

ANÁLISE DIMENSIONAL DE ESTRUTURA PARA SILOS EM PERFIS DIVERSOS

Jorge Luíz Laureano; Marcio Vito

UNESC- Universidade do Extremo Sul Catarinense
Jorge.laureano@eliane.com ; marciovito@uol.com.br

RESUMO

O objetivo do presente estudo é analisar uma estrutura metálica construída em aço doce, onde foi lançado um sistema estrutural para suportar silos com três diferentes diâmetros na mesma estrutura, para tanto, foi estudado três tipos de sistema estrutural. Cada sistema foi dividido em duas opções, A e B. A conferência dos dados foi obtida com base nas normas da ABNT- NBR 8800 / 2008. A análise estrutural foi executada através do dimensionamento dos possíveis lançamentos com o uso de planilha do Excel onde se analisou a cortante, flexão, flambagem e a flecha, sendo esta admissível inferior a fração $L/350$. O resultado obtido mostra que dos lançamentos estudados o mais econômico é o lançamento 3A. A manufatura deste lançamento foi a mais econômica em função da praticidade de montagem, pois a mesma não necessita equipamento de grande porte para sua execução.

Palavras-chave: Estrutura. Metálica. Dimensionamento. Flecha.

1. INTRODUÇÃO

Com o intuito de analisar um sistema estrutural que possa suportar silos com três diâmetros diferentes e com corpo cilíndrico de altura igual na mesma estrutura, executou-se o estudo em três tipos de lançamento, onde cada lançamento estudado foi dividido em duas situações, A e B. As vigas que suportam os silos foram dimensionadas com base na NBR 8800/ 2008, para tanto utilizou-se dados do catálogo da Gerdau. Com o alto custo do aço no Brasil, executar estruturas de aço usando perfis bem dimensionados e métodos de construção mais rápida é imprescindível, para tanto utilizar perfis que resista às ações ocasionada pelas cargas nas estruturas requer um dimensionamento com base em normas. Os perfis usados nesta análise para os três lançamentos são perfis laminados em aço doce. Considera-se como aço doce a liga de aço entre 0,008% a 2,06% de carbono. Para Chiaverini define-se então o aço como sendo então...

Aço é uma liga ferro-carbono contendo geralmente de 0,008% até aproximadamente 2,06% de carbono, além de certos elementos residuais,

resultantes dos processos de fabricação. O limite inferior a 0,008% corresponde à máxima solubilidade do carbono no ferro à temperatura ambiente e o limite superior 2,06% corresponde a máxima quantidade de carbono que se dissolve no ferro e que ocorre a 1147°C. Esse valor de 2% adotado para limite de solubilidade do carbono no ferro é de conformidade com o diagrama de equilíbrio Fe-C.

Para compreender melhor os aços é necessário que se entenda os o diagrama de equilíbrio do ferro carbono conforme figura 1.

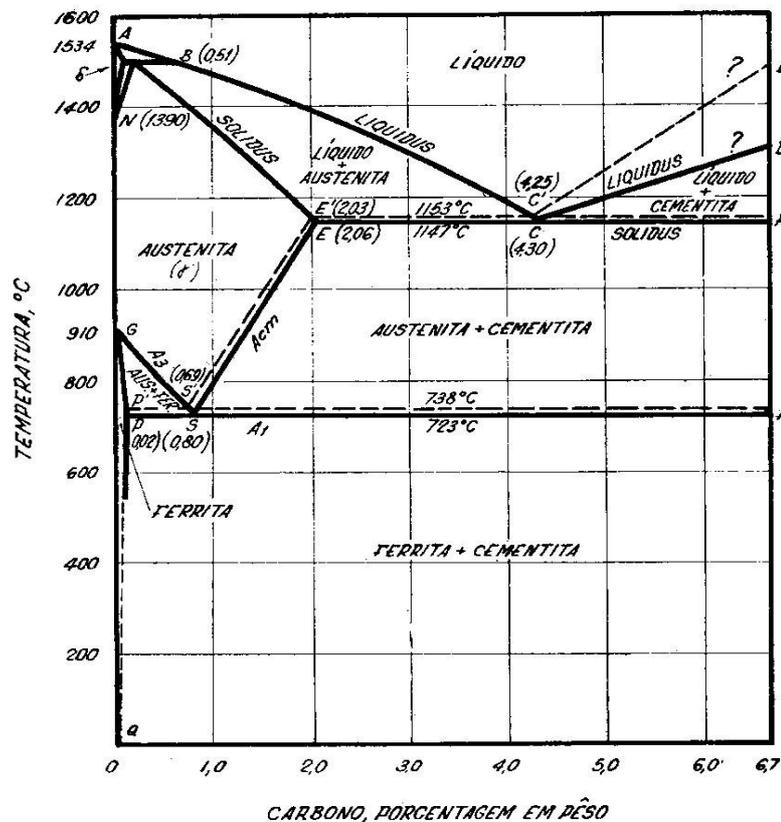


Figura 01: Diagrama Ferro Carbono.
Fonte: Chiaverini, 1977, p.23.

O aço é obtido basicamente de duas importantes matérias primas: o minério de ferro e o carvão mineral, sendo que estas matérias primas não se encontram na forma natural na qual, precisará passar por um processo que as preparará para a obtenção de sua maior eficiência. A fabricação do aço ressalta que com o aproveitamento do ferro contido no minério de ferro e a eliminação progressiva das impurezas, após passar para o estado líquido este recebe adições que lhe darão as características desejadas CHIAVERINI (1977). Os aços que são usados nas estruturas possuem propriedades que influenciam em suas características mecânicas, essas variam de

acordo com as proporções dos elementos que as compõe quando resfriados lentamente. Quanto maior for o teor de carbono, maior será a resistência mecânica, com isso o limite de escoamento, a resistência a tração e a dureza se elevam. Na figura 02 pode-se observar as propriedades mecânicas de aços resfriados lentamente, para tanto a influência do carbono sobre a dureza do aço permite a consideração dos seguintes tipos de aço-carbono.

Propriedades mecânicas de aços esfriados lentamente, em função do teor de carbono

Carbono %	Limite de escoamento kg/mm ²	Limite de resistência à tração kg/mm ²	Alongamento em 2''	Estricção %	Dureza Brinell
0,01	12,5	28,5	47	71	90
0,20	25,0	41,5	37	64	115
0,40	31,0	52,5	30	48	145
0,60	35,0	67,0	23	33	190
0,80	36,5	80,5	15	22	220
1,00	36,5	75,5	22	26	195
1,20	36,0	71,5	24	39	200
1,40	35,0	69,5	19	25	215

Figura 02: Tabela das Propriedades Mecânicas
 Fonte: Chiaverini, 1977, p.23.

Os perfis comerciais tipo H, U e I usados neste estudo são consequência do processo siderúrgico, onde este tem seu início na obtenção do aço desde a chegada do minério de ferro até o produto final, conforme mostrado no diagrama de fluxo do processo siderúrgico figura 03. Com a chegada dos conversores surgiu os processos: de Bessemer, o processo de Linz- Donawitz, o processo Siemens Martin, o processo Thomas. O alto-forno Figura 04 é o principal aparelho utilizado na metalurgia do ferro: seu carregamento se dá por intermédio de correias transportadoras que o alimentam por intermédio da boca localizada na parte superior, por onde são depositados: o minério de ferro sinterizado, o coque e fundentes, estes de forma descendente são submetidos ao aquecimento. Após o aquecimento do ar este é injetado por intermédio de tubos com a função de facilitar a combustão do coque e provocar o aquecimento das matérias-primas, a temperatura neste processo varia de 100 a 1300°C CHIAVERINI (1977).

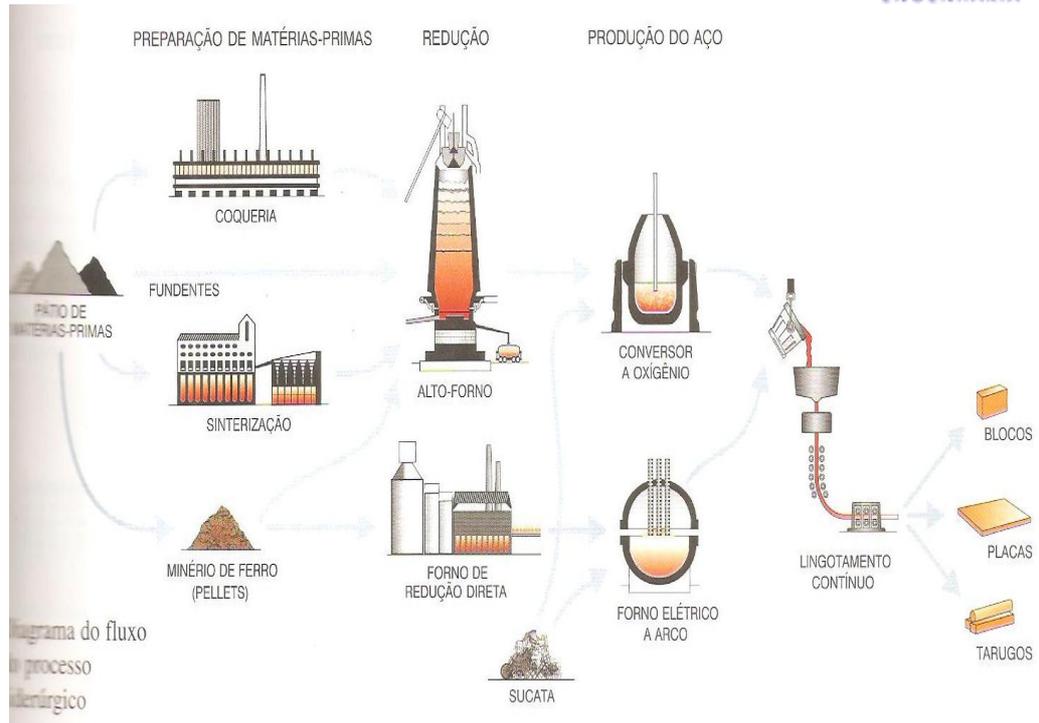


Figura 03: Processo Siderúrgico
 Fonte: DIAS, 2006, p.45

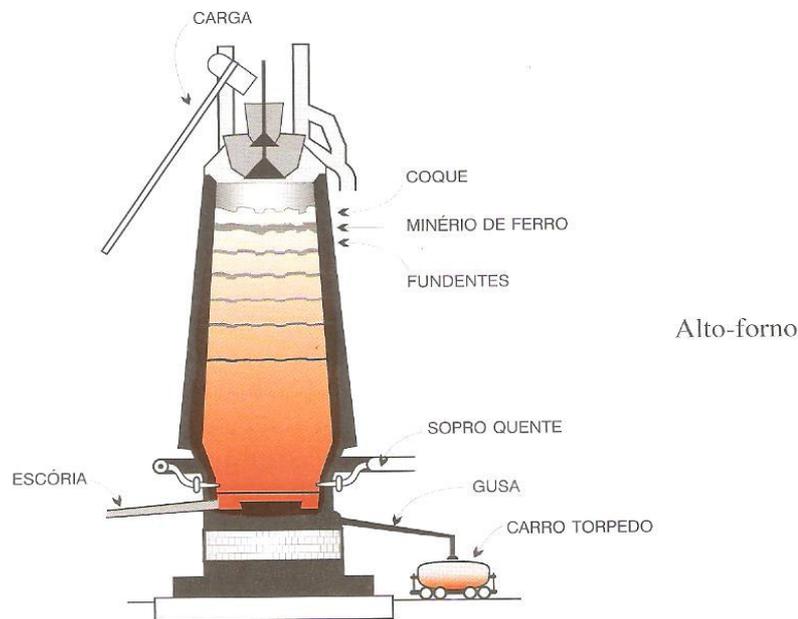


Figura 04: Alto forno (princípio básico)
 Fonte: DIAS, 2006 p.48

A produção do aço no Brasil teve seu início por volta de 1940, com o surgimento da Companhia Siderúrgica Belgo Mineira, neste período foi então instituída no Brasil a Comissão Executiva do Plano Siderúrgico Nacional, que passou a operar em 12 de outubro de 1945, com o objetivo de produzir trilhos, perfis, chapas, sendo os perfis

com viga “U, I e H” com formas no padrão americano, conforme mostrado nas figuras 5, 6, 7,8.

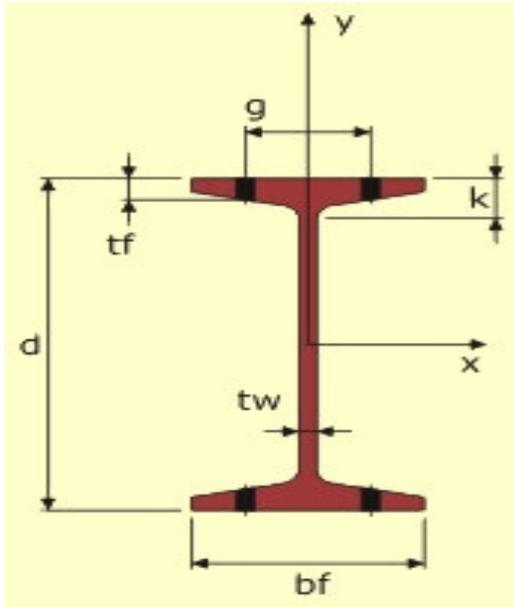


Figura 05: Perfil H
Fonte: Gerdal 2011

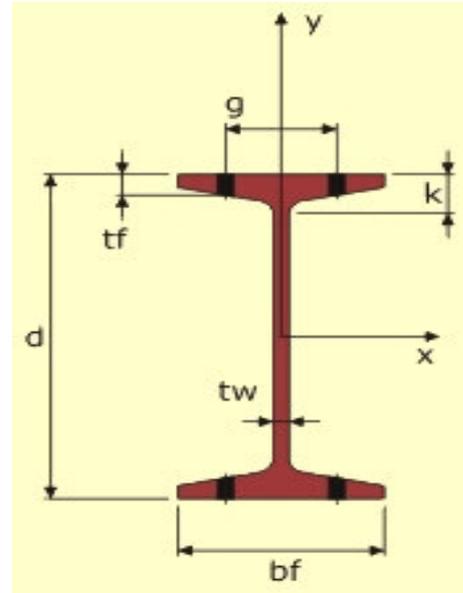


Figura 06: Perfil I
Fonte: Gerdal 2011

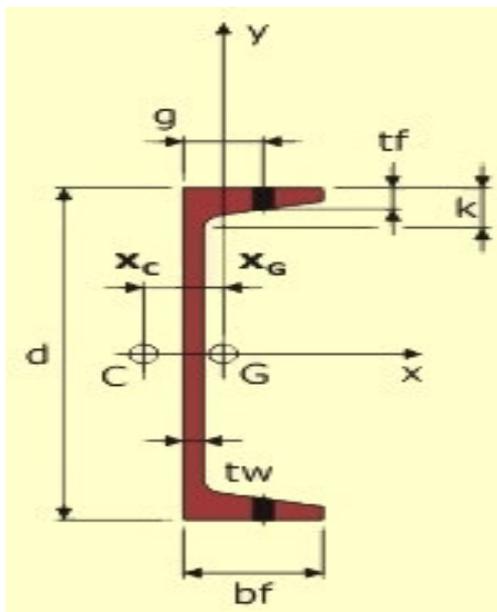


Figura 07: Perfil H
Fonte: Gerdal 2011

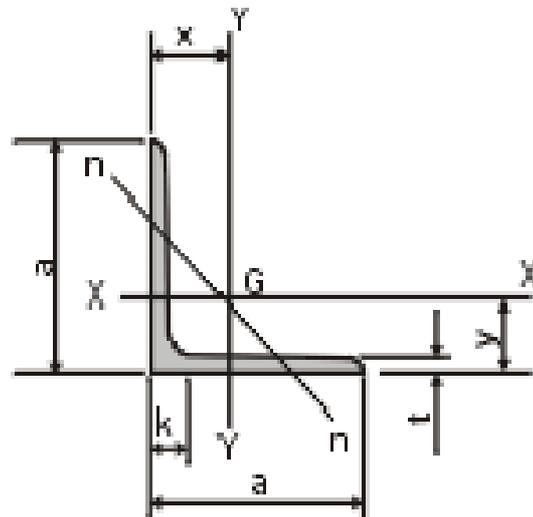


Figura 08: Perfil I
Fonte: Gerdal 2011

Toda a análise feita neste trabalho teve como objetivo principal desenvolver uma estrutura padrão para diversos diâmetros de silos, utilizando métodos de montagem

diferentes, onde o objetivo específico é analisar os lançamentos estruturais e as diferentes maneiras de execução de estruturas para silos e seu comportamento, determinar a estrutura mais econômica e comparar os resultados obtidos entre as diferentes formas de elaboração da estrutura em questão.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A estrutura analisada é composta de perfis I H e U composto, sendo que para tal análise dividiu-se o estudo em três tipos de lançamentos, lançamento 1, Lançamento 2 e lançamento três, para tanto cada lançamento foi sub-dividido em A e B, onde o lançamento 1A compreende uma estrutura com vigas I e colunas em viga H, o lançamento 1B em estrutura com vigas I e colunas em perfil composto em U padrão americano, sendo esta estrutura travada com perfil I (viga VT12) na horizontal a 2,05 m de altura conforme figuras 9, 10 e 11 .

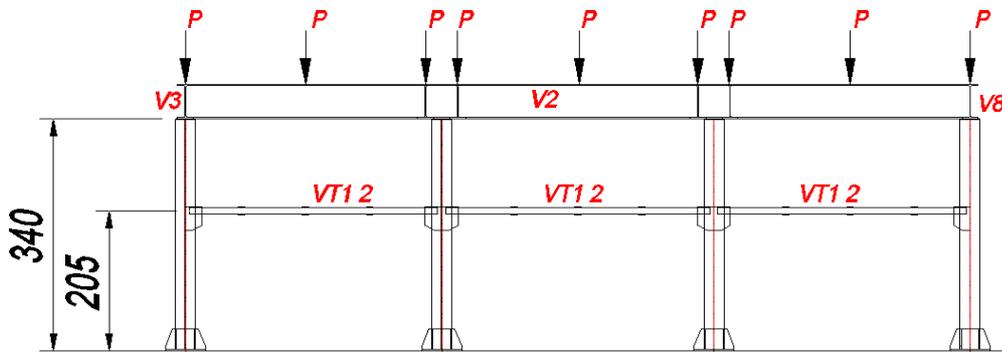


Figura 09: Vista Frontal - Lançamento 1

Vista

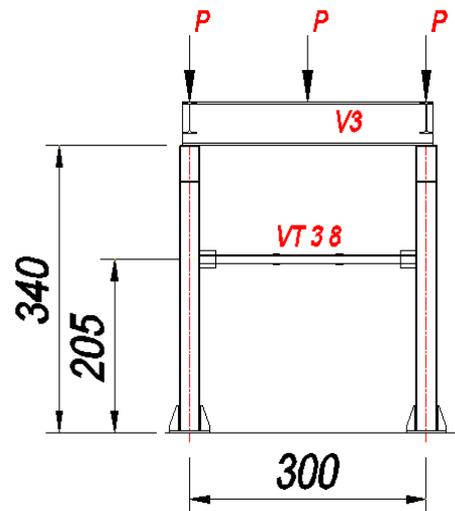


Figura 10: Vista Lateral - Lançamento 1

Vista Lateral

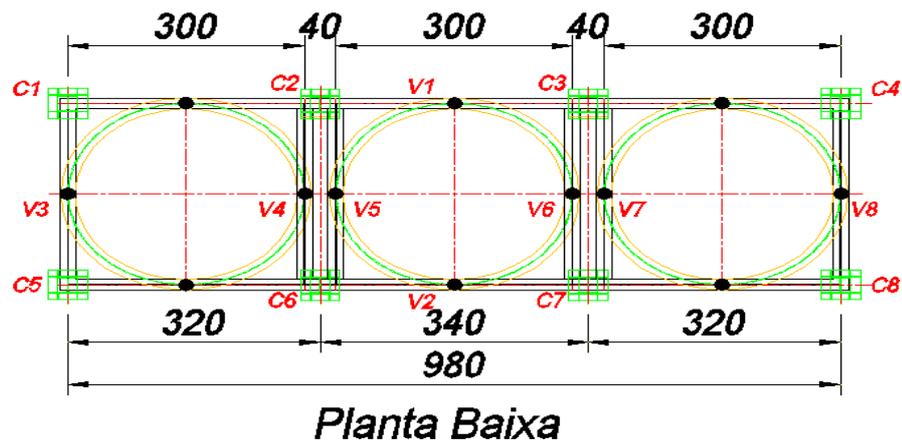


Figura 11: Planta Baixa - Lançamento 1

No lançamento 2 também estudou-se o comportamento das vigas em perfil I e as colunas em perfil H e perfil composto em U, sendo que este lançamento também foi dividido em lançamento 2A e 2B, onde na estrutura não havia travamento conforme figuras 12, 13 e 14, onde o lançamento 2A compreende uma estrutura com vigas I e colunas em viga H sem travamento, o lançamento 2B em estrutura com vigas I e colunas em perfil composto em U padrão americano, sendo esta sem travamento.

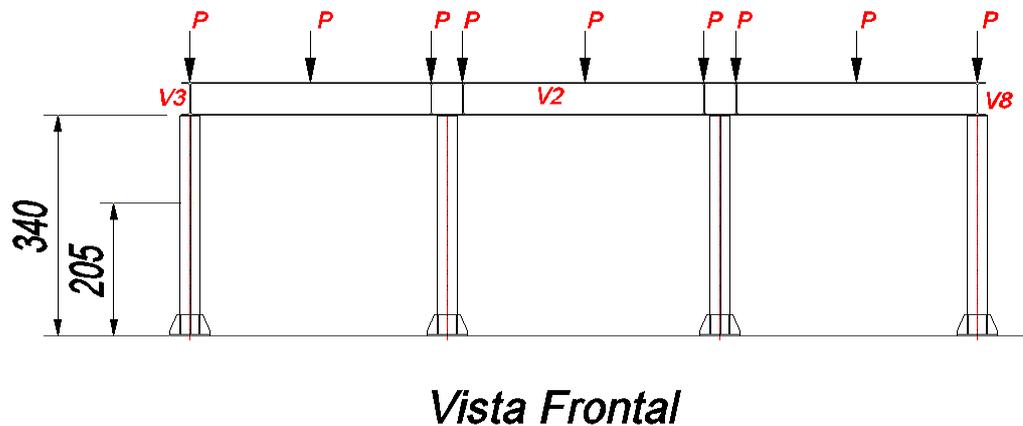
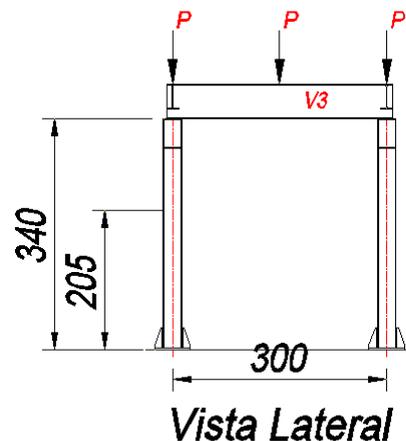


Figura 12: Vista Frontal - Lançamento 2

Figura 13: Vista Lateral - Lançamento 2



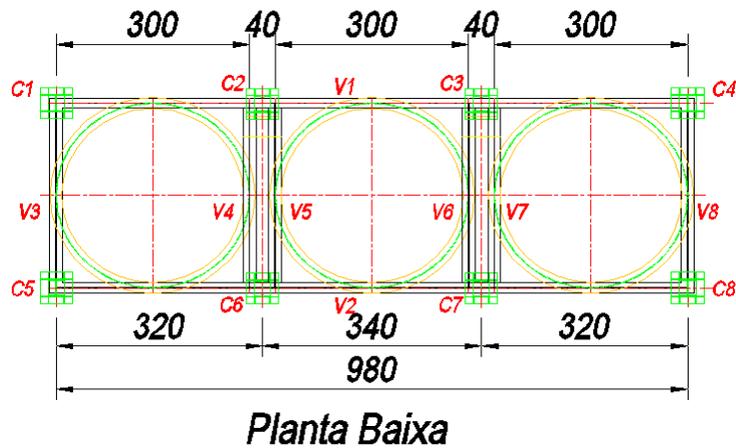


Figura 14: Planta Baixa - Lançamento 2

No lançamento 3 estudou-se o comportamento das vigas em perfil I e as colunas em perfil H e perfil composto em U, sendo que este lançamento também foi dividido em lançamento 3A e 3B, onde a estrutura é travada com mão francesa conforme figuras 15, 16 e 17, onde o lançamento 3A compreende uma estrutura com vigas I e colunas em viga H com travamento com mão francesa, o lançamento 3B em estrutura com vigas I e colunas em perfil composto em U padrão americano, sendo esta travada com mão francesa.

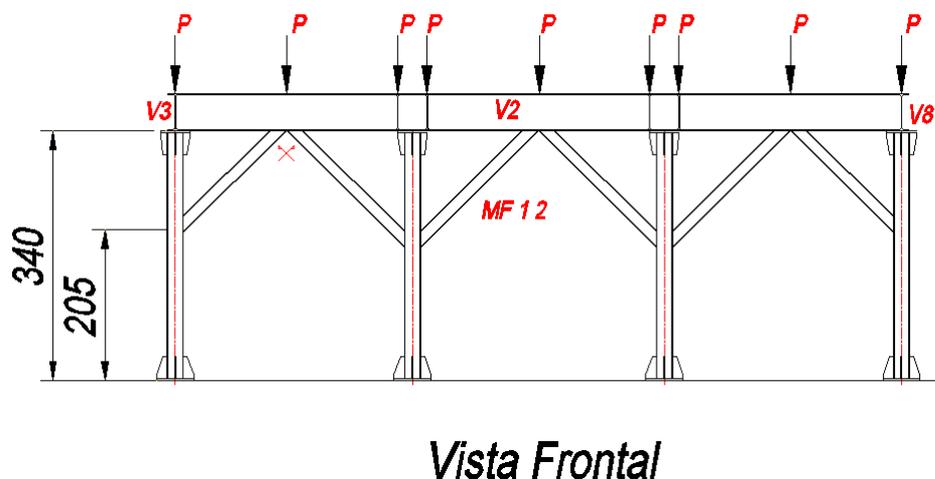
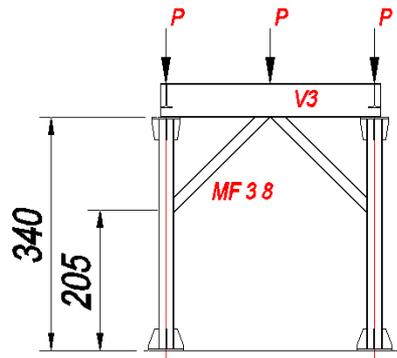
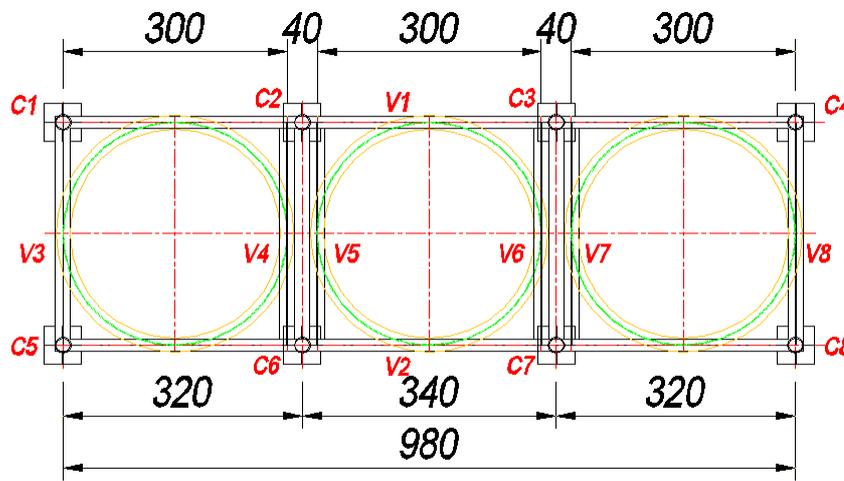


Figura 15: Vista Frontal - Lançamento 3



Vista Lateral

Figura 16: Vista Lateral- Lançamento 3



Planta Baixa

Figura 17: Planta Baixa - Lançamento 3

A estrutura em questão foi analisada para sustentar silos, com diâmetros padronizados, utilizando perfis metálicos, onde observou-se o comportamento dos perfis, para tanto partiu-se de uma estrutura pré-determinada, onde buscou-se o lançamento mais econômico e a melhor forma de lançamento, tendo como base a NBR 8800/2008. A estrutura em estudo tem como característica suportar silos com diâmetros variados de 2,6m, 2,8m e 3m conforme figura 18 e 19. Os silos possuem alturas iguais, esses serão fabricados em chapa metálica em aço SAE 1020, com reforços em cantoneiras, onde as cargas são variáveis em função do diâmetro e altura dos silos.

Dados do silo							
	Corpo do cilindro			Cone			φ menor dos cones
	φ 3m	φ 2,8m	φ 2,6m	φ 3m	φ 2,8m	φ 2,6m	φ 0,4m
Altura	15,7m	15,7m	15,7m	2,34m	2,17m	2m	

Figura 18: Dados do silo

Dados do silo			
	ϕ 3m	ϕ 2,8m	ϕ 2,6m
Peso dos silo (Kg)	6476	6008	5546

Figura 19: Dados do silo- Peso por diâmetro

A figura 20 mostra a instalação dos silos na estrutura em estudo.

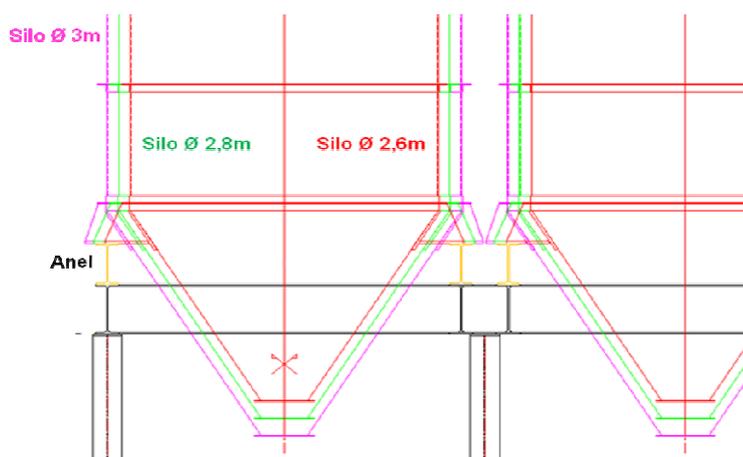


Figura 20: Detalhe da montagem dos silos

A estrutura de aço a ser estudada foi dimensionada seguindo as normas da ABNT, a partir das seguintes considerações: material armazenado no silo, peso próprio do material armazenado, peso próprio do silo, peso próprio da plataforma de cobertura sobrecarga no silo, sobrecarga na estrutura, vinculações entre colunas e vigas conforme figura 21.

Os carregamentos	
As cargas permanentes	Kg
Peso próprio do material armazenado	117320
Peso próprio do silo	6476
Peso próprio da plataforma de cobertura	791
Sobrecarga no silo	637
Sobrecarga na estrutura	4312
Vinculações entre colunas e vigas	

Figura 21: Os carregamentos

Considerou-se para a estrutura em questão três tipos de carregamento: a carga permanente, as cargas variáveis (peso da estrutura em função do tipo de lançamento e a carga acidental na plataforma), as cargas devidas ao vento, em conformidade com a norma Norma Brasileira de força devida aos ventos em edificações NBR 6123 (1988), para esta estrutura adotou-se a estrutura, sem ação do vento. As com

combinações para a análise das ações que agem sobre a estrutura é expressa conforme figura 22.

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} F_{Gi,k}) + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} \cdot \Psi_{0j} F_{Qj,k})$$

Figura 21: Os carregamentos

Onde: $F_{Gi,k}$ representa os valores característicos das ações permanentes; $F_{Q1,k}$ é o valor característico da ação variável considerada principal para a combinação; $F_{Qj,k}$ representa os valores característicos das ações variáveis que podem atuar concomitantemente com a ação variável principal; γ_{gi} , γ_{q1} e γ_{qj} são os coeficientes de ponderação das ações e são determinados de acordo com a Tabela 1; Ψ_{0j} é o fator de combinação para ações variáveis e é determinado de acordo com a tabela na figura 22, onde: m é o número de ações ou solicitações permanentes; n é o número de ações ou solicitações variáveis.

Ações		γ_{rj}		
		ψ_0	ψ_1 ⁵⁾	ψ_2 ^{3) 4)}
Cargas acidentais de edifícios	Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas ¹⁾	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas ²⁾	0,7	0,6	0,4
	Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens e sobrecargas em coberturas (ver B.5.1)	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	Passarelas de pedestres	0,6	0,4	0,3
	Vigas de rolamento de pontes rolantes	1,0	0,8	0,5
	Pilares e outros elementos ou subestruturas que suportam vigas de rolamento de pontes rolantes	0,7	0,6	0,4
NOTAS:				
1) Edificações residenciais de acesso restrito.				
2) Edificações comerciais, de escritórios e de acesso público.				
3) Para combinações excepcionais onde a ação principal for sismo, admite-se adotar para ψ_2 o valor zero.				
4) Para combinações excepcionais onde a ação principal for o fogo, o fator de redução ψ_2 pode ser reduzido, multiplicando-o por 0,7.				
5) Para estado limite de fadiga (ver anexo L), usar ψ_1 igual a 1,0.				

Figura 22: Valores dos fatores de combinação γ_0 e de redução γ_1 e γ_2 para as ações variáveis.

Fonte: NBR 8800, 2008, p.19.

As combinações para a análise em questão podem ser obtidas de acordo com o estudo: C1: 1,25 CP + 1,2SC; C2: 1,25 CP + 1,4Vx; C3: 1,25 CP + 1,2Vty;
C4: 1,25 CP + 1,2SC+0,84Vx; C5: 1,25 CP + 1,2SC+0,84Vy.

Para o dimensionamento da estrutura em questão considerou-se o estado de limite ultimo. Para todos os lançamentos analisou-se: a flambagem, flexão, cortante e a

flecha ,sendo esta inferior a $L/350$, ocasionada pela ação das cargas atuantes. Nos resultados obtidos no dimensionamento segundo a NBR 8800 (2008), constatou-se que as vigas sofreram momentos diferentes em função do tipo de lançamento, bem como diferenças nas deformações e na capacidade de suporte das cargas nas colunas tanto em perfil H como nas colunas compostas em perfil U.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos lançamentos em Kg de aço são os seguintes conforme figura 23 abaixo:

Lançamento tipo:	Peso total da Estrutura (Kg)	Perfil da coluna
Lançamento 1A	3966,20	H
Lançamento 1B	3514,68	U composto
Lançamento 2A	3096,00	H
Lançamento 2B	3838,56	U composto
Lançamento 3A	2746,64	H
Lançamento 3B	4199,08	U composto

Figura 23: Tipos de lançamentos x Peso total/ lançamento

Analisando o dimensionamento da estrutura portante dos silos fabricada em perfis metálicos em aço SAE 1020, onde foram usados perfis laminados fabricados pela Gerdau, alcançou-se o objetivo predominante desta análise que é a obtenção da carga total de aço por lançamento. Neste estudo constatou-se que o lançamento mais econômico é o lançamento 3 opção 3A, com carga total de aço igual a 2746,64 kg, onde as colunas consideradas são de perfil H tipo W é importante ressaltar que todos os lançamentos suportam a aplicação da carga estudada. A figura 24 mostrado a baixo quantifica o total de aço por lançamento.

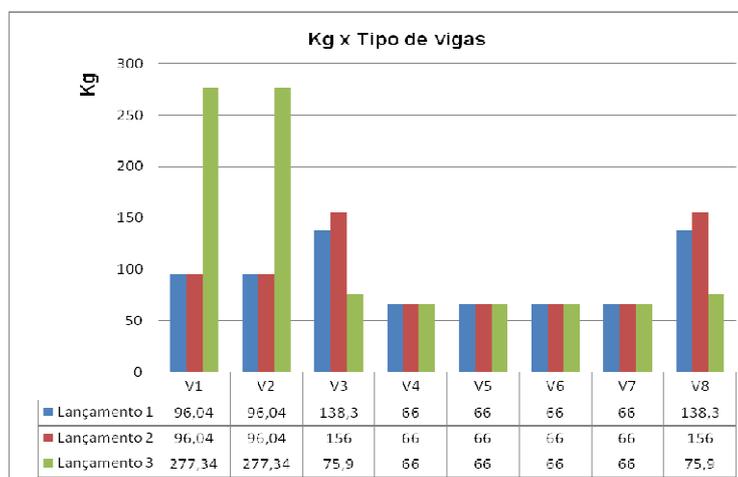


Figura 24: Kg x Tipos de vigas

Na análise desenvolvida das estruturas, onde os resultados obtidos comprovam a eficiência dos tipos de lançamento para a estrutura em questão, evidenciando algumas características como a relação da altura das vigas para cada lançamento e diminuição do peso total da estrutura. Na busca de perfis que suportassem a carga atuante para os diversos lançamentos pode-se ressaltar a importância na escolha do tipo de lançamento, observando-se o comportamento das deformações conforme a carga aplicada. A figura 25 a seguir mostra a quantidade total de aço por lançamento.

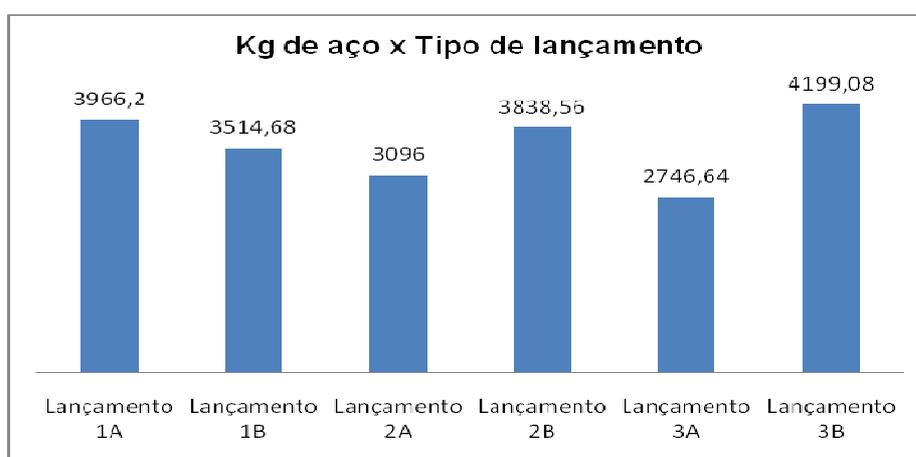


Figura 25: Kg x Tipos de lançamentos

O resultado obtido dos lançamentos com colunas compostas em perfil U é mostrado na figura 26 abaixo, onde pode-se observar que o lançamento 1 com o travamento na horizontal tem a menor consumo em quilo de aço, mas quando observado individualmente.

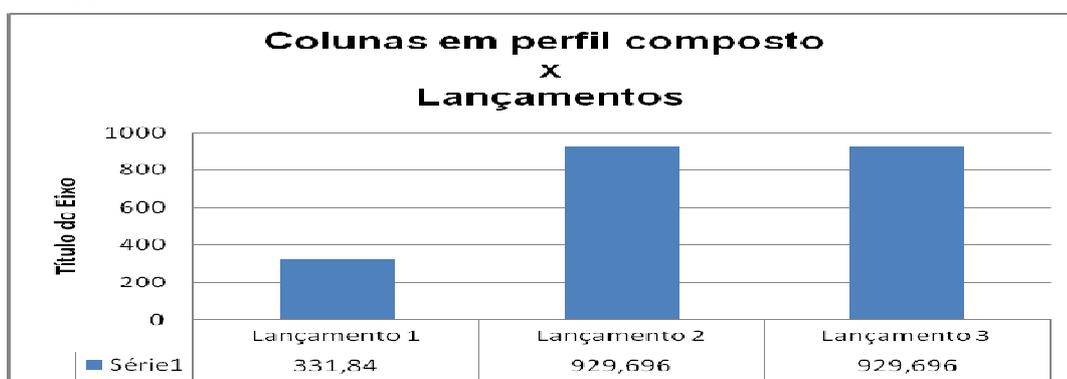
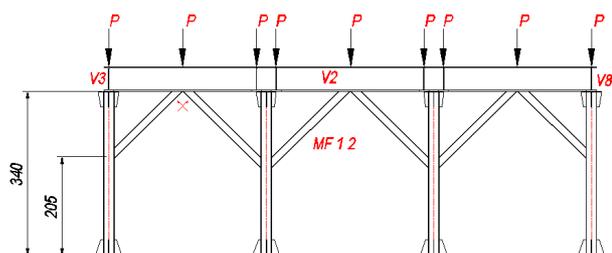
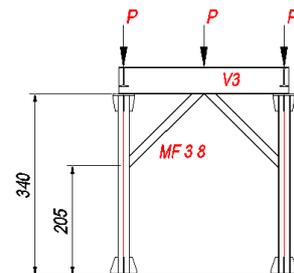


Figura 26: Colunas em perfil composto x Lançamentos

O lançamento 3 A (com opção de colunas em perfil H) apesar de ter a instalação com mão francesa, sua montagem tem o seu valor reduzido, pois as vigas podem ser montadas sem auxílio de guindastes, podendo a montagem ser executada com menor custo, pois com a sua instalação as vigas V1 e V2 tiveram seu perfil reduzidos, conforme mostrado na figura 27, ver posição das vigas na figura 28 e 29.



Vista Frontal



Vista Lateral

Figura 28: Localização V1 e V2

Figura 29: Localização V3 e V8

A figura 30 demonstra os tipos de perfis das vigas V1, V2, V3 e V8.

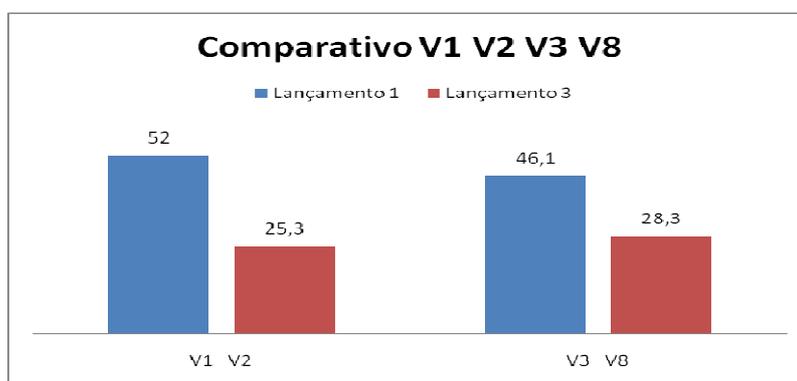


Figura 30: Localização V1, V2, V3 e V8

Os tipos de perfis por lançamento da estrutura em estudo são mostrados na figura 31.

TIPOS DE PERFIS POR LANÇAMENTO		
VIGAS		
Lançamento 1	Lançamento 2	Lançamento 3
Perfil "I" W 460 x 52	Perfil "I" W 460 x 52	Perfil "I" W 310 x 28,3
Perfil "I" W 410 x 46,1	Perfil "I" W 460 x 53	Perfil "I" W 250 x 25,3
Perfil "I" W 530 x 66	Perfil "I" W 530 x 66	Perfil "I" W 530 x 66
Perfil "I" W 200 x 15	Perfil "I" W 200 x 15	Perfil "I" W 250 x 22,3
		Perfil "I" W 200 x 31,3
		Perfil "I" W 310 x 28,3
COLUNAS EM PERFIL H		
Lançamento 1	Lançamento 2	Lançamento 3
Perfil "H" W 250 x 62	Perfil "H" W 250 x 62	Perfil "H" W 200 x 35,9
COLUNAS COMPOSTA EM U		
"U" 10"x 2.5/8"x 6,1mm	"U" 10"x2.5/8"x17,09mm	"U" 10"x2.5/8"x17,09mm

Figura 31: Localização V1, V2, V3 e V8



4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos comprovam a eficiência dos tipos de lançamento para a estrutura em questão, evidenciando algumas características como em relação da altura das vigas para cada lançamento e diminuição do peso total da estrutura. Constatou-se para tanto que dos lançamentos estudados o lançamento 3A é o mais indicado, pois esse têm o menor consumo de aço, fazendo-se assim o mais econômico. Mesmo sendo uma estrutura executada com mão francesa conclui-se que a manufatura desta opção 3A é a mais econômica, pois para a montagem da opção 3A não precisa-se de equipamentos pesado, podendo ser executada somente com talhas de pequeno porte.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8800/2008. **Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008

CHIAVERINI, Vicente.. **AÇO E FERROS FUNDIDOS**. 6. e.d. São Paulo, 2005.

DIAS, Luís Andrade de Mattos. Estruturas de aço: Conceitos, técnicas e linguagem. 5 ed. São Paulo: Zigurate editora, 2006.

GERDAU AÇOMINAS. **Perfis**: informações técnicas. 2009.