAJES**: steel deck. Disponível em: <<http://wwwo.metalica.com.br/lajes-steel-deck>>. Acesso em: 06 set. 2016.
15. **CREATIVE** drywall: o que é drywall. 2014. Disponível em: <<http://creativeartdrywall.com.br/o-que-e-drywall/>>. Acesso em: 11 set. 2016.
16. ITO, Marcia Lie. **Estruturas metálicas**: estudo de viabilidade em edifícios comerciais. 2005. 82 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://engenharia.anhembi.br/tcc-05/civil-21.pdf>>. Acesso em: 22 abr. 2016.
17. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2008. 247 p. Disponível em: <http://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/acero/NBR8800_2008_1.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2016.
18. **PROJETO** arquitetônico: o que é projeto arquitetônico. Disponível em: <<http://www.ecologicconstrucoes.com.br/projeto-arquitetonico/>>. Acesso em: 11 set. 2016.
19. DELATORRE, Vivian; TORRESCASANA, Carlos Eduardo Nunes; PAVAN, Roberto Carlos. **Arquitetura e Aço**: Estudo dos condicionantes para projeto arquitetônico integrado. Disponível em: <<http://wwwo.metalica.com.br/arquitetura-e-aco-estudo-dos-condicionantes-para-projeto-arquitetonico-integrado>>. Acesso em: 14 jul. 2016.
20. **FACULDADE** de patos de minas inaugura o ippm: instituto politécnico de Patos de Minas. 2015. Disponível em: <<http://faculdadepatosdeminas.edu.br/noticias/detalhada/faculdade-patos-de-minas-inaugura-o-ippm---instituto--politecnico-de-patos-de-minas>>. Acesso em: 11 set. 2016.