

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
RUI FECHA

BANCADA DE ARMAÇÃO DE VIGAS TIPO “I”

Taubaté-SP
2019

RUI FECHA

BANCADA DE ARMAÇÃO DE VIGAS TIPO “I”

Trabalho de Graduação apresentado para obtenção do Certificado de Graduação do curso de Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Orientador: Prof. Me. Fábio Henrique F. Santejani

Coorientador: Prof. Antony dos Santos

TAUBATÉ-SP

2019

Ficha catalográfica

SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU

D812b Duarte, Rui Pedro de Almeida Fecha
Bancada de armação de vigas tipo "I" / Rui Pedro de Almeida Fecha
Duarte. – 2019.
49 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2019.

Orientação: Prof. Me. Fábio Henrique Fonseca Santejani, Departamento de Engenharia Mecânica

1. Bancada de armação. 2. Cálculo estrutural. 3. Elementos finitos. 4. Vigas. 5. Projeto. I. Título. II. Graduação em Engenharia Mecânica.

CDD – 620.0015

Ficha catalográfica elaborada por Shirlei Righeti – CRB-8/6995

RUI FECHA

BANCADA DE ARMAÇÃO DE VIGAS TIPO "I"

Trabalho de Graduação apresentado para
obtenção do Certificado de Graduação do
curso de Engenharia Mecânica do
Departamento de Engenharia Mecânica da
Universidade de Taubaté.
Área de Concentração: Projetos

DATA: 9/10/2019

RESULTADO: APROVADO

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Fábio Henrique F. Santejani

Universidade de Taubaté (UNITAU)

Assinatura



Prof. Me. Ivair Alves dos Santos

Universidade de Taubaté (UNITAU)

Assinatura



RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo descrever a elaboração do projeto de um equipamento industrial, no âmbito do Trabalho de Graduação. O equipamento é uma bancada de armação de vigas em forma/tipo de "I" para posterior soldadura. Através deste projeto, pretende-se aplicar e desenvolver os conhecimentos adquiridos durante o curso de Engenharia Mecânica. O equipamento a dimensionar está sujeito a um carregamento dinâmico hidráulico, logo é necessário realizar dimensionamento da estrutura e sistema hidráulico, bem como seleção de componentes, sem esquecer as normas aplicáveis, utilizando a ferramenta de elementos finitos para análise estrutural.

Palavras-chave: Bancada de armação, cálculo estrutural, elementos finitos, vigas, projeto, fabricação mecânica.

FRAME WORKBENCH OF “I” BEAMS

ABSTRACT

The present report aims to detail the drafting of an industrial equipment project as Graduation Work. The equipment is a frame workbench of beams in “I” format/type to subsequent weld. From this project, it intends to apply and develop the knowledge acquired during the Mechanical Engineering course. The equipment to be measured is subject to a hydraulic dynamic charging; hence it will be needed to realize the measurement of the structure and the hydraulic system, and to select components, without to forget applicable standards, without forgetting the applicable standards, using the finite element tool for structural analysis..

KEYWORDS: Frame bench, structural calculation, finite elements, beams, project, mechanical fabrication.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mesa de Armação com a Viga "I".....	13
Figura 2 - Divisão dos Módulos.....	14
Figura 3 - Legenda de Sub-Conjuntos	15
Figura 4 - Tipo de montagem	20
Figura 5 - Cálculo Encurvatura.....	21
Figura 6 - Tipo de fixação do cilindro hidráulico	22
Figura 7 - Desenho explicativo de aplicação do conetor	23
Figura 8 - Unidade Hidráulica.....	24
Figura 9 - Diagrama de Forças.....	25
Figura 10 - Cálculo Inércia	25
Figura 11 - Cálculo Centróide.....	26
Figura 12 - Análise de tensões.....	28
Figura 13 - Análise do deslocamento	29
Figura 14 - Cálculo da Inércia	30
Figura 15 - Secção da Chapa de Encosto.....	30
Figura 16 - Análise de tensões.....	31
Figura 17 - Análise de rigidez.....	32
Figura 18 - Secção Final da Viga HEA300 com chapa de reforço	34
Figura 19 - Análise de tensões.....	35
Figura 20 - Análise de rigidez.....	36
Figura 21 - Análise de tensões.....	38
Figura 22 - Análise de rigidez.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tolerâncias Fornecimento.....	16
Tabela 2 - Características de factor de segurança A, B e C	17
Tabela 3 - Características de factor de segurança E e D.....	17
Tabela 4 - Selecção do cilindro hidráulico.....	20
Tabela 5 - Comprimento máximo admissível	21
Tabela 6 - Dimensão mínima para aplicação do conector [mm].....	23
Tabela 7 - Propriedades Perfil HEA	33

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	OBJETIVO.....	12
2.1	OBJETIVO GERAL.....	12
2.2	OBJETIVO ESPECÍFICO.....	12
3	EQUIPAMENTO.....	13
4	REQUISITOS E PRESSUPOSTOS.....	15
4.1	CÁLCULO DA FORÇA NECESSÁRIA.....	15
4.2	CÁLCULO DO COEFICIENTE DE SEGURANÇA.....	16
4.3	CÁLCULO DA FORÇA A SER APLICADA PELO CILINDRO HIDRÁULICO.....	18
4.4	ANÁLISE POR ELEMENTOS FINITOS.....	18
5	DIMENSIONAMENTO E SELEÇÃO DE COMPONENTES.....	19
5.1	DIMENSIONAMENTO E SELEÇÃO DO HIDRÁULICO A USAR.....	19
5.1.1	Cálculo da força de cada cilindro hidráulico.....	19
5.1.2	Escolha do Hidráulico.....	19
5.1.3	Verificação.....	20
5.1.4	Seleção dos conectores.....	22
5.2	DIMENSIONAMENTO E SELEÇÃO DA UNIDADE HIDRÁULICA.....	23
5.2.1	Cálculo da capacidade do reservatório.....	23
5.2.2	Seleção da Unidade Hidráulica.....	24
5.3	DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA.....	24
5.3.1	Dimensionamento da Coluna.....	25
5.3.2	Dimensionamento da Chapa de Encosto.....	29
5.3.3	Dimensionamento da Viga.....	32
5.3.4	Dimensionamento do Apoio da Alma.....	37
6	RESULTADOS.....	39
6.1	COLUNA.....	39
6.2	CHAPA DE ENCOSTO.....	39
6.3	VIGA.....	39
6.4	APOIO DA ALMA.....	39
7	CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE MELHORIA.....	40
	REFERÊNCIAS.....	41
	ANEXO 1 – COMPONENTES UNIDADE HIDRÁULICA.....	42

ANEXO 2 – COMPONENTES CILINDRO HIDRÁULICO.....	43
ANEXO 3 – ESQUEMA HIDRÁULICO.....	44
ANEXO 4 – DESENHOS SUB-CONJUNTOS 1.....	45
ANEXO 5 – DESENHOS SUB-CONJUNTOS 2.....	46
ANEXO 6 – DESENHOS SUB-CONJUNTOS 3.....	47
ANEXO 7 – DESENHOS SUB-CONJUNTOS 4.....	48
ANEXO 8 – DESENHOS SUB-CONJUNTOS 5.....	49

1 INTRODUÇÃO

No decorrer da atividade dos engenheiros, tanto estes como os projetistas se deparam com dificuldades técnicas, problemas, alguns bem complexos, outros mais simples, mas sempre com o compromisso de os resolver de modo aceitável. Durante a formação em engenharia, inúmeras fórmulas e tabelas entre outros materiais de apoio, foram tidas como conhecimento e que agora é o momento de as utilizar (SHIGLEY; MISCHKE; BUDYNAS, 2005).

Em caso particular, quando se atua na área de cálculo estrutural, engenheiros tem o compromisso de garantir que a estrutura do que está a ser analisado não estará sujeita a falhas sob várias condições de operação. Para este desenvolvimento, os recursos passam por apoio em documentação e literatura sobre resistência dos materiais, que estuda a resistência e da rigidez dos elementos das estruturas. (SHIGLEY; MISCHKE; BUDYNAS, 2005).

No processo de cálculo de uma estrutura, para que esta seja concluída com sucesso não se pode apoiar simplesmente em um conjunto aplicações matemáticas muitas vezes complicadas, mas também à aptidão do engenheiro em entender a natureza física do fenômeno que se depara. É de grande importância identificar pontos relevantes do problema em estudo, para assim preparar hipóteses sobre o comportamento da estrutura a ser analisada, que constituirão a base para um bom desenvolvimento do projeto em curso (SHIGLEY; MISCHKE; BUDYNAS, 2005).

Para início do estudo de cálculo da estrutura identificada, deve ser formulado um esquema de Cálculo, um Modelo de Cálculo, de forma que a estrutura idealizada possa ser analisada (SHIGLEY; MISCHKE; BUDYNAS, 2005).

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Para empresas que atuam na área de estruturas metálicas de grande complexidade, depender apenas do equipamento disponível no mercado pode ser um problema, dificultando o desempenho de algumas atividades. Os projetos são elaborados de forma a que se torne viável a fabricação e a instalação, tendo em vista sempre a criação de valor para a empresa. Desta forma, para fabricar estruturas complexas as empresas para além de projetar as mesmas estruturas, por vezes são obrigadas a projetar os próprios equipamentos, sendo eles principais ou mesmo periféricos, de forma que fiquem de acordo com as metodologias e processos definidos internamente. Tem como objetivo este trabalho descrever o procedimento do projeto de uma bancada de apoio à armação de vigas tipo I.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Nos tempos de hoje existe uma variedade de materiais aplicáveis à fabricação de equipamento pesados. As empresas que trabalham no sector metalomecânico, aproveitando a experiência interna, escolher materiais já bem conhecidos pelas equipas de projeto e fabricação é vantagem. Desta forma recorrendo assim às matérias primas de aço, o objetivo específico deste trabalho é apresentar um modelo de elaboração de projeto de equipamentos, detalhando todas as etapas, desde identificação de requisitos e pressupostos, passando pelos cálculos de forças e dimensionamento dos componentes, terminando com as verificações necessárias.

O Objetivo é calcular e dimensionar cada componente de uma banca de armação de vigas e utilizar ferramenta de Método de Elementos Finitos (MEF) para verificação.

3 EQUIPAMENTO

Este equipamento, designado de “Bancada de Armação de vigas I”, surge da necessidade de melhorar o processo de fabrico de vigas compostas fabricadas em chapa. Numa empresa de metalomecânica pesada, serão construídos perfis compostos em grande número, podendo-se atribuir a esta fábrica o conceito de fábrica em série, daí a necessidade de desenvolver um equipamento robusto e de simples manuseamento de forma a reduzir o tempo de fabricação, assim como garantir com a qualidade do produto.

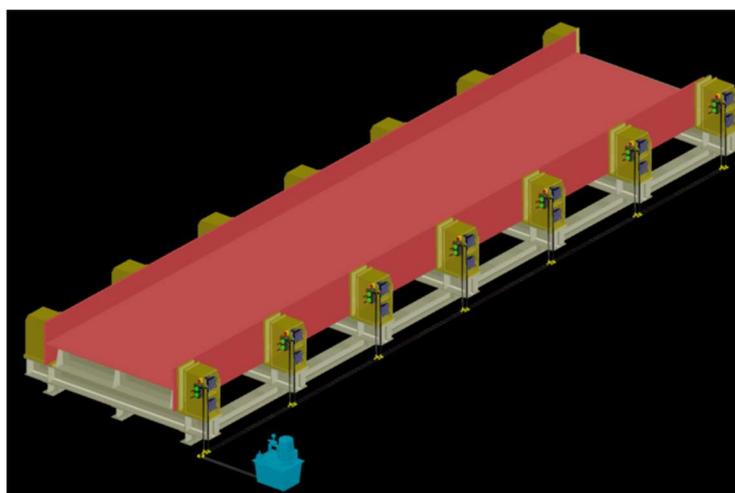


Figura 1 - Mesa de Armação com a Viga "I"
FONTE: Elaborado pelo autor, 2019

A “Mesa de armação” tem medidas que podem assegurar a construção de vigas “I” com 12 metros de comprimento, sendo a medida dos banzos de 710mm com espessura de 32mm e a alma com 2400mm e espessura de 16mm. Para uma melhor agilidade na construção do equipamento como para futuras alterações em layout, definiu-se criar um equipamento modular, composto por 7 módulos separados entre si de 2000mm, sendo estes montados no local numa base de apoio de acordo com os desenhos de montagem.

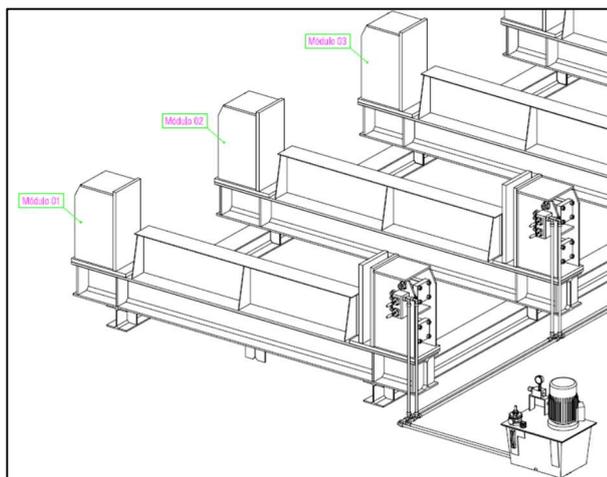


Figura 2 - Divisão dos Módulos
FONTE: Elaborado pelo autor, 2019

Cada módulo é constituído por duas colunas laterais construídas em chapa, uma totalmente fixa, outra equipada com dois cilindros hidráulicos acoplados a uma chapa que vai servir de aperto da viga “I” a construir. Na coluna equipada pelos cilindros, estão instaladas duas válvulas de duplo efeito. Cada válvula controla o avanço e retorno de cada cilindro de forma que se seja possível o ajuste individual de cada um. Está também instalado um sistema de segurança por botão que desativa a unidade hidráulica.

Estas duas colunas laterais estão ligadas na base por um perfil HEA300, que serve também de ligação à base pré-instalada do equipamento. Entre as duas colunas laterais tem-se um dispositivo construído em chapa para servir de apoio à alma da viga “I” a construir. Em resumo, o equipamento é constituído por 7 módulos separados entre si de 2 metros, cada módulo opera individualmente e todos estes módulos estão ligados a uma unidade hidráulica comum.

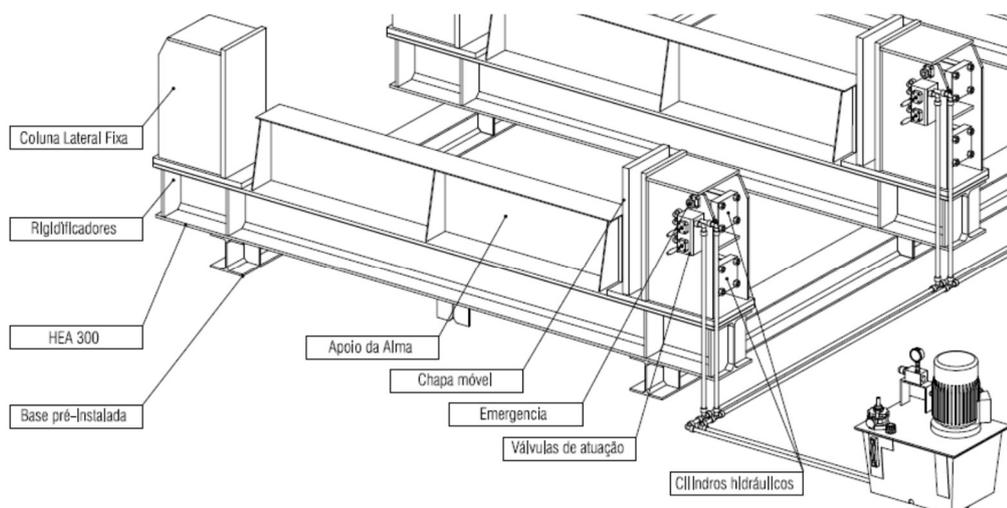


Figura 3 - Legenda de Sub-Conjuntos
FONTE: Elaborado pelo autor, 2019

O equipamento é projetado para ser operado por utilizadores não especializados, tanto na construção metalomecânica como no manuseamento de equipamentos. Com a ajuda de equipamentos de movimentação e de elevação, será colocada a alma centrada nos apoios disponíveis no equipamento. Em seguida são colocados os banzos junto às colunas laterais. É neste momento que se faz utilidade dos hidráulicos, que comandados pelas alavancas das válvulas, o operador vai ajustando módulo a módulo, de forma a garantir a perpendicularidades dos banzos com a alma, assim como o ajuste da possível deformação dos banzos. De acordo com a cadência de produção necessária, poderá se efetuar a soldadura da viga "I" ainda quando esta se encontra no equipamento, ou poderá ser pingada e reforçada de modo a que seja possível retirá-la para se fazer a soldadura fora do equipamento. Após a construção da viga "I", o operador apenas tem de fazer o retorno dos cilindros, de modo a que possa soltar a viga. Os cilindros fazem um curso de 100mm, o suficiente para soltar a viga construída.

4 REQUISITOS E PRESSUPOSTOS

4.1 CÁLCULO DA FORÇA NECESSÁRIA

Para calcular a força necessária a aplicar nos banzos de forma a garantir as tolerâncias do fabrico final, foi consultada a norma EN10029 (BSSA, 2018) a qual

informa que o empeno máximo da chapa a recepcionar para os banzos com espessura de 32 mm e tipo de aço H, é de 12 mm por cada 2 metros.

Tabela 1 - Tolerâncias Fornecimento

Dimensions in mm

Nominal thickness	Steel type L 1)		Steel type H 1)	
	Measuring length			
	1000	2000	1000	2000
≥ 3 < 5	9	14	12	17
≥ 5 < 8	8	12	11	15
≥ 8 < 15	7	11	10	14
≥ 15 < 25	7	10	10	13
≥ 25 < 40	6	9	9	12
≥ 40 ≤ 250	5	8	8	11

1) see 8.2.2.

FONTE: BSSA, 2018.

Assim sendo, tem-se o seguinte:

$$y_{\text{máx}} = \frac{PL^3}{48EI} \Leftrightarrow P = \frac{48EI \times y_{\text{máx}}}{L^3} \quad (1)$$

Onde:

- P = Força a ser aplicada
- E = Módulo de elasticidade
- I = Inércia do banzo (2x)
- $y_{\text{máx}}$ = Empeno máximo admissível
- L = Comprimento entre apoios

Após o cálculo, a força a ser aplicada é 55,837kN.

4.2 CÁLCULO DO COEFICIENTE DE SEGURANÇA

Para o cálculo do coeficiente de segurança n_s , houve recurso ao livro “Elementos de Máquinas” (HAMROCK; JACOBSON; SCHMID, 2000) onde é facultado o seguinte método:

- $n_s = n_{sx}n_{sy}$, em que:
- n_{sx} é factor de segurança com as variáveis A, B e C

- A = Qualidade dos materiais, destreza, manutenção e inspeção
- B = Controlo sobre a carga aplicada
- C = Exatidão da análise do esforço, informação experimental ou experiência com dispositivos semelhantes
- n_{sy} é factor de segurança com as variáveis D e E
- D = Perigo para as pessoas
- E = Impacto económico

Tabela 2 - Características de factor de segurança A, B e C

Característica ^a		B =				
		mb	b	r	p	
A = mb	C =	mb	1.1	1.3	1.5	1.7
		b	1.2	1.45	1.7	1.95
		r	1.3	1.6	1.9	2.2
		p	1.4	1.75	2.1	2.45
A = b	C =	mb	1.3	1.55	1.8	2.05
		b	1.45	1.75	2.05	2.35
		r	1.6	1.95	2.3	2.65
		p	1.75	2.15	2.55	2.95
A = r	C =	mb	1.5	1.8	2.1	2.4
		b	1.7	2.05	2.4	2.75
		r	1.9	2.3	2.7	3.1
		p	2.1	2.55	3.0	3.45
A = p	C =	mb	1.7	2.15	2.4	2.75
		b	1.95	2.35	2.75	3.15
		r	2.2	2.65	3.1	3.55
		p	2.45	2.95	3.45	3.95

^a mb = muy bien, b = bien, r = regular y p = pobre.

FONTE: Hamrock, Jacobson e Schmid (2000).

Tabela 3 - Características de factor de segurança E e D

Característica ^a		D =		
		ns	s	ms
E =	ns	1.0	1.2	1.4
	s	1.0	1.3	1.5
	ms	1.2	1.4	1.6

^a ms = muy serio, s = serio y ns = no serio.

FONTE: Hamrock, Jacobson e Schmid (2000).

$$n_s = 3 \times 1 = 3$$

(2)

4.3 CÁLCULO DA FORÇA A SER APLICADA PELO CILINDRO HIDRÁULICO

Uma vez que a força necessária para compensar a tolerância de recepção da matéria prima é de 55,837kN, e que o coeficiente de segurança é de 3, podemos dizer que a força hidráulica é $55,837\text{kN} \times 3 = 167,510\text{kN}$.

4.4 ANÁLISE POR ELEMENTOS FINITOS

O Método dos Elementos Finitos (MEF) (em inglês: Finite Element Method - FEM) é um procedimento numérico para determinar soluções aproximadas de problemas de valores sobre o contorno de equações diferenciais. O MEF subdivide o domínio de um problema em partes menores, denominadas elementos finitos. O Método dos Elementos Finitos (MEF) apresenta atualmente um nível de desenvolvimento que permite a sua utilização pela generalidade dos projetistas de estruturas. Através do avanço da informática, também houve grande progresso na análise de materiais e do comportamento físico de estruturas, pois se obtêm respostas mais rápidas dos materiais e modelos matemáticos. Enquanto que no passado muitos dos utilizadores do MEF estavam também envolvidos na respectiva programação em computador, verifica-se hoje em dia que a quase totalidade dos projetistas de estruturas apenas se preocupa com a utilização do correspondente software e com a interpretação dos resultados obtidos. Devido à grande complexidade associada ao desenvolvimento de modernos programas de computador dispendo de uma interface gráfica intuitiva, o desenvolvimento de software tem sido cada vez mais restringido às empresas especializadas. Por este motivo, o utilizador programador quase desapareceu, dando lugar ao mero utilizador. Perante um problema de análise de estruturas e dispendo de um software intuitivo, é perfeitamente acessível a um estudante a obtenção de resultados credíveis, mesmo quando não tem acesso à fonte do código computacional ou quando desconhece as características do modelo que está a utilizar.

Atualmente, muitas áreas da engenharia utilizam softwares de elementos finitos, dentre elas a indústria de estruturas metálicas para cálculo e/ou verificação de viabilidade estrutural, assim como nas áreas biológicas, exemplo na especialidade odontológica.

5 DIMENSIONAMENTO E SELEÇÃO DE COMPONENTES

5.1 DIMENSIONAMENTO E SELEÇÃO DO HIDRÁULICO A USAR

5.1.1 Cálculo da força de cada cilindro hidráulico

Uma vez que a força a ser aplicada pelo hidráulico é relativamente alta e para simplificar o processo de fabricação, optou-se por aplicar 2 cilindros hidráulicos, o que faz com que a força a aplicar por cada cilindro hidráulico seja $167,510kN/2 = 83,755kN$.

5.1.2 Escolha do Hidráulico

Para a escolha do cilindro hidráulico há duas soluções, a primeira é a fabricação interna e a outra seria a escolha junto de um fornecedor certificado. Foi optado por fazer a escolha junto de um fornecedor certificado, pois assim existem as garantias de fornecimento de componentes para manutenção em tempos reduzidos.

Na escolha do cilindro hidráulico houve recurso à Rexroth, do grupo Bosch. Uma marca com elevado prestígio e com a solução que é procurada.

Desde início colocou-se o problema da série de cilindros hidráulicos a escolher. Mas esta ficou desfeita, pois a única série que preenche todos os requisitos é a CD210/CG210 (BOSCH REXROTH AG, 2019a), foi opção selecionar a pressão de trabalho mais baixa possível, ou seja, 75 bar.

Tabela 4 - Seleção do cilindro hidráulico

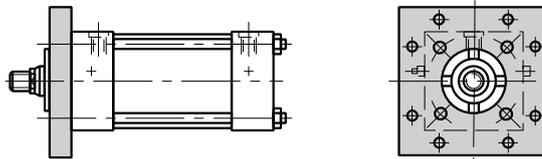
Operating pressure in bar	Piston Ø	mm	80			100			125			
	Piston rod Ø	mm	36	45	56	45	50	70	50	56	63	90
75	Force; piston side	kN	37.70			58.91			92.04			
	Force; piston rod side	kN	30.07	25.77	19.22	46.97	44.18	30.05	77.31	73.57	68.66	44.33
100	Force; piston side	kN	50.27			78.54			122.72			
	Force; piston rod side	kN	40.10	34.36	25.63	62.63	58.91	40.06	103.08	98.10	91.55	59.11
150	Force; piston side	kN	75.40			117.81			184.08			
	Force; piston rod side	kN	60.14	51.54	38.45	93.95	88.37	60.10	154.63	147.13	137.32	88.66
210	Force; piston side	kN	210.56			164.94			257.71			
	Force; piston rod side	kN	84.20	72.15	53.83	131.53	123.71	84.13	216.48	206.00	192.25	124.13
Piston area		cm ²	50.24			78.50			122.66			
Annulus area		cm ²	40.07	34.34	25.62	62.60	58.88	40.04	103.03	98.04	91.50	59.08
Area ratio		ψ	1.25:1	1.4:1	2:1	1.25:1	1.35:1	2:1	1.2:1	1.25:1	1.35:1	2:1
Cushioning area	Piston side	cm ²	30.63			58.90			92.50			
	Piston rod side	cm ²	36.40	30.60	20.10	57.30	54.70	31.97	92.50	92.50	47.20	47.20

FONTE: Bosch Rexroth AG, 2019a.

Assim sendo, o nosso cilindro terá um diâmetro de 125 mm e a haste terá um diâmetro de 63 mm.

Para finalizar a escolha do cilindro hidráulico, é necessário escolher o tipo de montagem. Uma vez que é necessário aperto no topo junto à haste, o tipo de montagem que mais se adequa é o H.

Square flange at
cylinder head



H

Figura 4 - Tipo de montagem
FONTE: Bosch Rexroth AG, 2019a.

Assim sendo, o cilindro hidráulico escolhido tem a referencia CD210H125/63-200Z1X/02CFUM3-3^A (BOSCH REXROTH AG, 2019a).

5.1.3 Verificação

Para fazer a verificação do cilindro hidráulico foi feita a análise da encurvatura. Esta análise pode ser feita na tabela do fornecedor em baixo ou por intermédio de cálculo, com expressões fornecidas no catálogo do fornecedor. A primeira análise será a da tabela.

Tabela 5 - Comprimento máximo admissível

Piston Ø in mm	Piston rod Ø in mm	Mounting types: C, F, H, L, M, N, P, T				Mounting types: D, K, Q				Available max- imum stroke length in mm (standard ver- sion)
		Operating pressure in bar				Operating pressure in bar				
		75	100	150	210	75	100	150	210	
		Permissible max. stroke in mm				Permissible max. stroke in mm				
40	16	560	470	370	295	195	155	105	70	1000
	18	745	635	505	415	285	230	170	130	
	25	1000	1000	1000	845	620	520	405	325	
50	22	880	750	595	490	340	280	205	155	1200
	25	1160	990	785	645	465	385	290	225	
	36	1200	1200	1200	1200	1090	925	730	600	
63	25	880	745	655	470	330	265	225	140	1400
	28	1145	975	775	640	460	380	285	220	
	36	1400	1400	1325	1100	820	690	535	430	
	45	1400	1400	1400	1400	1365	1165	920	755	
80	36	1505	1285	1025	845	615	510	390	305	1700
	45	1700	1700	1645	1365	1025	860	670	540	
	56	1700	1700	1700	1700	1670	1425	1130	925	
100	45	1875	1600	1275	1050	775	645	495	390	2000
	50	2000	1990	1585	1300	975	820	630	500	
	70	2000	2000	2000	2000	2000	1800	1430	1180	
125	50	1820	1545	1220	1000	735	610	455	350	2300
	56	2300	2005	1605	1325	990	830	640	510	
	63	2300	2300	2035	1680	1270	1070	830	665	
	90	2300	2300	2300	2300	2300	2300	1960	1625	

FONTE: Bosch Rexroth AG, 2019c.

Como o comprimento máximo para não haver encurvatura é de 2300 mm e o cilindro hidráulico só necessita de ter um curso de 200 mm, não haverá problemas com a encurvatura.

Calculation of buckling

Buckling calculations are usually carried out according to Euler, because piston rods are in most of the cases to be considered as slender rods

$$\text{Buckling load } K = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{s_K^2} \text{ in N}$$

i.e. under this load, the rod buckles!

$$\text{Max. operating load } F = \frac{K}{S} \text{ in N}$$

s_K = free buckling length in mm

E = modulus of elasticity in N/mm² = 2.1 • 10⁵ for steel

J = Mass moment of inertia in mm⁴ for circular cross-section

$$= \frac{d^4 \cdot \pi}{64} = 0.0491 \cdot d^4$$

S = safety (3.5)

Figura 5 - Cálculo Encurvatura

FONTE: Bosch Rexroth AG, 2019c.

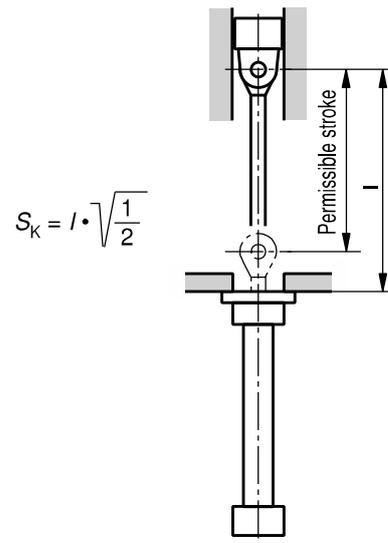


Figura 6 - Tipo de fixação do cilindro hidráulico
FONTE: Bosch Rexroth AG, 2019c.

Através das expressões em cima e do tipo de fixação do cilindro hidráulico, tem-se a seguinte dedução final.

$$l = \sqrt{\frac{\pi^2 \times E \times 0,0491 \times d^4}{F \times S \times 0,5}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \times 2,1 \times 10^5 \times 0,0491 \times 63^4}{83755 \times 3,5 \times 0,5}} = 3307 \text{ mm} \quad (3)$$

Mais uma vez, pode-se dizer que o comprimento de 200 mm definido para o cilindro hidráulico é menor que o comprimento admissível para que não exista encurvamento.

5.1.4 Seleção dos conectores

A seleção do tipo de conector deve-se essencialmente ao espaço disponível para manutenção do cilindro hidráulico. Uma vez que o espaço é reduzido optou-se pelo conector de joelho de 90°. Tem-se a confirmação da dimensão X5, onde necessita-se de 160 mm do centro do cilindro à última fase livre. Este valor é inferior ao que há disponível na estrutura (178mm), logo pode-se optar por este tipo de conector.

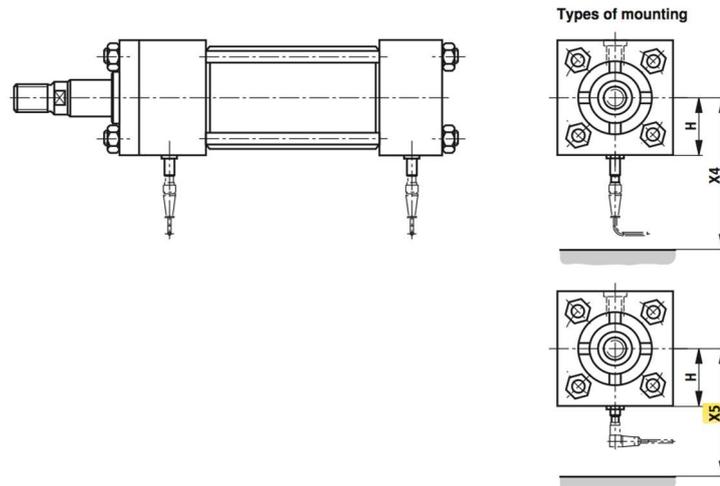


Figura 7 - Desenho explicativo de aplicação do conector
 FONTE: Bosch Rexroth AG, 2019a.

Tabela 6 - Dimensão mínima para aplicação do conector [mm]

Piston Ø	Piston rod Ø	H	X4	X5
100	45	63.5	195	150
	50			
	70			
125	50	82.5	205	160
	56			
	63			
	90			
150	63	85	230	185
	70			
	80			
	100			
180	80	108	235	190
	90			
	125			
200	90	120.5	245	200
	100			
	140			

FONTE: Bosch Rexroth AG, 2019a.

5.2 DIMENSIONAMENTO E SELEÇÃO DA UNIDADE HIDRÁULICA

5.2.1 Cálculo da capacidade do reservatório

Para o cálculo da capacidade do reservatório, foi assumido que a partir do momento em que a tubagem hidráulica está completamente cheia de óleo, a capacidade do reservatório deve ser maior que a soma da capacidade dos cilindros hidráulicos com um coeficiente de segurança de 1.5, ou seja,

$$V_{total} = \sum \frac{\pi \phi^2}{4} L \times 1,5 = 0,05154 \text{ m}^3 = 51,54 \text{ Litros} \quad (4)$$

Aproximando por excesso para o reservatório com a capacidade mais próxima, tem-se a capacidade de reservatório de 60 Litros.

5.2.2 Seleção da Unidade Hidráulica

Assim sendo, selecionou-se a unidade hidráulica ABSKG-60AL9/VGF2-011/112M/1 constituída por um reservatório de 60 litros, e um caudal de 15,7 litros/minuto (BOSCH REXROTH AG, 2019b).



Figura 8 - Unidade Hidráulica
FONTE: Bosch Rexroth AG, 2019b.

5.3 DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA

Uma vez que a força aplicada por cada hidráulico é $83,755kN$, e o coeficiente de segurança é 3, o dimensionamento da estrutura é realizado com uma força de $83,755kN \times 3 = 252kN$ para cada cilindro hidráulico.

Foi decidido arredondar este valor por excesso e assim sendo teremos uma força de $252kN$ por cada cilindro hidráulico.

5.3.1 Dimensionamento da Coluna

5.3.1.1 Dimensionamento

Uma vez que a coluna não é um perfil standard, há necessidade de recorrer ao cálculo do momento de inércia necessário no ponto de junção da coluna à viga, uma vez que é o ponto onde o momento fletor é maior (braço maior). Depois calcula-se o momento de inércia e comparar de modo a que o momento de inércia seja maior que o momento de inércia necessário.

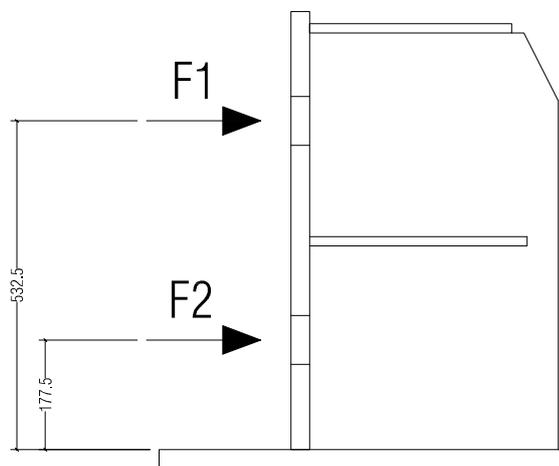


Figura 9 - Diagrama de Forças
FONTE: Elaborado pelo autor, 2019.

Cálculo do momento fletor:

$$M = \sum F \times b = F_1 \times b_1 + F_2 \times b_2 = 252 \times 0,5352 + 252 \times 0,1775 = 178,398 \text{ kN.m} \quad (5)$$

Cálculo do momento de inércia necessário:

Para o cálculo da Inércia houve recurso ao livro de Resistência dos Materiais da editora McGraw-Hill (BEER; JOHNSTON JR; DEWOLF, 2006), onde tem-se:

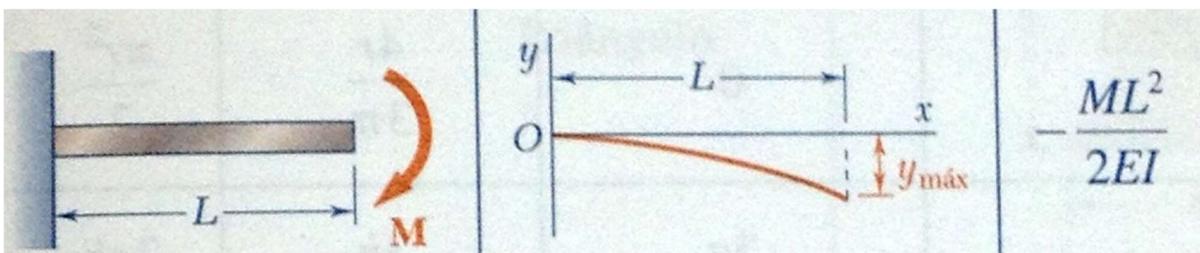


Figura 10 - Cálculo Inércia
FONTE: Beer, Johnston Jr e DeWolf (2006).

Cálculo do momento de inércia a instalar:

$$y_{m\acute{a}x} = \frac{ML^2}{2EI} \Leftrightarrow I = \frac{ML^2}{2Ey_{m\acute{a}x}} = \frac{178398 \times 0,710^2}{2 \times 200 \times 10^9 \times 0,001} = 225 \times 10^{-6} m^4 \quad (6)$$

Uma vez tendo o momento de inércia necessário, calcula-se o momento de inércia a instalar que deve ser maior que a anteriormente calculado, o momento de inércia necessário. Para isso foi necessário aproximar as espessuras e larguras da secção da coluna.

Assumindo a seguinte secção, aplicar-se o teorema dos eixos paralelos, fazer o cálculo individual do momento de inércia e no final fazer a soma dos momentos de inércia.

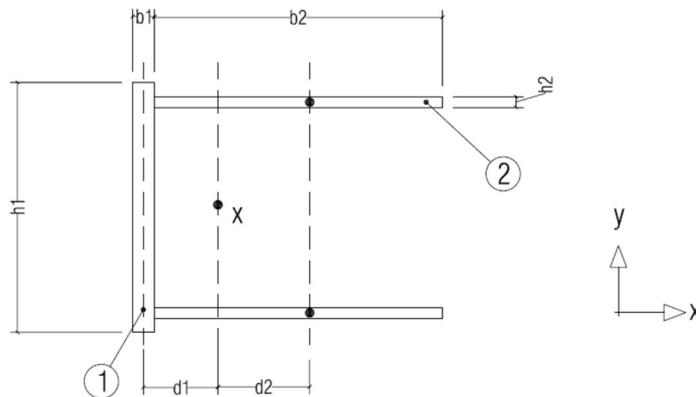


Figura 11 - Cálculo Centroide
FONTE: Elaborado pelo autor, 2019

Para fazer a localização do centroide, recorre-se à seguinte equação:

$$\begin{aligned} \bar{X} &= \sum \frac{Ax}{A} = \frac{A_1x_1 + A_2x_2 + A_2x_2}{A_1 + A_2 + A_2} = \frac{b_1h_1 \frac{b_1}{2} + b_2h_2 \left(b_1 + \frac{b_2}{2}\right) + b_2h_2 \left(b_1 + \frac{b_2}{2}\right)}{b_1h_1 + b_2h_2 + b_2h_2} = \\ &= \frac{30 \times 350 \times \frac{30}{2} + 400 \times 15 \times \left(30 + \frac{400}{2}\right) + 400 \times 15 \times \left(30 + \frac{400}{2}\right)}{30 \times 350 + 400 \times 15 + 400 \times 15} \quad (7) \\ &= 129,67 \text{ mm} \end{aligned}$$

Uma vez calculado o centroide, calcula-se a distância do centro de massa de cada elemento ao centroide, em módulo.

$$d_1 = \bar{X} - \frac{b_1}{2} = 129,67 - \frac{30}{2} = 114,67 \text{ mm} \quad (8)$$

$$d_2 = \left(b_1 + \frac{b_2}{2}\right) - \bar{X} = \left(30 + \frac{400}{2}\right) - 129,67 = 100,33 \text{ mm} \quad (9)$$

Assim, tem-se tudo para o cálculo do momento de inércia,

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{1}{12} b_1^3 h_1 + A_1 d_1^2 = \frac{1}{12} b_1^3 h_1 + b_1 h_1 d_1^2 = \frac{1}{12} 30^3 \times 350 + 30 \times 350 \times 114,67^2 = \\ &= 138,85 \times 10^6 mm^4 = 138,85 \times 10^{-6} m^4 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} I_2 &= \frac{1}{12} b_2^3 h_2 + A_2 d_2^2 = \frac{1}{12} b_2^3 h_2 + b_2 h_2 d_2^2 = \frac{1}{12} 400^3 \times 15 + 400 \times 15 \times 100,33^2 = \\ &= 140,40 \times 10^6 mm^4 = 140,40 \times 10^{-6} m^4 \end{aligned} \quad (11)$$

$$I_{total} = I_1 + 2 \times I_2 = 138,85 \times 10^{-6} + 2 \times 140,40 \times 10^{-6} = 420 \times 10^{-6} m^4 \quad (12)$$

Verificação:

$$\begin{aligned} I_{instalada} &\geq I_{necessária} \\ 420 \times 10^{-6} &\geq 225 \times 10^{-6} \text{ Verifica} \end{aligned} \quad (13)$$

Embora a coluna esteja sobre dimensionada em cerca de 87%, optou-se por manter a secção pois as tolerâncias de fabrica são muito reduzidas. Só assim se consegue garantir um deslocamento máximo de 1 mm no topo da coluna, conforme será mostrado mais à frente.

Após do cálculo de rigidez, calcula-se a resistência da secção anterior, não esquecendo que o CS será igual a 1 pois foi considerado na força a ser aplicada.

$$\frac{\sigma_{ced}}{CS} = \frac{Mc}{I} = \frac{M\bar{X}}{I} = \frac{178398 \times 0,12967}{420 \times 10^{-6}} = 55,078 MPa \quad (14)$$

Com o resultado anterior, podemos dizer que o aço poderia ter uma tensão admissível de 55 MPa, embora o aço escolhido seja superior, pois existem regiões com maior solicitação, conforme será mostrado na verificação através dos elementos finitos.

5.3.1.2 Verificação

Para fazer a verificação recorre-se à análise dos elementos finitos do Autodesk Inventor 2013, nunca esquecendo que já considerado o coeficiente de segurança na força a ser aplicada.

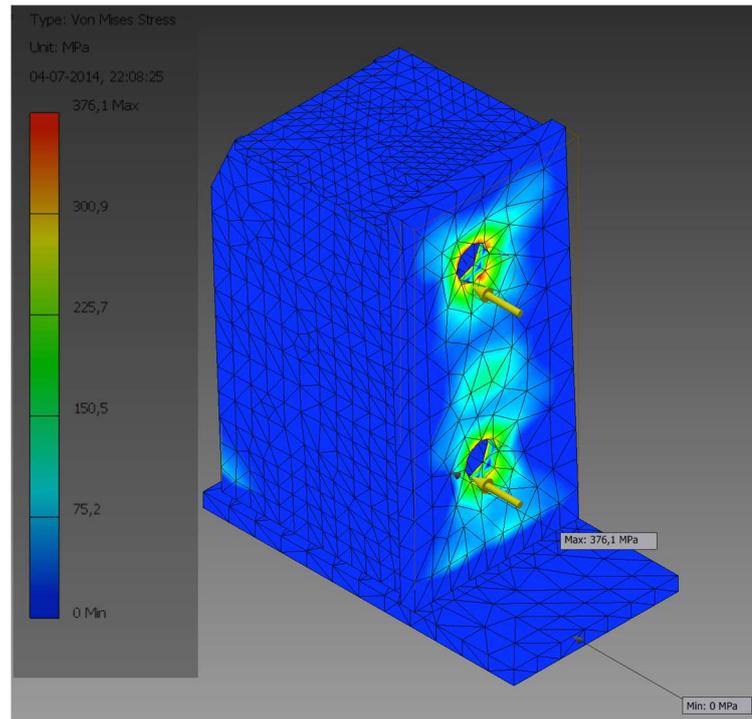


Figura 12 - Análise de tensões
FONTE: Elaborado pelo autor, 2019

Para esta chapa de topo, embora a tensão máxima seja de 376.1, opta-se pela qualidade do aço S355 (tensão de cedência de 355 MPa), pois a tensão máxima só é necessária na região do furo e o hidráulico é fornecido com uma chapa de topo e 8 parafusos. Esta chapa de topo do hidráulico irá aumentar a área de aplicação da força e, conseqüentemente diminuir a tensão na região do furo.

Para a restante estrutura opta-se pelo aço S275 (tensão de cedência de 275 MPa), embora poderia ter um aço com a tensão de cedência ainda mais baixa, mas optou-se por este pois é o mais baixo no mercado para as espessuras apresentadas.

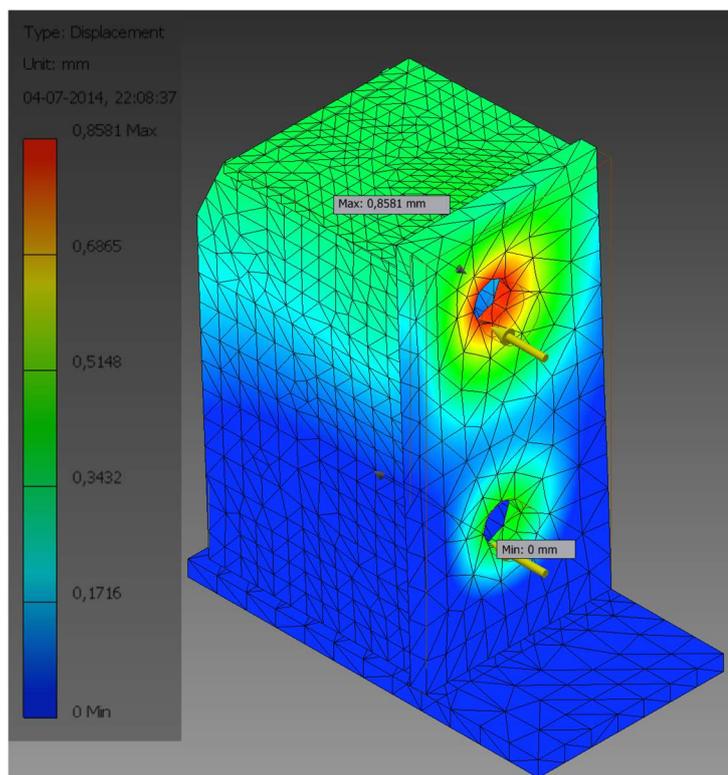


Figura 13 - Análise do deslocamento
FONTE: Elaborado pelo autor, 2019

Quando foi calculado o momento de inércia a instalar, optou-se por um deslocamento máximo no topo da coluna de 1 mm. Com a análise do deslocamento verificou-se que o deslocamento é menor em cerca de 15%, por isso pode-se dizer que está verificado, quer a nível de deslocamento como a nível de resistência.

Para reduzir a deformação das almas laterais, foi introduzido uma nervura interior a meia altura. Esta nervura ajuda a que as almas não encurvem e consequentemente aumentem a sua rigidez.

5.3.2 Dimensionamento da Chapa de Encosto

5.3.2.1 Dimensionamento

Para o dimensionamento da chapa de encosto recorre-se ao livro de Resistência dos Materiais da editora McGraw-Hill (BEER; JOHNSTON JR.; DEWOLF, 2006), onde tem-se:

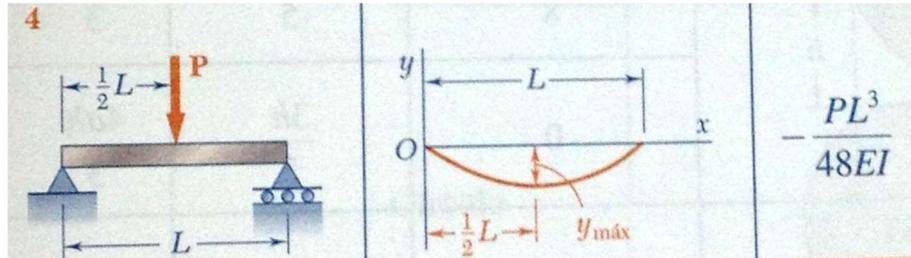


Figura 14 - Cálculo da Inércia
FONTE: Beer, Johnston Jr e DeWolf (2006).

É possível observar que o pior caso possível é quando a chapa de encosto está apoiada só na extremidade, com a força a atuar ao centro. Com este pressuposto calcula-se a espessura da chapa a usar.

$$y_{\text{máx}} = \frac{PL^3}{48EI} \Leftrightarrow I = \frac{PL^3}{48Ey_{\text{máx}}} = \frac{252000 \times 0,350^3}{48 \times 200 \times 10^9 \times 0,0075} = 1,496 \times 10^{-6} \text{m}^4 \quad (15)$$

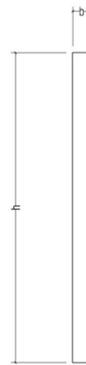


Figura 15 - Secção da Chapa de Encosto
FONTE: Elaborado pelo autor, 2019

$$I = \frac{1}{12}bh^3 \Leftrightarrow h = \sqrt[3]{\frac{12I}{b}} = \sqrt[3]{\frac{12 \times 1,496 \times 10^{-6}}{0,350}} = 0,0372 \text{ m} = 37 \text{ mm} \quad (16)$$

A espessura a usar na chapa de encosto é de 37 mm. Como esta espessura não é standard, opta-se por usar uma espessura de 40 mm.

5.3.2.2 Verificação

Embora a chapa de encosto irá estar completamente encostada e a força aplicada pelo esforço de encosto será dividida pela sua área total, na análise por elementos finitos optou-se por ter apenas as 4 arestas fixas.

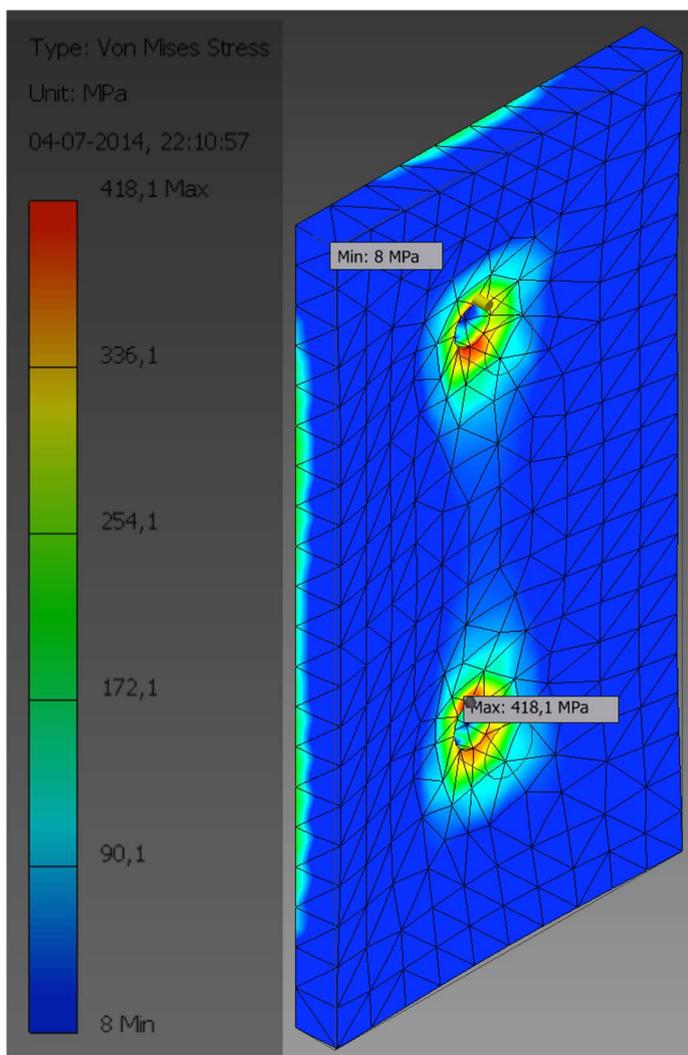


Figura 16 - Análise de tensões
FONTE: Elaborado pelo autor, 2019

Pela figura acima observa-se que esta chapa de encosto terá que ser construída em aço S460 (tensão de cedência de 460 MPa) para manter a espessura de 40mm. Para reduzir a qualidade do aço é necessário aumentar a espessura e refazer a análise.

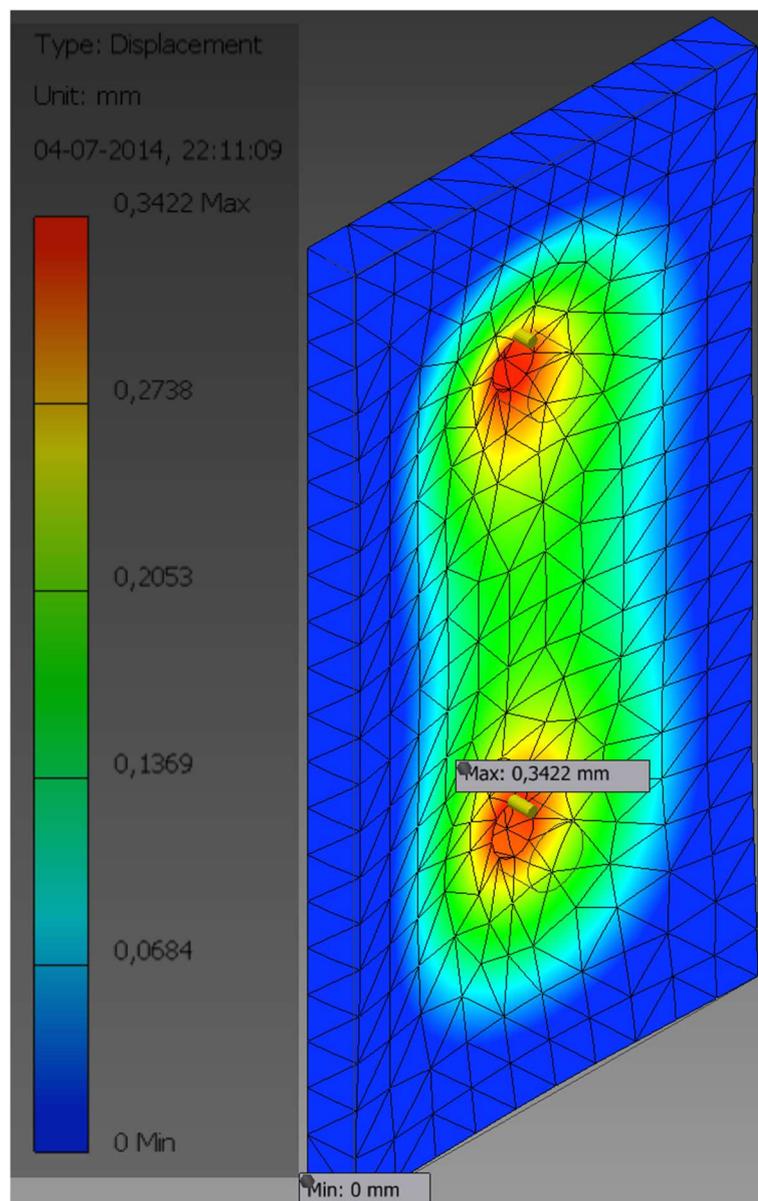


Figura 17 - Análise de rigidez
FONTE: Elaborado pelo autor, 2019

Aquando do cálculo da espessura mínima da chapa, definiu-se um deslocamento máximo de 0,75 mm. Com a análise em cima, esse deslocamento não passou dos 0,342 mm. Isto devesse essencialmente à não equivalência dos pontos de apoio nas 2 análises. No entanto, pode-se dizer que as 2 análises são válidas pois ambas são muito conservadoras.

5.3.3 Dimensionamento da Viga

5.3.3.1 Dimensionamento

Para o dimensionamento da viga considera-se que está sujeita a flexão pura, uma vez que tem um momento em cada extremidade com sentidos contrários. Para se poder escolher o perfil é necessário calcular o momento de resistência à flexão, W , através da equação em baixo.

$$\sigma_{ced} = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} \quad (17)$$

O problema prende-se por existir duas incógnitas associadas ao perfil que se pretende (A e W).

Para isto calcula-se o W primeiro para escolher o perfil capaz de suportar o momento fletor.

$$\sigma_{ced} = \frac{M}{W} \Leftrightarrow W = \frac{M}{\sigma_{ced}} = \frac{178398}{275 \times 10^6} = 648,720 \times 10^{-6} m^3 = 648,720 cm^3 \quad (18)$$

Com o W calculado, consulta-se a tabela abaixo para optar pelo perfil. O W foi calculado para o eixo forte do perfil, W_x . A tabela em baixo é de fabricante europeu.

Tabela 7 - Propriedades Perfil HEA

	h	b	s	t	r			Jx	Jy	Wx	Wy	ix	iy
HEA 220	210,0	220,0	7,0	11,0	18,0	64,3	50,5	5410,0	1950,0	515,0	178,0	9,2	5,5
HEA 240	230,0	240,0	7,5	12,0	21,0	76,8	60,3	7760,0	2770,0	675,0	231,0	10,1	6,0
HEA 260	250,0	260,0	7,5	12,5	24,0	86,8	68,2	10450,0	3670,0	836,0	282,0	11,0	6,5

FONTE: ArcelorMittal, 2019.

Optou-se pelo perfil HEA240, que tem uma Área de 76,8 cm².

Voltando ao cálculo incluindo a força normal com o A e W do perfil escolhido.

$$\sigma_{ced} = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = \frac{2 \times 252000}{76,8 \times 10^{-4}} + \frac{178398}{648,720 \times 10^{-6}} = 340,434 MPa \quad (19)$$

O perfil escolhido, HEA240, teria de ter a qualidade S355 (tensão de cedência de 355 MPa). Mas seria interessante reduzir a qualidade devido aos custos e por isso repetiu-se os cálculos em processo iterativo até ao HEA280 conforme cálculo em baixo.

$$\sigma_{ced} = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = \frac{2 \times 252000}{97,3 \times 10^{-4}} + \frac{178398}{1010 \times 10^{-6}} = 228,279 MPa \quad (20)$$

Com o HEA280 é possível baixar a qualidade do perfil para S235 (tensão de cedência de 235 MPa).

Tabela 8 - Propriedades Perfil HEA

	h	b	s	t	r			Jx	Jy	Wx	Wy	ix	iy
HEA 220	210,0	220,0	7,0	11,0	18,0	64,3	50,5	5410,0	1950,0	515,0	178,0	9,2	5,5
HEA 240	230,0	240,0	7,5	12,0	21,0	76,8	60,3	7760,0	2770,0	675,0	231,0	10,1	6,0
HEA 260	250,0	260,0	7,5	12,5	24,0	86,8	68,2	10450,0	3670,0	836,0	282,0	11,0	6,5
HEA 280	270,0	280,0	8,0	13,0	24,0	97,3	76,4	13670,0	4760,0	1010,0	340,0	11,9	7,0
HEA 300	290,0	300,0	8,5	14,0	27,0	112,0	88,3	18260,0	6310,0	1260,0	421,0	12,7	7,5

FONTE: ArcelorMittal, 2019.

5.3.3.2 Verificação

Uma vez que os banzos deformavam, obrigava a que a coluna tivesse um deslocamento superior ao permitido. Para isto teve-se de alterar a viga para HEA300, colocar uma chapa de reforço por cima do banzo da viga (caso contrário seria necessário aumentar ainda mais a viga e iria trazer complicações na fabricação devido à altura da viga) e colocar 4 nervuras em locais de transmissão de esforços. Com isto, garante-se o deslocamento máximo de 1 mm no topo superior da coluna conforme mostrado em baixo (figura 19).

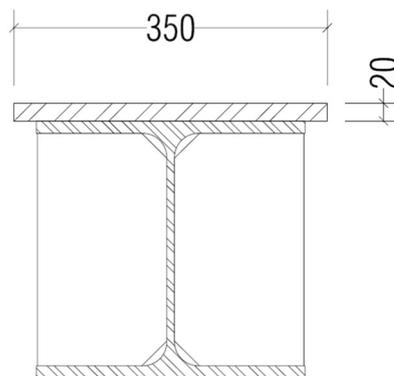


Figura 18 - Secção Final da Viga HEA300 com chapa de reforço
FONTE: Elaborado pelo autor, 2019

Em consequência das alterações feitas, resultou a análise final em Autocad Inventor.

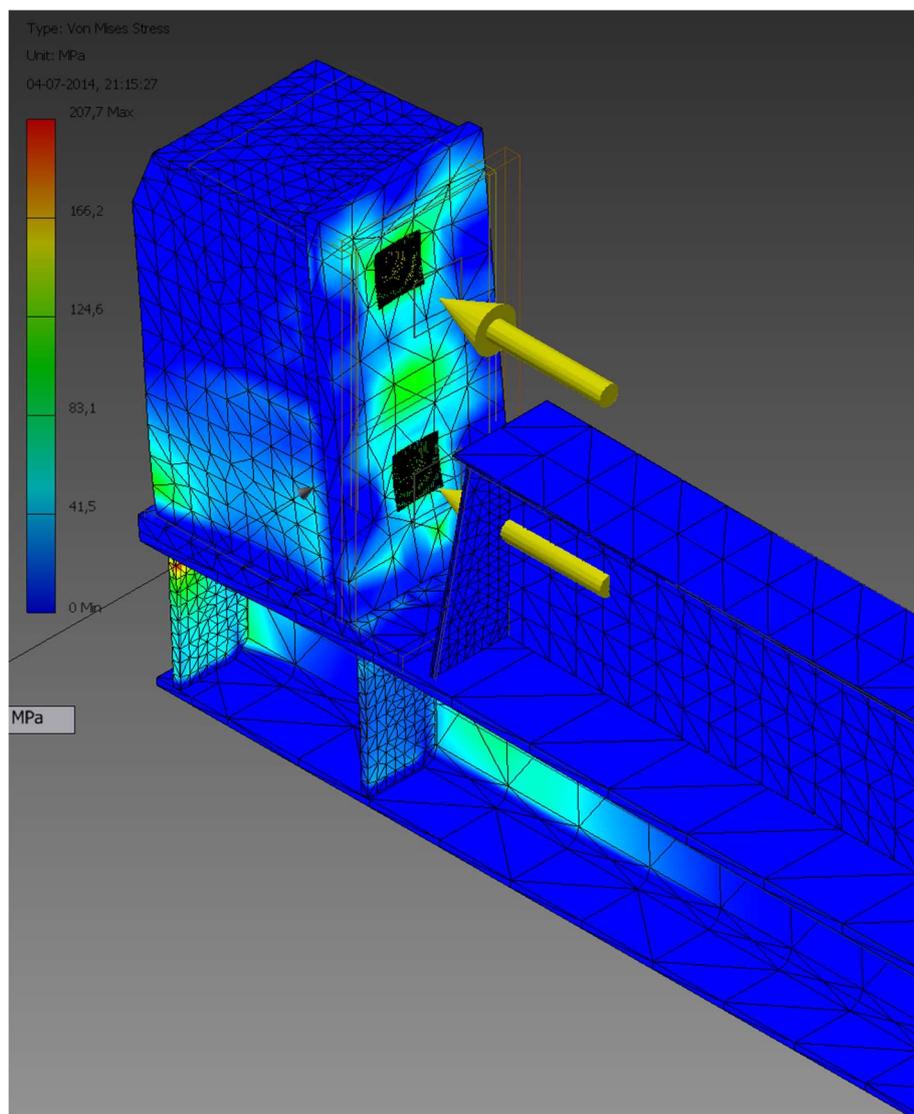


Figura 19 - Análise de tensões
FONTE: Elaborado pelo autor, 2019

Na figura acima observa-se que a qualidade do aço da viga, chapa de reforço à viga e os cutelos pode ser S275. Ainda assim tem-se alguma margem quando se fala em tensão de cedência.

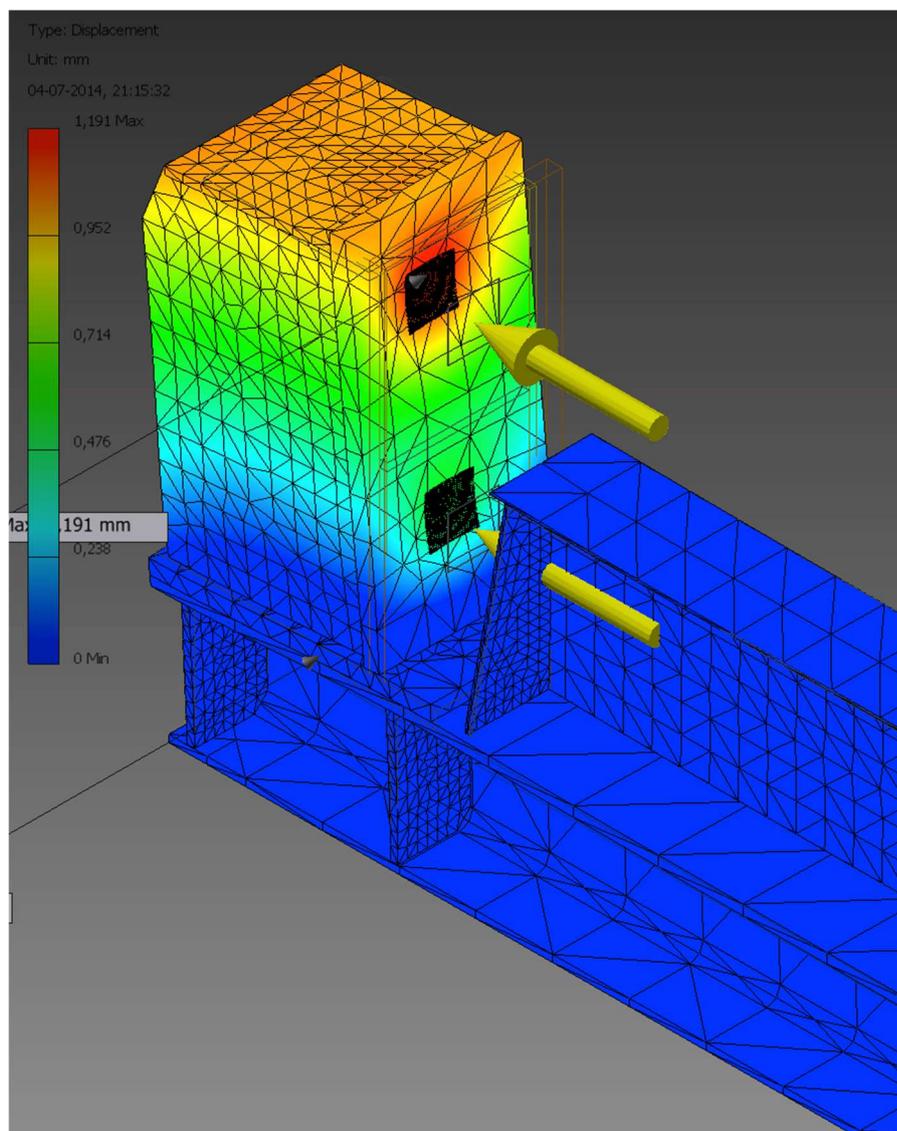


Figura 20 - Análise de rigidez
FONTE: Elaborado pelo autor, 2019

O objetivo é manter o deslocamento do topo superior da coluna abaixo de 1 mm. Na análise em cima, observa-se que o deslocamento máximo é de 1,191mm mas não se considera preocupante pois é numa região central da chapa, onde tem-se a força aplicada, mas neste caso pode-se considerar que a força aplicada vai ser por toda a chapa e a deformação vai ser menor.

Em todo o caso, o topo da coluna só tem um deslocamento de, aproximadamente, 0,952 mm que está abaixo do valor máximo permitido.

5.3.4 Dimensionamento do Apoio da Alma

5.3.4.1 Dimensionamento

Para facilitar a fabricação, a mesa de armação tem que ter um apoio para a alma do perfil a fabricar. Para isso, dimensionou-se o sistema em baixo assumindo que a carga a ser aplicada é o peso próprio da alma.

Cálculo do peso próprio da alma:

$$m = V \times \rho = A \times esp \times \rho = 2000 \times 2400 \times 16 \times 7850 \times 10^{-9} = 602,88 \text{ kg} \quad (21)$$

Cálculo da força exercida pela alma:

$$F = ma = 602,88 \times 9,81 = 5914 \text{ N} = 5,914 \text{ kN} \quad (22)$$

Cálculo da força exercida pela alma com coeficiente de segurança:

$$F = F \times CS = 5,914 \times 3 = 17743 \text{ N} = 17,743 \text{ kN} \quad (23)$$

Uma vez que esta força vai estar distribuída ao longo de 2200 mm, opta-se por a transformar em pressão. Para isso é necessário saber a área e assumir desde início que o apoio que vai encostar diretamente à alma tem uma área de $2200 \times 200 = 440000 \text{ mm}^2 = 0,44 \text{ m}^2$ e assim a pressão é:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{17743}{0,44} = 40325 \text{ Pa} = 40,325 \text{ kPa} \quad (24)$$

Pode-se dizer que a pressão exercida pela alma é muito reduzida, o que implica uma espessura de chapa também reduzida. Foi opção fazer a simulação com chapa de espessura de 5 mm.

5.3.4.2 Verificação

Após a verificação pelo método dos elementos finitos, observou-se que a espessura da chapa é suficiente, e que é possível utilizar um aço com baixa tensão de cedência. Foi opção optar por aço com tensão de cedência de 235 MPa, S235 (apenas seria necessário aço com 20 MPa de tensão de cedência). Este aço ainda existe em espessuras reduzidas, abaixo de 6 mm.

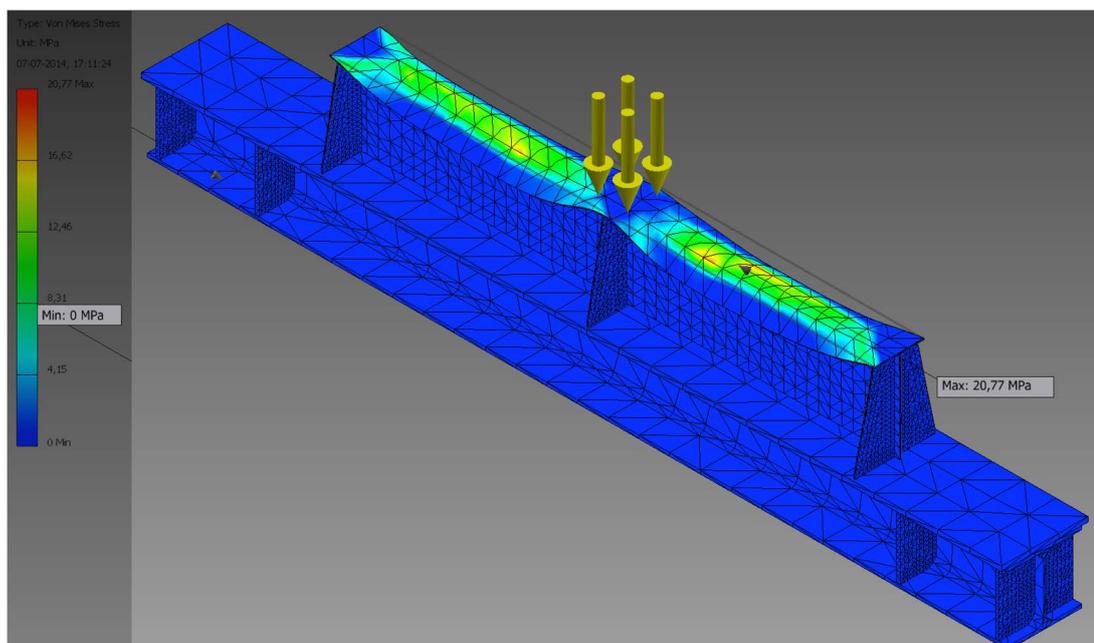


Figura 21 - Análise de tensões
FONTE: Elaborado pelo autor, 2019

Pode-se verificar também que o deslocamento, na região mais desfavorável (entre nervuras), é de 0,189 mm, o que está muito abaixo do máximo permitido. Embora a região central do apoio não tenha qualquer deslocamento.

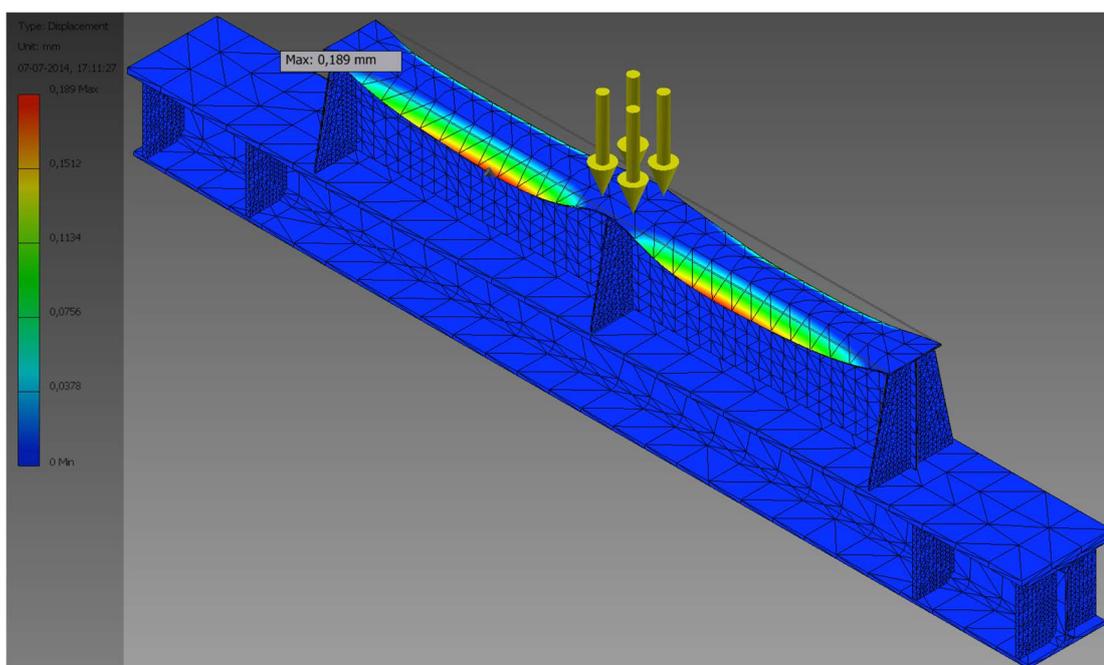


Figura 22 - Análise de rigidez
FONTE: Elaborado pelo autor, 2019

6 RESULTADOS

6.1 COLUNA

Aqui foi concluído que a tensão máxima na chapa da coluna é de 376MPa e que a chapa escolhida após os cálculos foi de material S355, o que representa uma tensão de cedência de 355MPa, acima do necessário.

Verificou-se também que o deslocamento máximo é de 0,85mm, valor abaixo do admissível que é de 1mm.

6.2 CHAPA DE ENCOSTO

Nesta parte da estrutura verificou-se que a tensão máxima na chapa de encosto é de 418,9MPa e que a chapa escolhida após os cálculos era de material S460, o que representa uma tensão de cedência de 460MPa, acima do necessário.

Verificou-se também que o deslocamento máximo é de 0,34mm, valor abaixo do admissível que é de 0,75mm.

6.3 VIGA

A viga que liga as duas colunas é submetida a uma tensão máxima de 207,7MPa e que o aço escolhido é um S275, o que representa uma tensão de cedência de 275MPa, acima do necessário.

Verificou-se também que o deslocamento máximo é de 1,19mm, valor ligeiramente acima do definido, mas ainda dentro dos parâmetros exigidos.

6.4 APOIO DA ALMA

A chapa de apoio à alma da viga a ser construída fica submetida a uma tensão máxima de 20Mpa, para esta parte estrutural foi definido um aço S235 de tensão de cedência de 235MPa, o que se verifica de igual modo.

Relativamente ao deslocamento admissível de 1mm, verificou-se que o deslocamento máximo é de 0,189mm que verifica também a escolha.

7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE MELHORIA

Este trabalho desenvolveu-se principalmente sobre a viabilidade do equipamento, de acordo com as especificações. Foi tido em consideração materiais de mercado, com qualidades de aço que estejam disponíveis e que sejam fáceis de trabalhar. O valor de aquisição do equipamento é uma variável de grande importância, neste caso a empresa necessitada deste equipamento tem facilidade em fabricar grande parte do equipamento, sendo que o restante poderá adquirir e instalar sem necessidade de recorrer a terceiros.

De salientar que o equipamento foi pensado de forma a que a manutenção seja de fácil execução e que tenha um custo reduzido.

Uma proposta de melhoria a este trabalho passa por apresentar todos os cálculos de soldadura, seria também interessante substituir algumas soldaduras por ligações aparafusadas, principalmente na ligação dos módulos à base, para facilitar a montagem. No fabrico do produto final, Viga "I", o operador tem de utilizar ferramentas de medição auxiliares, algumas delas poderiam estar já disponíveis no equipamento. Um requisito de qualidade é a perpendicularidade da alma com os banzos, se estivesse adaptado um aparelho de medição do tipo "nível óptico", seria uma mais valia para o operador e consequentemente para a eficiência do equipamento.

Com este trabalho é possível criar um método de análise e projeto de equipamentos metalomecânicos, seguindo todo o fluxo de dimensionamento e verificações necessárias.

REFERÊNCIAS

ARCELORMITTAL. **Wide flange beams – HE**: Section properties - Dimensions and properties, 2019.

BEER, F. P.; JOHNSTON JR., E. R.; DEWOLF, J. T. **Resistência dos Materiais**. 4ª ed. McGraw-Hill, 2006.

BOSCH REXROTH AG. Industrial Hydraulics. **Hydraulic cylinders Mill type**. Lohr am Main, 2019a.

_____. **Hydraulic drive power unit Low noise compact unit “Wispering power unit”**. Lohr am Main, 2019b.

_____. **Hydraulic cylinders tie-rod design**. Lohr am Main, 2019c.

BSSA. BRITISH STAINLESS STEEL ASSOCIATION. **Tolerances to EN 10029 for hot rolled plate 3mm and above**, 2018. Disponível em: <<https://www.bssa.org.uk/topics.php?article=289>>. Acesso em 12 mai. 2019.

HAMROCK, B. J.; JACOBSON, B. O.; SCHMID, S. R. **Elementos de Máquinas**. Cidade do México: McGraw-Hill, 2000.

SHIGLEY, J. E.; MISCHKE, C. R.; BUDYNAS, R. G. **Projeto de Engenharia Mecânica**, 7ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

ANEXO 1 – COMPONENTES UNIDADE HIDRÁULICA

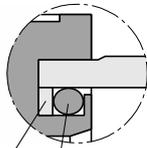
Position number	Material number	Short text	Quantity	Unit of measure	Standard designation
0.10	R901029093	OIL RESERVOIR ABZBR- 60/09-B 1 A/M	1	Unit	AB40-09
0.12	R900007824	OIL GAUGE AB31-21/127	1	Unit	AB31-21
0.14	R928018808	AIR FILTER FEF 0 P10-F00	1	Unit	RD51413
0.15	R928025992	RETURN FILTER 10TEN0063-H10XLA00-V2,2-M-R3-R150	1	Unit	RD51424
0.30	R900932271	INTERNAL GEAR PUMP PGF2-2X/011RE01VE4	1	Unit	RD10213
0.32	R900325769	COUPLING AB33-22/KD 24-20/28-98	1	Unit	AB33-22
0.33	R901296224	ASYNCHRON.MOTOR,3-PHASE MOT-EC-ET2-B5-112M-4-5CB-4-A3T-HOY	1	Unit	ZN10601-1
0.35	R900025980	BELL HOUSING AC PBR 80B-4H/A 250/124-1X/DH-AL	1	Unit	AB33-37
0.51	R900827585	PRESSURE CONTROL UNIT AB04215/10-100SM1	1	Unit	AB42-15

FONTE: Bosch Rexroth AG, 2019b.

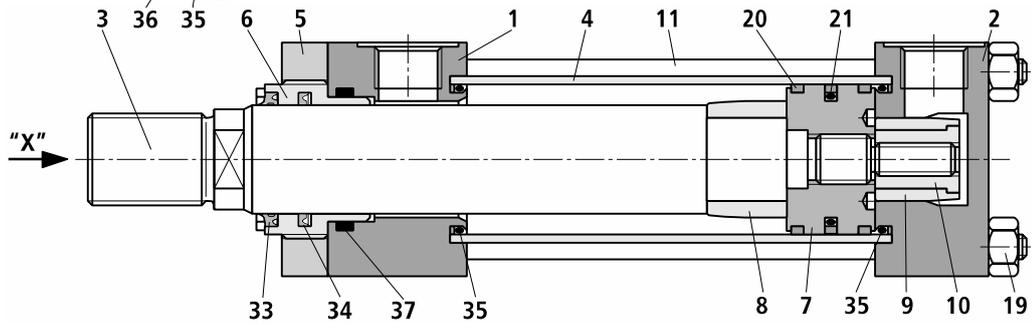
ANEXO 2 – COMPONENTES CILINDRO HIDRÁULICO

Spare parts drawing

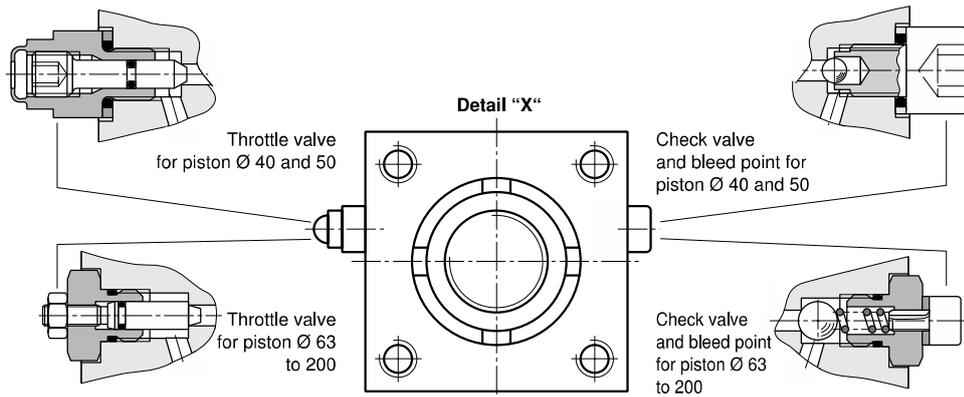
Variant for piston Ø 40 to 200



- | | | | |
|-------------------|---------------------|------------------------------|--------------------|
| 1 Head | 6 Guide bush | 11 Tie rod | 33 Wiper |
| 2 Cap | 7 Piston | 19 Nut | 34 Piston rod seal |
| 3 Piston rod | 8 Cushioning bush | 20 Guide band | 35 Seal ring |
| 4 Cylinder barrel | 9 Cushioning bush | 21 Piston seal (variant "T") | 36 Back-up ring |
| 5 Flange | 10 Threaded bushing | | 37 Seal ring |

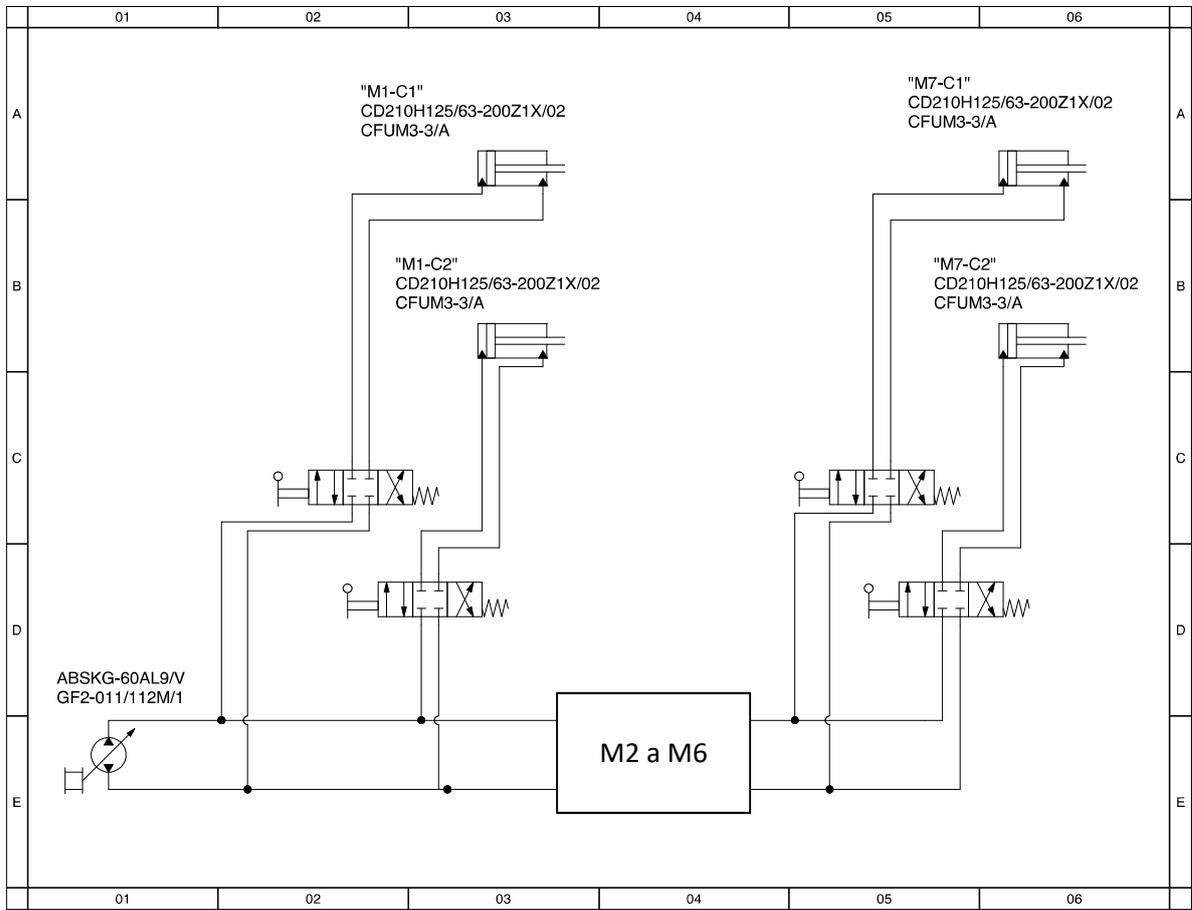


Throttle and check valve in cylinder head and cylinder cap



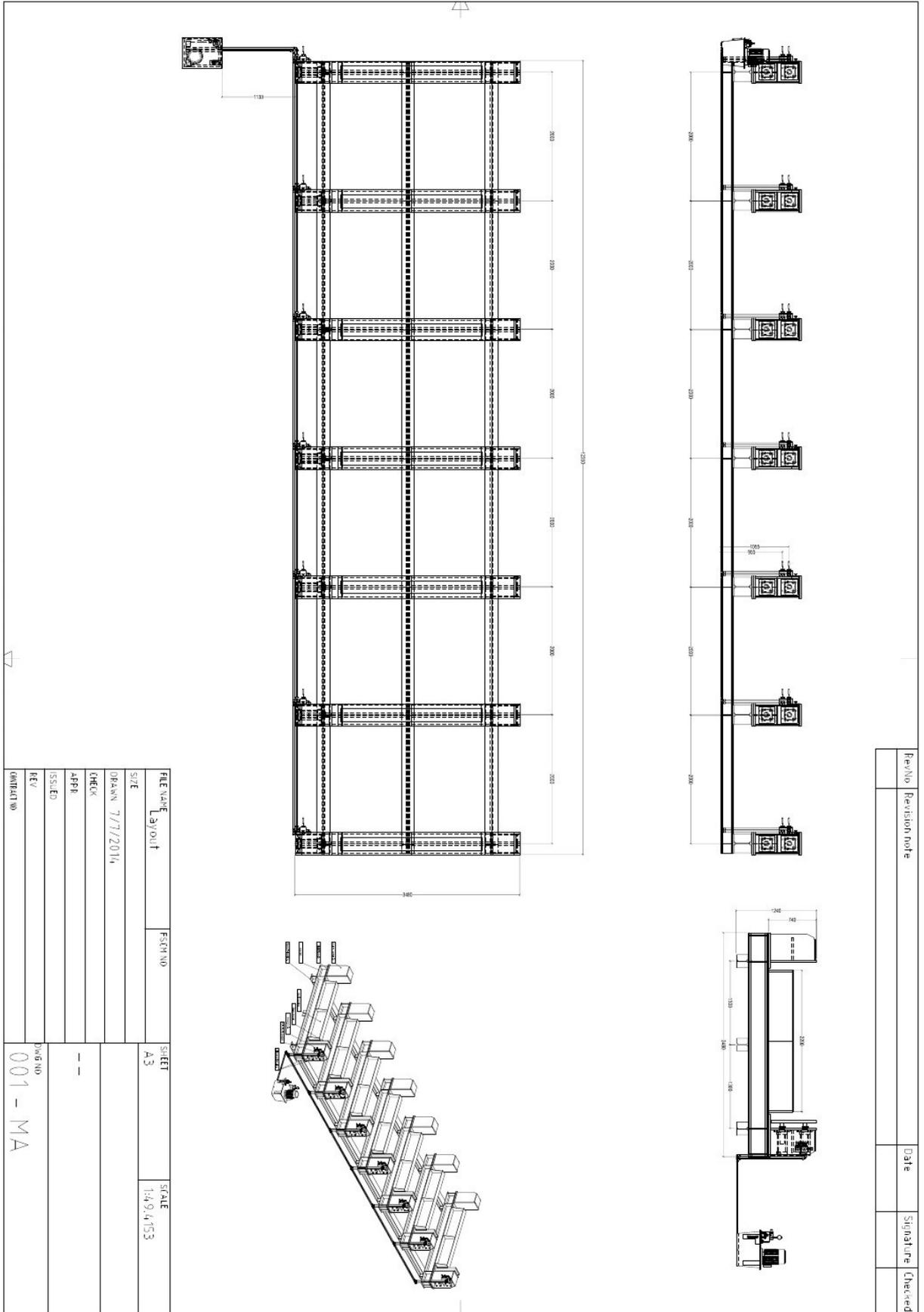
FONTE: Bosch Rexroth AG, 2019a.

ANEXO 3 – ESQUEMA HIDRÁULICO



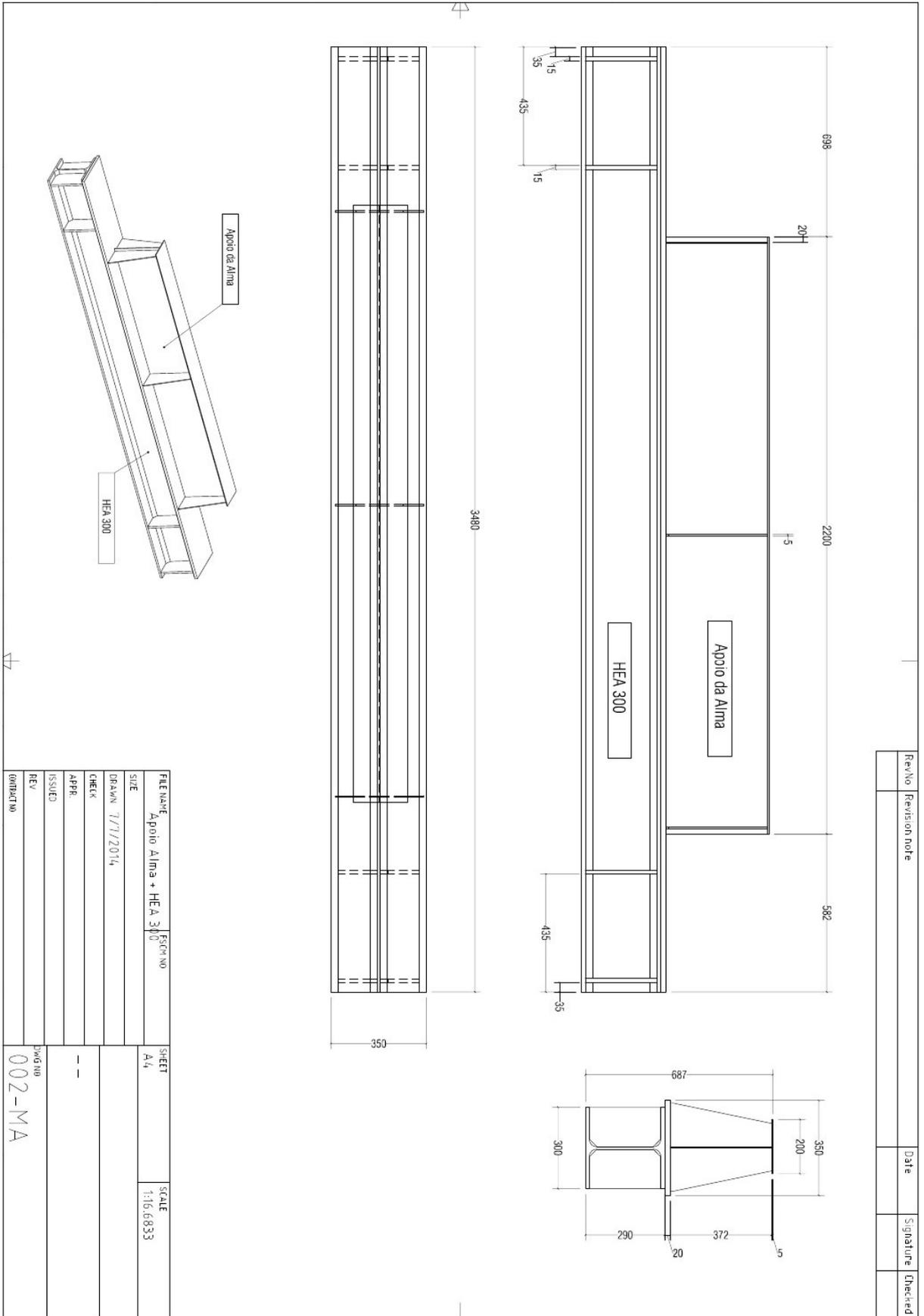
FONTE: Elaborado pelo autor, 2019

ANEXO 4 – DESENHOS SUB-CONJUNTOS 1



Revizão	Revision note	Date	Signature	Checked

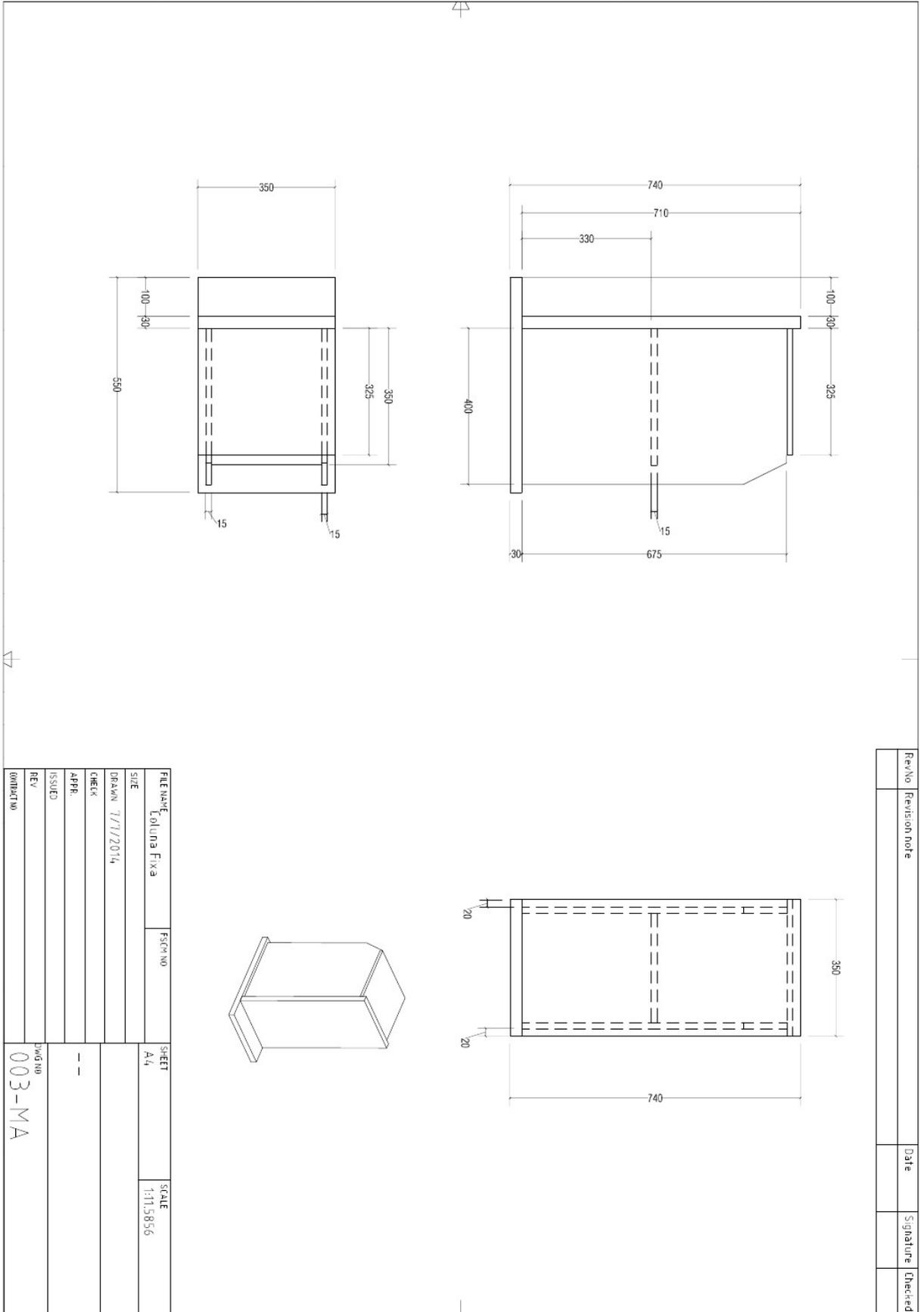
ANEXO 5 – DESENHOS SUB-CONJUNTOS 2



Revisto	Revision note	Date	Signature	Checked

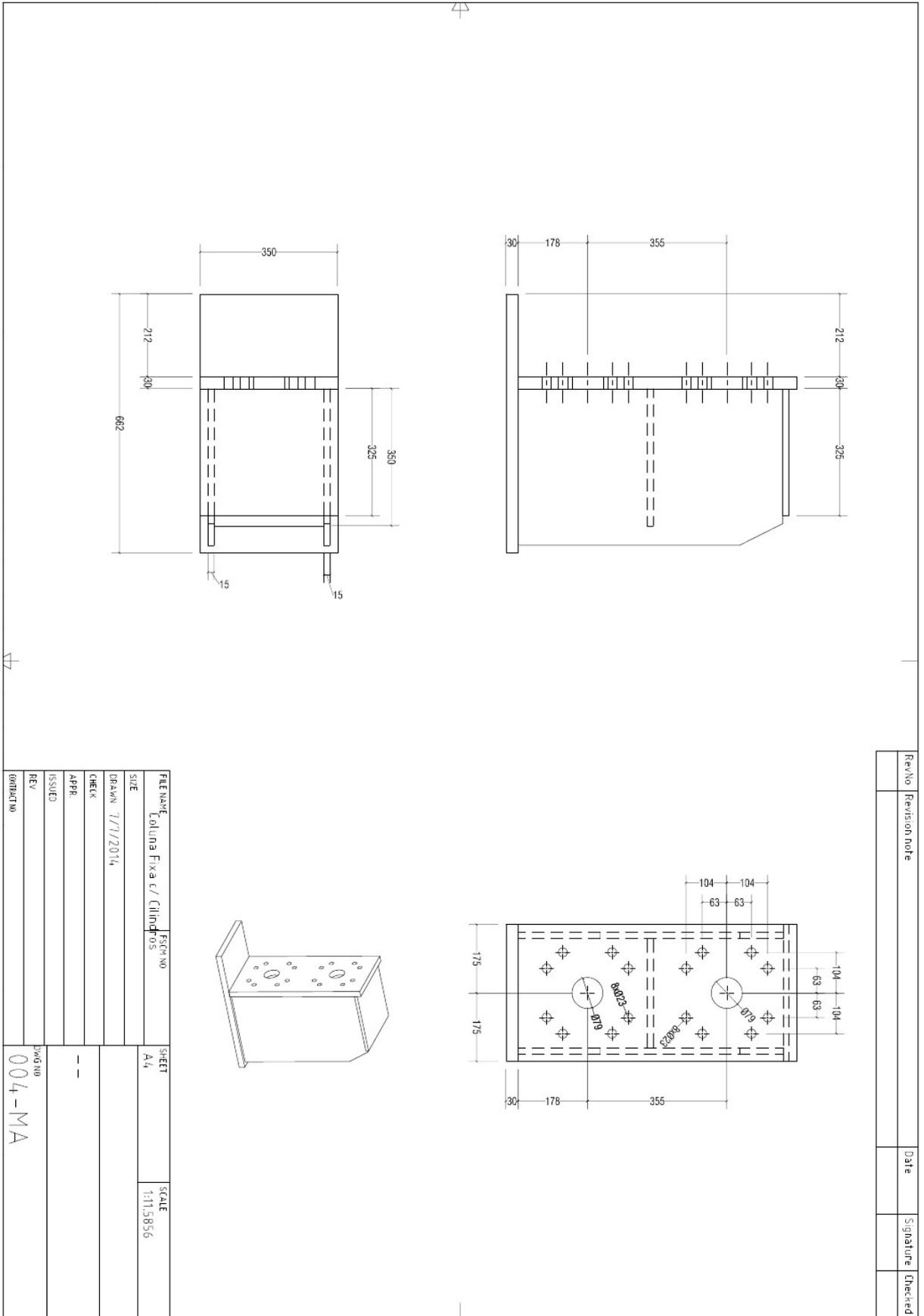
FILE NAME	Apóio Alma + HEA 300	ESCH. NO	SHEET	SCALE
SIZE			A4	1:16,6833
DRAWN	17/1/2014			
CHECK				
APPR.				
ISSUED				
REV				
(CONTINUA)			002-MA	

ANEXO 6 – DESENHOS SUB-CONJUNTOS 3



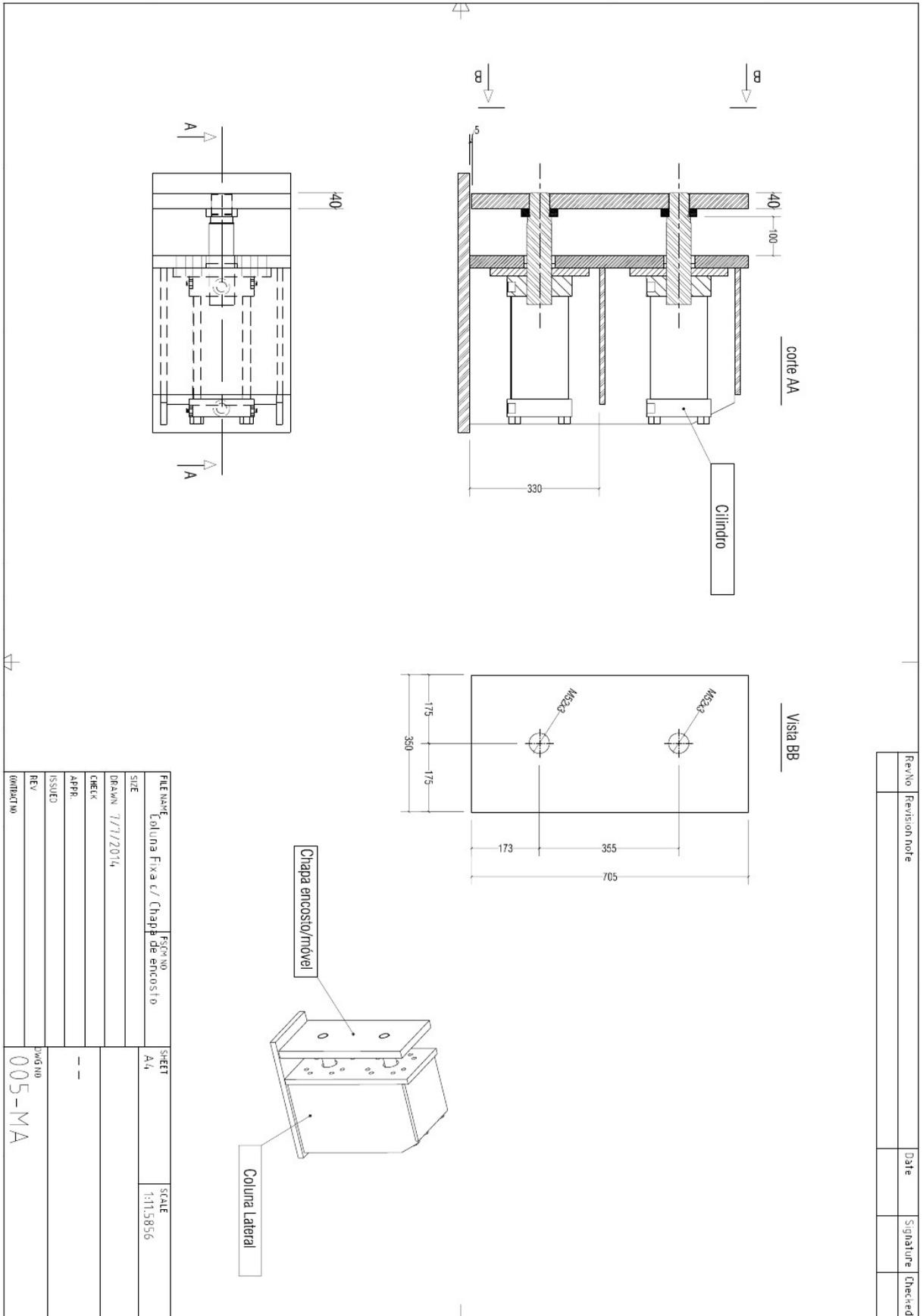
Rev/No	Revision note	Date	Signature	Checked
--------	---------------	------	-----------	---------

ANEXO 7 – DESENHOS SUB-CONJUNTOS 4



Rev/No	Revision note	Date	Signature	Checked

ANEXO 8 – DESENHOS SUB-CONJUNTOS 5



FONTE: Elaborado pelo autor, 2019