

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

LEONARDO LUIZ ZANELLA

**ANÁLISE DE EXECUÇÃO DE PROJETO DE ESTRUTURA METÁLICA
ESPACIAL TUBULAR NA CIDADE DE MUNDO NOVO – MS: UM ESTUDO DE
CASO**

**CASCATEL - PR
2016**

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

LEONARDO LUIZ ZANELLA

**ANÁLISE DE EXECUÇÃO DE PROJETO DE ESTRUTURA METÁLICA
ESPACIAL TUBULAR NA CIDADE DE MUNDO NOVO – MS: UM ESTUDO DE
CASO**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Profº. Eng. Civil Esp. Ricardo Paganin

**CASCADEL - PR
2016**

CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG

LEONARDO LUIZ ZANELLA

**ANÁLISE DE EXECUÇÃO DE PROJETO DE ESTRUTURA METÁLICA ESPACIAL
TUBULAR NA CIDADE DE MUNDO NOVO – MS: UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário FAG,
como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob
orientação do Professor Eng. Civil Esp. Ricardo Paganin.

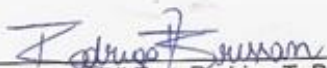
BANCA EXAMINADORA



Orientador Professor Eng. Civil Esp. Ricardo Paganin
Centro Universitário FAG
Engenheiro Civil



Professor Eng. Civil Esp. Jefferson T. Homrich
Centro Universitário FAG
Engenheiro Civil



Eng. Civil Esp. Rodrigo T. Bressan
Engenheiro Civil

Cascavel, 10 de Novembro de 2016.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por sempre me guiar e me iluminar durante toda a minha vida, nos momentos bons e nos ruins, especialmente durante a trajetória do curso, me dando determinação para a realização desse sonho, tornando tudo possível.

À toda a minha família, pelo apoio e incentivo, os quais me ajudaram a crescer pessoalmente e profissionalmente; por acreditar e por jamais desistirem de mim, mesmo em tempos difíceis, dando-me ainda mais ânimo para continuar em frente.

Aos meus amigos, que sempre me apoiaram em todos os momentos, em especial aos que conquistei na trajetória do curso, pelas reuniões para realização de trabalhos, estudos para as provas, e nos momentos de lazer, fundamentais para continuar nessa caminhada.

À empresa e todos os colegas de trabalho, na qual faço parte desde o segundo ano do curso até o presente momento, por todo o conhecimento adquirido, pelas diversas experiências e crescimento profissional.

Ao meu orientador, Eng. Civil Esp. Ricardo Paganin, por toda dedicação, comprometimento, ensinamento e auxílio para realização deste trabalho.

Ao Eng. Mecânico Luiz Carlos Gomez, por compartilhar conhecimentos importantes, em especial no auxílio para entendimento das estruturas metálicas reticuladas tridimensionais, tema do presente trabalho.

A todos os professores do curso, que se dedicaram a compartilhar conhecimentos importantes durante todo o curso.

À instituição, administração, direção e todos os seus colaboradores pela estrutura e serviços prestados.

A todos que participaram desta trajetória, auxiliando para a conclusão deste sonho.

RESUMO

Com o constante crescimento da utilização do aço na construção civil, novos sistemas estruturais foram sendo desenvolvidos e cada vez mais difundidos no Brasil, como o sistema estrutural reticulado tridimensional, mais conhecido como sistema estrutural espacial. Caracterizado pela sua utilização em grandes edificações, o mesmo passou a ser uma solução comum em grandes cidades do país, mas pouco conhecido em pequenos centros, visto isso, o presente estudo de caso tem por objetivo apresentar as principais características do sistema estrutural espacial, observadas durante a execução de um projeto na cidade de Mundo Novo – MS, além de verificar se o mesmo foi executado conforme cita a norma específica de projetos de estruturas de aço, a ABNT NBR 8800/2008. Durante a execução da estrutura, foram observadas, como principais características, a facilidade de sua execução, o pequeno número de pontos de apoio da estrutura, materiais com pequeno volume, montagem no chão para posterior içamento, limpeza e organização do canteiro de obras, além de ter sido verificado, com auxílio de um *check list*, que aproximadamente 76,47% de sua execução está em conformidade com a norma específica. O sistema estrutural espacial é uma solução muito interessante para estruturas com grandes vãos livres, trazendo poucos pontos de apoio e agilidade na execução.

Palavras-chave: Aço na construção civil, sistema estrutural espacial, NBR 8800/2008.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de funcionamento do alto-forno	14
Figura 2 - Esquema do conversor de oxigênio	15
Figura 3 - Lingoteamento contínuo	17
Figura 4 - Esquemas de laminadores	17
Figura 5 - Ponte <i>Ironbridge</i>	20
Figura 6 - Estação da Luz.....	21
Figura 7 - Ponte Hercílio Luz	21
Figura 8 - Estrutura espacial de Alexander Graham Bell	24
Figura 9 - Arranjo dos elementos em treliças espaciais	25
Figura 10 - Exemplo de treliça quadrado sobre quadrado com defasagem de meio módulo ..	25
Figura 11 - Tipos de apoio	26
Figura 12 - Sistema MERO	27
Figura 13 - Nó típico	27
Figura 14 - Nó de aço.....	28
Figura 15 - Nó com ponteira	28
Figura 16 - Centro de exposição do Anhembi.....	29
Figura 17 - Perspectiva da edificação	31
Figura 18 - Planta de montagem todos os níveis – Projeto inicial	37
Figura 19 - Vista superior da estrutura com banzos inferiores, superiores e diagonais.....	39
Figura 20 - Placa de apoio e chumbadores com “nó” dos “pés de galinha”	40
Figura 21 - “Nó” responsável pela ligação superior dos “pés de galinha”	40
Figura 22 - “Nó” comum.....	41
Figura 23 - Dimensões da barra INF-01	42
Figura 24 - Dimensões da barra SUP-01.....	42
Figura 25 - Dimensões da barra DIAG-01	43
Figura 26 - Detalhamento das terças da cobertura.....	45
Figura 27 - Detalhamento das terças dos painéis.....	45
Figura 28 - 3D da estrutura metálica completa.....	47
Figura 29 - Barras tubulares	48
Figura 30 - Chapas cortadas e furadas	48
Figura 31 - “Nó” dos “pés de galinha”	49

Figura 32 - Matriz para amassar e furar os tubos	50
Figura 33 - Tubo colocado sobre a “mesa” para furação	50
Figura 34 - Separação dos tubos por medida	51
Figura 35 - Soldagem dos "nós"	51
Figura 36 - Pintura dos tubos.....	52
Figura 37 - Pintura dos "nós"	52
Figura 38 - "Pontaletes" metálicos.....	53
Figura 39 - Selo de identificação	53
Figura 40 - Tubos "enfardados".....	54
Figura 41 - Caminhão carregado com o módulo 1	54
Figura 42 - Material descarregado no canteiro de obras	55
Figura 43 - Peças do banzo inferior espalhadas	55
Figura 44 - Diagonais ligadas pelos “nós” inferiores e superiores.....	56
Figura 45 - “Pé de galinha” para sustentação da estrutura.....	56
Figura 46 - Montagem do módulo 1 completa	57
Figura 47 - Içamento do módulo 1.....	57
Figura 48 - Soldagem do “nó” na chapa de cabeça do pilar.....	58
Figura 49 - Colocação das telhas da cobertura.....	58
Figura 50 - Painéis laterais	59
Figura 51 - Fachada da edificação finalizada.	59
Figura 52 - Caminhão carregado com o módulo 1	65
Figura 53 - Caminhão carregado com estrutura convencional	65
Figura 54 - Estrutura metálica convencional.....	66
Figura 55 - Vista inferior da estrutura metálica espacial	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Categorias dos aços-carbono	18
Quadro 2 - Propriedades mecânicas de Aços-carbono.....	19
Quadro 3 - Propriedades mecânicas de Aços de Baixa liga	19
Quadro 4 - Recomendações para altura das treliças espaciais	26
Quadro 5 - Especificações de fabricação segundo a NBR 8800/2008.....	34
Quadro 6 - Especificações de expedição e fornecimento de materiais segundo a NBR 8800/2008.....	35
Quadro 7 - Especificações de montagem segundo a NBR 8800/2008	35
Quadro 8 - Especificações de controle de qualidade segundo a NBR 8800/2008	36
Quadro 9 - Quantitativo de chapas para fabricação dos “nós”	43
Quadro 10 - Quantitativo de barras tubulares.....	45
Quadro 11 - Quantitativo de Perfis dobrados a frio	26
Quadro 12 - Análise da fabricação segundo a NBR 8800/2008.....	63
Quadro 13 - Análise da expedição e fornecimento de materiais segundo a NBR 8800/2008 .	65
Quadro 14 - Análise da montagem segundo a NBR 8800/2008.....	65
Quadro 15 - Análise do controle de qualidade segundo a NBR 8800/2008	67

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Itens em acordo ou desacordo com a NBR 8800/2008	64
--	----

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	11
1.1 INTRODUÇÃO	11
1.2 OBJETIVOS	11
1.2.1 Objetivo Geral	11
1.2.2 Objetivos Específicos	12
1.3 JUSTIFICATIVA	12
1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	13
1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	13
CAPÍTULO 2	14
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.2 O AÇO	14
2.2.1 Processo de fabricação do aço	14
2.2.1.2 Conversor de oxigênio	15
2.2.1.3 Tratamento	15
2.2.1.4 Refinamento	16
2.2.1.5 Classificação	16
2.2.1.6 Lingoteamento	16
2.2.1.7 Laminação	17
2.2.2 Tipos de aço	18
2.2.2.1 Aços-carbono	18
2.2.2.2 Aços de baixa liga	19
2.3 ESTRUTURAS METÁLICAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	20
2.3.1 História	20
2.3.2 Utilização de estruturas metálicas no Brasil	20
2.3.3 Vantagens	22
2.4 A CRIAÇÃO DA NORMA DE ESTRUTURAS DE AÇO	23
2.5 ESTRUTURAS RETICULADAS TRIDIMENSIONAIS	24
2.5.1 História	24
2.5.2 Aspectos gerais das treliças espaciais	24
2.5.2.1 Malhas	25
2.5.2.2 Tipos de apoio	26
2.5.2.3 Relações dimensionais	26
2.5.3 Estruturas reticuladas tridimensionais no Brasil	28
CAPÍTULO 3	30

3.1 METODOLOGIA	30
3.1.1 Tipo de estudo e local da pesquisa	30
3.1.2 Caracterização da amostra	30
3.1.3 Coleta de dados	31
3.1.4 Análise dos requisitos de fabricação e montagem.	31
3.1.4.1 Fabricação	31
3.1.4.2 Expedição e fornecimento de materiais	32
3.1.4.3 Montagem	33
3.1.4.4 Controle de qualidade	34
3.1.5 Análise dos dados.....	35
CAPÍTULO 4	36
4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
4.1.1 Apresentação de projeto	36
4.1.1.1 Projeto inicial	36
4.1.1.2 Projeto executivo.....	38
4.1.1.3 Detalhamento dos “nós”	39
4.1.1.4 Detalhamento das barras.....	42
4.1.1.5 Detalhamento das barras de terças	44
4.1.2 Procedimento de execução	47
4.1.2.1 Fabricação	47
4.1.2.2 Soldagem	51
4.1.2.3 Pintura.....	52
4.1.2.4 Transporte	54
4.1.2.5 Montagem	55
4.1.3 Análise dos requisitos de fabricação e montagem	60
4.1.3.1 Fabricação	60
4.1.3.2 Expedição e fornecimento de materiais	61
4.1.3.3 Montagem	62
4.1.3.4 Controle de qualidade	63
4.1.4 Características observadas durante a execução.....	64
CAPÍTULO 5	68
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
CAPÍTULO 6	69
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	69
REFERÊNCIAS	70

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

Estruturas reticuladas tridimensionais, ou mais conhecidas como estruturas espaciais, recebem destaque principalmente em coberturas de grandes áreas como em centros de eventos, indústrias e shoppings. As estruturas espaciais possuem esse nome, pois não há apoios em planos definidos, sendo, portanto tridimensionais, além de serem formadas pela justaposição no espaço de módulos com diversas formas geométricas, determinadas pela união das barras aos seus dispositivos ligantes, chamados de nós (SOUZA, 2002).

Segundo Souza (2002, *apud* DU CHATEAU, 1984), o primeiro sistema de estrutura espacial pré-fabricado foi criado em 1907, por Alexander Graham Bell (1847-1922), que se tratava de uma estrutura formada por elementos modulares tetraédricos, unidos no canteiro de obra. O resultado final com a união dos elementos foi uma torre de 30 metros de altura, que servia de observatório para experiências com aeroplanos

No Brasil, a utilização de estruturas espaciais, teve como marco a construção do Centro de Exposições do Anhembi, no final da década de 60, na cidade de São Paulo. A edificação citada foi projetada pelo engenheiro canadense Cedric Marsh, e é composta por aproximadamente 60.000 barras de seção transversal tubular circular de alumínio que totalizam cerca de 360 toneladas e que abrangem uma área coberta de 62.500m² (SOUZA, 2002).

Segundo Souza (2003), o uso de seções tubulares nestas estruturas tem se intensificado devido à alta eficiência estrutural desse tipo de sistema, que resiste de maneira econômica a altos esforços axiais, torções e solicitações combinadas. Visto a importância desse modelo estrutural, esse trabalho tem por objetivo a análise de uma estrutura espacial tubular como solução para coberturas de grandes áreas, a fim de idealizar edificações mais leves, econômicas e com tempo de execução reduzido.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar a execução de projeto de uma estrutura metálica espacial tubular na cidade de Mundo Novo – MS.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Apresentar o projeto e quantitativo de materiais de uma estrutura metálica espacial com barras tubulares;
- Apresentar as etapas de execução do projeto de uma estrutura metálica espacial com barras tubulares;
- Verificar se a execução do projeto de uma estrutura metálica espacial com barras tubulares está de acordo com as especificações de fabricação e montagem previstas pela norma NBR 8800 (ABNT, 2008).
- Apresentar as principais características do sistema estrutural espacial observadas durante a execução da estrutura.

1.3 JUSTIFICATIVA

A utilização estrutural de barras de aço com seção transversal tubular tem crescido no Brasil. Um dos motivos para este crescimento está associado as suas excelentes propriedades mecânicas, especialmente em relação a sua geometria, pois é possível adaptá-la em diversos tipos de obras, resultando assim em configurações arquitetônicas aparentes, com formas arrojadas e inovadoras.

Segundo SOUZA (2002), algumas das características que favorecem a utilização de estruturas espaciais quando comparadas às estruturas em planos convencionais são:

- grande rigidez, sendo possível a execução de obras com grandes vãos livres;
- liberdade arquitetônica na locação de apoios;
- possibilidade de ampliação, e fácil montagem e desmontagem para estruturas não permanentes;
- menor peso e custo para grandes vãos (acima de 40m). (SOUZA, 2002, p.8)

No presente trabalho, buscou-se analisar uma estrutura espacial com barras tubulares na cidade de Mundo Novo – MS, com o objetivo de verificar se a sua execução está de acordo

com o previsto pela NBR 8800/2008, que será acompanhada desde a fase de projeto, até a sua conclusão, comparando tal desenvolvimento prático com as características teóricas, além de levantar as principais características observadas durante sua execução.

Com a realização desse trabalho, buscou-se apresentar o acompanhamento de uma estrutura espacial, demonstrando a importância de sua execução estar de acordo com a norma específica, além de levantar as principais características desse sistema estrutural, auxiliando na escolha pela melhor solução para coberturas com grandes vãos livres.

1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

A execução de uma estrutura metálica espacial tubular na cidade de Mundo Novo – MS atende as instruções prescritas pela NBR 8800/2008? Quais as características construtivas de uma estrutura de cobertura metálica espacial tubular?

1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa foi limitada ao acompanhamento da execução de um projeto de uma estrutura espacial com barras tubulares, com área aproximada de 5.046,02m², destinado à nova fiscalização aduaneira da Receita Federal, na cidade de Mundo Novo – MS.

O estudo abrange o desenvolvimento do projeto executivo, o acompanhamento e a descrição das etapas de sua execução, levantando assim as principais características do sistema observadas durante seu desenvolvimento, além de verificar se a execução da mesma está de acordo com a NBR 8800/2008.

CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.2 O AÇO

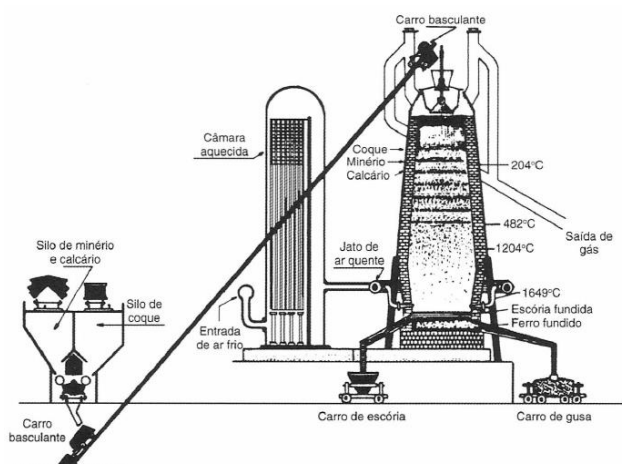
O aço é uma liga metálica formada basicamente por ferro e 0,008% até aproximadamente 2,11% de carbono, além de certos elementos residuais resultantes de seu processo de fabricação (FERRAZ, 2005).

2.2.1 Processo de fabricação do aço

2.2.1.1 Alto forno

Segundo Pfeil e Pfeil (2009), o principal processo de fabricação do aço é baseado na produção de ferro fundido no alto-forno, conforme representado pela Figura 1, o qual posteriormente é refinado em aço no conversor de oxigênio.

Figura 1 - Esquema de funcionamento do alto-forno



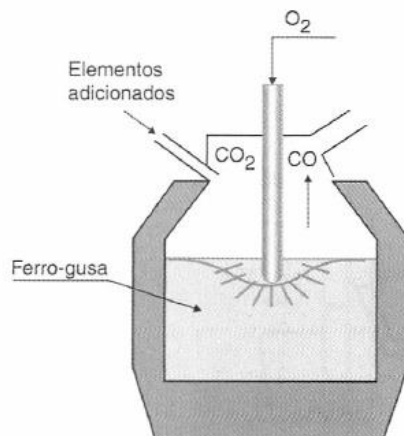
Fonte - Pfeil e Pfeil, (2009)

Pela parte superior do alto-forno, são inseridos coque, minério e calcário. Pela parte inferior, aciona-se o jato de ar quente. O coque é queimado, gerando calor e monóxido de carbono, os quais reduzem o óxido de ferro a ferro liquefeito, com excesso de carbono. O calcário converte o pó do coque e os minerais terrosos do minério em escória fundida (PFEIL, 2009).

2.2.1.2 Conversor de oxigênio

O refinamento do ferro fundido em aço é realizado no conversor de oxigênio, conforme mostra a Figura 2.

Figura 2 - Esquema do conversor de oxigênio



Fonte - Pfeil e Pfeil, (2009)

Seu funcionamento se resume na queima, pela injeção de oxigênio, do excesso de carbono na forma de monóxido de carbono e dióxido de carbono, reduzindo assim a quantidade de impurezas a limites prefixados. Elementos como manganês, silício e fósforo são oxidados e combinados com cal e óxido de ferro, resultando na formação de escória que sobrenada o aço liquefeito (PFEIL, PFEIL, 2009).

2.2.1.3 Tratamento

O tratamento do aço líquido é feito com o seu superaquecimento, o mesmo então absorve os gases da atmosfera e oxigênio da escória. O gás é expelido lentamente com o resfriamento da massa líquida, até sua solidificação. Durante esse processo deve-se realizar a desgaseificação, que é o adicionamento de alumínio e silício (PFEIL, PFEIL, 2009).

2.2.1.4 Refinamento

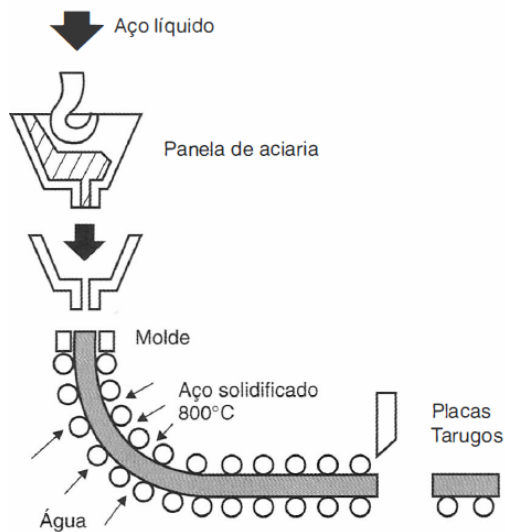
Segundo Pfeil e Pfeil (2009), o refinamento do aço é a remoção de grande parte dos óxidos insolúveis, que tem como objetivo evitar que as propriedades mecânicas do aço sejam prejudicadas.

2.2.1.5 Classificação

Os aços são classificados com base no seu grau de desgaseificação, resultando em aços, efervescentes, capeados, semi acalmados e acalmados. Os aços efervescentes são utilizados na fabricação de chapas finas. Os aços capeados são análogos aos efervescentes. Os aços semi acalmados apresentam menor segregação que os capeados, e são os mais utilizados em produtos siderúrgicos como, perfis, barras e chapas grossas. Nos aços acalmados, todos os gases foram eliminados, resultando em melhor uniformidade de estruturas, sendo eles os aços-ligas, aços de baixo carbono e alto carbono, utilizados para produção de trilhos, barras e estampagem (PFEIL, PFEIL, 2009).

2.2.1.6 Lingoteamento

O processo de confecção do aço é chamado de lingoteamento. As usinas mais modernas possuem instalações de lingoteamento contínuo, como mostra o esquema da Figura 3.

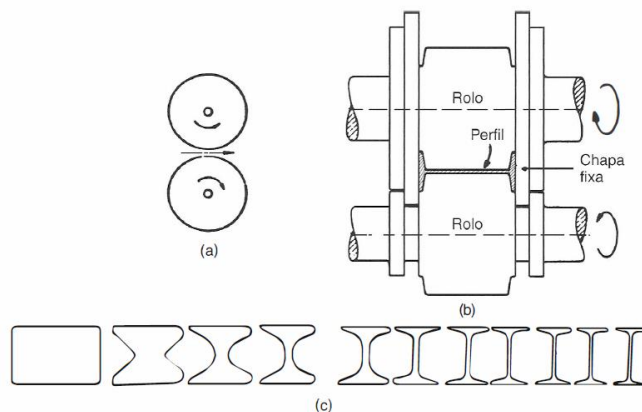
Figura 3 - Lingoteamento contínuo

Fonte - Pfeil e Pfeil, (2009)

O aço fundido é descarregado na panela de aciaria, na qual os lingotes são moldados continuamente, chegando aos laminadores em forma de placas com seção retangular ou tarugos (PFEIL, PFEIL, 2009).

2.2.1.7 Laminação

O aço é transformado nos produtos siderúrgicos utilizados pelas indústrias, por um processo denominado laminação, como mostra o esquema da Figura 4.

Figura 4 - Esquemas de laminadores

Fonte - Pfeil e Pfeil, (2009)

Segundo a Figura 4, o item (a) representa a peça metálica, que aquecida ao rubro, é comprimida entre dois rolos giratórios, resultando de sua saída, espessuras reduzidas das peças; a letra (b) simboliza o processo em que os laminadores dos produtos acabados têm seus rolos com as superfícies cortadas nas formas adequadas; o elemento (c), por sua vez, mostra as sucessivas fases da laminação do perfil I a partir do perfil retangular produzido no laminador desbastador.

2.2.2 Tipos de aço

Os aços estruturais são classificados conforme sua composição química, sendo assim, os mesmos são divididos em dois grupos: aços-carbono e aços de baixa liga (PFEIL, PFEIL, 2009).

2.2.2.1 Aços-carbono

Os aços-carbono são os mais utilizados. Seu aumento de resistência em relação ao ferro puro é resultado da adição de carbono e em menor escala do manganês a sua composição. Os elementos adicionados a sua composição devem ter as seguintes porcentagens máximas: Carbono $\leq 2,0\%$; Manganês $\leq 1,65\%$; Silício $\leq 0,60\%$ e Cobre $\leq 0,35\%$ (PFEIL, PFEIL, 2009).

Segundo Pfeil e Pfeil (2009), em função do teor de carbono, há a possibilidade de descrever três categorias, conforme o Quadro 1.

Quadro 1 - Categorias dos aços-carbono

Categoria	Teor de Carbono (C)
Baixo carbono	$C < 0,29\%$
Médio carbono	$0,30\% < C < 0,59\%$
Alto carbono	$0,60\% < C < 2,0\%$

Fonte – Pfeil e Pfeil, (2009)

O aumento do teor de carbono eleva a resistência do aço, porém diminui sua ductilidade. Os principais tipos de aço-carbono usados em estruturas, segundo os padrões da

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), da ASTM (*American Society for Testing and Materials*) e das normas europeias EM, são os apresentados no Quadro 2 (PFEIL, PFEIL, 2009).

Quadro 2 - Propriedades mecânicas de Aços-carbono

Especificação	Teor de carbono (%)	Limite de escoamento (MPa)	Resistência à ruptura (MPa)
ABNR MR250	Baixo	250	400
ASTM A7	-	240	370-500
ASTM A36	0,25-0,29	250 (36 ksi)	400-500
ASTM A307 (parafusos)	Baixo	-	415
ASTM A325 (parafusos)	Médio	635 (min)	825 (min)
EM S235	Baixo	235	360

Fonte - Pfeil e Pfeil, (2009)

2.2.2.2 Aços de baixa liga

Os aços de baixa liga são os aços-carbono acrescidos de elementos de liga que melhoram algumas propriedades mecânicas do mesmo, como: cromo colúmbio, cobre, manganês, molibdênio, níquel, fósforo, vanádio e zircônio (PFEIL, PFEIL, 2009).

Alguns tipos de aço de baixa liga usados em estruturas estão apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 - Propriedades mecânicas de Aços de Baixa liga

Especificação	Principais elementos de liga	Limite de escoamento (MPa)	Resistência à ruptura (MPa)
ABNR A572 Gr. 50	C < 0,23%; Mn < 1,35%	345	450
ASTM A588	C < 0,17%; Mn < 1,20%; Cu < 0,50%	345	485
ASTM A992	C < 0,23%; Mn < 1,50%	345	450

Fonte - Pfeil e Pfeil, (2009)

2.3 ESTRUTURAS METÁLICAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

2.3.1 História

Segundo Inaba (2012), a utilização de estruturas metálicas na construção civil em escala industrial iniciou-se no século XVIII, e teve como primeira grande obra a ponte *Ironbridge* na Inglaterra, que foi construída em 1779, projetada por Abraham Darby com vão de 30m, conforme mostra a Figura 5.

Figura 5 - Ponte *Ironbridge*



Fonte – Smith, (2003)

No século XIX, a utilização de estruturas metálicas na construção civil cresceu muito, sendo executadas grandes edificações. Um dos fatores que ajudou o ferro a se estabelecer, no final do Século XIX, foi o encarecimento da matéria prima e da mão-de-obra para estruturas de madeira e a criação de normas contra incêndios mais rígidas (INABA, 2012).

2.3.2 Utilização de estruturas metálicas no Brasil

Um dos principais motivos que retardou o uso do ferro e do aço no Brasil foram as altas temperaturas necessárias para sua fabricação, o que encareceu esse processo, resultando em dificuldade na comercialização e consequentemente na popularização (FERRAZ, 2005).

As grandes obras em estruturas metálicas no Brasil eram produzidas com peças importadas da Europa, como a cobertura da *Estação da Luz*, em São Paulo, representada na Figura 6, construída em 1901 (NAKAZATO, 2008).

Figura 6 - Estação da Luz



Fonte – Michael, (2009)

Outro exemplo é a ponte *Hercílio Luz*, em Florianópolis, representada pela Figura 7, construída em 1922 (TIRLONI, 2012).

Figura 7 - Ponte Hercílio Luz



Fonte – Tirloni, (2012)

As estruturas eram montadas por processo de rebite, que se baseava no conceito de que, diferentemente de uma solda malfeita, um rebite, mesmo mal cravado, poderia suportar um esforço considerável. Devido a essa opção, a construção metálica necessitava de um número grande de operários no canteiro. Com o passar do tempo, o processo de soldagem foi sendo dominado, possibilitando a fabricação de estruturas mais simples, diminuindo, portanto, a mão de obra (NAKAZATO, 2008).

O grande impulso das construções com estruturas metálicas no Brasil veio com a criação da *Companhia Siderúrgica Nacional* e sua fábrica de estruturas metálicas, fundada na década de 50 (NAKAZATO, 2008).

Com o passar dos anos, outras siderúrgicas cada vez mais modernas foram sendo criadas, modernidade esta, que somada ao processo de soldagem por arco submerso, tornou possível a composição de perfis soldados e a execução de juntas de extensão, resultando em um aumento de produtividade e qualidade. Na década de 80, o Brasil deixava de ser importador de aço para tornar-se exportador do produto (NAKAZATO, 2008).

A indústria de estruturas metálicas vem crescendo muito no Brasil, principalmente por apresentar redução no tempo de construção, racionalização de materiais e mão de obra e edificações modernas e arrojadas (INABA, 2012). Segundo o *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística* (2010), o consumo de aço destinado às estruturas metálicas passou de 324 mil toneladas em 2002 para 1,6 milhão em 2009.

2.3.3 Vantagens

Segundo Bellei (2006), são diversas as vantagens da utilização do aço na construção civil, principalmente quando o material é comparado com outros sistemas estruturais. Podemos citar entre as principais vantagens:

- A simplicidade e agilidade no uso do aço na construção resultam em melhor utilização de insumos e mão de obra;
- Menores prazos de execução;
- Maior organização e limpeza, resultando em maior segurança e aproveitamento do espaço no canteiro de obras;
- Devido ao peso das estruturas metálicas, temos menores cargas nas fundações, resultando em menores custos com a mesma;

- As estruturas metálicas têm todo seu detalhamento definido em projeto, assim como ordem de fabricação e montagem, facilitando o momento da execução, evitando desperdício de tempo e materiais;
- Qualidade do aço verificada por rigorosos testes das usinas siderúrgicas, o que resulta em obras de qualidade.

2.4 A CRIAÇÃO DA NORMA DE ESTRUTURAS DE AÇO

A primeira norma brasileira que especificava o projeto de estruturas de aço de edifícios, constituída por perfis laminados e soldados, foi a NB-14, criada em 1958, e utilizava o método de cálculo das tensões admissíveis para dimensionamento. Mesmo após sua revisão em 1968, esse método de cálculo foi se tornando ultrapassado, e em alguns casos, sua aplicação resultou em estruturas inadequadas (FAKURY, 2006).

No início da década de 80, especialistas começaram a trabalhar no desenvolvimento de uma nova norma brasileira para estruturas de aço de edifícios. Esta ideia abstrata teve seu perfil concretizado em 1986, com a criação pela *Associação Brasileira de Normas Técnicas* da norma NBR 8800, a qual trouxe grande avanço na segurança das estruturas em aço, pois se deixou de utilizar o método das tensões limites, que se baseava em determinações, para se adotar o método dos estados-limites, que se fundamentou em fatores probabilísticos (FAKURY, 2006).

A NBR 8800/1986 foi baseada nas especificações da norma americana AISC-LRFD (1986), exceto as curvas múltiplas de flambagem, que se fundamentaram no modelo europeu ECCS (1976), e os valores de deformações, vibrações em pisos e a flambagem de barras axialmente comprimidas por flexo-torção, que seguiram o modelo proposto pela norma canadense CAN/CSA-S16.1 (1984) (FAKURY, 2006).

Em 2001, um grupo formado por pesquisadores de universidades brasileiras e por profissionais reconhecidos, iniciou a elaboração da revisão da NBR 8800/1986. O texto-base foi disponibilizado em agosto de 2003, o qual desde então tem sido continuamente aprimorado em diversas reuniões de comissão de estudos da ABNT (FAKURY, 2008).

Em 11/07/2008, finalmente, a revisão da norma foi aprovada, e teve sua validade a partir de 25/09/2008 (FAKURY, 2008).

Como principais diferenças, a NBR 8800/2008 ao contrário da primeira versão, passou a abordar o dimensionamento de todos os elementos estruturais mistos à temperatura

ambiente, acrescentando as ligações mistas. Outra novidade, é que a análise estrutural quase sempre deveria ser categorizada como de 2ª ordem, considerando os efeitos das imperfeições geométricas iniciais da estrutura e das imperfeições iniciais de material (FAKURY, 2008).

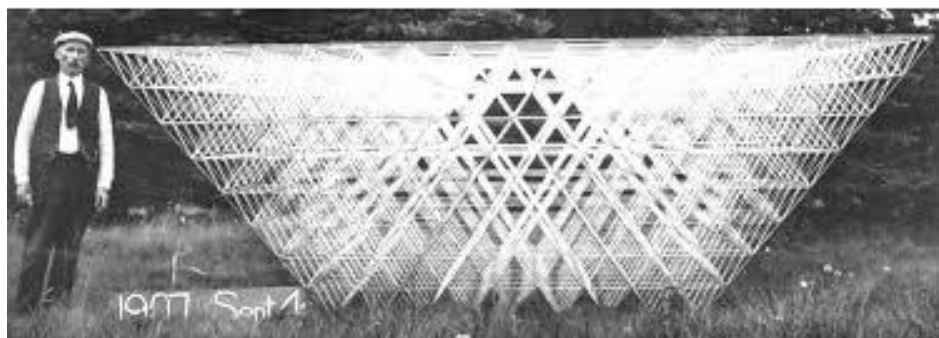
Nas barras comprimidas, as quatro curvas de resistência que eram embasadas no Eurocode3, foram substituídas por uma única curva, baseada no ANSI/AISC, resultando assim em perfis mais leves, mantendo um índice de confiabilidade aceitável, além de uma atualização generalizada dos procedimentos de cálculo (FAKURY, 2008).

2.5 ESTRUTURAS RETICULADAS TRIDIMENSIONAIS

2.5.1 História

Segundo Souza (2002), as estruturas reticuladas tridimensionais são aquelas formadas por barras em planos diversos e surgiram por volta do século XVIII. Em 1907, Alexander Graham Bell desenvolveu um reticulado espacial constituído por barras de mesma dimensão conectadas por um único tipo de nó, formando elementos modulares tetraédricos, conforme mostrado na Figura 8. A partir desta realização, demonstrou-se, portanto, a alta capacidade de padronização e a consequente facilidade de industrialização deste tipo de estrutura (SOUZA, 2002, *apud* DU CHATEAU 1984).

Figura 8 - Estrutura espacial de Alexander Graham Bell



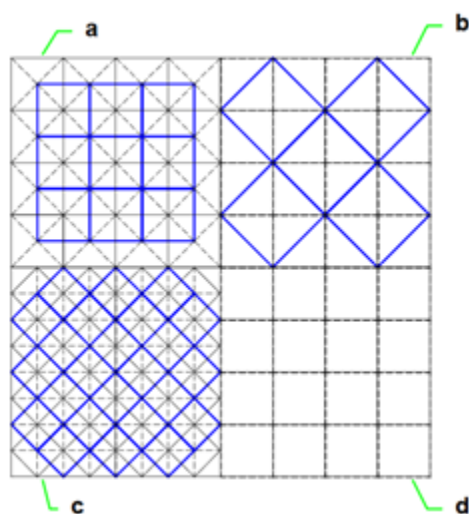
Fonte – Du Chateau, (1984)

2.5.2 Aspectos gerais das treliças espaciais

2.5.2.1 Malhas

Segundo Souza (2002), o comportamento estrutural das treliças espaciais é função do arranjo dos elementos que a compõem. Os principais arranjos dos elementos de duas camadas paralelas estão apresentados na Figura 9.

Figura 9 - Arranjo dos elementos em treliças espaciais



Fonte – Souza, (2002)

É representado pela Figura 9: a) quadrado sobre quadrado; b) quadrado sobre quadrado em diagonal; c) quadrado diagonal sobre quadrado diagonal; d) quadrado sobre quadrado sem diagonais escondas.

A disposição mais utilizada é o arranjo das barras de quadrado sobre quadrado com defasagem de meio módulo, o qual está ilustrado na foto da Figura 10.

Figura 10 - Exemplo de treliça quadrado sobre quadrado com defasagem de meio módulo



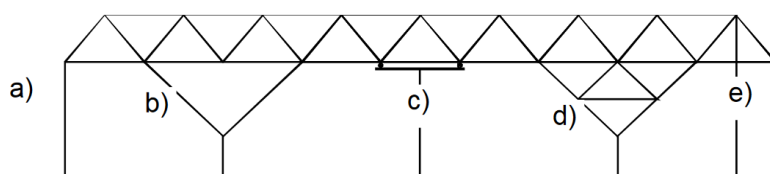
Fonte – Autor, (2015)

2.5.2.2 Tipos de apoio

As treliças espaciais podem ser apoiadas em pilares de concreto armado ou de aço, diretamente em um nó do banzo inferior ou superior. Quando as reações de apoio são elevadas é usual adotar elementos adicionais para absorvê-las, minimizando os esforços normais nas diagonais que convergem para o nó de apoio. Esses elementos podem ser vigas de transição utilizando dois nós para apoio, ou pirâmides invertidas, também conhecidas como “pés de galinha”.

Os tipos de apoios mais comuns são os apresentados na Figura 11.

Figura 11 - Tipos de apoio



Fonte – Souza, (2002)

Ainda por meio da figura acima, traduz-se: a) apoio direto no banzo inferior; b) “pé de galinha”; c) apoio com viga de transição; d) “pé de galinha” com travejamento interno; e) apoio direto no banzo superior.

2.5.2.3 Relações dimensionais

Para a altura entre o banzo inferior e o banzo superior das treliças espaciais, há, segundo a literatura, recomendações, as quais estão apresentadas no Quadro 4. Salienta-se que a definição da altura estabelece as dimensões da malha e recomenda-se manter o ângulo das diagonais entre 40° e 55° (SOUZA, 2002).

Quadro 4 - Recomendações para altura das treliças espaciais

Altura da treliça	Recomendação
$(\ell / 30)$ a $(\ell / 40)$	MORONI (1976)
$(\ell / 20)$ a $(\ell / 40)$	MAKOWSKI (1984)
$(\ell / 20)$ a $(\ell / 60)$	IFFLAND (1982)
$(\ell / 15)$ a $(\ell / 20)$	AGERSKOV (1986)

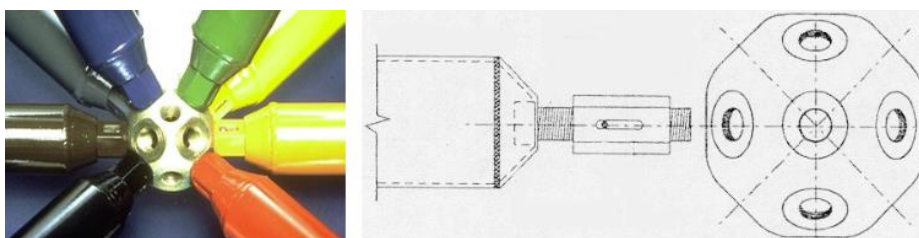
Fonte – Souza, (2002)

2.5.2.4 Ligações entre as barras

Denomina-se nó, o encontro das barras de uma estrutura. Quanto às treliças espaciais, é o tipo de seção transversal das barras que irá determinar o nó. Existem vários perfis de nós, desde os mais simples, utilizando superposição de barras com amassamento nas extremidades conectadas por um parafuso, até os mais elaborados, com peças esféricas fundidas e usinadas com elementos especiais rosqueados.

O grande avanço na difusão dos reticulados espaciais foi o surgimento da MERO, na Alemanha em 1943, que desenvolveu um sistema pré-fabricado de estrutura espacial. O sistema MERO é o sistema mais conhecido e de uso mais difundido em todo mundo. Consiste em barras de seção transversal tubular circular de aço com parafusos nas extremidades que são conectados a nós esféricos, conforme demonstra a Figura 12 (SOUZA, 2002).

Figura 12 - Sistema MERO



Fonte – Souza, (2002)

Vários sistemas de ligação surgiram como uma alternativa mais econômica em relação aos nós esféricos industrializados. No mais comum deles, as ligações entre as barras são feitas com a superposição das extremidades amassadas das barras, unidas por um único parafuso, processo denominado de “nó típico”, conforme mostra a Figura 13.

Figura 13 - Nó típico



Fonte – Souza, (2002)

Utiliza-se, também, nós formados pela associação de chapas planas (nós de aço) ligadas diretamente às extremidades amassadas dos tubos, representado pela Figura 14.

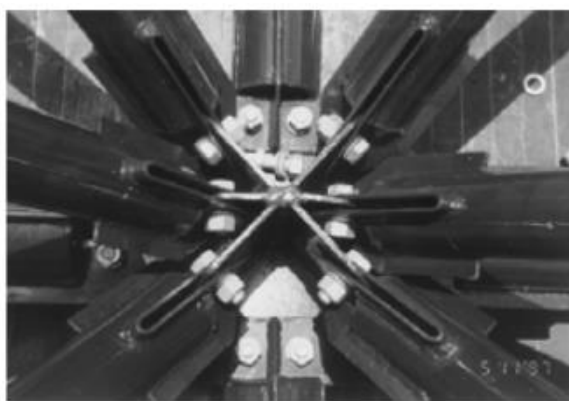
Figura 14 - Nó de aço



Fonte – Souza, (2002)

Existe, ainda, o sistema que é ligado por “chapas de ponteiros” soldadas internamente ao tubo, neste caso, sem amassamento das extremidades, conforme denota a Figura 15.

Figura 15 - Nó com ponteira



Fonte – Souza, (2002)

2.5.3 Estruturas reticuladas tridimensionais no Brasil

No Brasil, o desenvolvimento e a utilização de treliças espaciais teve como marco inicial a construção do centro de exposição do Anhembi, na cidade de São Paulo, no final da década de 60. Projetada pelo Engenheiro canadense Cedric Marsh, a treliça em questão é

composta por 48.000 barras tubulares de alumínio para uma cobertura que abrange uma área de 62.500m², e está apresentada pela Figura 16 (SOUZA, 2002).

Figura 16 - Centro de exposição do Anhembi



Fonte – Spturis, (2014)

CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

3.1.1 Tipo de estudo e local da pesquisa

A realização dessa pesquisa foi baseada na análise do projeto de uma estrutura metálica espacial com barras tubulares, executada na cidade de Mundo Novo – MS. O acompanhamento das etapas da execução da estrutura, desde o projeto executivo até a conclusão da mesma, foi baseado na NBR 8800/2008, que normatiza os quesitos de projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto em edifícios.

Trata-se de uma pesquisa do tipo qualitativa e quantitativa, pois foram analisados tanto as principais características do sistema estrutural espacial e a qualidade de sua execução, quanto descrito os dados do projeto idealizado, como quantidade de material e tempo de execução (RICHARDSON, 1989, *apud* DALFOVO, LANA, SILVEIRA, 2008).

A execução do projeto foi de responsabilidade de uma empresa especializada em estruturas metálicas, onde o autor esteve presente em todo o andamento da obra, acompanhando as diversas etapas de sua execução.

3.1.2 Caracterização da amostra

O estudo de caso dessa pesquisa foi realizado na edificação da nova fiscalização aduaneira, da Receita Federal, que se localiza na BR-163 em Mundo Novo – MS, saída para Salto del Guairá no Paraguai. A edificação em questão conta com 20 pilares em concreto armado e uma estrutura metálica espacial com barras tubulares para a cobertura, que abrange uma área de 5.046,02m².

A carga da estrutura metálica em questão é distribuída em vinte conjuntos de “pés de galinha” que são formados por quatro barras tubulares, fixados ao “nó” no topo de cada pilar, descarregando assim toda a carga da cobertura, formada por 7.652 tubos redondos dispostos no banzo inferior, superior e diagonais.

A estrutura metálica tem sua cobertura formada por 10 águas planas, com inclinação de 10%; possui telhas trapezoidais pré-pintadas na cor branca e painel externo com telhas trapezoidais pré-pintadas na cor azul, conforme Figura 17.

Figura 17 - Perspectiva da edificação



Fonte - Inova Arquitetura, (2012)

3.1.3 Coleta de dados

Os dados para essa pesquisa foram coletados na fábrica da empresa responsável pela execução da obra, localizada em Cascavel – PR, onde foi acompanhado o desenvolvimento do projeto executivo, o levantamento do material necessário para execução, a análise da fabricação da estrutura metálica e sua pintura. Nas diversas visitas técnicas ao local da obra, em Mundo Novo – MS acompanhou-se a montagem da estrutura metálica. Para um melhor entendimento e análise do sistema estrutural em questão, foram utilizadas, como auxílio, pesquisas em artigos, livros, internet e à norma NBR 8800/2008.

3.1.4 Análise dos requisitos de fabricação e montagem.

3.1.4.1 Fabricação

Para realizar a verificação quanto a fabricação da estrutura, utilizou-se o Quadro 5, que relaciona as recomendações da NBR 8800/2008 com o que foi realizado na obra em análise.

Quadro 5 - Especificações de fabricação segundo a NBR 8800

NBR 8800/2008	REALIZADO	OB.
O item 12.2.1.1.1 comenta sobre o desempenho do material, especificando que antes do seu uso na fabricação, os materiais devem estar desempenados dentro das tolerâncias de fornecimento.		
O item 12.2.1.4.1 comenta sobre construções parafusadas, especificando quando a espessura do material for inferior ou no máximo igual ao diâmetro do parafuso acrescido de 3 mm, os furos podem ser punçoados.		
O anexo P.6.4.3.1 exige que as peças prontas deverão ser isentas de retorcimentos, curvaturas e juntas abertas.		
O anexo P.6.5.3 especifica no caso de ausência de exigências nos documentos contratuais, que o fabricante deverá fazer limpeza manual do aço antes da pintura.		
O anexo P.6.5.4 especifica que a pintura da estrutura metálica deverá ser aplicada por pincel, jateamento a ar comprimido, rolo, escorrimento ou imersão, à escolha do fabricante. Quando a espessura da película não for especificada, uma espessura mínima de 25 micra é exigida como camada de fábrica.		
O anexo P.6.5.6 especifica que retoques de áreas danificadas pelo manuseio após a pintura, devem ser realizados na pintura final de campo.		

Fonte – Autor, (2016)

Nos Quadros 5, 6, 7 e 8 contam na primeira coluna denominada de “NBR 8800/2008” as premissas e orientações definidas pela norma, na segunda coluna denominada de “REALIZADO” foram preenchidas as observações em relação a execução daquela etapa do processo e a terceira coluna denominada de “OB.” foi preenchida com a legenda de “A” quando a atividade estava de acordo com o preconizado pela normativa ou “D” quando a atividade desenvolvida estava em desacordo com a recomendação normativa.

3.1.4.2 Expedição e fornecimento de materiais

Para realizar a verificação quanto à expedição e fornecimento de materiais, utilizou-se o Quadro 6, que relaciona as recomendações da NBR 8800/2008 com o que foi realizado na obra em análise.

Quadro 6 - Especificações de expedição e fornecimento de materiais segundo a NBR 8800/2008

NBR 8800/2008	REALIZADO	OB.
O anexo P.6.6.1 especifica que as marcas de montagem deverão ser aplicadas às peças da estrutura de aço por pintura ou outro meio adequado.		
O anexo P.6.7.1 comenta sobre o fornecimento de materiais, instruindo que a estrutura de aço deverá ser fornecida numa sequência tal que permita um desempenho eficiente e econômico na fabricação e na montagem.		
O anexo P.6.7.2 comenta que chumbadores e outros materiais embutidos em alvenaria ou pilares de concreto, deverão ser entregues antes de ser necessária a sua utilização.		

Fonte – Autor, (2016)

3.1.4.3 Montagem

Para realizar a verificação quanto à montagem da estrutura, utilizou-se o Quadro 7, que relaciona as recomendações da NBR 8800/2008 com o que foi realizado na obra em análise.

Quadro 7 - Especificações de montagem segundo a NBR 8800/2008

NBR 8800/2008	REALIZADO	OB.
O anexo P.7.2 especifica as condições locais do canteiro de obra, exigindo que o proprietário mantenha vias de acesso ao canteiro e dentro dele, para permitir a chegada com segurança dos equipamentos necessários, bem como das peças a serem montadas.		
O mesmo item P.7.2, exige que o proprietário proporcione ao montador uma área firme, devidamente nivelada, drenada, para operação do equipamento de		

montagem.		
O anexo P.7.15.1 exige que o montador tenha cuidado no manuseio e no armazenamento das peças durante as operações de montagem, para evitar acúmulo de sujeira, marcas ou deformações nas peças, e danos a pintura.		
O anexo P.7.15.2 comenta que o montador não será responsável pela limpeza das peças, devido à poeira, sujeira, que se acumulem durante a realização da montagem pela exposição normas das peças às intempéries.		
O item 12.2.1.4.2 exige que espinhas só podem ser utilizadas para assegurar o posicionamento das peças componentes dos conjuntos durante a montagem, não sendo permitido seu uso para, por meio de deformação, forçar a coincidência de furos, alarga-los ou distorcer o material.		
O anexo P.7.17 exige que após o término da montagem e antes da aceitação final, o montador deverá remover todos os andaimes, entulhos e construções provisórias.		

Fonte – Autor, (2016)

3.1.4.4 Controle de qualidade

Para realizar a verificação quanto ao controle de qualidade da estrutura, utilizou-se o Quadro 8, que relaciona as recomendações da NBR 8800/2008 com o que foi realizado na obra em análise.

Quadro 8 - Especificações de controle de qualidade segundo a NBR 8800/2008

NBR 8800/2008	REALIZADO	OB.
O anexo P.8.2.1 especifica que o fabricante deverá, em geral, fazer inspeção visual de produtos, porém, não necessita qualquer ensaio de materiais recebidos pela usina.		
O anexo P.8.4 especifica que a inspeção do sistema de pintura, incluindo o material e espessura, deverá ser feita imediatamente após o término da aplicação da pintura.		

Fonte – Autor, (2016)

3.1.5 Análise dos dados

Após fazer o levantamento e registro de todas as informações observadas durante a execução, foi realizada a análise da fabricação e a montagem da estrutura, com base no item 12 da NBR 8800/2008, e no Anexo “P” presente na mesma norma, que especifica os requisitos básicos de fabricação, montagem e controle de qualidade.

CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1.1 Apresentação de projeto

O presente trabalho foi baseado no projeto de uma estrutura metálica espacial com barras tubulares, destinado à cobertura da nova fiscalização aduaneira da Receita Federal, na cidade de Mundo Novo – MS. Nesta obra, a empresa responsável pela execução da estrutura não é a mesma incumbida pelo projeto inicial, sendo ela encarregada apenas de executar o proposto pelo projeto.

Para apresentação e discussão dos resultados neste capítulo inicialmente serão apresentados o projeto e as etapas de construção, após isso será feita a análise dos requisitos de fabricação e montagem definidos pelo item 12, e do anexo “P” da NBR 8800/2008.

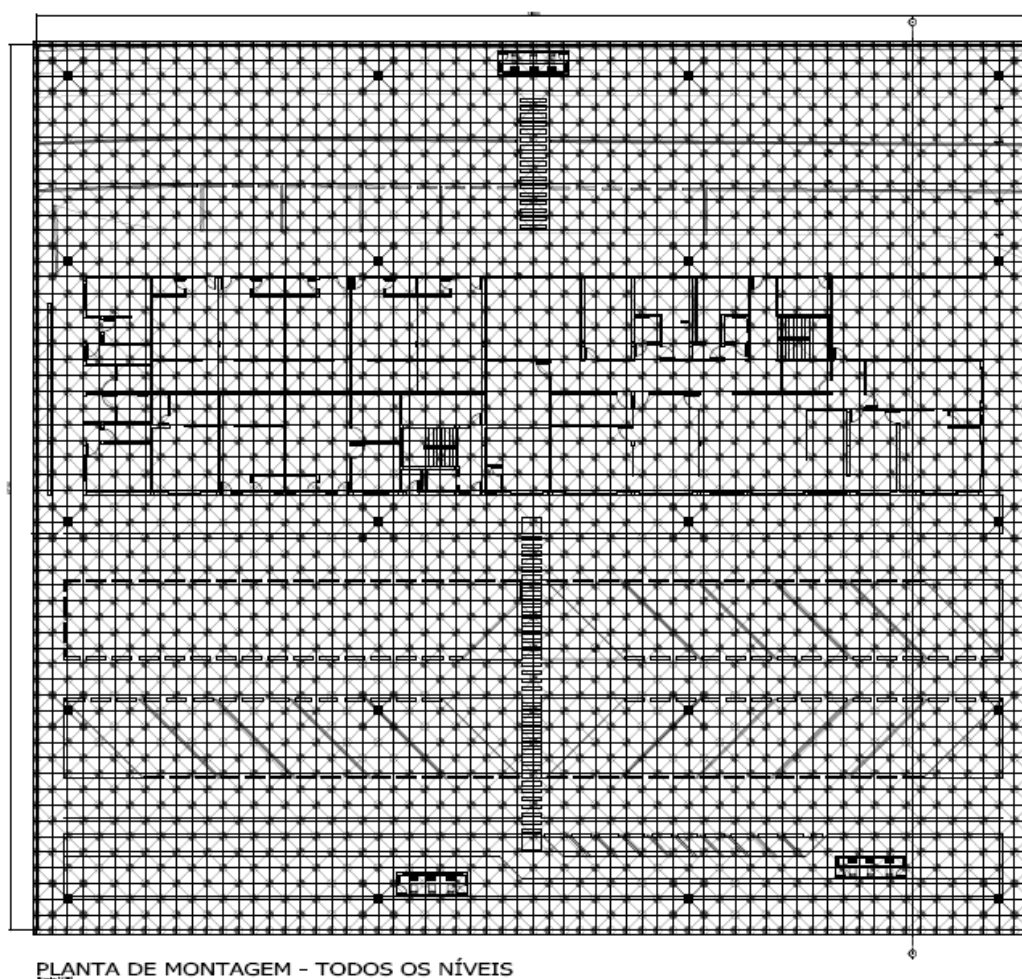
4.1.1.1 Projeto inicial

O projeto básico desenvolvido pelo Engenheiro responsável pelo seu dimensionamento foi dividido em:

- Planta de montagem dos “pés de galinha” responsáveis pela sustentação da estrutura metálica;
- Planta de montagem do banzo inferior;
- Planta de montagem do banzo superior;
- Planta de montagem das diagonais;
- Planta de montagem dos “nós” da estrutura;
- Desenho e dimensões de cada “nó”;
- Corte;
- Legenda indicando o material de cada barra tubular (diâmetro e espessura);
- Tabela com quantitativo de materiais.

As estruturas reticuladas tridimensionais são formadas por malhas em diferentes planos. Na estrutura em questão, as malhas estão em três planos diferentes, banzo inferior, banzo superior e diagonais, que fazem a ligação do banzo inferior com o superior. Essas ligações são realizadas pelos “nós”. A planta de montagem com todas as malhas está representada pela Figura 18.

Figura 18 - Planta de montagem todos os níveis – Projeto inicial



Fonte - Inova Arquitetura, (2012)

O projeto inicial continha as informações básicas, que não eram suficientes para a execução da estrutura. Este tipo de estrutura exige detalhamento, ou seja, no projeto executivo devem conter informações de cada uma das barras, sua dimensão, seu diâmetro, sua espessura, a quantidade de furos e a distância entre eles, que auxiliam a equipe que irá executar a edificação.

Tendo em vista a necessidade de um projeto executivo detalhado, com base no projeto inicial, foi desenvolvido o projeto executivo completo.

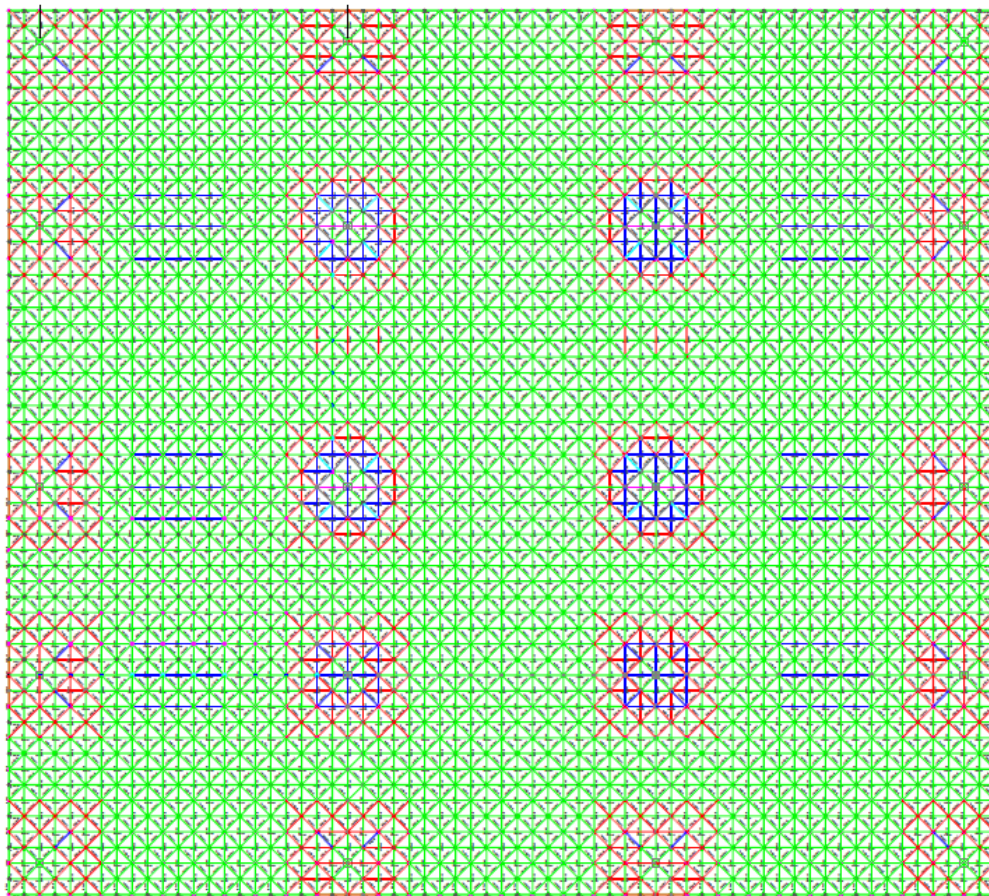
4.1.1.2 Projeto executivo

O projeto executivo e detalhamento desenvolvido pela empresa que executou a estrutura metálica, através do *Software Autocad*, foi dividido em:

- Planta de montagem dos “pés de galinha” responsáveis pela sustentação da estrutura metálica;
- Planta de montagem do banzo inferior;
- Planta de montagem do banzo superior;
- Planta de montagem das diagonais;
- Planta de montagem dos “nós” da estrutura;
- Desenho e dimensões de cada “nó”;
- Corte;
- Desenho e dimensões de cada barra tubular;
- Desenho e dimensões das terças da cobertura.

Diferente do projeto inicial, as barras de diâmetros diversificados foram separadas por cores distintas, sendo fácil a percepção de que as barras mais robustas estão posicionadas perto dos apoios, local onde elas são mais solicitadas. A planta de montagem com todas as malhas está representada pela Figura 19.

Figura 19 - Vista superior da estrutura com banzos inferiores, superiores e diagonais

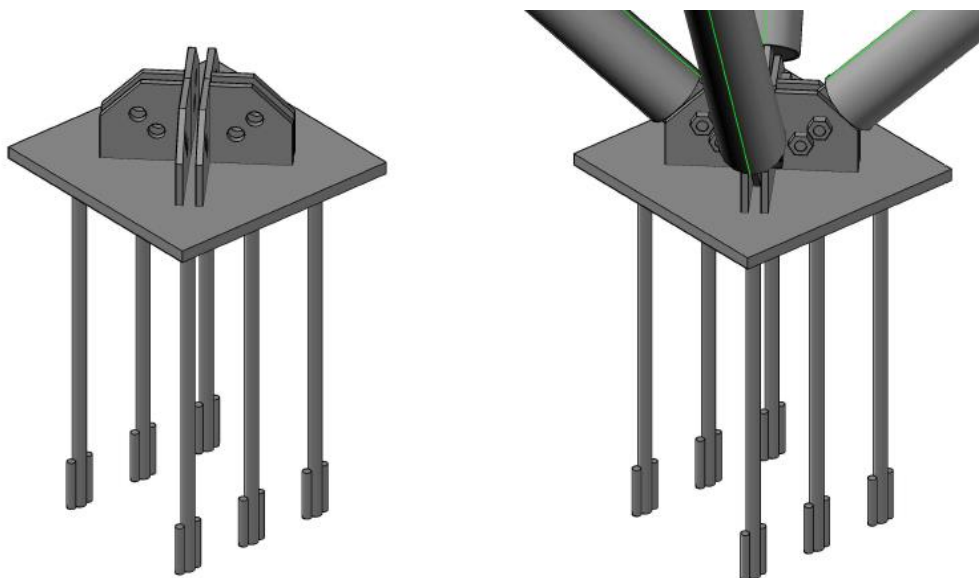


Fonte – Autor, (2015)

4.1.1.3 Detalhamento dos “nós”

A edificação em questão conta com vinte pilares em concreto armado, responsáveis pela sustentação de toda a estrutura metálica. Em cada um desses pilares foi inserido uma placa de apoio com chumbadores, e sobre a mesma, o “nó” responsável pela fixação dos “pés de galinha” conforme apresentado pela Figura 20.

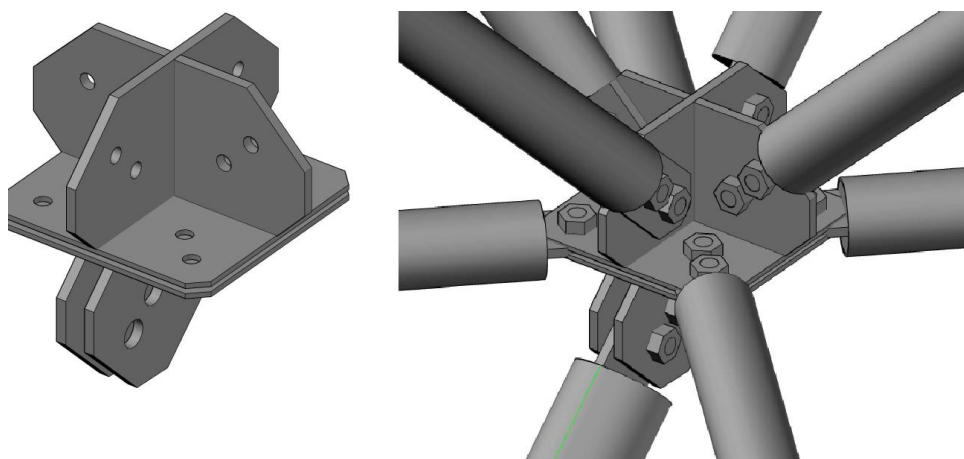
Figura 20 - Placa de apoio e chumbadores com “nó” dos “pés de galinha”



Fonte – Autor, (2015)

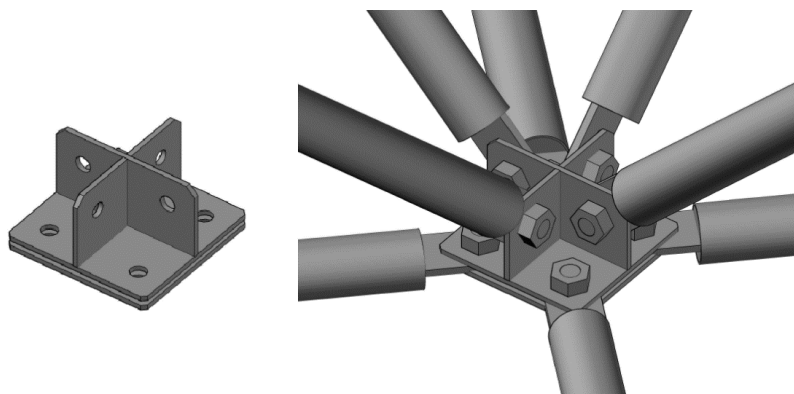
Na outra extremidade das barras que compõem os “pés de galinha”, existe um tipo diferente de “nó”, presente em 80 encontros de barras do projeto, responsável por receber tanto as barras do “pé de galinha” quanto às barras do banzo inferior e diagonais, conforme representado pela Figura 21.

Figura 21 - “Nó” responsável pela ligação superior dos “pés de galinha”



Fonte – Autor, (2015)

Todos os outros 1.671 encontros de barras presentes no projeto, são unidos pelo “nó” apresentado na Figura 22, tanto para o banzo inferior quanto superior.

Figura 22 – “Nó” comum

Fonte – Autor, (2015)

Os “nós” responsáveis pelas ligações das barras tubulares são formados por chapas de diferentes bitolas. Para fabricar os diferentes tipos de “nós” foi necessário a quantidade de chapas descrita no Quadro 9.

Quadro 9 - Quantitativo de chapas para fabricação dos “nós”

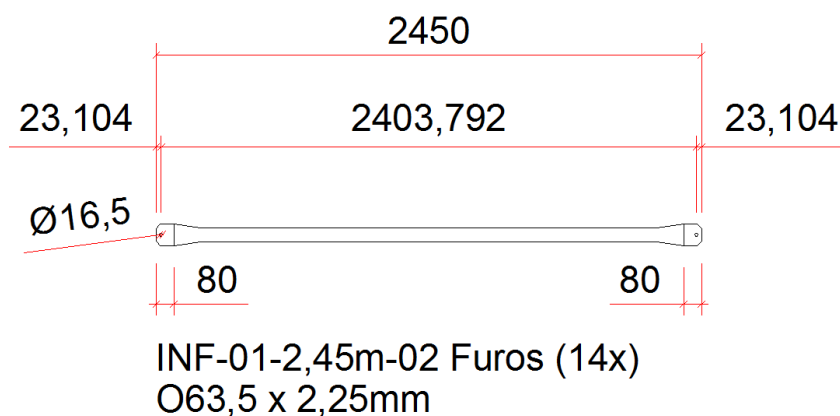
DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	LARGURA (mm)	COMP. (mm)	PESO (kg)
#3/4"	20	400	400	480
#3/8"	80	134	151	121,404
#5/8"	160	90	225	405
#3/8"	80	124	134	99,696
#3/8"	904	134	146	1326,4392
#3/8"	904	129	135	1180,737
#3/8"	160	148	225	399,6
#3/8"	160	134	137	220,296
#3/8"	80	134	285	229,14
#5/16"	112	81	220	125,73792
#5/16"	420	69	220	401,6628
#3/16"	1667	150	150	1425,285
#3/16"	160	225	225	307,8
#3/16"	1423	75	150	608,3325
#3/16"	3334	73	75	693,6387
#3/16"	452	225	225	869,535
#11	240	80	155	71,424
#11	744	80	100	142,848
#11	792	50	50	47,52
#11	726	180	50	156,816
#11	1667	150	150	900,18
TOTAL	14285	-	-	10213,092

Fonte – Autor, (2015)

4.1.1.4 Detalhamento das barras

A malha inferior é formada por 1.976 barras tubulares. Cada barra desigual presente nessa malha recebeu uma numeração diferente, auxiliando no momento da montagem, garantindo que cada barra estivesse em sua posição, conforme requisitada em projeto. Junto ao detalhamento de cada barra, além de sua numeração, foi inserido o comprimento da barra tubular, seu diâmetro, a quantidade de furos e a quantidade de barras presentes no projeto, conforme mostra a Figura 23.

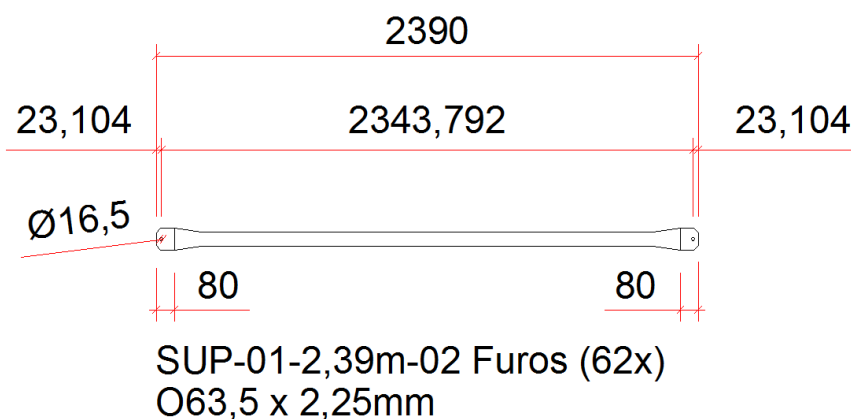
Figura 23 - Dimensões da barra INF-01



Fonte – Autor, (2015)

A malha superior é formada por 1.852 barras tubulares. Cada barra desigual presente nessa malha, assim como na malha inferior, recebeu uma numeração diferente, conforme mostra a Figura 24.

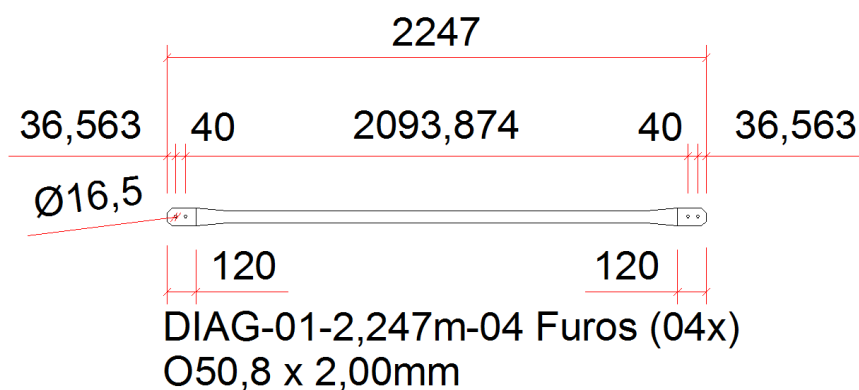
Figura 24 - Dimensões da barra SUP-01



Fonte – Autor, (2015)

As diagonais são formadas por 3.824 barras tubulares e fazem a ligação entre a malha inferior e a malha superior, através dos “nós”. Cada barra desigual presente nas diagonais, assim como nas outras malhas, recebeu uma numeração diferente, conforme mostra a Figura 25.

Figura 25 - Dimensões da barra DIAG-01



Fonte – Autor, (2015)

Com o projeto executivo concluído, foi realizado o levantamento quantitativo das barras tubulares que compõem as malhas, descritas pelo Quadro 10.

Quadro 10 - Quantitativo de barras tubulares

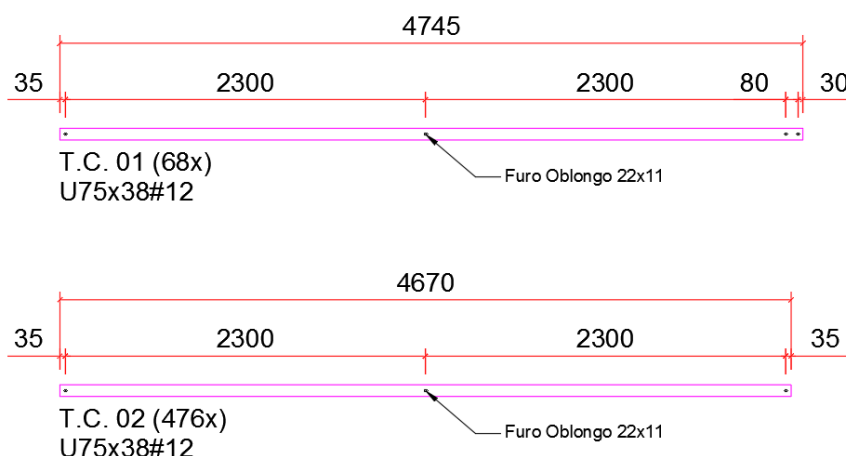
DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	COMPRIMENTO (mm)	PESO (kg)
Ø50,8 x 2,00mm	640	2247	3465,772
Ø50,8 x 2,00mm	816	2283	4489,656
Ø50,8 x 2,00mm	1200	2257	6527,244
Ø50,8 x 2,00mm	156	1933	726,730
Ø50,8 x 2,00mm	32	1975	152,312
Ø50,8 x 2,00mm	52	1945	243,747
Ø63,5 x 2,00mm	236	2247	1612,087
Ø63,5 x 2,00mm	180	2283	1249,257
Ø63,5 x 2,00mm	432	2257	2964,072
Ø63,5 x 2,25mm	2133	2250	16317,450
Ø63,5 x 2,25mm	94	1125	359,550
Ø63,5 x 2,25mm	34	1145	132,362
Ø63,5 x 2,25mm	60	2450	499,800
Ø63,5 x 2,25mm	410	2390	3331,660
Ø63,5 x 2,25mm	819	2290	6376,734

Ø63,5 x 3,00mm	30	2250	302,400
Ø63,5 x 3,00mm	12	2390	128,486
Ø63,5 x 3,00mm	18	2290	184,665
Ø63,5 x 3,00mm	8	2247	80,532
Ø63,5 x 3,00mm	16	2283	163,645
Ø63,5 x 3,00mm	8	2257	80,890
Ø76,2 x 2,65mm	136	2020	1321,403
Ø76,2 x 2,65mm	30	2060	297,258
Ø76,2 x 2,65mm	12	2160	124,675
Ø76,2 x 2,65mm	8	1997	76,844
Ø76,2 x 2,65mm	4	2033	39,114
Ø76,2 x 2,65mm	20	2007	193,073
Ø88,9 x 3,00mm	8	2220	112,953
Ø88,9 x 3,00mm	4	2060	52,406
Ø88,9 x 3,00mm	28	2020	359,721
Ø88,9 x 3,00mm	4	1997	50,803
Ø88,9 x 3,00mm	8	2033	103,439
Ø88,9 x 3,00mm	4	2007	51,058
Ø101,6 x 4,75mm	80	2000	1816,000
TOTAL	7732	-	53987,810

Fonte – Autor, (2015)

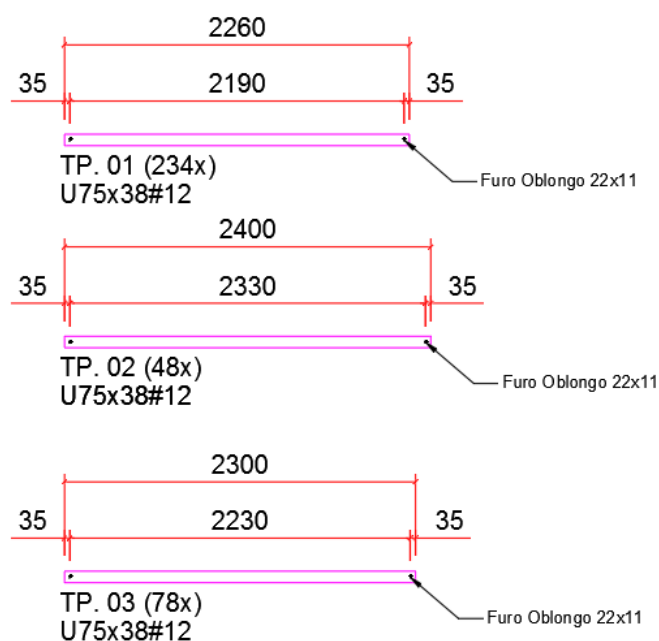
4.1.1.5 Detalhamento das barras de terças

Para o apoio das telhas da cobertura foi utilizado barras de terças em perfil U dobrado, parafusadas em pontaletes metálicos e estes, fixados sobre os “nós” do banzo superior. Em todo o projeto existem apenas dois tipos diferentes de terças para a cobertura. Seu detalhamento está representado pela Figura 26.

Figura 26 - Detalhamento das terças da cobertura

Fonte – Autor, (2015)

Para execução dos painéis laterais, assim como na cobertura foram utilizadas barras de terças em perfil U dobrado. As barras de terças dos painéis laterais são fixadas em pilaretes metálicos e estes são fixados nos “nós”, em todo o perímetro da obra. O detalhamento das terças dos painéis está apresentado pela Figura 27.

Figura 27 - Detalhamento das terças dos painéis

Fonte – Autor, (2015)

Para o terçamento da cobertura e do painel lateral da estrutura, foi utilizado o material descrito pelo Quadro 11.

Quadro 11 - Quantitativo de Perfis dobrados a frio

SUPORTE DE TERÇAS			
DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	COMPRIMENTO (m)	PESO (kg)
U75x38#13	544	0,1	139,0464
U75x38#13	578	0,15	221,6052
TERÇAS DA COBERTURA			
DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	COMPRIMENTO (m)	PESO (kg)
U75x38#12	68	4,745	961,5268
U75x38#12	476	4,67	6624,3016
PAINEL			
DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	COMPRIMENTO (m)	PESO (kg)
U75x38#12	248	2,5	1847,6
U75x38#12	234	2,26	1574,08168
U75x38#12	78	2,30	533,98051
U75x38#12	48	2,40	342,89049
TOTAL			12245,03268

Fonte – Autor, (2015)

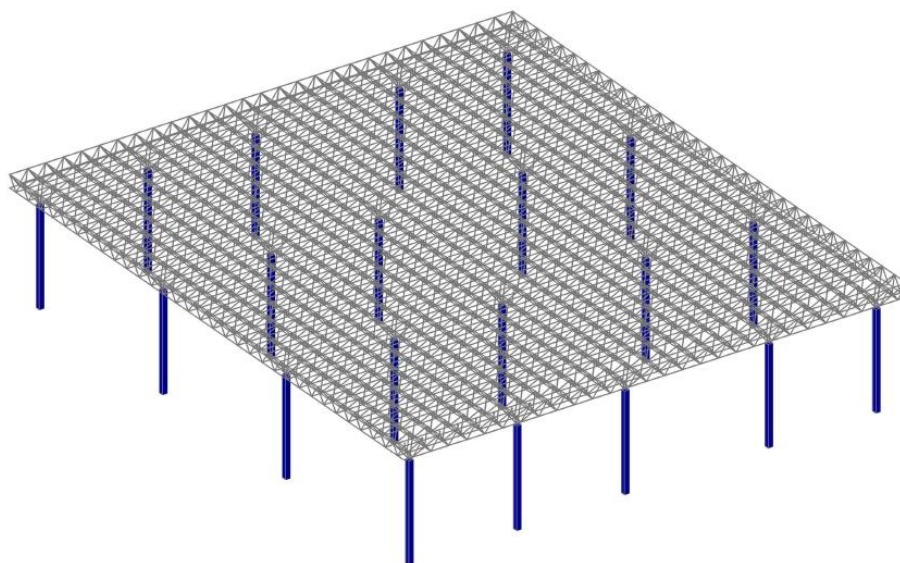
Antes do desenvolvimento do projeto executivo foi necessário um conhecimento básico sobre as estruturas espaciais, a disposição de suas barras, as ligações, e o local onde a obra seria implantada.

Uma das dificuldades encontradas foi o fato de no eixo X, as barras estarem sempre a mesma distância entre elas, mas no eixo Y, essas distâncias variarem, resultando assim em diferentes barras, com diferentes furações.

Após detalhadas as primeiras barras, o restante destas foi desenhado com maior agilidade pelo profissional, afinal, a grande maioria das peças se repetem. Apesar de complexa, o projeto da estrutura metálica em questão não possui muitos detalhes, facilitando o seu desenvolvimento e sua execução.

O projeto completo, com todas as barras e suas ligações, está representando pela Figura 28.

Figura 28 - 3D da estrutura metálica completa



Fonte – Autor, (2015)

4.1.2 Procedimento de execução

Para facilitar na fabricação e montagem da estrutura metálica, a mesma foi dividida em 12 módulos e teve seu início no dia 23/09/2015.

4.1.2.1 Fabricação

A fabricação da estrutura contou com a participação de dois colaboradores, o primeiro operava a máquina responsável pela furação das barras e o segundo era incumbido pela fabricação dos diferentes tipos de “nós”.

As barras tubulares necessárias para execução da estrutura metálica são compostas de aço ASTM A36 e foram adquiridas da siderúrgica nos comprimentos exatos. Cada material diferente veio separado em fardos, facilitando no momento da fabricação, conforme mostra a Figura 29.

Figura 29 - Barras tubulares



Fonte – Autor, (2015)

Com as barras tubulares separadas por comprimentos, a agilidade no momento da fabricação foi acrescida, e o tempo para a mesma reduzida, pois além de evitar cortes e emendas, cada “fardo” de material continha uma placa de identificação.

Os diferentes tipos de “nós” responsáveis pelas ligações das barras tubulares são formados por chapas de aço *ASTM A36* unidas através de ligações soldadas.

As diferentes chapas de aço foram cortadas e furadas por uma máquina com corte automático de uma empresa terceirizada. Os cortes das diferentes peças que formam os “nós” foram feitos conforme o projeto, como mostra a Figura 30.

Figura 30 - Chapas cortadas e furadas



Fonte – Autor, (2015)

Apesar do custo superior para o corte das chapas de aço por uma empresa especializada, teve-se um ganho de tempo quanto à agilidade do serviço, além de se ter uma peça com melhor qualidade quando comparada ao corte manual.

Após a chegada das chapas cortadas e furadas, foi realizada a montagem dos “nós”, de acordo com o projeto, conforme mostra a Figura 31.

Figura 31 - “Nó” dos “pés de galinha”



Fonte – Autor, (2015)

Como cada “nó” foi montado individualmente, com as folgas específicas para cada peça, essa etapa foi extensa, porém, foi executada exatamente como descrito no projeto.

Para ligar as barras tubulares aos “nós”, as mesmas foram amassadas e furadas, e para realizar esse procedimento, foi necessário a instalação de uma matriz especial para essa função, ilustrada na Figura 32. Ao ser acionada, ela amassa a ponta do tubo e fura o mesmo, com um punção de 16,5mm, conforme requisitado em projeto.

Figura 32 - Matriz para amassar e furar os tubos



Fonte – Autor, (2015)

No processo de fabricação das barras tubulares, as mesmas foram colocadas sobre uma “mesa”, então sua medida foi ajustada com uma peça colocada atrás do tubo, para garantir que o mesmo fosse executado na medida exata, conforme mostrado na Figura 33.

Figura 33 - Tubo colocado sobre a “mesa” para furação



Fonte – Autor, (2015)

Após furar um dos lados do tubo, o mesmo foi virado; posteriormente, o outro lado também foi furado; a medida entre os furos foi conferida, então o próximo tubo foi posicionado e assim por diante.

Conforme os tubos foram sendo furados, os mesmos foram separados e identificados por medida, conforme a Figura 34.

Figura 34 - Separação dos tubos por medida



Fonte – Autor, (2015)

4.1.2.2 Soldagem

Dois colaboradores foram responsáveis pela soldagem dos “nós”, processo que une as peças, representado pela Figuras 35.

Figura 35 - Soldagem dos "nós"



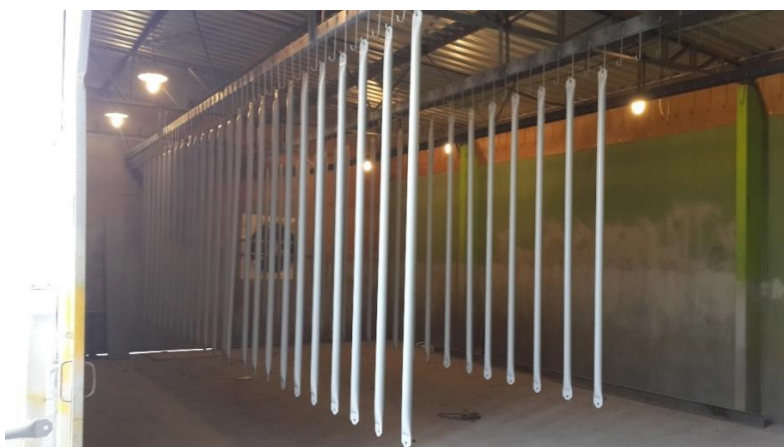
Fonte - Autor, 2015

A solda foi conferida com o auxílio de paquímetro, para averiguar se a espessura e o comprimento dos cordões de solda estavam de acordo com a especificação de projeto.

4.1.2.3 Pintura

Antes da pintura da estrutura metálica, as peças foram limpas com solvente especial para aço, por dois colaboradores, após esse processo a estrutura metálica e seus demais componentes metálicos receberam duas demãos de esmalte sintético Cinza N6,5 aplicado sob alta pressão, conforme mostra as Figuras 36 e 37.

Figura 36 - Pintura dos tubos



Fonte – Autor, (2015)

Figura 37 - Pintura dos "nós"



Fonte – Autor, (2015)

Para fazer a inclinação da cobertura de 10%, foram utilizados “pontaletes” metálicos com diferentes tamanhos, com um suporte de terças, soldados a uma chapa sobre os “nós” superiores, como mostra a Figura 38.

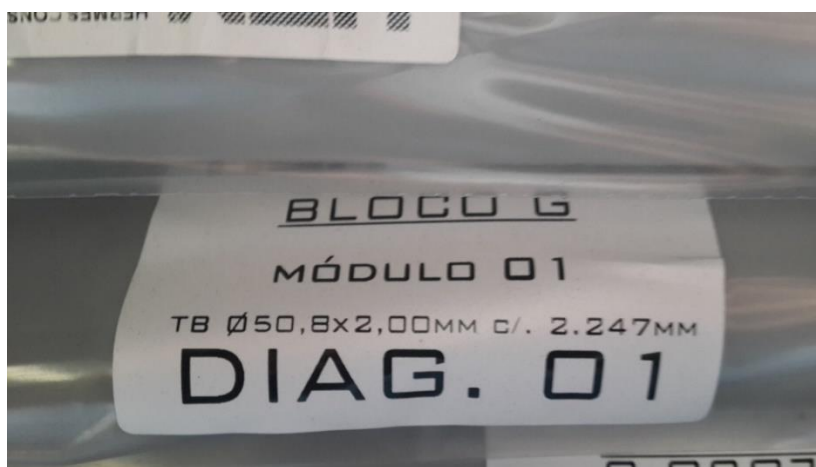
Figura 38 - "Pontaletes" metálicos



Fonte – Autor, (2015)

Para manter a qualidade da pintura durante o transporte até o canteiro de obras, cada tubo foi embalado individualmente, e cada um recebeu um selo de identificação, com o respectivo Módulo, a numeração da peça, o diâmetro da barra e seu comprimento, conforme mostra a Figura 39, facilitando assim na hora da montagem, sabendo exatamente onde cada peça será fixada.

Figura 39 - Selo de identificação



Fonte – Autor, (2015)

Após cada peça embalada, os tubos foram “enfardados” para facilitar no carregamento da estrutura, conforme mostra a Figura 40.

Figura 40 - Tubos "enfardados"



Fonte – Autor, (2015)

4.1.2.4 Transporte

A estrutura foi carregada com o auxílio de um caminhão “Munck”, conforme mostra a Figura 41.

Figura 41 - Caminhão carregado com o módulo 1



Fonte – Autor, (2015)

4.1.2.5 Montagem

Com a chegada do material ao canteiro de obras, o mesmo foi descarregado conforme a Figura 42, então foi dado início a montagem da estrutura metálica. A equipe de montagem foi composta por cinco colaboradores especializados em montagem de estruturas metálicas.

Figura 42 - Material descarregado no canteiro de obras



Fonte – Autor, (2015)

Uma das vantagens da cobertura espacial é sua montagem no chão, economizando tempo e diminuindo os riscos de acidente com o trabalho em altura.

Primeiramente, as peças dos banzos inferiores e os “nós” foram espalhados no chão, conforme o projeto, como mostra a Figura 43.

Figura 43 - Peças do banzo inferior espalhadas



Fonte – Autor, (2015)

Após as peças serem espalhadas, as pertencentes aos banzos inferiores foram parafusadas, então as diagonais foram fixadas aos “nós” inferiores, e nos “nós” superiores por meio de parafusos, conforme mostra a Figura 44.

Figura 44 - Diagonais ligadas pelos “nós” inferiores e superiores



Fonte – Autor, (2015)

Com os “nós” superiores fixados, foram colocadas as peças dos banzos superiores, fazendo a ligação com cada “nó”. Após todas as peças fixadas, os parafusos foram apertados, então os “pés de galinha” foram fixados nos quatro cantos da estrutura, que têm como objetivo sustentá-la, conforme mostra a Figura 45.

Figura 45 - “Pé de galinha” para sustentação da estrutura



Fonte – Autor, (2015)

Com os “pés de galinha” fixados, a estrutura do módulo 01 está completa, e pronta para ser içada, conforme mostra a Figura 46.

Figura 46 - Montagem do módulo 1 completa



Fonte – Autor, (2015)

Para içamento da estrutura metálica foi necessário o auxílio de um guindaste Sany STC1000 com capacidade para 100 toneladas.

Com o guindaste patolado, os 04 cabos de aço necessários para o içamento, foram fixados em locais específicos, e então foi dado início ao içamento da estrutura, conforme mostra a Figura 47.

Figura 47 - Içamento do módulo 1



Fonte – Autor, (2015)

Após a estrutura ser alinhada e solta sobre os pilares, os “nós” que ligam os “pés de galinha” foram soldados nas chapas das cabeças dos pilares, e a mesma foi conferida com o auxílio de paquímetro, conforme mostrado na Figura 48.

Figura 48 - Soldagem do “nó” na chapa de cabeça do pilar



Fonte – Autor, (2015)

As mesmas etapas de fabricação, pintura e montagem foram realizadas para todos os doze módulos, então foi iniciada a colocação das telhas da cobertura, conforme mostra a Figura 49.

Figura 49 - Colocação das telhas da cobertura



Fonte – Autor, (2015)

As telhas trapezoidais foram fixadas com parafusos auto-atarrachantes telha-terça TP40 onda alta. Em cada telha foi colocado uma fita especial para vedação, localizada na “onda” da telha, onde a telha seguinte se encaixa.

Após a colocação das telhas da cobertura, foi realizada a colocação das telhas dos painéis laterais, com o auxílio de um caminhão plataforma, as quais foram fixadas com parafusos auto-atarrachantes telha-terça onda baixa.

Com a instalação dos rufos de vedação e acabamento dos painéis, foi concluída a montagem da obra no dia 09/03/2016, conforme mostra as Figuras 50 e 51.

Figura 50 - Painéis laterais



Fonte – Autor, (2016)

Figura 51 - Fachada da edificação finalizada.



Fonte – Autor, (2016)

4.1.3 Análise dos requisitos de fabricação e montagem

4.1.3.1 Fabricação

Após o acompanhamento da fabricação da estrutura, foi realizada a análise, e então preenchido o quadro comparativo entre o especificado na NBR 8800/2008 e o observado na prática.

Quadro 12 - Análise da fabricação segundo a NBR 8800/2008

NBR 8800/2008	REALIZADO	OB.
O item 12.2.1.1.1 comenta sobre o desempenho do material, especificando que antes do seu uso na fabricação, ele deve estar desempenado dentro das tolerâncias de fornecimento.	Todo o material chegou da usina já desempenado e nos comprimentos exatos, sendo assim, esse item está de acordo com a norma.	A
O item 12.2.1.4.1 comenta sobre construções parafusadas, especificando quando a espessura do material for inferior ou no máximo igual ao diâmetro do parafuso acrescido de 3 mm, os furos podem ser puncionados.	A barra com maior espessura (4,75mm), assim como todas as outras barras tubulares, receberam furos 16,5mm através de puncionamento, sendo assim, esse item está de acordo com a norma.	A
O anexo P.6.4.3.1 exige que as peças prontas deverão ser isentas de retorcimentos, curvaturas e juntas abertas.	Algumas barras tubulares sofreram aberturas no momento do amassamento, mas as mesmas foram substituídas por barras isentas de imperfeições, sendo assim, esse item está de acordo com a norma.	A
O anexo P.6.5.3 especifica, no caso de ausência de exigências nos documentos contratuais, que o fabricante deverá fazer limpeza manual do aço antes da pintura.	Todos os componentes metálicos da presente estrutura receberam limpeza através de solvente, e esmerilhamento nos respingos de solda antes da pintura, sendo assim, esse item está de acordo com a norma.	A
O anexo P.6.5.4 especifica que a pintura da estrutura metálica deverá ser aplicada por pincel, jateamento a ar comprimido, rolo, escorrimento ou imersão, à escolha do fabricante. Quando a espessura da película não for especificada, uma espessura mínima de 25 micra é exigida como camada de fábrica.	Todos os componentes metálicos da presente estrutura receberam pintura através de jateamento a ar comprimido, e como não foi especificado em projeto, a estrutura recebeu uma pintura com espessura de 30 micra, sendo assim, esse item está de acordo com a norma.	A
O anexo P.6.5.6 especifica que retoques	Alguns danos recorrentes do manuseio e	A

de áreas danificadas pelo manuseio após a pintura devem ser realizados na pintura final de campo.	do transporte das peças foram corrigidos a campo, conforme solicita a norma.	
---	--	--

Fonte – Autor, (2016)

Com base no quadro comparativo, pôde-se concluir que o procedimento de fabricação seguiu as orientações contidas na NBR 8800/2008, resultando assim, em uma estrutura de qualidade, segura e sem erros de execução, evitando desperdícios de materiais e mão de obra.

4.1.3.2 Expedição e fornecimento de materiais

Assim como o quadro comparativo de fabricação, foi realizada uma análise e preenchimento do Quadro 13, comparando as especificações da NBR 8800/2008 de expedição e fornecimento de materiais com o observado durante a execução.

Quadro 13 - Análise da expedição e fornecimento de materiais segundo a NBR 8800/2008

NBR 8800/2008	REALIZADO	OB.
O anexo P.6.6.1 especifica que as marcas de montagem deverão ser aplicadas às peças da estrutura de aço por pintura ou outro meio adequado.	Cada barra tubular da estrutura metálica recebeu numeração através de etiqueta fixada em sua embalagem, porém os “nós” dos 3 primeiros Módulos da estrutura não receberam marcação, sendo assim esse item não foi completamente realizado conforme a norma.	D
O anexo P.6.7.1 comenta sobre o fornecimento de materiais, instruindo que a estrutura de aço deverá ser fornecida numa sequência tal que permita um desempenho eficiente e econômico na fabricação e na montagem.	As etapas de execução e montagem seguiram a mesma sequência, iniciando no módulo 1, terminando no módulo 12, conforme indicado pela norma.	A
O anexo P.6.7.2 comenta que chumbadores e outros materiais embutidos em alvenaria ou pilares de concreto, deverão ser entregues antes de ser necessária a sua utilização.	As placas de apoio e chumbadores fixados no topo dos pilares foram fornecidos quando solicitado pela empresa responsável pela concretagem dos pilares, conforme indicado pela norma.	A

Fonte – Autor, (2016)

Com base no quadro comparativo, concluiu-se que o procedimento de expedição e fornecimento de materiais não seguiu completamente as orientações contidas na NBR 8800/2008, pois os “nós” dos 3 primeiros Módulos de montagem não receberam marcações, o que poderia resultar na montagem de peças em posições incorretas. Após observado a falha, a mesma foi corrigida para os demais Módulos de montagem.

4.1.3.3 Montagem

Depois de concluída a montagem, foi desenvolvida a análise das etapas observadas, e então comparadas com as especificações da NBR 8800/2008, resultando no Quadro 14.

Quadro 14 - Análise da montagem segundo a NBR 8800/2008

NBR 8800/2008	REALIZADO	OB.
O anexo P.7.2 especifica as condições locais do canteiro de obra, exigindo que o proprietário mantenha vias de acesso ao canteiro e dentro dele, para permitir a chegada com segurança dos equipamentos necessários, bem como das peças a serem montadas.	As vias de ingresso ao canteiro de obra eram espaçosas e de fácil acesso, conforme especificado em norma.	A
O mesmo item P.7.2, exige que o proprietário proporcione ao montador uma área firme, devidamente nivelada e drenada para operação do equipamento de montagem.	O canteiro de obra não estava totalmente nivelado no momento de montagem da estrutura metálica, portanto, está em desacordo com a norma.	D
O anexo P.7.15.1 exige que o montador tenha cuidado no manuseio e no armazenamento das peças durante as operações de montagem para evitar acúmulo de sujeira, marcas, deformações nas peças, ou danos à pintura.	A equipe de montagem não teve o cuidado necessário para evitar danos à pintura das peças e o local onde as mesmas foram armazenadas estava sujeito ao acúmulo de sujeiras, portanto está em desacordo com a norma.	D
O anexo P.7.15.2 comenta que o montador não será responsável pela limpeza das peças, devido à poeira e sujeira que possa se acumular durante a fase de montagem pela exposição das normas das peças às intempéries.	Toda sujeira e danos à pintura foram corrigidos pela própria equipe de montagem, portanto está em desacordo com a norma, porém foi previsto previamente em contrato que os mesmos seriam responsáveis pelas correções.	A
O item 12.2.1.4.2 exige que espinas só podem ser utilizadas para assegurar o posicionamento das peças componentes dos conjuntos durante a montagem, não	Espinas foram utilizadas no momento da montagem para auxiliar no encontro dos furos, mas em momento algum elas causaram deformação nas peças, portanto	A

sendo permitido seu uso para, por meio de deformação, forçar a coincidência de furos, alarga-los ou distorcer o material.	esse item está de acordo com a norma.	
O anexo P.7.17 exige que após o término da montagem e antes da aceitação final, o montador deverá remover todos os andaimes, entulhos e construções provisórias.	Após conclusão da montagem, a equipe realizou a limpeza do canteiro de obra, recolhendo todo o equipamento utilizado, assim como parafusos e varetas de eletrodo que por ventura caíram no chão, além de recolher a embalagem de cada barra tubular, portanto esse item está de acordo com a norma	A

Fonte – Autor, (2016)

Com base no quadro comparativo, pôde-se assimilar que o procedimento de montagem não seguiu completamente as orientações contidas na NBR 8800/2008, pois o canteiro de obras não estava totalmente nivelado, as peças foram armazenadas em local sujeito à sujeira e a equipe de montagem não teve o devido cuidado durante o manuseio de algumas peças, danificando a pintura das mesmas; porém toda sujeira e danos à pintura das peças foram corrigidas antes da montagem das mesmas.

4.1.3.4 Controle de qualidade

O comparativo entre as especificações de controle de qualidade da NBR 8800/2008, está apresentando pelo Quadro 15.

Quadro 15 - Análise do controle de qualidade segundo a NBR 8800/2008

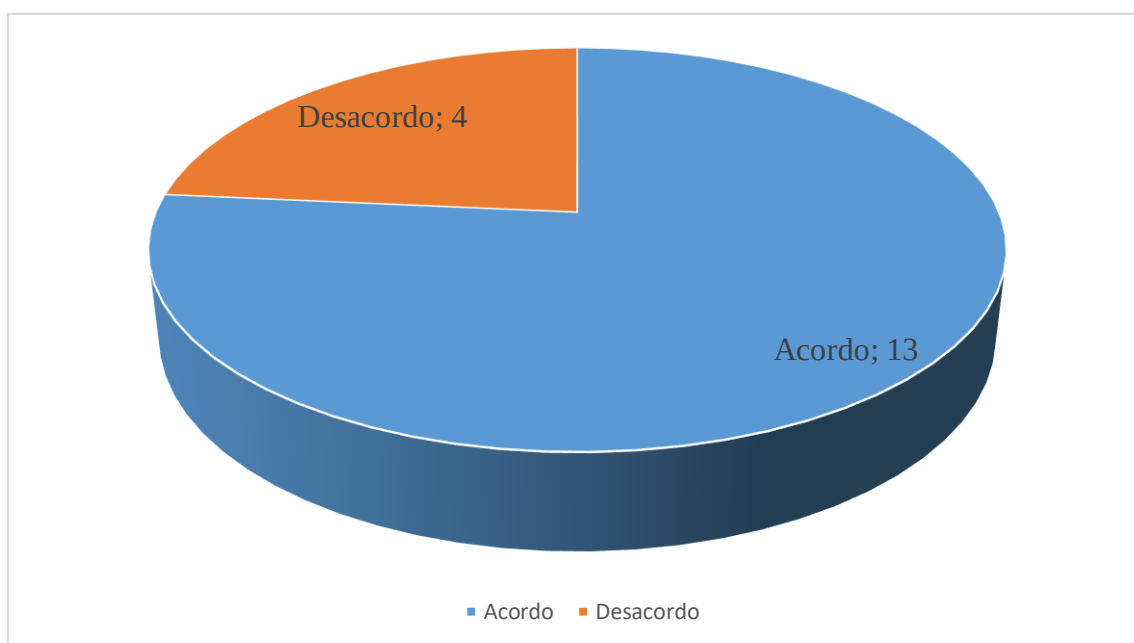
NBR 8800/2008	REALIZADO	OB.
O anexo P.8.2.1 especifica que o fabricante deverá, em geral, fazer inspeção visual de produtos, porém, não necessita qualquer ensaio de materiais recebidos pela usina.	Todo material descarregado na fábrica é conferido, tanto visualmente, quanto o comprimento e diâmetro de cada barra, portanto esse item está de acordo com a norma.	A
O anexo P.8.4 especifica que a inspeção do sistema de pintura, incluindo o material e espessura, deverá ser feita imediatamente após o término da aplicação da pintura.	Não foi inspecionado a espessura da pintura de todos os componentes da estrutura, apenas de algumas barras de cada módulo, portanto esse item não está em total acordo com a norma.	D

Fonte – Autor, (2016)

Com base no quadro comparativo, percebeu-se que o procedimento de controle de qualidade não seguiu completamente as orientações contidas na NBR 8800/2008, pois foi realizada a inspeção da espessura da camada de tinta de apenas algumas peças, o que poderia ter resultado em peças expostas a agentes externos que as danificassem.

Como resultado final da análise dos itens de fabricação, expedição de materiais, montagem e controle de qualidade, foi desenvolvido o Gráfico 1, que apresenta a quantidade de itens que foram executados de acordo ou em desacordo com o descrito pela NBR 8800/2008.

Gráfico 1 - Itens em acordo ou desacordo com a NBR 8800/2008



Fonte – Autor, (2016)

4.1.4 Características observadas durante a execução

Com o acompanhamento do desenvolvimento do projeto executivo, detalhamento do mesmo e das diversas etapas de sua execução, foi possível levantar as principais características do sistema estrutural espacial que foram observadas.

A estrutura em questão teve sua fabricação e montagem concluídas em aproximadamente 5 meses, com uma equipe responsável pela fabricação e pintura formada por apenas 8 colaboradores, cujos responsáveis pela montagem (5 colaboradores) nunca haviam executado estruturas espaciais previamente. Conclui-se, assim, que a execução da

mesma é simples, porém requer o acompanhamento de um profissional com conhecimento na área em cada uma das etapas de sua execução. Com uma equipe maior e profissionais especializados nesse tipo de estrutura metálica, o tempo de sua execução seria reduzido consideravelmente, demonstrando a eficiência do sistema quanto ao tempo de execução.

Na expedição do material para o canteiro de obra observaram-se cargas com volume reduzido quando comparadas com obras convencionais, conforme mostra a Figura 52, resultando em maior facilidade no momento de carregar o material, organização e segurança do profissional responsável por levar o material até seu destino.

Figura 52 - Caminhão carregado com o módulo 1



Fonte – Autor, (2015)

A Figura 53 demonstra uma etapa da estrutura espacial carregada no caminhão, correspondente a uma área de 518,13m². A Figura 54 mostra um caminhão carregado com uma estrutura convencional, correspondente a uma área de 498,32m².

Figura 53 - Caminhão carregado com estrutura convencional



Fonte – Autor (2016)

Uma característica observada durante sua execução foi a limpeza e organização do canteiro de obra devido ao tamanho das barras e o enfardamento das mesmas, resultando em maior facilidade e agilidade para a equipe de montagem no momento de encontrar as peças e transportá-las até sua posição.

Uma vantagem do sistema estrutural espacial, observada na sua fase de montagem, foi sua execução em módulos, realizada no chão, facilitando o trabalho da equipe de montagem, resultando em redução de tempo de execução e de acidentes com trabalho em altura.

Quando comparada com uma estrutura convencional, o sistema estrutural espacial se destaca com o número de apoios. A estrutura espacial acompanhada no presente trabalho abrange uma área de aproximadamente 5.046,02m² e é apoiada sobre 20 pilares. A Figura 54 mostra uma obra com estrutura metálica convencional, com tesouras treliçadas, que abrange uma área de 5.000,00m², apoiada em 76 pilares metálicos treliçados.

Figura 54 - Estrutura metálica convencional



Fonte – Autor, (2016)

Outra característica observada do sistema estrutura espacial, por ser uma estrutura aparente, é sua beleza arquitetônica, conforme mostra a Figura 55.

Figura 55 - Vista inferior da estrutura metálica espacial



Fonte – Autor, (2016)

CAPÍTULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o acompanhamento e análise da fabricação da estrutura metálica em Cascavel - PR e montagem da mesma em Mundo Novo - MS, foi possível atingir os objetivos pontuados no início deste estudo, levantando as principais características do sistema de estruturas espacial, além de verificar sua execução em relação às especificações da NBR 8800/2008.

A pesquisa se constituiu no acompanhamento de todas as fases de execução do projeto *in loco*, a fim de obter informações, como a realização de registros fotográficos, para compará-los com o descrito em bibliografias específicas sobre tal sistema estrutural, relacionando-as com as especificações da NBR 8800/2008.

O desenvolvimento da estrutura metálica, conforme as especificações da NBR 8800/2008, deve ser um processo bem detalhado, o que é essencial para evitar problemas futuros e imprevistos durante alguma etapa de sua execução, principalmente no momento da montagem da estrutura metálica.

Foi constatado que 4, das 17 especificações listadas na execução do projeto, não estavam em total acordo com o anexo “P” da NBR 8800/2008, que comenta requisitos básicos de fabricação, montagem e controle de qualidade; sendo elas: o item P.6.6.1, que comenta sobre a marcação das peças antes de sua expedição, o item P.7.2, que faz recomendações em relação ao canteiro de obras, o item P.7.15.1, que faz recomendações sobre o manuseio e armazenagem de materiais pela equipe de montagem e o item P.8.4, que especifica sobre a inspeção do sistema de pintura.

Durante a execução da estrutura, algumas das principais características do sistema espacial foram notadas, como a facilidade de sua execução, o pequeno número de pontos de apoio da estrutura, materiais com pequeno volume, montagem no chão para posterior içamento, limpeza e organização do canteiro de obras e beleza arquitetônica.

Com o desenvolvimento desse estudo foi possível concluir, portanto, que o sistema estrutural espacial com barras tubulares é uma solução relevante para coberturas com grandes vãos livres, a qual deve ser considerada no momento da escolha pelo melhor sistema estrutural.

CAPÍTULO 6

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o desenvolvimento do presente estudo, algumas sugestões reflexivas foram desenvolvidas, visando a produção de trabalhos futuros:

- Realizar a verificação do dimensionamento em relação a NBR 8800/2008 da estrutura espacial acompanhada, servindo de complemento para o presente trabalho;
- Realizar um estudo comparativo entre uma estrutura metálica espacial e uma estrutura metálica plana, com mesma área, topografia e mesmos fins, para assim levantar as vantagens e desvantagens de cada sistema estrutural;
- Realizar um estudo comparativo de custos entre uma estrutura metálica espacial com outros sistemas estruturais.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: Projetos de estruturas de aço de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.

BELLEI I. H. **Edifícios Industriais em aço: projeto e cálculo** - 5.ed. - São Paulo: Pini, 2006.

FAKURY, R.H. **A atual norma de projeto de estruturas de aço e mistas, a ABNT NBR 8800:2008**, 2008, São Paulo, Congresso Latino-americano da construção metálica, Construmetal.

FAKURY, R.H. **Sobre a revisão da norma brasileira de projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto, a NBR 8800**. Minas Gerais. Revista Escola de Minas, 2006.

FERRAZ H. **O Aço na Construção Civil**, 2005, São Carlos. Dissertação (Graduação) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

FREITAS J.A.T.; CARLOS, T. **Análise Elástica de Estruturas Reticuladas**. Lisboa. Universidade de Lisboa Instituto Superior Técnico, 2015.

INABA R. **Construções Metálicas: O uso do Aço na Construção Civil**. Rio de Janeiro. Revista Arquitetura & Aço, 2012.

MAGALHÃES J.R.M.; MALITE M. **Treliças Metálicas espaciais: alguns aspectos relativos ao projeto e à construção**, 1998, São Carlos. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

NAKAZOTO B. **Breve histórico da construção em aço no Brasil**. São Paulo. Revista Técnica, 2008.

PFEIL W.; PFEIL M. **Estruturas de Aço: Dimensionamento prático de acordo com a NBR 8800/2008** - 8.ed. - Rio de Janeiro: LTC, 2009.

PORTO C.E. **Tipologias Arquitetônicas de Estruturas Espaciais em Brasília**. Brasília. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, 2002.

SOUZA, A.N.; MALITE, M. **Análise do projeto de estruturas metálicas espaciais: ênfase em coberturas. São Carlos**, 2002. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SOUZA A.S.C.; GOLÇALVEZ R. M. **Análise teórica e experimental de treliças espaciais**, 2003. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SOUZA A.S.C.; GOLÇALVEZ R. M. **Contribuição ao estudo das estruturas metálicas espaciais. São Carlos**, 2002. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

TIRLONI D. **Ponte Hercílio Luz e sua restauração. Florianópolis**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.