

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
PROJETO DE GRADUAÇÃO**

**PRENSA HIDRÁULICA PARA FABRICAÇÃO DE  
TIJOLOS SOLO - CIMENTO**

SILVAN OLIOSA PARIZ

WELDER ALONSO PIRES

Vitória – ES, Março de 2005.

**SILVAN OLIOSA PARIZ  
WELDER ALONSO PIRES**

**PRENSA HIDRÁULICA PARA FABRICAÇÃO DE  
TIJOLOS SOLO - CIMENTO**

Projeto de Graduação apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo como requisição parcial para obtenção do grau de Engenheiro Mecânico.

Vitória – ES, Março de 2005.  
**SILVAN OLIOSA PARIZ**  
**WELDER ALONSO PIRES**

## **PRENSA HIDRÁULICA PARA FABRICAÇÃO DE TIJOLOS SOLO - CIMENTO**

COMISSÃO EXAMINADORA

---

**Prof. Dr. Marcos Aurélio Scopel Simões**  
**Orientador**

---

**Prof. Dr. Fernando César Meira Menandro**  
**Examinador**

---

**Prof. Dr. Vladmir Ivanovitch Dynnikov**  
**Examinador**

Vitória – ES, Março de 2005.

*Dedicamos este trabalho aos nossos  
professores, aos nossos pais, familiares,  
amigos e colegas de curso e a todos aqueles  
que de alguma forma contribuíram para  
realização deste trabalho.*

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos os professores e colegas que durante o curso de graduação, em Engenharia Mecânica, ajudaram-nos a enfrentar e vencer todos os obstáculos que a vida profissional nos impõe.

Agradecemos ao Professor Dr. Fernando Musso, do departamento de Engenharia Civil da Ufes, por ter nos cedido todas as informações necessárias sobre a prensa hidráulica atual, assim como detalhes técnicos e sobre a legislação (normas NBR) existente.

Agradecemos ao engenheiro Renato Pimentel, funcionário da *Toledo do Brasil* que nos auxiliou na elaboração dos *Data-Sheet's*, especificando assim a Calha Dosadora e o Silo de Alimentação.

Agradecemos ao Professor Dr. Fernando C. M. Menandro por ter nos auxiliado no quesito referente à concepção estrutural da prensa hidráulica, assim como os colegas de curso Jabes Amorim e Paulo Maurício por ter nos auxiliado na especificação da solda.

Finalmente, agradecemos ao Professor Dr. Marcos Aurélio Scopel Simões que nos orientou durante a idealização e execução deste projeto.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1	Objetivo .....	16
1.2	Estrutura do Trabalho.....	17
<b>2</b>	<b>ANÁLISE DAS NECESSIDADES .....</b>	<b>18</b>
2.1	Identificação do Objetivo Final do Sistema de Produção Automatizado de Tijolos de Solo-Cimento.....	18
2.1.1	Produto a Ser Fabricado – Tijolo Maciço de Solo-Cimento .....	18
2.1.1.1	Definição .....	18
2.1.1.2	Matéria Prima .....	19
2.1.1.3	Dimensões Nominais.....	22
2.1.1.4	Reentrâncias .....	22
2.1.2	Viabilidade do Produto.....	24
2.1.3	Aplicabilidade .....	25
2.1.4	Público Alvo do Sistema de Produção Automatizado de Tijolos de Solo-Cimento .....	26
2.1.5	Equipamento Atual.....	26
2.1.6	Premissas Operacionais.....	31
2.1.6.1	Dimensões Nominais dos Tijolos.....	31
2.1.6.2	Estimativa da Massa Específica da Mistura de Solo-Cimento.....	31
2.1.6.3	Pressão / Força de Trabalho sobre a Mistura na Prensagem.....	32
2.1.6.4	Pressão no Sistema Hidráulico .....	33
2.1.6.5	Produção Diária.....	33
2.2	Estudo do Sistema de Produção Automatizado de Tijolos de Solo-Cimento, Equipamentos e Instalações .....	34
2.2.1	Diagrama Funcional do Sistema de Produção Automatizado de Tijolos de Solo-Cimento .....	34
2.2.2	Diagramas de Passos .....	36
2.2.3	Diagramas Hidráulico e Elétrico .....	38

2.2.4	Lista de Equipamentos do Sistema de Produção Automatizado de Tijolos de Solo-Cimento.....	41
2.2.4.1	Lista de Equipamentos do Sistema Hidráulico .....	41
2.2.4.2	Outros Equipamentos da Prensa Hidráulica.....	42
2.2.5	Funções e Características Principais dos Equipamentos do Sistema de Produção Automatizado de Tijolos de Solo-Cimento.....	42
<b>3</b>	<b>LEVANTAMENTO E ANÁLISE DAS FUNÇÕES DE CONTROLE.....</b>	<b>48</b>
3.1	Diagrama de Operação da Prensa Hidráulica .....	48
3.1.1	Seqüência de operações a serem realizadas em modo de operação manual	51
3.2	Informações de Entrada e Saída.....	51
3.2.1	Prensa Hidráulica .....	52
3.2.2	Banco de Relés .....	52
3.2.3	PLC.....	53
3.3	Estruturação das Funções de Controle .....	53
<b>4</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS .....</b>	<b>56</b>
4.1	Cilindro Hidráulico de Prensagem - Cálculos Preliminares .....	56
4.2	Cálculo da Bomba de Engrenagens e Motor Elétrico.....	57
4.3	Cilindro Hidráulico de Prensagem - Cálculos Finais.....	60
4.3.1	Cálculo da Força no Avanço e Retorno do Cilindro Hidráulico de Prensagem .....	61
4.3.2	Cálculo dos Tempos do Cilindro Hidráulico de Prensagem .....	61
4.4	Cilindro Hidráulico da Calha de Escoamento.....	62
4.4.1	Cálculo da Força no Avanço e Retorno do Cilindro Hidráulico da Calha de Escoamento .....	63
4.4.2	Cálculo dos Tempos do Cilindro Hidráulico da Calha de Escoamento .....	63
4.5	Cilindro Hidráulico da Tampa Inferior da Forma.....	64
4.5.1	Cálculo da Força no Avanço e Retorno do Cilindro Hidráulico da Tampa Inferior da Forma .....	65
4.5.2	Cálculo do tempo no Cilindro da Tampa Inferior da Forma.....	65

4.6	Cálculo do Tempo Total e Produção do Sistema de Produção Automatizado de Tijolos de Solo-Cimento .....	66
4.7	Silo de Alimentação .....	67
4.8	Calha Dosadora .....	68
4.9	Reservatório de Óleo.....	69
<b>5</b>	<b>DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DA PRENSA HIDRÁULICA.....</b>	<b>71</b>
5.1	Critério de Fadiga.....	73
5.2	Chapa de Sustentação do Cilindro Hidráulico de Prensagem.....	74
5.3	Pórticos de Suporte .....	77
5.4	Tampa Inferior da Forma .....	78
5.5	Suportes da Tampa Inferior da Forma .....	82
5.6	Especificação da Viga H.....	85
5.7	Dimensionamento das Juntas Soldadas .....	87
<b>6</b>	<b>INFORMAÇÕES ADICIONAIS.....</b>	<b>89</b>
6.1	Processo de Cura dos Tijolos de Solo-Cimento.....	89
6.2	Produtividade e Custo de Obra .....	91
6.2.1	Produtividade.....	93
6.2.2	Custo da Obra .....	94
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>96</b>
7.1	Melhorias da Nova Concepção em Relação à Concepção Atual.....	96
7.1.1	Circuito Hidráulico.....	96
7.1.2	Automação do Processo .....	97
7.1.3	Operação da Prensa Hidráulica .....	97
7.1.4	Número de Operadores Envolvidos no Processo de Fabricação de Tijolos de Solo-Cimento: .....	98
7.1.5	Sistema de Dosagem da Mistura de Solo-Cimento.....	98
7.1.6	Estrutura da Prensa Hidráulica.....	98
7.1.7	Autonomia do Processo.....	99
7.2	Sugestões para Continuidade do Projeto.....	99
7.3	Conclusão .....	100



<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXO 1 - DATA SHEET SILO DE ALIMENTAÇÃO.....</b>	<b>107</b>
<b>ANEXO 2 - DATA SHEET CALHA DOSADORA .....</b>	<b>109</b>
<b>ANEXO 3 - TRANSPORTADOR DE CORREIAS .....</b>	<b>111</b>
<b>ANEXO 4 - SELEÇÃO DOS CILINDROS HIDRÁULICOS.....</b>	<b>112</b>
<b>ANEXO 5 - CROQUIS ADICIONAIS (VISTA LATERAL).....</b>	<b>115</b>
<b>ANEXO 6 - CROQUIS ADICIONAIS (VISTA FRONTAL).....</b>	<b>116</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tijolos Maciços de Solo-Cimento .....	18
Figura 2 - Reentrâncias no Tijolo de Solo-Cimento segundo NBR 8491 .....	23
Figura 3 - Prensa Hidráulica para Fabricação de Tijolos Solo-Cimento.....	26
Figura 4 - Detalhes da Máquina - Alavancas e Manômetro.....	27
Figura 5 - Detalhes da Máquina – Retirada Manual dos Tijolos.....	27
Figura 6 - Detalhes da Máquina - Silo de Alimentação .....	28
Figura 7 - Detalhes da Máquina - Bomba e Motor Elétrico (Vista Superior).....	28
Figura 8 – Diagrama do Circuito Hidráulico da Máquina.....	29
Figura 9 - Diagrama de Passos da Máquina .....	30
Figura 10 - Diagrama Funcional do Sistema de Produção Automatizado de Tijolos .....	34
Figura 11 - Diagrama de Passos da Nova Concepção.....	36
Figura 12 - Diagrama Hidráulico da Nova Concepção .....	39
Figura 13 - Diagrama Elétrico da Máquina.....	40
Figura 14 - Diagrama de Operação da Prensa Hidráulica .....	49
Figura 15 - Diagrama Estrutural das Funções .....	54
Figura 16 - Motor Elétrico IP 55 W21 .....	59
Figura 17 - Silo de Alimentação.....	68
Figura 18 - Calha Dosadora - Dimensões.....	69
Figura 19 - Reservatório de Geometria Prismática .....	70
Figura 20 - Nova Concepção de Prensa Hidráulica .....	72
Figura 21 - Carregamento da Chapa de Sustentação.....	75
Figura 22 - Diagrama de Esforço Cortante da Chapa de Sustentação.....	75
Figura 23 - Diagrama de Momento Fletor da Chapa de Sustentação.....	75
Figura 24 - Carregamentos Sobre os Pórticos de Suporte .....	78
Figura 25 - Carregamento da Tampa Inferior da Forma .....	80
Figura 26 - Diagrama de Esforço Cortante da Tampa Inferior da Forma .....	80
Figura 27 - Diagrama de Momento Fletor da Tampa Inferior da Forma .....	80
Figura 28 - Carregamento do Suporte .....	83
Figura 29 - Diagrama de Esforço Cortante do Suporte .....	83
Figura 30 - Diagrama de Momento Fletor do Suporte .....	83
Figura 31 - Painel de Controle da Câmara Úmida .....	90

Figura 32 - Lotes de Tijolos Demarcados .....	90
Figura 33 - Ventilador da Câmara Úmida .....	91
Figura 34 - Planta Baixa de Casa Popular .....	92
Figura 35 - Casas Construídas com Tijolos de Solo-Cimento .....	95

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensões Nominais do Tijolo segundo NBR 8491 .....	22
Tabela 2 - Lista de Equipamentos do Sistema Hidráulico .....	41
Tabela 3 - Outros Equipamentos da Prensa Hidráulica.....	42
Tabela 4 - Tabela de Dimensionamento da Bomba de Engrenagens .....	58
Tabela 5 - Flambagem em Cilindros Hidráulicos.....	62
Tabela 6 - Fatores para Determinação da Tensão de Fadiga na Chapa de Sustentação.....	74
Tabela 7 - Fatores para Determinação da Tensão de Fadiga nos Pórticos de Suporte.....	77
Tabela 8 - Fatores para Determinação da Tensão de Fadiga na Tampa Inferior da Forma .	79
Tabela 9 - Fatores para Determinação da Tensão de Fadiga nos Suportes .....	82
Tabela 10 - Tabela de Bitolas de Perfis H.....	86
Tabela 11 - Especificação dos Eletrodos Conforme AWS.....	88
Tabela 12 - Resumo do Cálculo da Produtividade .....	93
Tabela 13 - Número de Tijolos/m <sup>2</sup> .....	94
Tabela 14 - Custo de Construção da Casa .....	94

## SIMBOLOGIA

NBR: Norma Brasileira registrada;

ABCP: Associação Brasileira de Cimento Portland;

AWS: *American Welding Society* (Sociedade Americana de Solda);

PLC: Controlador Lógico Programável;

LED: Diodo Emissor de Luz;

$\rho_{\text{mistura}}$  : Massa Específica da Mistura de Solo-Cimento;

$A_{\text{prensagem}}$  : Área Total de Prensagem;

$P_{\text{mistura}}$  : Pressão sobre a Mistura;

$F_{\text{mistura}}$  : Força Distribuída Sobre a Mistura de Solo-Cimento;

$P_{\text{bomba}}$  : Pressão da Bomba Estimada;

$P_{\text{ef}}$  : Pressão Efetiva no Sistema Hidráulico;

$Q_{\text{ef}}$  : Vazão Efetiva no Sistema Hidráulico;

$P_a$  : Potência de Acionamento do Motor Elétrico da Bomba de Engrenagens;

$D_{\text{embc1}}$  : Diâmetro do Êmbolo do Cilindro Hidráulico de Prensagem;

$D_{\text{hastc1}}$  : Diâmetro da Haste do Cilindro Hidráulico de Prensagem;

$A_{\text{embc1}}$  : Área do Êmbolo do Cilindro Hidráulico de Prensagem;

$A_{\text{coroac1}}$  : Área da Coroa Circular do Cilindro Hidráulico de Prensagem;

$F_{\text{avc1}}$  : Força Efetiva de Avanço do Cilindro Hidráulico de Prensagem;

$F_{\text{retc1}}$  : Força Efetiva de Retorno do Cilindro Hidráulico de Prensagem;

$P_{\text{embc1}}$  : Pressão Efetiva no Êmbolo do Cilindro Hidráulico de Prensagem;

$T_{\text{av1c1}}$  : Tempo de Avanço no Primeiro Estágio do Cilindro Hidráulico de Prensagem;

$T_{\text{av2c1}}$  : Tempo de Avanço no Segundo Estágio do Cilindro Hidráulico de Prensagem;

$T_{\text{retc1}}$  : Tempo de Retorno do Cilindro Hidráulico de Prensagem;

$T_{\text{tc1}}$  : Tempo Total que o Cilindro Hidráulico de Prensagem leva para executar seu ciclo;

$D_{\text{embc2}}$  : Diâmetro do Êmbolo do Cilindro Hidráulico da Calha de Escoamento;

$D_{\text{hastc2}}$  : Diâmetro da Haste do Cilindro Hidráulico da Calha de Escoamento;

$A_{\text{embc2}}$  : Área do Êmbolo do Cilindro Hidráulico da Calha de Escoamento;

$A_{\text{coroac2}}$  : Área da Coroa Circular do Cilindro Hidráulico da Calha de Escoamento;

$F_{\text{avc2}}$  : Força Efetiva de Avanço do Cilindro Hidráulico da Calha de Escoamento;

$F_{\text{retc2}}$  : Força Efetiva de Retorno do Cilindro Hidráulico da Calha de Escoamento;

$P_{\text{embc2}}$  : Pressão Efetiva no Êmbolo do Cilindro Hidráulico da Calha de Escoamento;

$T_{\text{av1c2}}$  : Tempo de Avanço no Primeiro Estágio do Cilindro Hidráulico da Calha de Escoamento;

$T_{av2c2}$  : Tempo de Avanço no Segundo Estágio do Cilindro Hidráulico da Calha de Escoamento;

$T_{retc2}$  : Tempo de Retorno do Cilindro Hidráulico da Calha de Escoamento;

$T_{tc2}$  : Tempo Total que o Cilindro Hidráulico da Calha de Escoamento leva para executar seu ciclo;

$D_{embc3}$  : Diâmetro do Êmbolo do Cilindro Hidráulico da Tampa Inferior da Forma;

$D_{hastc3}$  : Diâmetro da Haste do Cilindro Hidráulico da Tampa Inferior da Forma;

$A_{embc3}$  : Área do Êmbolo do Cilindro Hidráulico da Tampa Inferior da Forma;

$A_{coroac3}$  : Área da Coroa Circular do Cilindro Hidráulico da Tampa Inferior da Forma;

$F_{avc3}$  : Força Efetiva de Avanço do Cilindro Hidráulico da Tampa Inferior da Forma;

$F_{retc3}$  : Força Efetiva de Retorno do Cilindro Hidráulico da Tampa Inferior da Forma;

$P_{embc3}$  : Pressão Efetiva no Êmbolo do Cilindro Hidráulico da Tampa Inferior da Forma;

$T_{avc3}$  : Tempo de Avanço do Cilindro Hidráulico da Tampa Inferior da Forma;

$T_{retc3}$  : Tempo de Retorno do Cilindro Hidráulico da Tampa Inferior da Forma;

$T_{tc3}$  : Tempo Total que o Cilindro Hidráulico da Tampa Inferior da Forma leva para executar seu ciclo;

$T_{tc}$  : Tempo Total por Ciclo de Prensagem;

$\sigma_f$  : Tensão de Fadiga Corrigida;

$K_a$  : Fator de Acabamento Superficial;

$K_b$  : Fator de Tamanho;

$K_c$  : Fator de Confiabilidade;

$K_d$  : Fator de Temperatura;

$K_e$  : Fator de Concentração de Tensões;

$K_f$  : Fator de Efeitos Diversos;

$\sigma_{f0}$  : Tensão de Fadiga;

$\sigma_u$  : Tensão Última (ruptura);

$\sigma_e$  : Tensão de Escoamento;

$E$  : Módulo de Elasticidade;

$P_1$  : Força de Prensagem;

$P_2$  : Peso da Estrutura de Prensagem;

$L_{chapa\ sust}$  : Comprimento da Chapa de Sustentação;

$b_{chapa\ sust}$  : Largura da Chapa de Sustentação;

$V_{m\acute{a}x}$  : Máximo Esforço Cortante;

$M_{m\acute{a}x}$  : Máximo Momento Fletor;

$h_{chapa\ sust}$  : Espessura da Chapa de Sustentação do Cilindro Hidráulico de Prensagem;

$I_{\text{chapa sust}}$  : Momento de Inércia para seção retangular da Chapa de Sustentação;  
 $F_{\text{pórtico}}$  : Carregamento por Pórtico de Suporte;  
 $A_{\text{seção circ}}$  : Área da Seção Circular dos Pórticos de Suporte;  
 $L_{\text{tijolo}}$  : Largura do Tijolo de Solo-Cimento;  
 $L_{\text{tampa}}$  : Comprimento Total da Tampa Inferior da Forma;  
 $b_{\text{tampa}}$  : Largura da Tampa;  
 $W_t$  : Carga Distribuída sobre o Comprimento da Tampa Inferior da Forma;  
 $h_{\text{tampa}}$  : Espessura da Tampa Inferior da Forma;  
 $I_{\text{tampa}}$  : Momento de Inércia para seção retangular da Tampa Inferior da Forma;  
 $L_{\text{suporte}}$  : Comprimento Total do Suporte da Tampa Inferior da Forma;  
 $L_{\text{cdist}}$  : Comprimento da Carga Distribuída sobre o Suporte;  
 $b_{\text{suporte}}$  : Largura do Suporte da Tampa Inferior da Forma;  
 $W_{\text{suporte}}$  : Carga Distribuída em Comprimento por Suporte;  
 $h_{\text{suporte}}$  : Espessura dos Suportes da Tampa Inferior da Forma;  
 $I_{\text{suporte}}$  : Momento de Inércia para seção retangular dos Suportes da Tampa Inferior da Forma;  
 $D_{\text{pórticos}}$  : Diâmetro dos Pórticos de Suporte;  
 $W_{\text{viga}}$  : Carga Distribuída sobre a Viga;  
 $\sigma_{\text{perfil}}$  : Tensão no Perfil (Viga H);  
 $\sigma_{\text{adm}}$  : Tensão Admissível;  
 $b_f$  : Largura do Perfil;  
 $t_w$  : Espessura da Alma do Perfil;  
 $A_{\text{cordão}}$  : Área do Cordão de Solda;  
 $h$  : Penetração da Solda;  
 $r$  : Raio da Seção Circular da Solda.

## **RESUMO**

O presente projeto apresenta um sistema de produção automatizado de tijolos destinados ao uso na construção civil, a partir de uma mistura denominada solo-cimento. Os tijolos produzidos a partir desta mistura apresentam inúmeras vantagens em relação aos tijolos cerâmicos convencionais.

Além disto, foram empregados métodos, análises e formulações estudadas durante a graduação em Engenharia Mecânica para o dimensionamento e especificação de todos os componentes do sistema de produção acima citado, bem como o dimensionamento estrutural da máquina e análises referentes à produtividade da mesma. Apresenta uma série de inovações tecnológicas e melhorias em relação ao equipamento estabelecido para efeitos de comparação, focalizando principalmente na automação do processo produtivo.

## **ABSTRACT**

The project presents an automatized system of production of bricks destined to be used in construction sites, from a mixture called soil-cement. The bricks made out of soil-cement have several advantages compared to the conventional ceramic bricks.

Moreover, methods and analyses of the sizing and specification of all components of such machine which were studied during the undergraduate course in Mechanical Engineering were used, as well as the structural sizing and productivity analyses of the same one. It presents a series of technological innovations and improvements in relation to the equipment established for the purpose of comparison, focusing on the automation of the productive process.



# **1 Introdução**

A automação nos dias de hoje vem se mostrando cada vez presente e indispensável nos processos produtivos. O uso de equipamentos automatizados traz um grande dinamismo ao processo e aumenta a velocidade nos meios de produção, além de influenciar diretamente na qualidade do produto, dentre outras vantagens.

Atualmente, o uso de materiais alternativos, de baixo custo e que não agredem o meio-ambiente, na construção civil é cada vez mais difundido, tendo em vista um vasto e promissor campo de aplicação.

Este projeto abrange o dimensionamento e principalmente a automação de uma prensa hidráulica voltada para produção de um material alternativo a ser utilizado na construção civil, o tijolo de solo-cimento.

Este produto, além de sua estética visual bem refinada, sua alta resistência à compressão e baixa absorção de água, dentre outras características, têm outra grande vantagem do ponto de vista de meio-ambiente, que é o fato de não utilizar processos de queima em sua produção, sendo por isso batizado de “tijolo ecológico”.

## **1.1 Objetivo**

Projetar um sistema de produção automatizado de tijolos solo-cimento, fazendo o dimensionamento dos seus componentes estruturais, hidráulicos, dentre outros, promovendo melhorias e inovações tecnológicas em relação aos equipamentos hoje encontrados no mercado com mesma finalidade.

## **1.2 Estrutura do Trabalho**

No Capítulo 1, foi citada uma breve introdução sobre o assunto a ser trabalhado, o objetivo do e a estrutura em que este relatório foi escrito.

No Capítulo 2, foi feita a análise das necessidades, ou seja, as características finais que o produto acabado, o tijolo de solo-cimento, deverá apresentar. De maneira que, de posse destas características, além de outras considerações e premissas operacionais, possa-se iniciar a concepção do sistema automatizado.

O Capítulo 3 trás consigo informações sobre os diagramas de operação da prensa hidráulica e de atividades do processo de produção de tijolos solo-cimento, além de um manual de operação da mesma.

O Capítulo 4 analisa o dimensionamento dos cilindros hidráulicos, da bomba de engrenagens, do silo de alimentação, da estrutura da calha dosadora e do reservatório de óleo. Também se situa neste capítulo o cálculo do tempo total de um ciclo de prensagem, bem como a produção diária da máquina.

O Capítulo 5 analisa o dimensionamento estrutural da máquina, bem como o dimensionamento das junções soldadas.

Já o Capítulo 6 trás informações adicionais sobre o processo de cura dos tijolos, fundamental para adquirir a qualidade final do produto desejada, e comparação de produtividade entre as duas concepções de máquinas analisadas, bem como o custo de construção utilizando matérias primas diferentes.

Por fim, o Capítulo 7 trás as considerações finais, comparação entre as concepções atual e nova e sugestões de continuidade deste projeto.

## 2 Análise das Necessidades

Neste capítulo serão abordadas as características fundamentais que o produto acabado (tijolos de solo-cimento) necessita para atender as exigências impostas pela NBR. Será abordado desde as premissas operacionais em relação ao produto acabado, bem como os meios para produção do mesmo.

### 2.1 Identificação do Objetivo Final do Sistema de Produção Automatizado de Tijolos de Solo-Cimento

Antes de analisar as várias necessidades ou características da prensa hidráulica, é importante que o objetivo final do sistema de produção automatizado de tijolos seja devidamente identificado.

A identificação deste objetivo consiste em especificar corretamente o produto a ser fabricado, a viabilidade do mesmo dentre suas necessidades, seleção de alguns critérios de classificação destas necessidades e definição de uma especificação ótima para as premissas operacionais.

#### 2.1.1 Produto a Ser Fabricado – Tijolo Maciço de Solo-Cimento

##### 2.1.1.1 Definição

Segundo definição da norma NBR 10833/1989, o tijolo de solo-cimento defini-se como um *“elemento de alvenaria cujo volume é igual ou superior a 85% do seu volume total aparente e constituído por uma mistura homogenea, compactada e endurecida de solo, cimento Portland, água e, eventualmente, aditivos em proporções que permitam atender as exigências dessa norma”*.



**Figura 1 - Tijolos Maciços de Solo-Cimento**

### **2.1.1.2 Matéria Prima**

O solo-cimento é o material resultante da mistura homogênea, compactada e curada de solo, cimento tipo Portland, água e determinados aditivos (se assim necessário) em proporções que permitam atender às exigências da Norma NBR 10833/1989. O produto resultante deste processo é um material com excelente resistência à compressão, bom índice de impermeabilidade, baixo índice de retração volumétrica, boa durabilidade, entre outras.

Uma das grandes vantagens do solo-cimento é que o solo, um material local, constitui justamente a maior parcela da mistura. O solo-cimento é uma evolução de materiais de construção do passado, como o barro e a taipa. Só que as colas naturais, de características muito variáveis foram substituídas por um produto industrializado e de qualidade controlada: o cimento.

#### **Matéria Prima: Solo**

Define-se solo como material proveniente da desagregação das rochas por meio de ações químicas e mecânicas, impregnado ou não de matéria orgânica, que se encontra na superfície da terra.

Este é o componente mais utilizado na fabricação do solo-cimento, em percentuais que podem chegar à marca de 95 %, enquanto que o cimento entra em uma quantidade que varia entre 5% a 10% do peso total do solo-cimento. Esta quantidade de cimento é suficiente para estabilizar o solo e conferir-lhe as propriedades de resistência desejada.

A escolha do tipo de solo a ser utilizado na mistura solo-cimento não se refere diretamente a uma característica específica do solo, pois praticamente qualquer tipo endurece satisfatoriamente quando misturado com cimento e devidamente compactado.

Entretanto, os solos mais apropriados são os que possuem teor de areia entre 45% e 50%. Além disso, o solo não deve conter pedaços de galhos, folhas, raízes ou qualquer outro tipo de material orgânico que pode prejudicar a qualidade final do solo-cimento.

A norma NBR 10833/1989 relata que a utilização do solo na mistura de solo-cimento para fins de produção de tijolos, em prensas hidráulicas, deve obedecer aos seguintes critérios:

1. % passando na peneira 4,8 mm (NBR 5734) = 100%;
2. % passando na peneira 0,075 mm (NBR 5734) = 10% a 50%;
3. Limite de liquidez  $\leq 45\%$ ;
4. Índice de plasticidade  $\leq 18\%$ .

### **Matéria Prima: Cimento Portland**

O Cimento Portland é um pó fino acinzentado, composto em sua maior parte por silicatos e aluminatos de cálcio. Com suas propriedades aglomerantes, aglutinantes e ligantes, endurece sob ação da água e depois, mesmo que seja novamente submetido à ação de água, não se decompõe mais. A fabricação do Cimento Portland depende de produtos minerais como o calcário, a argila e o gesso, os quais são submetidos a uma complexa operação de dosagem e mistura.

O processo de endurecimento do cimento é atribuído às reações que ocorrem em seus elementos constituintes. Estes compostos são anidros, mas quando postos em contato com a água reagem com ela, formando produtos hidratados. A hidratação do cimento consiste na transformação de compostos anidros mais solúveis em compostos hidratados menos solúveis.

Para o caso específico do solo-cimento tem sido empregado, por recomendação da *Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP*, o Cimento Portland CP IV - 32 (pozolânico – NBR 5736). É especialmente indicado em obras expostas à ação de água e ambientes agressivos. O solo-cimento feito com este produto se torna mais impermeável, mais durável, apresentando resistência mecânica à compressão superior à do solo-cimento feito com Cimento Portland Comum, a idades avançadas.

Algumas pesquisas mostraram a aplicabilidade de outros cimentos, sendo de notar que os cimentos de alta resistência inicial, além de conferirem ao solo cimento resistências mais elevadas nos primeiros dias, desenvolvem durante sua hidratação maior quantidade de íons de cálcio, com o que se consegue neutralizar o efeito da matéria orgânica, porventura existente no solo.

O Cimento Portland deve atender, conforme o tipo empregado, às normas NBR 5732, NBR 5733, NBR 5735 e NBR 5736.

## **Matéria Prima: Água**

Em relação à água a ser utilizada na mistura solo-cimento, exige-se que esta seja isenta de impurezas nocivas à hidratação do cimento, tais como sais, ácidos e matéria orgânica. A água pode servir, ainda, de veículo para a adição de sais (aditivos) que corrijam ou melhorem as características do solo-cimento.

Assim como nos solos naturais, as misturas solo-cimento exigirão um teor de umidade que conduza a uma massa específica seca máxima, para uma dada pressão exercida sobre a mistura de solo-cimento. O teor de umidade ótimo que conduz à máxima massa específica seca não é necessariamente o mesmo para a máxima resistência.

## **Matéria Prima: Aditivos**

Os aditivos são substâncias adicionadas intencionalmente a uma mistura, com a finalidade de reforçar ou melhorar certas características, inclusive facilitando seu preparo e utilização. Geralmente são utilizados quando se deseja um aumento de durabilidade e/ou acréscimo de resistência, mudança na coloração do tijolo, dentre outras características. Os aditivos plastificantes, por exemplo, visam melhorar a plasticidade de argamassas e concretos possibilitando melhor compactação com menor dispêndio de energia.

A adição de outras substâncias ao solo-cimento, inicialmente, foi estudada com o objetivo de se corrigir o teor de matéria orgânica presente em alguns solos, e que se tornava prejudicial à hidratação do cimento. Uma das soluções encontradas, segundo pesquisadores, foi à adição de cloreto de cálcio, que em quantidades de 0,8% já melhoram o comportamento do solo-cimento tanto em ensaios de compressão quanto de durabilidade.

Também se tem utilizado cal hidratada para correção dos solos que contêm matéria orgânica, porém em maiores quantidades que aquelas necessárias para se obter os mesmos resultados da correção através do cloreto de cálcio.

Sendo assim, o uso de aditivos na mistura de solo-cimento é permitido, desde que se verifique que seu desempenho, em determinadas condições específicas, é substancialmente melhorado.

### 2.1.1.3 Dimensões Nominais

Conforme NBR 8491/1984, as dimensões nominais que o tijolo de solo-cimento deve atender são as constantes da Tabela 1.

**Tabela 1 - Dimensões Nominais do Tijolo segundo NBR 8491**

<b>Designação</b>	<b>Comprimento</b>	<b>Largura</b>	<b>Altura</b>
Tipo 1	20	9,5	5
Tipo 2	23	11	5

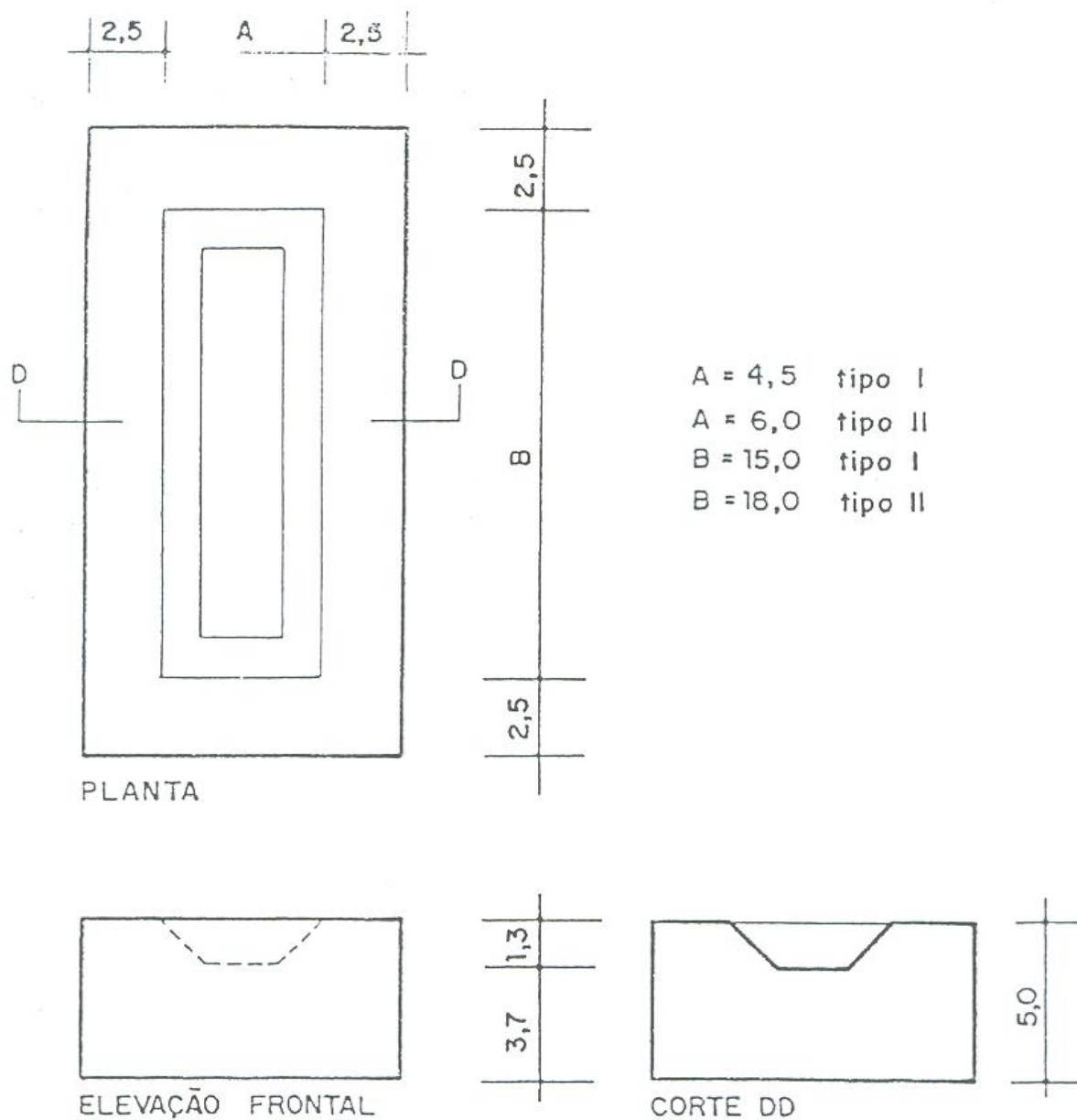
unidade: cm

As medidas do tijolo são efetuadas com precisão de 1mm. A tolerância permitida nas dimensões do tijolo é de  $\pm 3\text{mm}$ .

### 2.1.1.4 Reentrâncias

No caso de tijolos de solo-cimento portadores de reentrâncias, estas devem situar-se a, no mínimo, 2,5cm a partir das arestas paralelas as faces da reentrância, conforme figura.

As reentrâncias devem ter profundidade máxima de 1,3cm, conforme Figura 2.



DIMENSÕES EM cm

**Figura 2 - Reentrâncias no Tijolo de Solo-Cimento segundo NBR 8491**



### 2.1.2 Viabilidade do Produto

Os tijolos de solo-cimento apresentam como algumas de suas vantagens mais expressivas:

- Economia na obra;
- Qualidade do produto;
- Boa resistência à compressão;
- Bom índice de impermeabilidade;
- Bom acabamento externo;
- Otimização do tempo.

Em relação às vantagens econômicas, destaca-se a obtenção do solo, principal constituinte da mistura, que pode ser obtido do próprio local de obra, desta forma, reduzindo custos de transporte. Outra vantagem econômica seria que a fabricação do tijolo de solo-cimento não utiliza o procedimento de queima em seu processo produtivo, por este motivo ele é chamado de “tijolo ecológico”. Já o tijolo cerâmico convencional utiliza, em uma produção de 1000 tijolos, 1 m<sup>3</sup> de madeira para o processo de queima, o que equivale a aproximadamente 6 árvores de porte médio. Além disso, o tijolo de solo-cimento quando danificado pode ser moído e prensado novamente, o que não acontece no caso do tijolo cerâmico tradicional, perda total de material quando danificado.

A resistência à compressão do tijolo de solo-cimento é semelhante ao tijolo cerâmico convencional, porém a qualidade final da peça é superior, sendo mais regular em suas dimensões e mais plano em suas faces. Isto permite a menor utilização de argamassa para assentamento e a dispensa de uso de revestimento, podendo ser utilizado de forma aparente, ou apenas uma pintura a base de cimento. A argamassa de assentamento pode conter uma menor proporção de cimento resultando em mais economia, se comparado com o sistema de assentamento do tijolo cerâmico convencional.

Outra vantagem é que habitações construídas com tijolos de solo-cimento apresentam maior conforto térmico e acústico do que construídas com tijolos cerâmicos convencionais. Os tijolos de solo-cimento apresentam maior índice de impermeabilidade do que os tijolos cerâmicos convencionais, aumentando a durabilidade do produto.

Além de reduzir os custos da obra, o tijolo de solo-cimento permite otimização de tempo, elimina o desperdício e facilita seu manuseio e aplicação pelo formato que possui. As peças têm formas côncavas e convexas que permitem um fácil encaixe, reduzindo assim a necessidade de massa para fazer a emenda das peças.

O sistema construtivo no caso do tijolo de solo-cimento não exige uma mão de obra qualificada, o que reduz o custo total, podendo ser realizada por regime de mutirão. No entanto, é importante que um técnico acompanhe a obra, pelo menos na fase inicial do processo. A redução dos custos na construção de habitações populares, com o uso de solo-cimento pode atingir até 40%.

### **2.1.3 Aplicabilidade**

O solo-cimento foi inicialmente utilizado na área de pavimentação, que até hoje constitui sua aplicação mais difundida. Desde então o surgimento de outras aplicações não cessou, as quais vêm assumindo cada vez mais importância. Podemos citar como principais aplicações do solo-cimento:

- Pavimentação de ruas e estradas;
- Habitação (tijolos, blocos, lajotas, paredes monolíticas, fundações e pisos);
- Quadras esportivas;
- Revestimento de barragens;
- Obras de contenção;
- Canalização e proteção de pontes.

Os tijolos de solo-cimento apresentam características geométricas semelhantes às dos tijolos de barro cozido convencionais, e, conseqüentemente, a construção de alvenarias com este componente não difere da construção de alvenarias com os tijolos tradicionais. No entanto, há de se tomar certos cuidados na utilização deste material, pois apresenta características de absorção de água e variação dimensional diferentes do material cerâmico.

Os tijolos podem ser fabricados em prensas manuais ou automatizadas, que diferem entre si pelo custo, capacidade, produtividade, características de operação e pela pressão exercida sobre o tijolo na compactação (conhecida popularmente por “energia de compactação”).

### 2.1.4 Público Alvo do Sistema de Produção Automatizado de Tijolos de Solo-Cimento

O sistema de produção automatizado de tijolos de solo-cimento tem como público alvo os seguintes clientes em potencial relacionados abaixo:

- Empresas do ramo de construção civil;
- Empresas que trabalham com materiais de construção;
- Empresas que fabricam bloco cerâmico tradicional;
- Prefeituras / comunidades;
- Universidades;
- Autônomos.

### 2.1.5 Equipamento Atual

Por questões de referência para efeito de comparação, foi utilizada uma máquina localizada no Laboratório de Ensaios de Compressão do Departamento de Engenharia Civil da UFES, Figura 3, constituindo-se de uma prensa hidráulica composta por três cilindros hidráulicos de diferentes diâmetros, bomba de engrenagens, motor elétrico, válvulas direcionais acionadas manualmente por intermédio de alavancas, válvula de segurança, manômetro dentre outros componentes diversos. Sua estrutura de sustentação é composta de quatro pórticos feitos a partir de tubos de 5½” apoiados sobre uma base constituída de Vigas I 6” x 3 3/8” x 0,23”, além de chapas de diversas espessuras.



**Figura 3 - Prensa Hidráulica para Fabricação de Tijolos Solo-Cimento**

O referido equipamento não possui nenhuma documentação técnica a respeito de seu dimensionamento estrutural.

A sua operação é complicada e exige alta sensibilidade do operador, visto que não possui nenhum dispositivo de controle (controles de pressão, controle de fim de curso nos cilindros). O Manômetro, Figura 4, instalado no equipamento apresenta mau funcionamento, não informando dados confiáveis sobre a pressão no sistema hidráulico. Devido à falta de tais dispositivos de controle, os tijolos podem ser conformados com alturas e pressões diferentes, o que causa uma falta de uniformidade no processo de fabricação e de padronização dos tijolos, reduzindo a qualidade final do produto.



**Figura 4 - Detalhes da Máquina - Alavancas e Manômetro**

Por ser totalmente manual, esta máquina necessita de um grande número de operadores, entre quatro a seis operadores, o que torna o processo mais caro e mais presumível de ocorrência de erros de operação. Por sua vez, a retirada dos tijolos, que são dois por ciclo de prensagem, também ocorre manualmente, Figura 5, tendo como conseqüências perda na produtividade e riscos de avarias nos tijolos recém conformados, visto que estes ainda não apresentam a resistência ideal, obtida após o período de cura (vide Seção 6.1 - Processo de Cura dos Tijolos de Solo-Cimento).



**Figura 5 - Detalhes da Máquina – Retirada Manual dos Tijolos**

O sistema de dosagem também é deficiente, a altura do Silo de Alimentação, Figura 6, dificulta seu abastecimento. O sistema de alimentação da forma não é preciso, havendo variações na quantidade de mistura de solo-cimento, além disso, não existe uma distribuição uniforme da mistura sobre a forma, causando regiões de maior ou menor densidade no tijolo prensando.



**Figura 6 - Detalhes da Máquina - Silo de Alimentação**

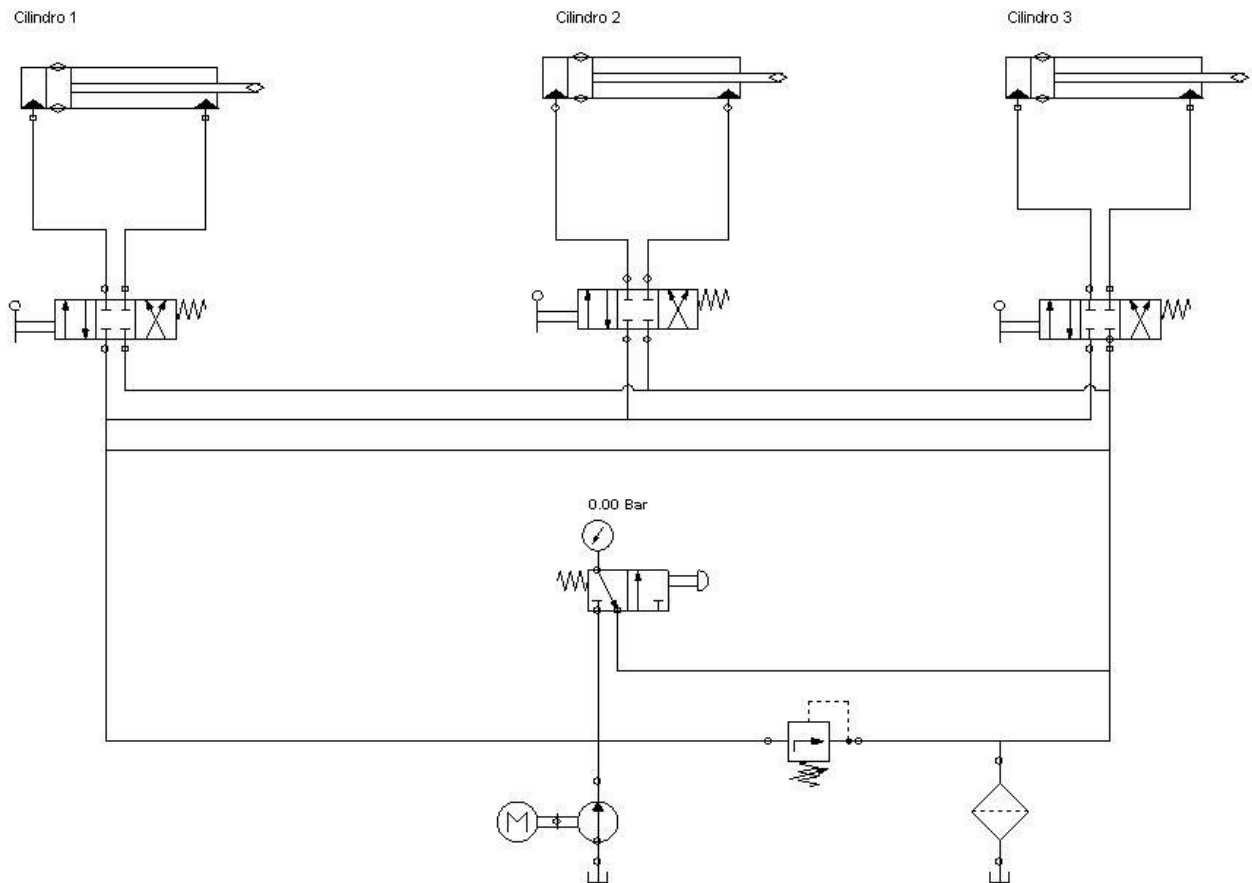
A bomba de engrenagens utilizada possui uma vazão efetiva de 60 l/min e o motor elétrico possui potência de 12,5 HP (9,3 KW), Figura 7. Isto nos mostra que a bomba de engrenagens foi super-dimensionada e o motor elétrico foi sub-dimensionado, prejudicando a eficiência do sistema de prensagem. Além disso, o reservatório de óleo não apresenta uma área superficial suficiente para que ocorra um arrefecimento adequado do fluido de trabalho, causando superaquecimento do mesmo.



**Figura 7 - Detalhes da Máquina - Bomba e Motor Elétrico (Vista Superior)**

A Figura 8 apresenta o diagrama do circuito hidráulico do equipamento. O mesmo é composto por três cilindros hidráulicos de diferentes diâmetros, sendo:

- Cilindro 1: Cilindro Hidráulico do Carro Dosador;
- Cilindro 2: Cilindro Hidráulico de Prensagem;
- Cilindro 3: Cilindro Hidráulico de Retirada dos Tijolos.



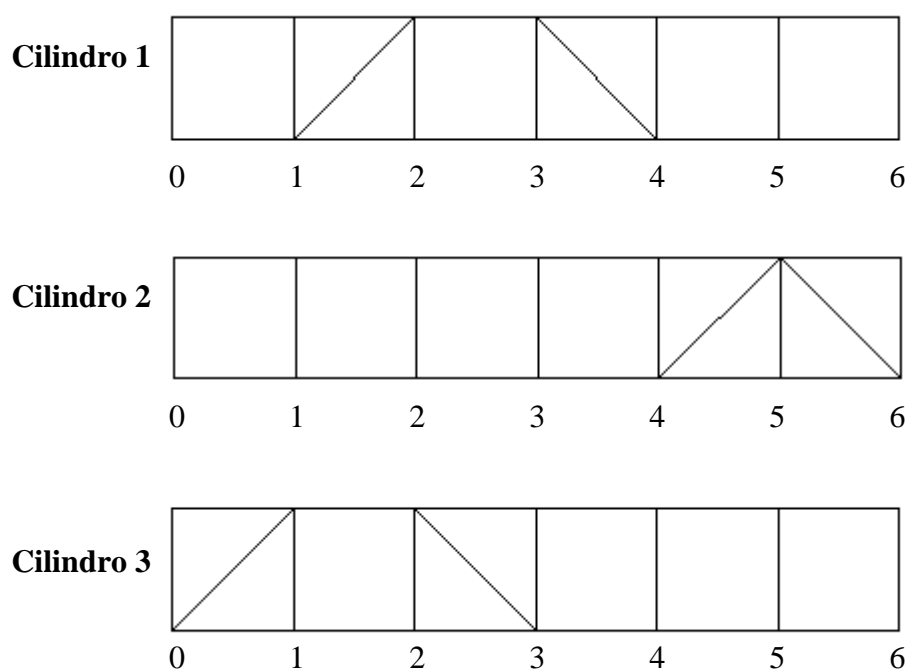
**Figura 8 – Diagrama do Circuito Hidráulico da Máquina**

Para realizar o processo de fabricação de tijolos de solo-cimento, a máquina atual utiliza o seguinte diagrama de passos, conforme Figura 9:

- 1º Passo: Inicialmente, todos os cilindros encontram-se recuados. Ocorre então o avanço do Cilindro de Retirada dos Tijolos (Cilindro 3);
- 2º Passo: Mantendo-se avançado o Cilindro 3, ocorre o avanço do Cilindro do Carro Dosador (Cilindro 1);

- 3º Passo: Com o Cilindro 1 avançado, efetua-se o retorno do Cilindro 3, fazendo com que a mistura a ser prensada preencha a forma;
- 4º Passo: Em seguida ocorre o retorno do Cilindro 1;
- 5º Passo: Consiste no avanço do Cilindro de Prensagem (Cilindro 2);
- 6º Passo: Ocorre recuo do Cilindro 2;

Obs.: Após completar o 6º passo, reinicia-se o ciclo de fabricação de tijolos.



**Figura 9 - Diagrama de Passos da Máquina**

A máquina leva aproximadamente **30 segundos** para realizar um ciclo de prensagem por completo, produzindo dois tijolos por ciclo, como mencionado anteriormente. Este tempo de ciclo acarretaria uma produção diária de 1.920 tijolos, para uma jornada de trabalho de 8 horas, porém, devido a sua baixa autonomia decorrente da baixa capacidade de armazenamento de seu Silo de Alimentação, retirada manual dos tijolos e expressivo número de paradas entre ciclos realizados, sua produção decresce para aproximadamente **1300 a 1500 tijolos** produzidos por dia na mesma jornada de trabalho.

## 2.1.6 Premissas Operacionais

Nesta seção serão abordadas premissas operacionais para fins de dimensionamento da nova concepção de prensa hidráulica.

### 2.1.6.1 Dimensões Nominais dos Tijolos

De acordo com a norma NBR 8491/1984, as dimensões nominais que o tijolo deve atender são as constantes da Tabela 1 (Seção 2.1.1.3, página 22).

Para esta nova concepção, foi escolhido o tijolo de designação *Tipo 2*, por este apresentar maior área de prensagem. Desta forma, pode-se converter a máquina para fabricação do tijolo com designação *Tipo 1*, apenas com a alteração da forma, sem alterações no circuito hidráulico. O tijolo de designação *Tipo 2*, apresenta uma área superficial de **253 cm<sup>2</sup>**.

### 2.1.6.2 Estimativa da Massa Específica da Mistura de Solo-Cimento

A partir da faixa estimada na Seção 2.1.1.2 - Matéria Prima, para efeito de estimativa da massa específica da mistura de solo-cimento, consideraremos as seguintes percentagens dos principais componentes:

- Solo: 94 %;
- Cimento: 6 %.

De acordo com a *Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP*, o Cimento Portland CP IV – 32 apresenta massa específica aparente de 3,04 g/cm<sup>3</sup>.

De acordo com site *www.dnocs.gov.br*, foram realizados minuciosos ensaios de laboratório para identificação e determinação da massa específica em amostras de solo. O valor médio da massa específica aparente do solo, com teor de umidade de 14,5%, está em torno de 1,82 g/cm<sup>3</sup>.

$$\rho_{\text{mistura}} = 0,94 \cdot 1,82 + 0,06 \cdot 3,04 = \mathbf{1,9 \text{ g/cm}^3}$$



### 2.1.6.3 Pressão / Força de Trabalho sobre a Mistura na Prensagem

Para definição deste dado foi encontrada grande dificuldade, visto que, as normas brasileiras (NBR) sobre prensagem de tijolos solo-cimento não trazem nenhuma referência ou valor de pressão/força que devem ser aplicadas sobre a mistura de solo-cimento.

Sendo assim, foram realizadas inúmeras pesquisas de campo, a fim de estabelecer essa referência. Porém, verificaram-se divergências de dados de pressão/força sobre a mistura de solo-cimento na prensagem. Seguem abaixo alguns dados pesquisados no campo de produção de tijolos de solo-cimento e suas respectivas fontes:

1. De acordo com *Materiais e Métodos*, artigo publicado por Neidyr Cury Neto ([www.geocities.com/neidyr](http://www.geocities.com/neidyr)), para fabricação de tijolos de solo-cimento em prensa manual, é utilizada uma pressão de aproximadamente 20 a 40 Kgf/cm<sup>2</sup>, e para produção em prensa automatizada, uma pressão de até 100 Kgf/cm<sup>2</sup>;
2. A prensa fabricada pela *Máquinas Man* ([www.man.com.br](http://www.man.com.br)) aplica sobre a mistura de solo-cimento uma força de 8 toneladas (ou seja uma pressão de 31,6 Kgf/cm<sup>2</sup>, considerando uma área de prensagem de 253 cm<sup>2</sup> conforme tijolo normalizado, vide seção 2.1.6.1 - Dimensões Nominais dos Tijolos);
3. Segundo o fabricante *RioServ* ([www.rioserv.com.br](http://www.rioserv.com.br)), a mistura de solo-cimento é compactada a uma força de 12 toneladas (ou seja uma pressão de 47,4 Kgf/cm<sup>2</sup>, considerando uma área de prensagem de 253 cm<sup>2</sup> conforme tijolo normalizado, vide seção 2.1.6.1 - Dimensões Nominais dos Tijolos);
4. De acordo ao apresentado na dissertação de mestrado, *Fabricação de Tijolos Modulares de Solo-Cimento por Prensagem com e sem Adição de Sílica Ativa*, de Fernando M. Grande, para obtenção do título de mestre em arquitetura, na Escola de Engenharia de São Carlos – USP, a prensa hidráulica deve aplicar uma pressão sobre a mistura de solo-cimento entre 2 MPa (20,4 Kgf/cm<sup>2</sup>) a 10 MPa (101,9 Kgf/cm<sup>2</sup>).

A partir destes dados levantados em campo, foi estipulada uma pressão máxima de trabalho sobre a mistura a ser prensada em torno de **60 Kgf/cm<sup>2</sup>**, por ser um valor médio, que atende todas as especificações supra citadas. Também, deve-se ressaltar, não existe uma obrigação de uma precisão muito grande sobre este dado, já que o mesmo não é normalizado.

#### **2.1.6.4 Pressão no Sistema Hidráulico**

Verificando os catálogos existentes fornecidos por vários fabricantes (*Rexroth, Enerpac, JTS Equipamentos Hidráulicos LTDA*, etc.), verificou-se que bombas de alta pressão (em torno de 700 bar) têm vazões efetivas relativamente baixas (menor que 8 l/min), o que inviabiliza o projeto. As bombas de engrenagens, por sua vez, têm vazões maiores (entre 35 l/min a 65 l/min), mas suas pressões de trabalho são relativamente baixas (no máximo 210 bar).

Com base neste dado, e com a força de trabalho necessária para a pressão máxima de trabalho (vide Seção 2.1.6.3) e das áreas dos êmbolos dos cilindros hidráulicos encontradas nos catálogos, estipulou-se uma pressão no sistema hidráulico em torno de **150 kgf/cm<sup>2</sup>** (147,5 bar) e não podendo ultrapassar **210 bar**.

#### **2.1.6.5 Produção Diária**

Para máquina atual, foi estimada uma produção de **1500 tijolos** para uma jornada de 8 horas de trabalho por dia e dois tijolos por ciclo (vide Seção 2.1.5 - Equipamento Atual). Portanto, como pré-requisito tem-se o propósito de aumentar essa produção em no mínimo 50%, ou seja, uma produção mínima de **2250 tijolos** para jornada de trabalho e total de tijolos produzidos por ciclo equivalentes.

Também foi estimada a autonomia da nova concepção de prensa hidráulica, sendo tempo de funcionamento ininterrupto de **30 minutos**, de modo que, enquanto a máquina está trabalhando, uma nova mistura de solo-cimento poderá ser produzida.

## 2.2 Estudo do Sistema de Produção Automatizado de Tijolos de Solo-Cimento, Equipamentos e Instalações

Nesta seção, é de fundamental importância a compreensão dos inúmeros componentes e equipamentos que compõem o sistema de produção automatizado de tijolos de solo-cimento. É necessário estudar e compreender as funções e características de cada componente, assim como identificar claramente as inter-relações entre eles.

### 2.2.1 Diagrama Funcional do Sistema de Produção Automatizado de Tijolos de Solo-Cimento

Segue abaixo, conforme Figura 10, o diagrama funcional do sistema de produção automatizado de tijolos:

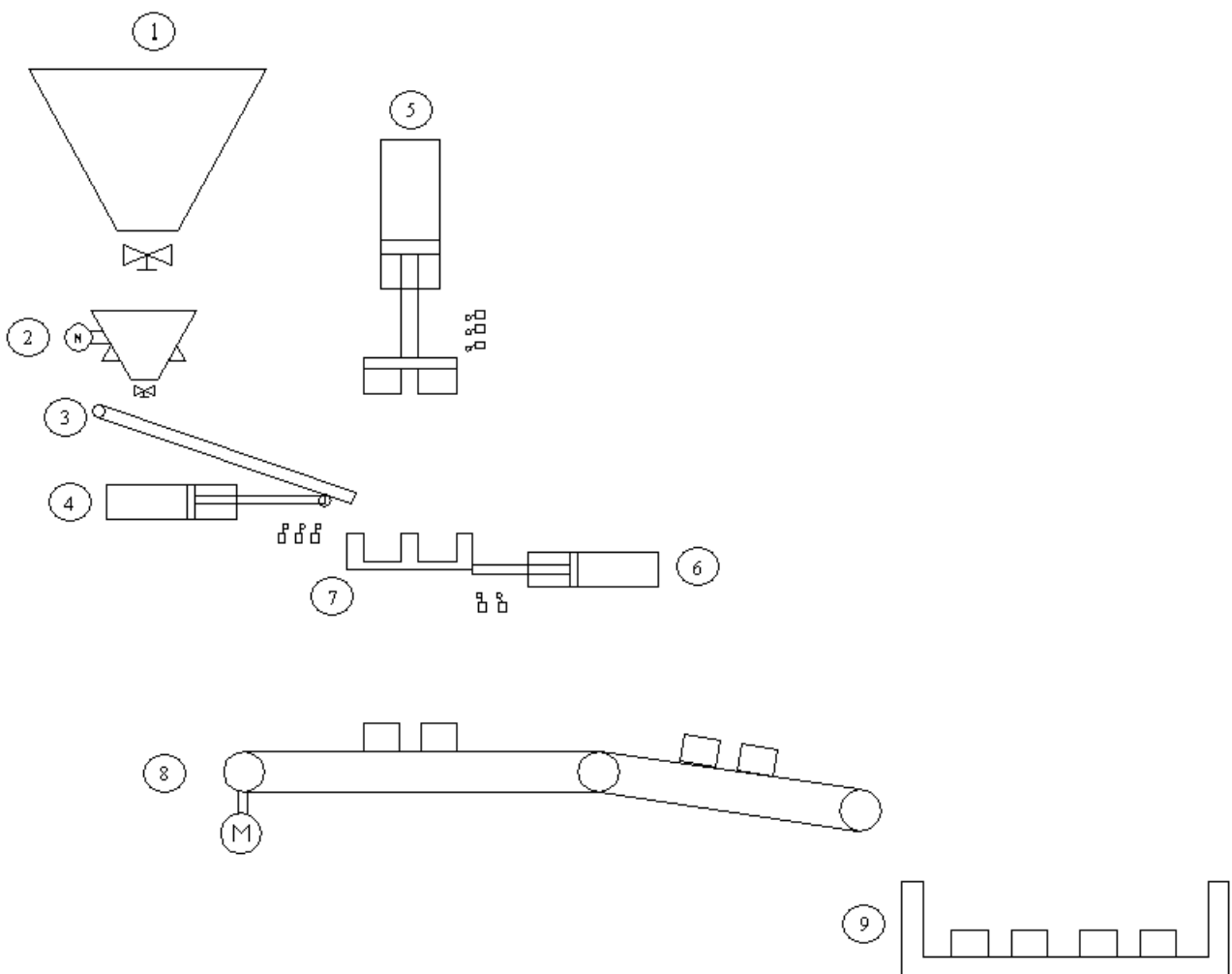


Figura 10 - Diagrama Funcional do Sistema de Produção Automatizado de Tijolos

Basicamente, este diagrama funcional está indicando os principais componentes que, quando agrupados em um único sistema, são destinados à fabricação de tijolos de solo-cimento. Sua legenda segue abaixo:

1. Silo de Alimentação;
2. Calha Dosadora;
3. Calha de Escoamento;
4. Cilindro Hidráulico da Calha de Escoamento;
5. Cilindro Hidráulico de Prensagem;
6. Cilindro Hidráulico da Tampa Inferior da Forma;
7. Forma;
8. Transportador de Correia;
9. *Palet* de armazenamento dos tijolos.

Inicialmente, a mistura de solo-cimento deve ser preparada de acordo com as especificações indicadas na Seção 2.1.6.2 (94 % de solo e 6 % de cimento). Após esta etapa, a mistura é levada ao Silo de Alimentação (1), onde a mesma fica armazenada até ser devidamente despejada sobre a Calha Dosadora (2) por intermédio de uma válvula, controlada por *PLC*, instalada no orifício de saída deste silo.

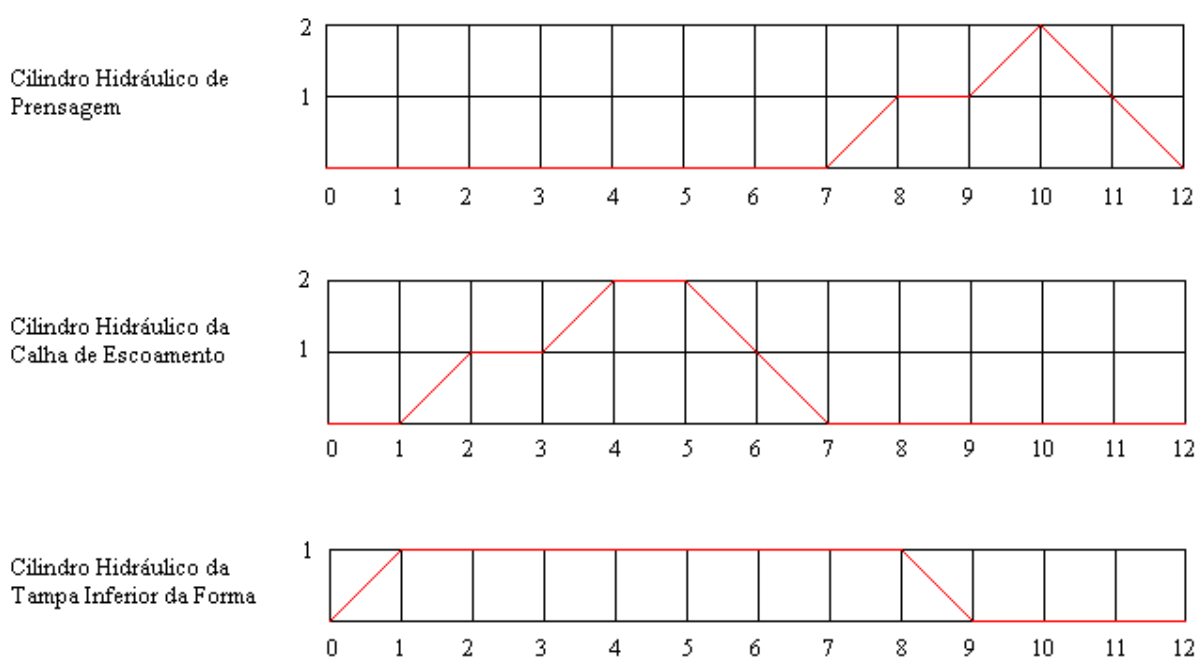
A mistura de solo-cimento é despejada sobre a Calha Dosadora que, controlada por *PLC*, tem como finalidade homogeneizar e dosar a mistura a ser prensada. Após a dosagem, a mistura é encaminhada a Calha de Escoamento (3) e esta com auxílio do Cilindro Hidráulico da Calha de Escoamento (4), despeja a mistura sobre a Forma (7). Neste momento, a tampa inferior da Forma deverá estar fechada.

Após o preenchimento da Forma, a Calha Dosadora enviará um sinal para que o Cilindro Hidráulico de Prensagem (5) avance sobre a mistura de solo-cimento e prensar-a. Depois do processo de prensagem, ocorre à abertura da tampa inferior da Forma através do Cilindro Hidráulico da Tampa Inferior da Forma (6), criando condições propícias para que o Cilindro Hidráulico de Prensagem empurre os tijolos até o Transportador de Correia (8), e este equipamento os transporta para o *Palet* de armazenamento de tijolos (9).

## 2.2.2 Diagramas de Passos

A nova concepção de prensa hidráulica apresenta como proposta o diagrama de passos de movimentação dos cilindros hidráulicos mostrados na Figura 11. Neste diagrama, são apresentadas as seqüências de avanço e retorno dos cilindros hidráulicos que constituem a prensa hidráulica.

Ainda nesta seção, será apresentada uma descrição detalhada de cada passo dos cilindros hidráulicos, que será de grande importância para compreensão da funcionalidade do sistema proposto.



**Figura 11 - Diagrama de Passos da Nova Concepção**

- 1º Passo (de 0 a 1): O Cilindro Hidráulico da Tampa Inferior da Forma (Cilindro 3), é avançado, propiciando que a forma esteja preparada para receber a mistura de solo-cimento a ser prensada, enquanto todos os outros cilindros hidráulicos permanecem recuados;
- 2º Passo (de 1 a 2): Mantém-se o Cilindro 3 avançado, e ocorre o avanço do Cilindro Hidráulico da Calha de Escoamento (Cilindro 2) até o ponto de preenchimento da primeira parte da forma;

- 3º Passo (de 2 a 3): O Cilindro 2 mantém-se parado por um pequeno intervalo de tempo para que a Calha Dosadora faça a dosagem da mistura na primeira parte da forma. Quando ocorre o fim deste processo, a Calha Dosadora envia um sinal ao controle elétrico para que continue o procedimento de avanço do Cilindro 2;
- 4º Passo (de 3 a 4): Após o recebimento do sinal da Calha Dosadora, o Cilindro 2 avança até chegar ao ponto específico sobre a segunda parte da forma;
- 5º Passo (de 4 a 5): O Cilindro 2 mantém-se parado até que a Calha Dosadora faça a dosagem da mistura na segunda parte da forma. Ao término deste processo, a Calha Dosadora envia outro sinal ao controle elétrico para retornar o Cilindro 2, dando continuidade ao processo;
- 6º Passo (de 5 a 7): Após o total preenchimento da forma e enviado o sinal ao controle elétrico, o Cilindro 2 é retornado trazendo a Calha de Escoamento a sua posição inicial;
- 7º Passo (de 7 a 8): Com o retorno da Calha de Escoamento a sua posição inicial, criando assim condições propícias para prensagem da mistura de solo-cimento, ocorre o avanço do Cilindro Hidráulico de Prensagem (Cilindro 1) até o ponto que confere a altura pré-estabelecida aos tijolos (ver Seção 2.1.1.3 - Dimensões Nominais);
- 8º Passo (de 8 a 9): Quando o Cilindro 1 atinge o ponto determinado para conferir a altura pré-estabelecida aos tijolos, ocorre um alívio de pressão no sistema e logo após mantém-se o Cilindro 1 em repouso. Após o alívio de pressão, ocorre o retorno do Cilindro 3, retirando a tampa inferior da forma para que os tijolos possam ser retirados pelo Cilindro 1;
- 9º Passo (de 9 a 10): Após a retirada da tampa inferior da forma, o Cilindro 1 continua o processo de avanço retirando os tijolos da forma e direcionando-os ao Transportador de Correia;
- 10º Passo (de 10 a 12): Ocorre o retorno do Cilindro 1, desta forma voltando o sistema ao seu estado inicial, possibilitando o início de um novo ciclo de prensagem.

### **2.2.3 Diagramas Hidráulico e Elétrico**

Com base no diagrama de passos apresentado na Figura 11, foram desenvolvidos os novos diagramas hidráulico, Figura 12, e elétrico, Figura 13, para a prensa hidráulica. Esta nova concepção dos diagramas difere da anterior (vide Seção 2.1.5 - Equipamento Atual) por sua total automatização, podendo ser o processo controlado por um banco de relés, em modo automático, ou na opção modo manual, onde o operador da prensa hidráulica pode controlar, através de botões, o avanço e retorno dos cilindros hidráulicos, bem como controle da ventagem e dosagem pela Calha Dosadora.

Optando-se pelo modo automático, existem chaves de posição que auxiliam no controle dimensional dos tijolos, conferindo aos mesmos uma maior qualidade. Além disso, o manômetro instalado no sistema possibilita o controle adequado da pressão sobre a mistura.

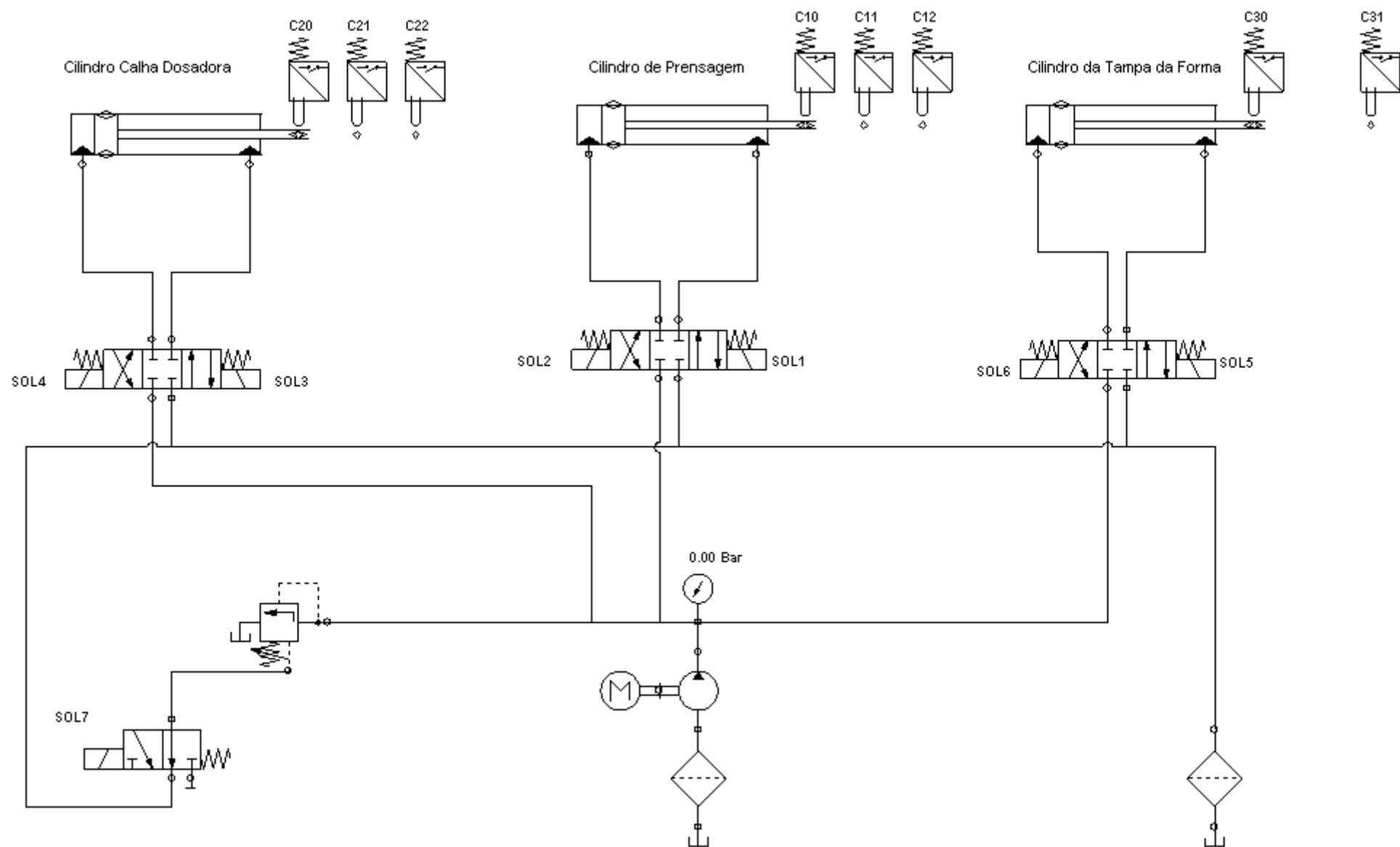


Figura 12 - Diagrama Hidráulico da Nova Concepção



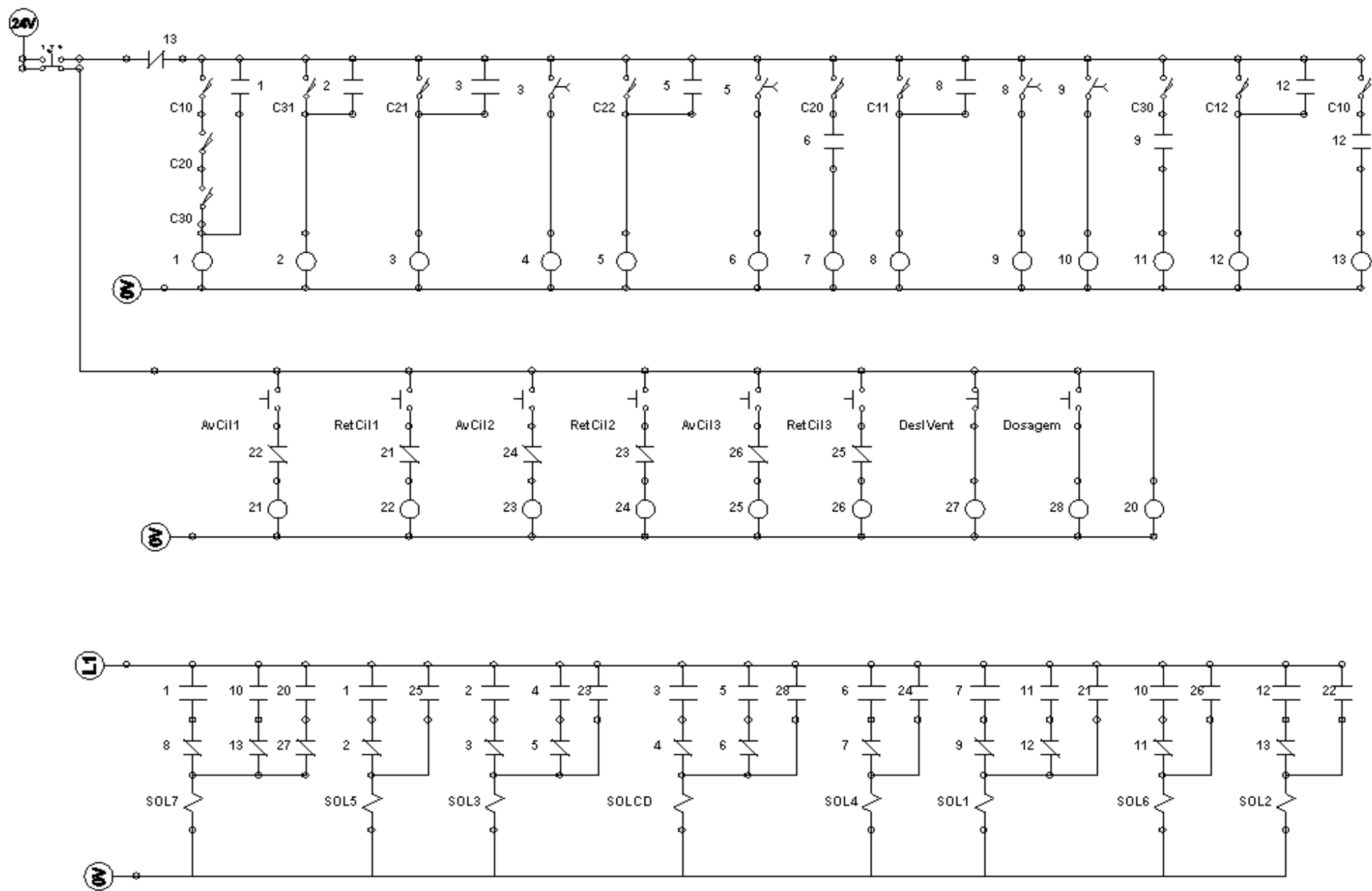


Figura 13 - Diagrama Elétrico da Máquina

## 2.2.4 Lista de Equipamentos do Sistema de Produção Automatizado de Tijolos de Solo-Cimento

Nesta seção será levantada a relação de equipamentos que compõem o sistema de produção automatizado de tijolos de solo-cimento aqui proposto, bem como seu código de encomenda, referência, descrição resumida e respectiva quantidade.

Vale lembrar que é de fundamental importância à listagem de todos os equipamentos que compõe o sistema aqui proposto, bem como suas especificações e funções básicas dentro do mesmo.

### 2.2.4.1 Lista de Equipamentos do Sistema Hidráulico

Segue abaixo lista para especificações de compra para os componentes que compõem o sistema hidráulico da prensa:

**Tabela 2 - Lista de Equipamentos do Sistema Hidráulico**

ITENS	DESCRIÇÃO	CÓDIGO DE ENCOMENDA	QTE	REFERÊNCIA
1	Cilindro Hidráulico de Prensagem	CD160ME5-160/70-270Z10B/01CHDM1-1T	1	Rexroth Hydraulics
2	Cilindro Hidráulico da Calha de Escoamento	CD160ME5-40/28-260Z10B/01CHDM1-1T	1	Rexroth Hydraulics
3	Cilindro Hidráulico da Tampa Inferior da Forma	CD160ME5-40/28-260Z10B/01CHDM1-1T	1	Rexroth Hydraulics
4	Válvula Limitadora de Pressão (segurança)	DBDS6G10 / 220 V	1	Rexroth Hydraulics
5	Válvulas Direcionais	4WE6E61 / EW205N9K4	3	Rexroth Hydraulics
6	Válvula de Ventagem	4WE6GA61 / EW205N9K4	1	Rexroth Hydraulics
7	Filtro de Óleo	MFBN160GA10E1.0	2	Hydac
8	Placa de Comando	4HSR6-22 / 01D	1	Rexroth Hydraulics
9	Adaptador 1/2" X 3/8"	070102-6-8C	2	Rexroth Hydraulics
10	Adaptador 3/4" X 3/8"	070102-6-8C	2	Rexroth Hydraulics
11	Adaptador 1" X 3/8"	070102-6-8C	2	Rexroth Hydraulics
12	Adaptador 3/8" X 3/8"	070102-6-6C	8	Rexroth Hydraulics
13	Mangueira	MPMPAT - 6 X 2401 - 6 X mm	2	Rexroth Hydraulics
14	União (válvulas)	UMA 1/4" X 10 mm	4	Rexroth Hydraulics
15	União (bomba)	UMA 3/4" X 20 mm	2	Rexroth Hydraulics
16	União (filtro de óleo)	MFA 1 1/4" X 3/4 "	4	Rexroth Hydraulics
17	Válvula Isoladora de Manômetro	AF6EA3X / Y250	1	Rexroth Hydraulics
18	Bomba de Engrenagens tipo G3, série 30B	1PF2G3-30B/TN032/RA07MS	1	Rexroth Hydraulics
19	Motor Trifásico de Indução - Rotor de Gaiola	Modelo IP55 - W21	1	Weg Motores LTDA

A especificação dos cilindros hidráulicos é feita de acordo com Anexo 4.

#### 2.2.4.2 Outros Equipamentos da Prensa Hidráulica

Além dos componentes que compõem o sistema hidráulico da prensa listados na Tabela 2, é de fundamental importância à relação dos equipamentos que promovem o apoio ao sistema hidráulico, desta forma teremos a caracterização completa do sistema automatizado aqui proposto para fabricação de tijolos de solo-cimento. Seguem as especificações destes equipamentos conforme Tabela 3:

**Tabela 3 - Outros Equipamentos da Prensa Hidráulica**

ITENS	DESCRIÇÃO	MODELO	QTE	REFERÊNCIA
1	PLC	DLC 205 PLC	1	FAL Automação
2	Silo de Alimentação	<i>Data Sheet Toledo Silo Alimentação</i>	1	Toledo do Brasil
3	Calha Dosadora	<i>Data Sheet Toledo Calha Dosadora</i>	1	Toledo do Brasil
4	Calha de Escoamento		1	
5	Transportador de Correia	TC-16	1	Maq. Furlan LTDA

As Especificações (*Data Sheet*) do Silo de Alimentação e Calha Dosadora encontram-se, respectivamente, nos Anexos 1 e 2. Maiores detalhes técnicos sobre o Transportador de Correia encontram-se no Anexo 3.

#### 2.2.5 Funções e Características Principais dos Equipamentos do Sistema de Produção Automatizado de Tijolos de Solo-Cimento

**Cilindro Hidráulico de Prensagem:** Sua função é a compactação da mistura de solo-cimento, objetivando assim a conformação do tijolo nas especificações previstas de acordo com norma NBR 8491/1984. Além disso, é este cilindro hidráulico o responsável pela retirada dos tijolos da forma, por intermédio de um avanço subsequente a etapa de prensagem. Para informações sobre dimensionamento, vide Capítulo 4.

Características Básicas:

- Curso: 270 mm;
- Pressão Nominal e Máxima: 160 bar e 210 bar (respectivamente);
- Pressão de Trabalho: 155,7 bar;
- Diâmetro de Êmbolo: 160 mm;
- Força Avanço: 31.997 Kgf;
- Força Retorno: 25.802 Kgf.

**Cilindro Hidráulico da Calha de Escoamento:** Têm por objetivo deslocar a Calha de Escoamento, de maneira que a mistura de solo-cimento seja depositada uniformemente dentro da forma. Para informações sobre dimensionamento, vide Capítulo 4.

Características Básicas:

- Curso: 260 mm;
- Pressão Nominal e Máxima: 160 bar e 210 bar (respectivamente);
- Pressão de Trabalho: 155,7 bar;
- Diâmetro de Êmbolo: 40 mm;
- Força Avanço: 1.995 Kgf;
- Força Retorno: 1.017 Kgf.

**Cilindro Hidráulico da Tampa Inferior da Forma:** Sua função é movimentar a tampa inferior da forma, de modo que no instante em que a mistura de solo-cimento está sendo depositada, esta se encontra totalmente fechada para possibilitar a etapa de prensagem. Após a prensagem, este cilindro hidráulico recolhe a tampa para que os tijolos possam ser retirados da forma pelo cilindro hidráulico de prensagem. Para informações sobre dimensionamento, vide Capítulo 4.

Características Básicas:

- Curso: 260 mm;
- Pressão Nominal e Máxima: 160 bar e 210 bar (respectivamente);
- Pressão de Trabalho: 155,7 bar;
- Diâmetro de Êmbolo: 40 mm;
- Força Avanço: 1.995 Kgf;
- Força Retorno: 1.017 Kgf.

**Chaves de Posição:** Sua função é emitir sinais elétricos ao banco de relés, informando o posicionamento de cada cilindro hidráulico. Estas chaves são fundamentais dentro da automação do equipamento, visto que garantem um curso preciso aos cilindros hidráulicos, contribuindo assim para qualidade do produto e dinamismo do processo.

**Válvulas Direcionais:** Estas válvulas têm por função direcionar o fluido de trabalho dentro do sistema hidráulico, possibilitando a extensão ou retração dos cilindros hidráulicos, desviando e direcionando o fluxo para onde ele seja necessário.

**Válvula Limitadora de Pressão (segurança):** Permite que o fluido de trabalho seja desviado em sua totalidade para o tanque, sempre que a pressão exceder o valor máximo pré-estabelecido à execução do processo.

**Ventagem:** Protege o sistema hidráulico, desviando o fluido de trabalho para o tanque, para que o sistema não fique sob a ação de uma pressão elevada nos instantes em que esta não é necessária.

**Filtro de Óleo:** Dispositivo que tem por principal função reter todo e qualquer tipo de contaminante insolúvel no fluido de trabalho.

**Bomba de Engrenagens:** É constituída por um par de engrenagens acopladas, que desenvolve o fluxo transportando o fluido de trabalho entre seus dentes, succionando o mesmo do reservatório de óleo e recalçando-o para o sistema hidráulico em pressão suficiente para que ocorra a extensão ou retração dos cilindros hidráulicos. Para informações sobre dimensionamento, vide Capítulo 4.

Características Básicas:

- Modelo: Bomba de Engrenagens, Tipo G3, Série 30B;
- Pressão Máxima de Trabalho: 250 bar;
- Pressão de Trabalho: 155,7 bar;
- Volume de Deslocamento Geométrico: 32,6 cm<sup>3</sup>/rotação;
- Vazão Efetiva: 54 l/min.

**Reservatório de Óleo:** As funções do reservatório são basicamente: o armazenamento do fluido de trabalho e arrefecimento por condução e convecção. Este Reservatório possui geometria prismática, com dimensões: 0,3 m (a), 0,6 m (l) e 0,9 m (c). Para informações sobre dimensionamento, vide Capítulo 4.

**Motor Elétrico:** O motor elétrico é um atuador rotativo, o qual tem por função básica converter a energia elétrica em energia mecânica rotativa, podendo este movimento rotativo ser convertido em movimento alternativo. Nesta nova concepção da prensa hidráulica serão utilizados 3 motores elétricos descritos a seguir:

1. **Motor de acionamento da Bomba de Engrenagens:** Deve fornecer energia mecânica suficiente, isto é, na rotação e torque exigidos, para que a bomba de engrenagens funcione de acordo com especificações;

Características Básicas:

- Potência: 18,5 KW (25,15 CV);
- Número de Pólos: 4;
- Rotação Nominal: 1.755 rpm;
- Tensão Nominal: 220 / 380 V.

2. **Motor de acionamento da Calha Dosadora:** O movimento rotativo deste motor deverá ser transformado em movimento alternativo, para que no momento de dosagem, ocorra vibração na Calha Dosadora;

Características Básicas:

- Potência: 3 CV;
- Número de Pólos: 4;
- Tensão Nominal: 220 / 380 V.

3. **Motor de acionamento do Transportador de Correias:** Deverá estar acoplado a um redutor de velocidade, e deverá fornecer rotação e torque especificados para o funcionamento do Transportador de Correias.

Características Básicas:

- Potência: 3 CV;
- Número de Pólos: 4;
- Tensão Nominal: 220 / 380 V.

**Silo de Alimentação:** Destina-se armazenar a mistura de solo-cimento antes da etapa de prensagem. No orifício de saída do silo, existe uma válvula controlada por *PLC* que regula a vazão da mistura despejada sobre a Calha Dosadora. Para informações sobre dimensionamento, vide Capítulo 4.

Características Básicas:

- Formato: Tronco de Cone;
- Altura: 900 mm;
- Diâmetro do orifício de entrada: 1000 mm;
- Diâmetro do orifício de saída: 100 mm;
- Capacidade: 495 kg de mistura solo-cimento.

**Calha Dosadora:** Seu objetivo é homogeneizar e dosar a mistura de solo-cimento a ser prensada na forma. Constituída basicamente de uma calha que vibra sob a excitação provocada por um motor elétrico, células de carga ligadas a um *PLC* e uma válvula que regula dosagem na saída da calha. Para informações sobre dimensionamento, vide Capítulo 4.

Características Básicas:

- Formato: Tronco de Cone;
- Altura: 300 mm;
- Diâmetro do orifício de entrada: 200 mm;
- Diâmetro do orifício de saída: 50 mm;
- Capacidade: 10 kg de mistura solo-cimento;
- Taxa de Dosagem: 5 m<sup>3</sup>/h.

**Calha de Escoamento:** Destina-se ao escoamento da mistura dosada pela Calha Dosadora até a forma. A Calha de Escoamento é engastada por uma rótula e, faz um movimento ascendente e descendente devido à ação do Cilindro da Calha de Escoamento, possibilitando desta forma o despejamento da mistura na forma na posição correta.

**PLC:** *PLC* ou Controlador Lógico Programável são freqüentemente definidos como miniaturas de computadores industriais que contem um hardware e um software que são utilizados para realizar as funções de controles. O sistema de entradas e saídas são conectados fisicamente nos dispositivos de campo (interruptores, sensores, etc.) e provem também uma interface entre a CPU e o meio externo.

No caso do *PLC* desta nova concepção de prensa hidráulica, as entradas são: O peso medido nas células de carga e o sinal oriundo do diagrama de relés, determinando posicionamento correto para início da dosagem. As saídas são os sinais de abertura e fechamento das válvulas nas saídas do silo de alimentação e Calha Dosadora e o sinal de fim de dosagem ao diagrama de relés.

Características Básicas:

- Fonte de alimentação: 110 / 220 V;
- Slots I/O : 8.

**Transportador de Correia:** Tem como objetivo transportar os tijolos recém prensados para o *Palet* de armazenamento dos tijolos. Formada basicamente por rolamentos, mancais, roletes e correia transportadora, sendo o sistema acionado por motor elétrico.

Características Básicas:

- Largura da Correia Transportadora: 12”;
- Capacidade Máxima de Transporte: 60 m<sup>3</sup>/h;
- Comprimento do Transportador de Correia: 2 m;
- Potência do Motor Elétrico de Acionamento: 3 CV;
- Diâmetro dos Tambores de Tração e Retorno: 0,1 m.



### 3 Levantamento e Análise das Funções de Controle

Neste capítulo serão abordadas informações sobre os diagramas de operação da prensa hidráulica e de atividades do processo de produção de tijolos de solo-cimento. Além disto, será apresentado o manual de operação da prensa hidráulica, dadas informações de entrada e saída previamente especificadas.

#### 3.1 Diagrama de Operação da Prensa Hidráulica

Nesta seção será apresentado o diagrama de operação da prensa hidráulica, Figura 14, que consiste na seqüência de comandos e monitoração necessários para realização do objetivo final do sistema de controle, a produção de tijolos de solo-cimento.

Classificando-se funcionalmente os comandos de operação e monitoração, têm-se as seguintes etapas relacionadas abaixo:

1. Nível de inicialização da operação (partida);
2. Condições de partida;
3. Condição para seleção do modo de operação (manual ou automático);
4. Confirmação do modo de operação selecionado;
5. Confirmação das operações realizadas;
6. Condição de partida para novo ciclo.

Na Etapa 1, o operador da prensa hidráulica deverá acionar a chave geral, desta forma ligando a força elétrica que alimenta os componentes elétricos da prensa hidráulica. Esta chave geral também tem por função ser um botão de parada de emergência, sendo assim interrompendo a alimentação elétrica de todo sistema, travando o mesmo.

Estando a chave geral da prensa hidráulica na posição *ON*, os seguintes componentes elétricos são acionados: *PLC*, Motor da Calha Dosadora, Motor da Bomba de Engrenagens, Motor do Transportador de Correias e por fim o Banco de Relés.

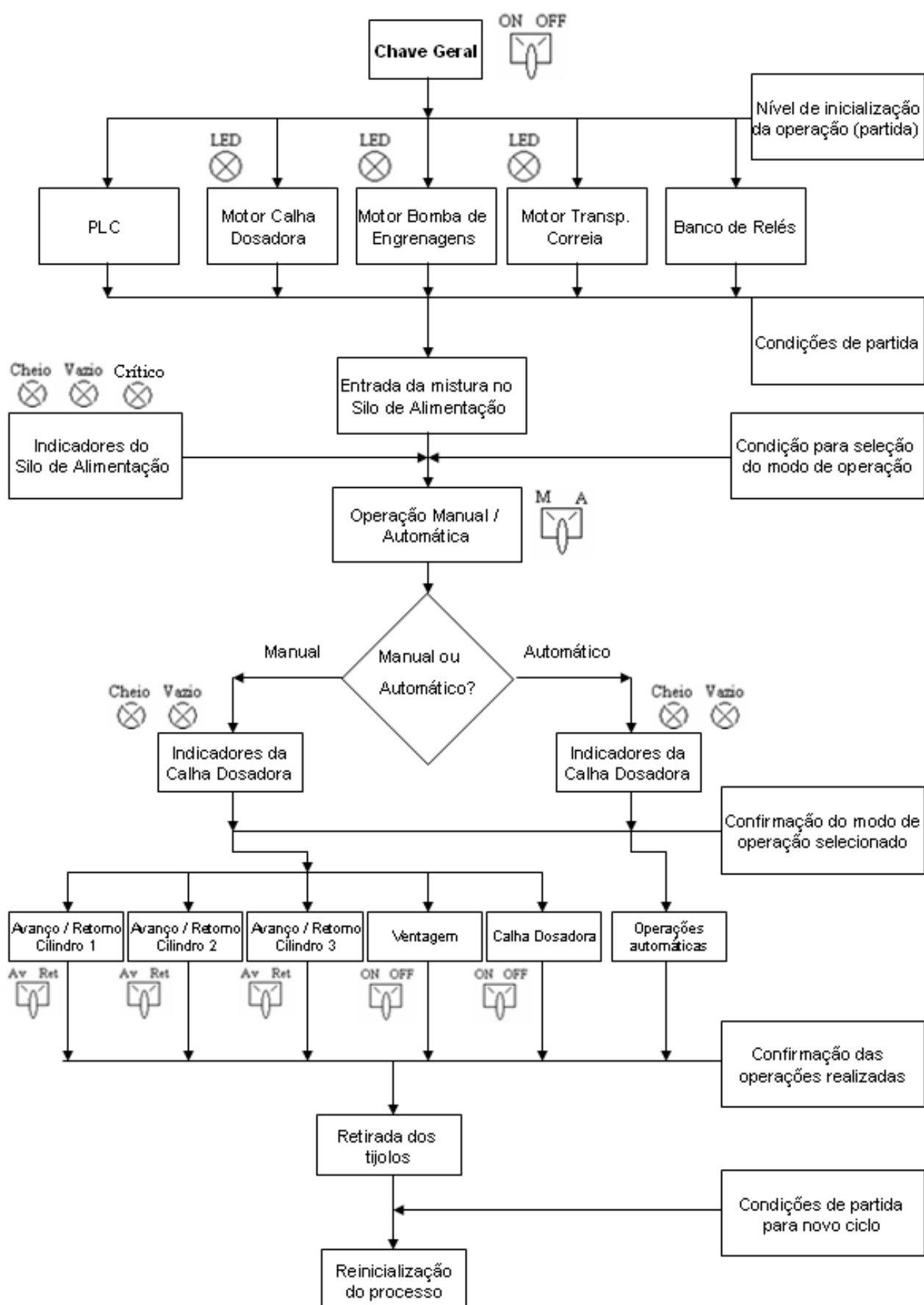


Figura 14 - Diagrama de Operação da Prensa Hidráulica

Existem 3 *LEDs*, indicando o funcionamento dos motores da Calha Dosadora, Bomba de Engrenagens e Transportador de Correia. Caso algum destes *LEDs* estejam desligados após o acionamento da chave geral, a prensa hidráulica deverá ser desligada imediatamente para possível reparos.

Na Etapa 2, após todos os componentes elétricos da prensa hidráulica estarem em funcionamento, teremos condições adequadas para abastecimento do Silo de Alimentação com a mistura de solo-cimento. O operador deve estar atento aos *LEDs* que indicam o nível de mistura depositado no Silo de Alimentação, sendo este monitorado por três *LEDs* que são:

- ***Cheio:*** Indica que o Silo de Alimentação está muito próximo da sua capacidade total, (algo em torno de 95%) e que deverá ser interrompido seu abastecimento;
- ***Vazio:*** Indica que é necessário o reabastecimento, pois a carga de mistura de solo-cimento no Silo de Alimentação está em torno de 10% de sua capacidade total, faltando apenas alguns minutos para que a mistura acabe;
- ***Crítico:*** Indica que a máquina deverá ser desligada imediatamente, pois não há mistura suficiente para a execução de um novo ciclo.

Após o abastecimento do Silo de Alimentação, inicia-se a Etapa 3, onde o operador terá plenas condições para selecionar o modo de operação, manual ou automático, de acordo sua preferência.

Na Etapa 4, após seleção do modo de operação, optando pelo modo automático a prensa executará todo o processo de prensagem automaticamente, e o operador deverá apenas monitorar o nível de abastecimento do Silo de Alimentação. Optando pelo modo manual, o operador deverá controlar o avanço/retorno dos cilindros hidráulicos, a dosagem executada pela Calha Dosadora, a o funcionamento da ventagem.

Após todas as operações terem sido executadas (Etapa 5), manualmente ou automaticamente, os tijolos estão em condições de serem retirados pelo Transportador de Correias, transportando-os para o *Palet* de Armazenamento, dando condições ao início de um novo ciclo de prensagem (Etapa 6).

### **3.1.1 Seqüência de operações a serem realizadas em modo de operação manual**

Caso o operador selecionar o modo de operação manual, conforme suas necessidades devem-se seguir a seqüência relacionada abaixo. A mesma tem embasamento no diagrama de passos mostrado na Figura 11.

1. Apertar botão de avanço do Cilindro 3 (Cilindro Hidráulico da Tampa Inferior da Forma);
2. Apertar botão de avanço do Cilindro 2 (Cilindro Hidráulico da Calha de Escoamento) até posição de dosagem da primeira parte da forma;
3. Apertar botão de acionamento da dosagem;
4. Apertar botão de avanço do Cilindro 2 até posição de dosagem da segunda parte da forma;
5. Apertar botão de acionamento da dosagem;
6. Apertar botão de retorno do Cilindro 2;
7. Apertar botão de avanço do Cilindro 1 (Cilindro Hidráulico de Prensagem) até a altura dos tijolos pré-estabelecida nas premissas operacionais ;
8. No momento em que o Cilindro 1 chega a altura pré-estabelecida, com o botão de avanço do cilindro 1 ainda pressionado, deve-se apertar botão para desligar a ventagem, aliviando a pressão do sistema hidráulico. Após um pequeno intervalo de tempo (aproximadamente 1 s), deve-se soltar o botão de avanço do Cilindro 1 e logo após soltar o botão de desligamento da ventagem.
9. Apertar botão de retorno do Cilindro 3;
10. Apertar o botão de avanço do Cilindro 1, até que ocorra a retirada dos tijolos;
11. Apertar o botão de retorno do Cilindro 1, até sua posição inicial, possibilitando assim o início de um novo ciclo.

### **3.2 Informações de Entrada e Saída**

Essas informações são recebidas ou informadas pela prensa hidráulica ou pelos seus componentes (Banco de Relés e *PLC*). No caso da prensa hidráulica, estas informações são essenciais à operação da mesma. Já no caso do Banco de Relés e *PLC*, são essenciais a programação (*PLC*) ou a manutenção destes equipamentos.

### 3.2.1 Prensa Hidráulica

Na operação da prensa hidráulica, é importante ao operador atentar a certas informações de entrada e saída essenciais para o bom funcionamento do processo de produção de tijolos de solo-cimento. Estas informações seguem listadas abaixo:

#### **Entradas:**

- Seleção do modo de funcionamento (manual / automático);
- Avanço / retorno dos cilindros hidráulicos, controle da ventagem e da dosagem pela Calha Dosadora (em modo de operação manual).

#### **Saídas:**

- *LEDs* de indicação de funcionamento dos motores elétricos;
- *LEDs* de indicação do nível de carga de mistura do Silo de Alimentação;
- *LEDs* de indicação do nível de carga de mistura na Calha Dosadora.

### 3.2.2 Banco de Relés

Para facilitar as inúmeras questões que por ventura podem ser levantadas a respeito da manutenção do Banco de Relés, faz-se necessário conhecer todas as informações referentes às entradas e saídas do mesmo.

#### **Entradas:**

- Seleção do modo de funcionamento (manual / automático);
- Botões de avanço / retorno dos cilindros hidráulicos, controle da ventagem e da dosagem pela Calha Dosadora (em modo de operação manual);
- Chaves de posição (em modo de operação automático);
- Sinais provenientes do *PLC* (em modo de operação automático).

**Saídas:**

- Energização das solenóides das válvulas direcionais e da ventagem;
- Sinais enviados ao *PLC*.

**3.2.3 PLC**

Para criar condições ideais ao operador de programar o *PCL*, ou mesmo para questões relacionadas à sua manutenção, é necessário determinar claramente os dados de entrada e saída do mesmo.

**Entradas:**

- Carga mensurada pela Célula de Carga do Silo de Alimentação;
- Carga mensurada pela Célula de Carga da Calha Dosadora;
- Sinais provenientes do Banco de Relés.

**Saídas:**

- *LEDs* de indicação do nível de carga de mistura do Silo de Alimentação;
- *LEDs* de indicação do nível de carga de mistura na Calha Dosadora;
- Sinais enviados ao Banco de Relés.

**3.3 Estruturação das Funções de Controle**

Nesta seção, identifica-se o que o usuário deseja concretamente executar para atingir os objetivos finais, o produto a ser fabricado. As funções consideradas indispensáveis têm seu inter-relacionamento sistematizado através da elaboração do seu respectivo diagrama estrutural das funções, conforme Figura 15.

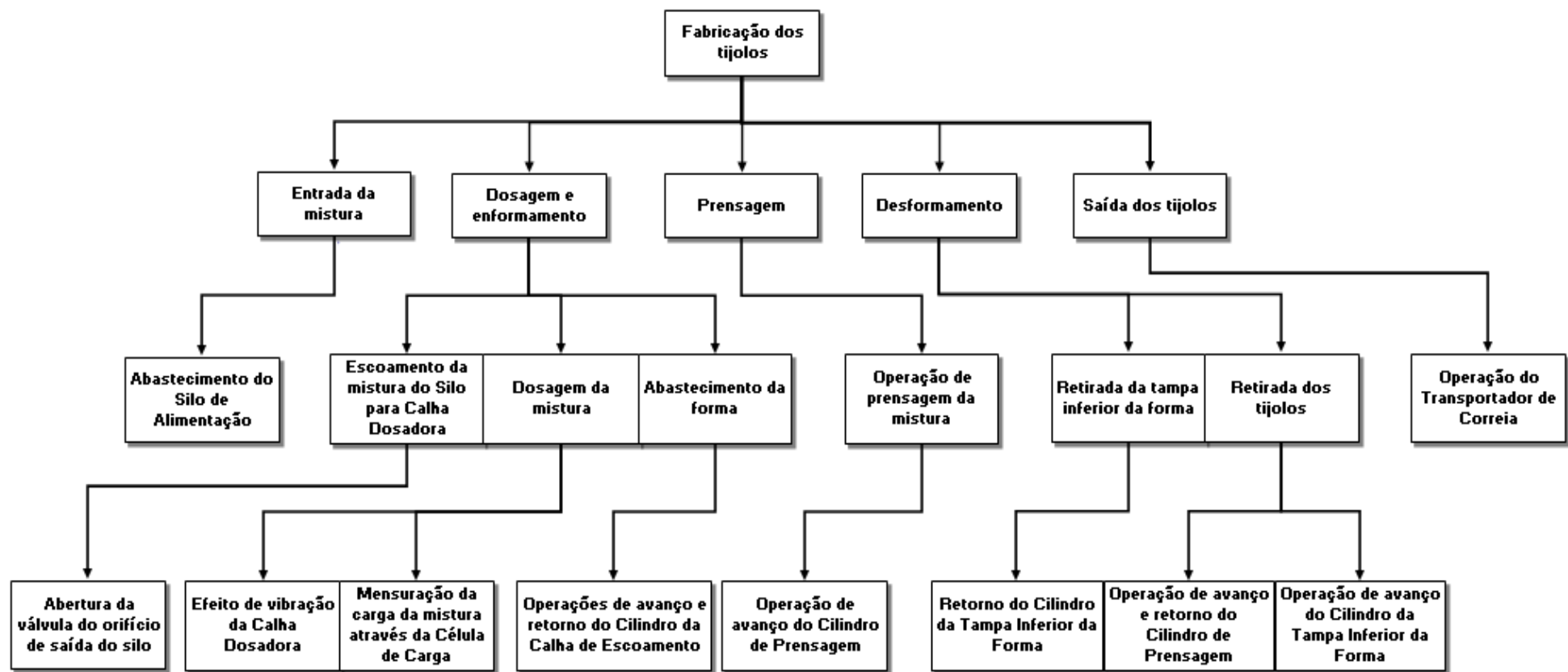


Figura 15 - Diagrama Estrutural das Funções

No primeiro nível, mostra-se a função principal requerida, ou seja, a Fabricação dos tijolos. Este é o maior nível hierárquico do diagrama estrutural das funções, todos os outros níveis estão inter-relacionados a ele diretamente.

No segundo nível, são mostradas as funções necessárias que, realizadas em conjunto e seqüência, tem por finalidade executar a função requerida no primeiro nível hierárquico. Essas funções são as tarefas que serão executadas no processo de fabricação dos tijolos, desde a entrada da matéria prima até a saída do produto final.

No terceiro nível são mostradas as atividades de cada tarefa relacionada no segundo nível hierárquico do diagrama. O conjunto destas atividades compõe cada tarefa.

Já no quarto e último nível hierárquico estão relacionadas às ferramentas utilizadas pela máquina para a realização de cada atividade descrita no terceiro nível hierárquico do diagrama, que seriam o que realmente a máquina realiza operacionalmente para executar cada atividade.



## 4 Dimensionamento dos Equipamentos

Neste capítulo será abordado o dimensionamento dos equipamentos que compõe o sistema de produção automatizado de tijolos de solo-cimento aqui proposto, conforme premissas operacionais adotadas (vide Seção 2.1.6 - Premissas Operacionais).

Serão dimensionados os cilindros hidráulicos, bomba de engrenagens e seu respectivo motor elétrico de acionamento, o Silo de Alimentação e a Calha Dosadora. Além destes, será determinado o tempo total para realização de um ciclo completo de prensagem, bem como a produção diária.

### 4.1 Cilindro Hidráulico de Prensagem - Cálculos Preliminares

Este cilindro hidráulico destina-se a prensagem da mistura de solo cimento objetivando a conformação dos tijolos. Além disso, este cilindro possibilitará a retirada dos tijolos por meio de um avanço subsequente ao processo de prensagem.

A partir das dimensões do tijolo, especificados pela norma NBR, Tabela 1. Sendo assim, a área de prensagem por tijolo é de 253 cm<sup>2</sup>. Para uma produção de dois tijolos por ciclo, a Área Total de Prensagem ( $A_{\text{prensagem}}$ ) será de **506 cm<sup>2</sup>**.

Com a Pressão sobre a Mistura ( $P_{\text{mistura}}$ ) de **60 Kgf/cm<sup>2</sup>**, teremos a seguinte Força Distribuída Sobre a Mistura de Solo-Cimento ( $F_{\text{mistura}}$ ):

$$F_{\text{mistura}} = P_{\text{mistura}} * A_{\text{prensagem}} = 60 \text{ [Kgf/cm}^2\text{]} * 506 \text{ [cm}^2\text{]} = \mathbf{30.360 \text{ Kgf}}$$

A partir da força acima especificada e da Pressão da Bomba estimada ( $P_{\text{bomba}} = 150 \text{ Kgf/cm}^2$ ), seguem cálculos relacionados abaixo para dimensionamento do Diâmetro do Êmbolo do Cilindro Hidráulico de Prensagem ( $D_{\text{embcl}}$ ):

$$F_{\text{mistura}} = ( \pi * D_{\text{embcl}}^2 * P_{\text{bomba}} ) / 4$$

$$30.360 \text{ [Kgf]} = ( \pi * D_{\text{embcl}}^2 * 150 \text{ [Kgf/cm}^2\text{]} ) / 4 \Rightarrow D_{\text{embcl}} = 16,053 \text{ cm} = 160,53 \text{ mm}$$

Conforme catálogo da *Rexroth Hydraulics*, utilizaremos um Diâmetro do Êmbolo ( $D_{embc1}$ ) de 160 mm e Diâmetro de Haste ( $D_{hastec1}$ ) de 70 mm. O Diâmetro de Êmbolo nos oferece uma Área do Êmbolo do Cilindro Hidráulico de Prensagem ( $A_{embc1}$ ) no valor de 201,6 cm<sup>2</sup>. Portanto, determinar a Força Efetiva de Avanço do Cilindro Hidráulico de Prensagem ( $F_{avc1}$ ) é uma tarefa relativamente simples, conforme cálculo efetuado abaixo:

$$F_{avc1} = 201,6 \text{ [cm}^2\text{]} * 150 \text{ [Kgf/cm}^2\text{]} = \mathbf{30.159 \text{ Kgf (avanço)}}$$

Assim sendo, cada tijolo estará submetido a uma força de aproximadamente **15 toneladas-força**.

Dados complementares sobre o cilindro hidráulico escolhido:

- Curso: 270 mm;
- Diâmetro do êmbolo: 160 mm;
- Diâmetro da haste: 70 mm;
- Área do êmbolo: 201,06 cm<sup>2</sup>;
- Área da coroa circular: 162,57 cm<sup>2</sup>;

Após especificação da bomba e motor elétrico, serão recalculadas as forças efetiva exercida por este cilindro.

## 4.2 Cálculo da Bomba de Engrenagens e Motor Elétrico

De acordo com a pressão exigida pelo Cilindro Hidráulico de Prensagem e a vazão necessária para atender as premissas operacionais de produção, nesta seção será especificada a bomba de engrenagens e seu respectivo motor elétrico de acionamento.

Primeiramente, será selecionada uma bomba de engrenagens que forneça uma pressão próxima a 150 Kgf/ cm<sup>2</sup>, ou seja, 147,15 bar. Logo após será especificado um motor elétrico que forneça rotação e potência próximos dos valores exigidas pela bomba. Finalmente será recalculada a vazão e a pressão fornecida pela bomba de engrenagens ao sistema hidráulico, se utilizado o motor elétrico selecionado. Desta forma, estarão concluídos os cálculos pertinentes ao dimensionamento da bomba engrenagens e do motor elétrico de acionamento.

**Tabela 4 - Tabela de Dimensionamento da Bomba de Engrenagens**

Capacidade de Vazão e Potência										
Tamanho Nominal	Vol. de Deslocamento Geom. V (cm <sup>3</sup> / Rot.)	Vazão efetiva Q <sub>ef</sub> e Potência de acionamento necessária P <sub>a</sub> , com n = 1750 rpm, v = 36 mm <sup>2</sup> /s e t = 50°C								
		Pressão bar	10	50	100	150	175	200	210	250
020	20,9	Q <sub>ef</sub> ( l / min )	35,0	34,8	34,4	33,8	33,6	33,3	32,9	32,6
		P <sub>a</sub> ( kW )	1,52	4,35	7,62	11,43	13,33	15,24	16,00	19,05
023	23,4	Q <sub>ef</sub> ( l / min )	40,3	39,7	39,3	39,1	38,7	38,5	38,4	38,1
		P <sub>a</sub> ( kW )	1,70	4,27	8,53	12,80	14,92	17,06	17,92	21,33
026	25,9	Q <sub>ef</sub> ( l / min )	44,8	44,7	44,5	43,9	43,7	43,4	43,3	43,1
		P <sub>a</sub> ( kW )	1,88	4,72	9,44	14,16	16,52	18,88	19,82	23,60
029	30,1	Q <sub>ef</sub> ( l / min )	50,7	50,1	49,6	49,2	49,0	48,6	-	-
		P <sub>a</sub> ( kW )	2,19	5,48	10,97	16,46	19,26	21,95	-	-
032	32,6	Q <sub>ef</sub> ( l / min )	56,0	55,6	54,8	54,3	53,9	53,6	-	-
		P <sub>a</sub> ( kW )	2,38	5,94	11,88	17,82	20,80	23,77	-	-
035	35,1	Q <sub>ef</sub> ( l / min )	60,7	60,3	59,5	58,9	58,3	-	-	-
		P <sub>a</sub> ( kW )	2,56	6,40	12,80	19,20	22,40	-	-	-
038	37,6	Q <sub>ef</sub> ( l / min )	64,7	64,7	64,6	64,2	64,0	-	-	-
		P <sub>a</sub> ( kW )	2,77	6,93	13,85	20,78	24,24	-	-	-

De acordo com a Tabela 4, extraída do catálogo da *Rexroth Hydraulics*, a bomba de engrenagens que apresenta valores mais próximos à vazão mínima e pressão mínima necessárias para atender as premissas operacionais é a bomba de engrenagens de tamanho nominal 032, na pressão de 150 bar, cujas características são:

- Modelo: Bomba de Engrenagens, Tipo G3, Série 30B;
- Pressão Máxima de Trabalho: 250 bar;
- Volume de Deslocamento Geométrico: 32,6 cm<sup>3</sup>/rotação;
- Vazão (a uma pressão 150 bar): 54,3 l/min;
- Potência Mínima exigida do motor elétrico (para pressão de 150 bar): 17,82 Kw.

Partindo do princípio do dimensionamento da bomba de engrenagens, é necessário escolher um motor elétrico que tenha Potência de Acionamento, P<sub>a</sub>, suficiente para chegarmos à pressão de 150 Kgf/cm<sup>2</sup> no êmbolo do Cilindro Hidráulico de Prensagem, conforme premissas operacionais adotadas.

A partir de análise da Tabela 4, necessita-se de um motor elétrico com potência mínima de 17,82 KW para acionar a bomba de engrenagens e assim chegar à pressão estabelecida nas premissas operacionais. A partir de catálogo eletrônico da *WEG Motores LTDA*, segue as características básicas do motor elétrico, Figura 16, especificado:

- **Fabricante:** WEG Motores LTDA;
- **Tipo:** Motor trifásico de indução – rotor de gaiola;
- **Linha do produto:** Motor Trifásico IP55 W21;
- **Potência:** 18,5 KW;
- **Frequência:** 60 Hz;
- **Pólos:** 4;
- **Rotação nominal:** 1755 rpm;
- **Tensão nominal:** 220/380 V



**Figura 16 - Motor Elétrico IP 55 W21**

Foi dimensionado um motor elétrico com Potência de Acionamento ( $P_a$ ) de **18,5 KW**. Através de um processo de interpolação linear considerando esta potência, recalcularemos nossa Vazão e Pressão Efetiva no Sistema Hidráulico,  $Q_{ef}$  e  $P_{ef}$  respectivamente, como se segue:

➤ **Cálculos para Vazão Efetiva  $Q_{ef}$  :**

$$\Delta \text{ Potência: } 20,80 \text{ [KW]} - 17,82 \text{ [KW]} = 2,98 \text{ [KW]}$$

$$\Delta \text{ Vazão: } 53,9 \text{ [l/min]} - 54,3 \text{ [l/min]} = - 0,4 \text{ [l/min]}$$

$$\Delta \text{ Potência acionamento: } 18,5 \text{ [KW]} - 17,82 \text{ [KW]} = 0,68 \text{ [KW]}$$

2,98 [KW]	→	- 0,4 [l/min]	X = 0,09 [l/min]
0,68 [KW]	→	X [l/min]	

**Vazão Efetiva no Sistema Hidráulico:**

$$Q_{ef} = 53,9 \text{ [l/min]} + 0,09 \text{ [l/min]} = 54,0 \text{ [l/min]} = 0,9 \text{ [l/s]} = 900 \text{ [cm}^3\text{/s]}$$

$Q_{ef} = 900 \text{ cm}^3\text{/s}$
--------------------------------------

➤ **Cálculos para Pressão Efetiva P<sub>ef</sub>:**

$$\Delta \text{ Pressão: } 175 \text{ [bar]} - 150 \text{ [bar]} = 25 \text{ [bar]}$$

$$\Delta \text{ Potência: } 20,80 \text{ [KW]} - 17,82 \text{ [KW]} = 2,98 \text{ [KW]}$$

$$\Delta \text{ Potência acionamento: } 18,5 \text{ [KW]} - 17,82 \text{ [KW]} = 0,68 \text{ [KW]}$$

2,98 [KW]	→	25 [bar]	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">Y = 5,7 [bar]</div>
0,68 [KW]	→	Y [bar]	

**Pressão Efetiva no Sistema Hidráulico P<sub>ef</sub> :**

$$P_{ef} = 150 \text{ [bar]} + 5,7 \text{ [bar]} = 155,7 \text{ [bar]} = 158,71 \text{ Kgf/cm}^2$$

$P_{ef} = 158,71 \text{ Kgf/cm}^2$

A partir da pressão e vazão corrigidas serão calculadas as forças e velocidades em todos os cilindros hidráulicos.

Obs.: Todos os cilindros hidráulicos estarão sujeitos a Pressão Efetiva P<sub>ef</sub> nas etapas de avanço.

### 4.3 Cilindro Hidráulico de Prensagem - Cálculos Finais

A partir da nova vazão e pressão fornecida, devido ao método de interpolação linear, será **recalculada** as Forças Efetivas de Avanço (F<sub>avc1</sub>) e Retorno (F<sub>retc1</sub>) do Cilindro Hidráulico de Prensagem. Além disso, serão recalculados os Tempos de Avanço (T<sub>av1c1</sub> e T<sub>av2c1</sub>) e Retorno (T<sub>retc1</sub>) do mesmo a fim de calcular o tempo total de realização do ciclo de prensagem.

### 4.3.1 Cálculo da Força no Avanço e Retorno do Cilindro Hidráulico de Prensagem

Com a Área do Êmbolo ( $A_{embc1}$ ) de 201,6 cm<sup>2</sup> e pressão efetiva fornecida pela bomba de engrenagens ao êmbolo do Cilindro Hidráulico de Prensagem ( $P_{embc1} = P_{ef}$ ) de 158,71 Kgf/cm<sup>2</sup>, tem-se que a Força Efetiva na etapa de Avanço ( $F_{avc1}$ ) é de **31.997 Kgf**. Com uma Área da Coroa Circular deste cilindro hidráulico ( $A_{coroac1}$ ) de 162,57 cm<sup>2</sup>, tem-se uma Força Efetiva na etapa de Retorno ( $F_{retc1}$ ) de **25.802 Kgf**.

Em se tratando de  $F_{avc1}$ , teremos uma Pressão Efetiva sobre a Mistura ( $P_{ef\ mistura}$ ) de **63,24 Kgf/cm<sup>2</sup>**, considerando a Área Total de Prensagem ( $A_{prensagem}$ ) de 506 cm<sup>2</sup>.

### 4.3.2 Cálculo dos Tempos do Cilindro Hidráulico de Prensagem

A Vazão Efetiva fornecida pela bomba ( $Q_{ef}$ ) é de 900 cm<sup>3</sup>/s, vide seção 4.2, e Áreas do Êmbolo ( $A_{embc1}$ ) e da Coroa Circular ( $A_{coroac1}$ ) são respectivamente de 201,6 cm<sup>2</sup> e de 162,57 cm<sup>2</sup>. O Cilindro Hidráulico de Prensagem estará realizando duas etapas de avanço e uma de retorno. Seu curso é de 270 mm, sendo que na primeira etapa de avanço, o mesmo cilindro hidráulico estará se despendendo 200 mm e na segunda etapa avançará mais 70 mm.

#### ➤ 1º Estágio de avanço

$$\text{Volume (est 1)} = 201,6 \text{ [cm}^2\text{]} * 20 \text{ [cm]} = 4021,2 \text{ cm}^3$$

$$\text{Tempo (T}_{av1c1}\text{)} = 4021,2 \text{ [cm}^3\text{]} / 900 \text{ [cm}^3\text{/s]} = \mathbf{4,47 \text{ s}}$$

#### ➤ 2º Estágio de avanço

$$\text{Volume (est 2)} = 201,6 \text{ [cm}^2\text{]} * 7 \text{ [cm]} = 1407,42 \text{ cm}^3$$

$$\text{Tempo (T}_{av2c1}\text{)} = 1407,42 \text{ [cm}^3\text{]} / 900 \text{ [cm}^3\text{/s]} = \mathbf{1,56 \text{ s}}$$

#### ➤ Retorno

$$\text{Volume} = 162,57 \text{ [cm}^2\text{]} * 27 \text{ [cm]} = 4.389,39 \text{ cm}^3$$

$$\text{Tempo (T}_{retc1}\text{)} = 4.389,39 \text{ [cm}^3\text{]} / 900 \text{ [cm}^3\text{/s]} = \mathbf{4,88 \text{ s}}$$

O Tempo Total que o Cilindro Hidráulico de Prensagem ( $T_{tc1}$ ) leva para executar seu ciclo é de **10,91 s**.

$$T_{tc1} = 10,91 \text{ s}$$

#### 4.4 Cilindro Hidráulico da Calha de Escoamento

Este cilindro hidráulico é responsável pela movimentação da Calha de Escoamento. A força que este cilindro hidráulico terá que exercer na execução de seu ciclo é relativamente baixa, desta forma, o mesmo será especificado pelo seu curso e resistência a flambagem na haste, de acordo a Tabela 5, extraída do catálogo da *Rexroth Hydraulics*.

**Tabela 5 - Flambagem em Cilindros Hidráulicos**

Ø do êmbolo (mm)	Ø da haste (mm)	Pressão de trabalho (bar)				Curso máximo fornecido (mm)
		70	100	160	210	
		Curso máximo permitido (mm)				
25	12	125	90	55	35	600
	18	390	315	230	185	
32	14	125	90	50	30	800
	22	455	365	270	220	
40	18	180	130	80	55	1000
	28	600	480	360	295	
50	22	225	165	105	75	1200
	36	820	665	500	415	
63	28	310	435	155	115	1400
	45	1030	840	630	530	
80	36	420	325	220	170	1700
	56	1265	1030	780	650	
100	45	545	425	295	230	2000
	70	1590	1300	985	835	
125	56	690	540	380	300	2300
	90	2145	1755	1340	1135	
160	70	855	675	480	380	2600
	110	2505	2055	1570	1325	
200	90	1155	910	655	520	3000
	140	3000	2675	2045	1730	

Para uma Pressão Efetiva no Sistema Hidráulico  $P_{ef}$  de 158,71 Kgf/cm<sup>2</sup> (155,7 bar), e para um curso de 260 mm, foi selecionado o Diâmetro de Êmbolo do Cilindro Hidráulico da Calha de Escoamento ( $D_{embc2}$ ) de 40 mm e Diâmetro da Haste ( $D_{hastec2}$ ) de 28 mm.

Dados complementares sobre o cilindro hidráulico escolhido:

- Curso: 260 mm;
- Diâmetro do êmbolo: 40 mm;
- Diâmetro da haste: 28 mm;
- Área do êmbolo: 12,57cm<sup>2</sup>;
- Área da coroa circular: 6,41cm<sup>2</sup>;

#### 4.4.1 Cálculo da Força no Avanço e Retorno do Cilindro Hidráulico da Calha de Escoamento

Com a Área do Êmbolo ( $A_{embc2}$ ) de 12,57 cm<sup>2</sup> e pressão efetiva fornecida pela bomba de engrenagens ao êmbolo do Cilindro Hidráulico da Calha de Escoamento ( $P_{embc2} = P_{ef}$ ) de 158,71 Kgf/cm<sup>2</sup>, tem-se que a Força Efetiva na etapa de Avanço ( $F_{avc2}$ ) é de **1.995 Kgf**. Com uma Área da Coroa Circular deste cilindro ( $A_{coroac2}$ ) de 6,41 cm<sup>2</sup>, tem-se uma Força Efetiva na etapa de Retorno ( $F_{retc2}$ ) de **1.117 Kgf**.

#### 4.4.2 Cálculo dos Tempos do Cilindro Hidráulico da Calha de Escoamento

A Vazão Efetiva fornecida pela bomba ( $Q_{ef}$ ) é de 900 cm<sup>3</sup>/s, vide seção 4.2, e Áreas do Êmbolo ( $A_{embc2}$ ) e da Coroa Circular ( $A_{coroac2}$ ) são respectivamente 12,57 cm<sup>2</sup> e 6,41 cm<sup>2</sup>. O Cilindro Hidráulico da Calha de Escoamento estará realizando duas etapas de avanço e uma de retorno. Seu curso é de 260 mm, sendo que na primeira etapa de avanço, o mesmo cilindro hidráulico estará se despendendo 140 mm e na segunda etapa ele avançará 120 m.

##### ➤ 1º Estágio de avanço

$$\text{Volume (est 1)} = 12,57 \text{ [cm}^2\text{]} * 14 \text{ [cm]} = 175,98 \text{ cm}^3$$

$$\text{Tempo (T}_{av1c2}\text{)} = 175,98 \text{ [cm}^3\text{]} / 900 \text{ [cm}^3\text{/s]} = \mathbf{0,20 \text{ s}}$$



➤ **2º Estágio de avanço**

$$\text{Volume (est 2)} = 12,57 \text{ [cm}^2\text{]} * 12 \text{ [cm]} = 150,8 \text{ cm}^3$$

$$\text{Tempo (T}_{av2c2}\text{)} = 150,8 \text{ [cm}^3\text{]} / 900 \text{ [cm}^3\text{/s]} = \mathbf{0,17 \text{ s}}$$

➤ **Retorno**

$$\text{Volume} = 6,41 \text{ [cm}^2\text{]} * 26 \text{ [cm]} = 166,66 \text{ cm}^3$$

$$\text{Tempo (T}_{retc2}\text{)} = 166,66 \text{ [cm}^3\text{]} / 900 \text{ [cm}^3\text{/s]} = \mathbf{0,19 \text{ s}}$$

O Tempo Total que o Cilindro Hidráulico da Calha de Escoamento (T<sub>tc2</sub>) leva para executar seu ciclo é de **0,56 s**.

$T_{tc2} = 0,56 \text{ s}$
----------------------------

## 4.5 Cilindro Hidráulico da Tampa Inferior da Forma

Este cilindro é responsável pela movimentação da tampa inferior da forma. A força que este cilindro hidráulico terá que exercer na execução de seu ciclo é muito baixa, desta forma, ele será especificado pelo seu curso e resistência a flambagem na sua haste, como fora especificado o Cilindro Hidráulico da Calha de Escoamento, de acordo a Tabela 5, extraída do catálogo da *Rexroth Hydraulics*.

Desta forma, para uma Pressão Efetiva no Sistema Hidráulico P<sub>ef</sub> de 158,71 Kgf/cm<sup>2</sup> (155,7 bar), e para um curso de 260 mm, (com uma pequena margem de segurança) foi selecionado o Diâmetro de Êmbolo do Cilindro Hidráulico da Tampa Inferior da Forma (D<sub>embc3</sub>) de 40 mm e Diâmetro da Haste (D<sub>hastec3</sub>) de 28 mm.

Dados complementares sobre o cilindro hidráulico escolhido:

- Curso: 260 mm;
- Diâmetro do êmbolo: 40 mm;
- Diâmetro da haste: 28 mm;
- Área do êmbolo: 12,57cm<sup>2</sup>;
- Área da coroa circular: 6,41cm<sup>2</sup>.

#### 4.5.1 Cálculo da Força no Avanço e Retorno do Cilindro Hidráulico da Tampa Inferior da Forma

Com a Área do Êmbolo ( $A_{embc3}$ ) de  $12,57 \text{ cm}^2$  e pressão efetiva fornecida pela bomba de engrenagens ao êmbolo do Cilindro Hidráulico da Tampa Inferior da Forma ( $P_{embc3} = P_{ef}$ ) de  $158,71 \text{ Kgf/cm}^2$ , tem-se que a Força Efetiva na etapa de Avanço ( $F_{avc3}$ ) é de **1.995 Kgf**. Com uma Área da Coroa Circular deste cilindro ( $A_{coroac3}$ ) de  $6,41 \text{ cm}^2$ , tem-se uma Força Efetiva na etapa de Retorno ( $F_{retc3}$ ) de **1.117 Kgf**.

#### 4.5.2 Cálculo do tempo no Cilindro da Tampa Inferior da Forma

A Vazão Efetiva fornecida pela bomba ( $Q_{ef}$ ) é de  $900 \text{ cm}^3/\text{s}$ , vide seção 4.2, e Áreas do Êmbolo ( $A_{embc3}$ ) e da Coroa Circular ( $A_{coroac3}$ ) são respectivamente  $12,57 \text{ cm}^2$  e  $6,41 \text{ cm}^2$ . Este cilindro hidráulico realizará uma etapa avanço e uma de retorno. Seu curso é de  $260 \text{ mm}$ .

##### ➤ Avanço

$$\text{Volume} = 12,57 [\text{cm}^2] * 26 [\text{cm}] = 326,82 \text{ cm}^3$$

$$\text{Tempo} (T_{avc3}) = 326,82 [\text{cm}^3] / 900 [\text{cm}^3/\text{s}] = \mathbf{0,36 \text{ s}}$$

##### ➤ Retorno

$$\text{Volume} = 6,41 [\text{cm}^2] * 26 [\text{cm}] = 166,66 \text{ cm}^3$$

$$\text{Tempo} (T_{retc3}) = 166,66 [\text{cm}^3] / 900 [\text{cm}^3/\text{s}] = \mathbf{0,19 \text{ s}}$$

O Tempo Total que o Cilindro Hidráulico da Tampa Inferior da Forma ( $T_{tc3}$ ) leva para executar seu ciclo é de **0,55 s**.

$T_{tc3} = 0,55 \text{ s}$
----------------------------

## 4.6 Cálculo do Tempo Total e Produção do Sistema de Produção Automatizado de Tijolos de Solo-Cimento

Nesta seção será calculado o Tempo Total por Ciclo de Prensagem ( $T_{tc}$ ) e a produção da prensa hidráulica. No cálculo deste tempo será levado em consideração o tempo de avanço e retornos dos cilindros hidráulicos, o tempo total das dosagens da mistura de solo-cimento, e os *delays* necessários ao funcionamento correto do Sistema de Produção Automatizado de Tijolos de Solo-Cimento.

Os tempos totais utilizados pelos cilindros hidráulicos nas execuções das operações de avanço e retorno já foram calculados nas Seções 4.3.2, 4.4.2 e 4.5.2, e são respectivamente 10,91 , 0,56 e 0,55 segundos. Portanto, o tempo necessário para que todos os cilindros hidráulicos executem seus respectivos ciclos é de 12 segundos.

Na dosagem, a Calha Dosadora tem uma capacidade de dosagem de 5 ton/hora (vide Seção 2.2.5 - Funções e Características Principais dos Equipamentos do Sistema de Produção Automatizado de Tijolos de Solo-Cimento), o que é igual a aproximadamente 2,6 kg/s, sendo o tempo de dosagem de aproximadamente 1 segundo. Considerando mais 2 segundos para que a mistura escoe completamente pela Calha de Escoamento, o tempo total de dosagem da mistura de solo-cimento nas duas formas é de 6 segundos.

Serão necessários dois *delays* no sistema hidráulico, um deles no momento em que ocorre o alívio de pressão, e o outro após a válvula direcional do Cilindro Hidráulico de Prensagem retornar ao centro. Se cada um desses *delays* forem de 1 segundos, o tempo total de *delays* do sistema hidráulico é de 2 segundos.

Desta forma, considerando o tempo das operações de avanço e retorno dos cilindros hidráulicos, 12 segundos, somado ao tempo de dosagem , 6 segundos, mais o tempo dos *delays* do sistema hidráulico, 2 segundos, o Tempo Total por Ciclo de Prensagem é de 20 segundos.

$$T_{tc} = 20 \text{ s}$$

Para um  $T_{tc}$  de 20 segundos que produz 2 tijolos de solo-cimento, ao todo são produzidos 6 tijolos por minuto, dando um total de 360 tijolos produzidos por hora.

Para uma jornada de trabalho de 8 horas por dia, a produção do sistema aqui proposto é de 2880 tijolos por dia. Considerando um fator de ocupação produtiva da prensa hidráulica em 90%, este fator deve-se aos tempos que porventura a máquina possa ser parada para alimentar o silo ou limpeza da forma dentre outros componentes, teremos uma produção de aproximadamente 2600 tijolos por dia, considerando 8 horas de jornada de trabalho. Esta produção atende a premissa operacional de 2.250 tijolos / dia para uma jornada de trabalho equivalente (vide Seção 2.1.6.5 - Produção Diária).

$\text{Produção} = 2600 \text{ tijolos / dia}$
--

## 4.7 Silo de Alimentação

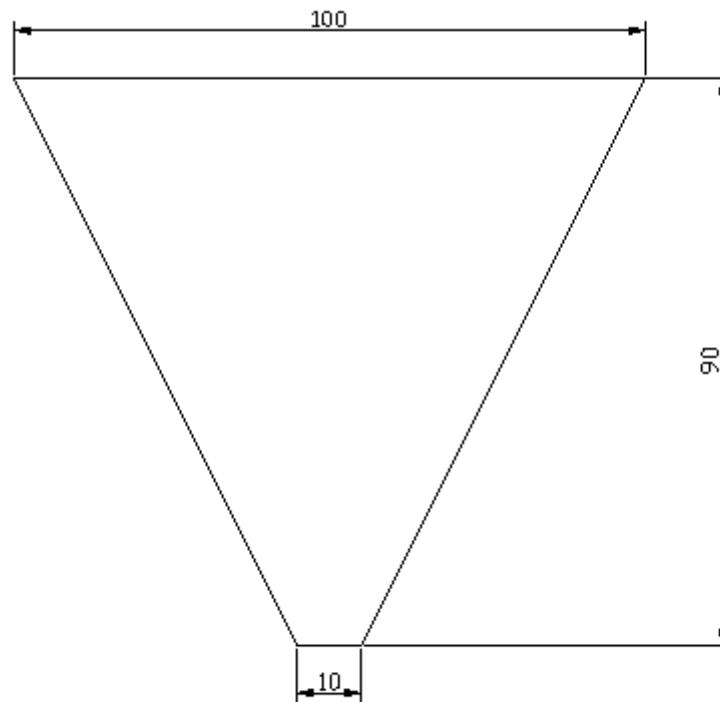
Na intenção de atender as premissas operacionais descritas na Seção 2.1.6.5 - Produção Diária, será dimensionado um Silo de Alimentação de modo que a prensa hidráulica tenha uma autonomia de 30 minutos.

A produção por hora é de 360 tijolos, vide Seção 4.6, então em 30 minutos a produção é de 180 tijolos. Com a massa de 2,5 kg por tijolo, teremos uma carga de mistura de 450 kg. A massa específica da mistura de solo-cimento ( $\rho_{\text{mistura}}$ ) é de 1,9 g/cm<sup>3</sup> (0,019 Kg/cm<sup>3</sup>), vide Seção 2.1.6.2, sendo assim é calculado um volume de 236.842,1 cm<sup>3</sup> (0,237 m<sup>3</sup>) . O Silo de Alimentação deverá ter no mínimo este volume para atender a premissa operacional de autonomia.

A partir destes dados, foi dimensionado um silo em forma de troco de cone, Figura 17, com as seguintes dimensões:

- Diâmetro de Base: 100 cm;
- Altura: 90 cm;
- Diâmetro do Orifício de Saída: 10 cm.

Com estas dimensões, tem-se que o Volume do Silo de Alimentação é de  $261.537,6 \text{ cm}^3$  ( $0,262 \text{ m}^3$ ), que para a massa específica da mistura de solo-cimento de  $1,9 \text{ g/cm}^3$ , fornece uma capacidade para carga de mistura de  $496,2 \text{ kg}$ , 10% maior que a carga para a autonomia prevista.



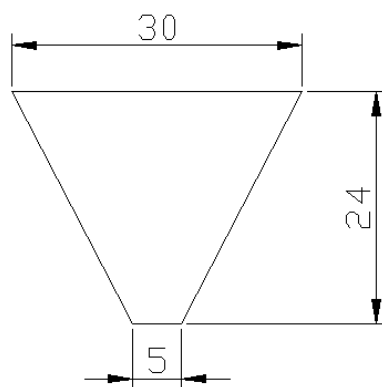
**Figura 17 - Silo de Alimentação**

## 4.8 Calha Dosadora

Nesta seção serão especificadas as dimensões da Calha Dosadora, ou seja, o volume que ela suporta. Para a produção de dois tijolos, é necessária uma massa de  $5 \text{ kg}$  de mistura de solo-cimento. Visando prever algum problema com o Silo de Alimentação, será dimensionada uma calha que suporte o dobro desta premissa,  $10 \text{ Kg}$  de mistura. Para a massa específica da mistura de solo-cimento de  $1,9 \text{ g/cm}^3$  ( $0,019 \text{ Kg/cm}^3$ ), é calculado um volume de  $5.263,16 \text{ cm}^3$ .

A partir destes dados, foi dimensionada uma calha em forma de tronco de cone, Figura 18, com as seguintes dimensões:

- Diâmetro de Base:  $30 \text{ cm}$ ;
- Altura:  $24 \text{ cm}$ ;
- Diâmetro do Orifício de saída:  $5 \text{ cm}$ .



**Figura 18 - Calha Dosadora - Dimensões**

Com essas dimensões, tem-se um volume de 5.628,7 cm<sup>3</sup>, que para a massa específica da mistura de solo-cimento de 1,9 g/cm<sup>3</sup>, fornece uma capacidade para carga de mistura de 10,7 kg, 7% maior que a o proposto inicialmente.

## 4.9 Reservatório de Óleo

As funções do Reservatório de Óleo são basicamente as do armazenamento do fluido de trabalho e seu resfriamento por condução e convecção.

De acordo com o *Eng. Arivelto Bustamante Fialho* no livro *Automação Hidráulica-Projetos, Dimensionamentos e Análise de Circuitos*, a regra prática para o dimensionamento do reservatório diz o seguinte: “o volume de fluido armazenado no reservatório deve ser o suficiente para suprir o sistema por um período de no mínimo três minutos antes que haja o seu retorno, completando um ciclo”, ou seja, deverá ser três vezes a vazão da bomba em l/min.

De posse desta regra prática, segue cálculo do Volume do Reservatório:

$$\text{Vol. Reservatório} \geq 3 * Q_{ef} \text{ [l/min]}$$

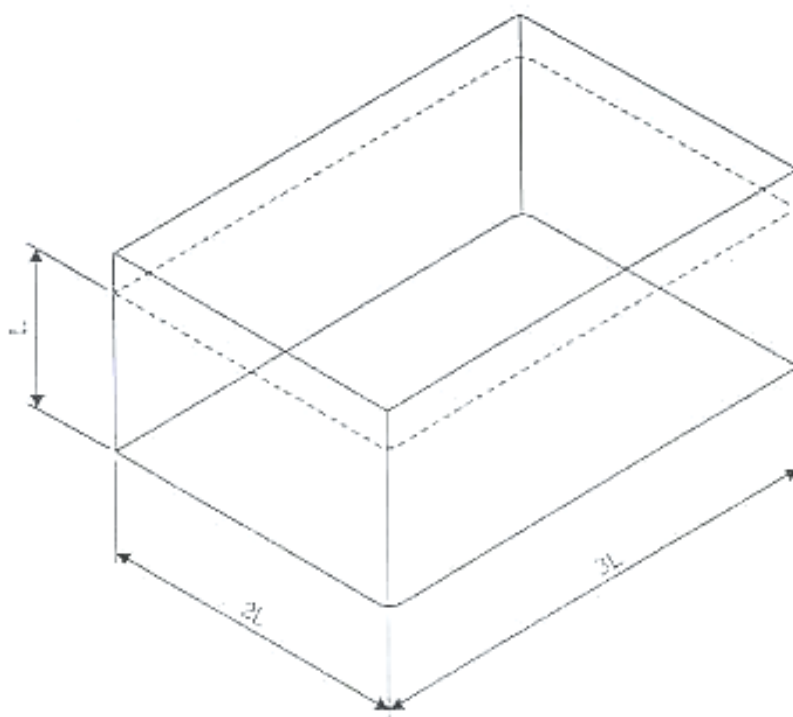
$$\text{Vol. Reservatório} \geq 3 * 54 \text{ [l/min]}$$

$\text{Vol. Reservatório} \geq 162 \text{ litros}$
--

Adotando um volume total do reservatório de **0,162 m<sup>3</sup>** e considerando que o reservatório admita geometria prismática, Figura 19, com relação dimensional L, 2L e 3L, segue cálculo do valor de L estimado:

$$\text{Vol. Reservatório} = 0,162 \text{ m}^3$$

$$6L^3 = 0,162 \Rightarrow \mathbf{L = 0,3 \text{ m}}$$



**Figura 19 - Reservatório de Geometria Prismática**

Seguem as dimensões do Reservatório de Óleo dimensionado conforme regra prática:

- L = 0,3 m
- 2L = 0,6 m
- 3L = 0,9 m

## 5 Dimensionamento Estrutural da Prensa Hidráulica

A partir da concepção estrutural observada no Equipamento Atual (vide Seção 2.1.5), foi designada a nova concepção da prensa hidráulica, Figura 20, e nesta foram definidos os pontos críticos, onde estão concentradas as maiores tensões que poderiam provocar rupturas na estrutura da prensa hidráulica. Para maiores detalhes construtivos, consultar os Anexos 5 e 6, que abordam croquis das vistas Lateral e Frontal, respectivamente.

Devido ao grande número de ciclos de carregamento e descarregamento que a estrutura está sujeita, é necessário a utilizar o *Critério de Fadiga*, conforme metodologia adotada por *Vladimir Arrivabene* no livro *Resistência de Materiais*.

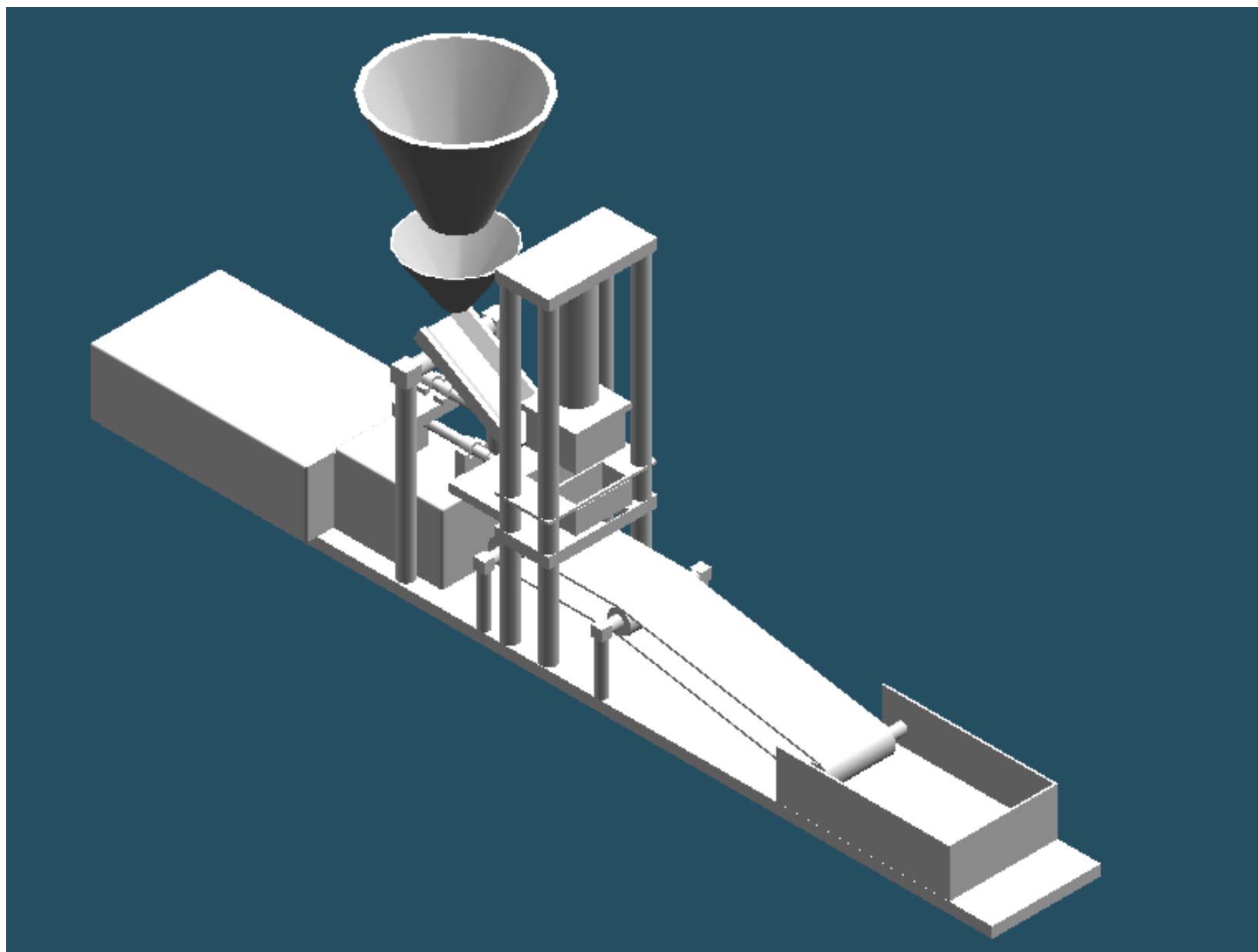
Também foi utilizado como bibliografia de apoio os livros *Resistência dos Materiais* do autor *R. C. Hibbeler* e *Projetista de Máquinas* de *Francesco Provenza*, além do software *MD Solids 2.2*.

Através de análise da concepção e carregamento, foram determinados como pontos críticos sob a ação das maiores tensões os seguintes listados abaixo:

- Chapa de Sustentação do Cilindro Hidráulico de Prensagem;
- Pórticos de Suporte;
- Tampa Inferior da Forma;
- Suportes da Tampa Inferior da Forma.

É de fundamental importância a escolha do melhor material a ser utilizado na fabricação destes elementos acima relacionados. Para efeito de fonte de pesquisa, todos os materiais e suas características foram extraídos do site *www.matweb.com*.





**Figura 20 - Nova Concepção de Prensa Hidráulica**

## 5.1 Critério de Fadiga

Para o dimensionamento estrutural dos pontos críticos acima citados, faz-se necessário determinar a tensão admissível dos mesmos. Sendo  $\sigma_{f0}$  a tensão de fadiga a qual os elementos a serem dimensionados estão submetidos, a tensão de fadiga corrigida  $\sigma_f$  pode ser escrita da seguinte maneira:

$$\sigma_f = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_f * \sigma_{f0}$$

Sendo os seguintes fatores relacionados abaixo:

- $\sigma_f$  : Tensão de Fadiga Corrigida;
- $K_a$  : Fator de Acabamento Superficial;
- $K_b$  : Fator de Tamanho;
- $K_c$  : Fator de Confiabilidade;
- $K_d$  : Fator de Temperatura;
- $K_e$  : Fator de Concentração de Tensões;
- $K_f$  : Fator de Efeitos Diversos;
- $\sigma_{f0}$  : Tensão de Fadiga.

## 5.2 Chapa de Sustentação do Cilindro Hidráulico de Prensagem

Esta chapa deve ser dimensionada com a finalidade de suportar a carga cíclica e flexiva proveniente do Cilindro Hidráulico de Prensagem. Para tal, foi escolhido um Aço AISI 1020 normalizado a 870 °C cujas características principais são:

- Densidade : 7,87 g/mm<sup>3</sup>;
- Dureza Brinell : 131;
- Tensão última  $\sigma_u$  : 440 MPa;
- Tensão de escoamento  $\sigma_e$  : 345 MPa;
- Módulo de Elasticidade E : 200 GPa;
- Coeficiente de Poisson : 0,29.

Para a determinação da tensão de fadiga  $\sigma_f$  da Chapa de Sustentação do Cilindro Hidráulico de Prensagem de acordo com os critérios citados na Seção 5.1, teremos como base os dados da Tabela 6;

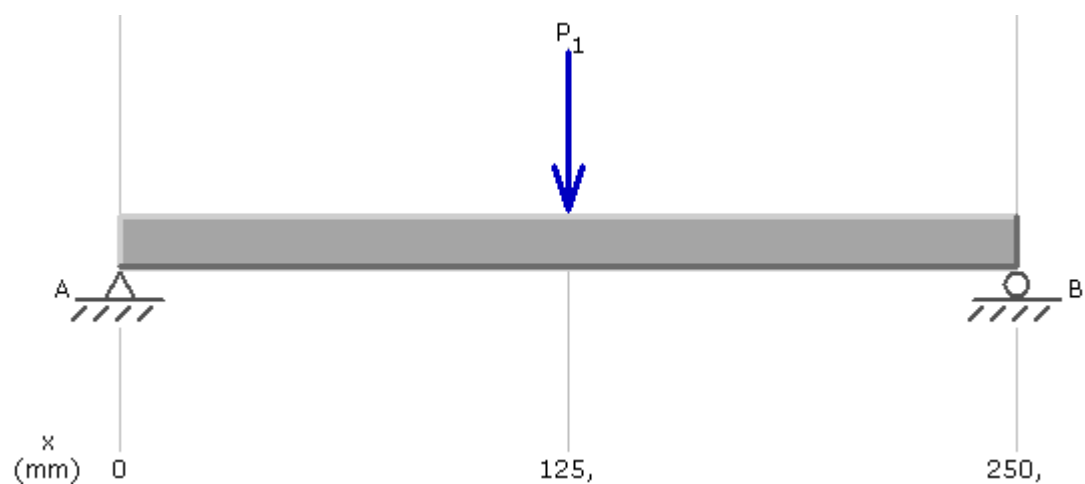
**Tabela 6 - Fatores para Determinação da Tensão de Fadiga na Chapa de Sustentação**

FATOR	VALOR	REFERÊNCIA
Ka	0,85	Usinado
Kb	0,6	
Kc	0,869	Confiabilidade de 95%
Kd	1	Temperatura abaixo de 71°C
Ke	1	Sem Concentração de Tensões
Kf	1	Não há vestígios de outros fatores
$\sigma_{R0}$	220 MPa	$\sigma_f = \sigma_u/2$
$\sigma_f$	97,51 MPa	-

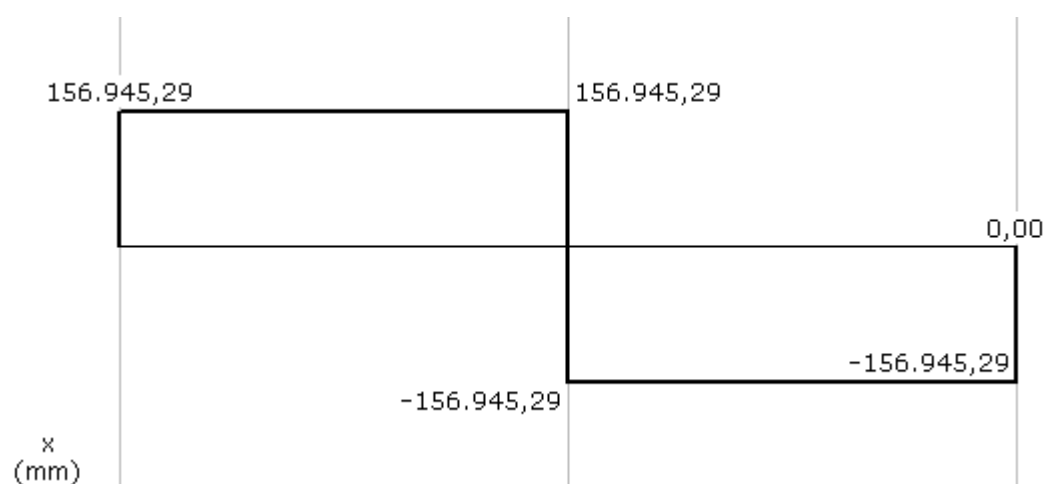
Seguem dados preliminares para cálculo do Momento Fletor e Esforço Cortante desta chapa:

- Força de Prensagem ( $P_1$ ) = 31.997 Kgf (313.890,57 N);
- Comprimento da Chapa de Sustentação ( $L_{\text{chapa sust}}$ ) = 250 mm;
- Largura da Chapa de Sustentação ( $b_{\text{chapa sust}}$ ) = 500 mm.

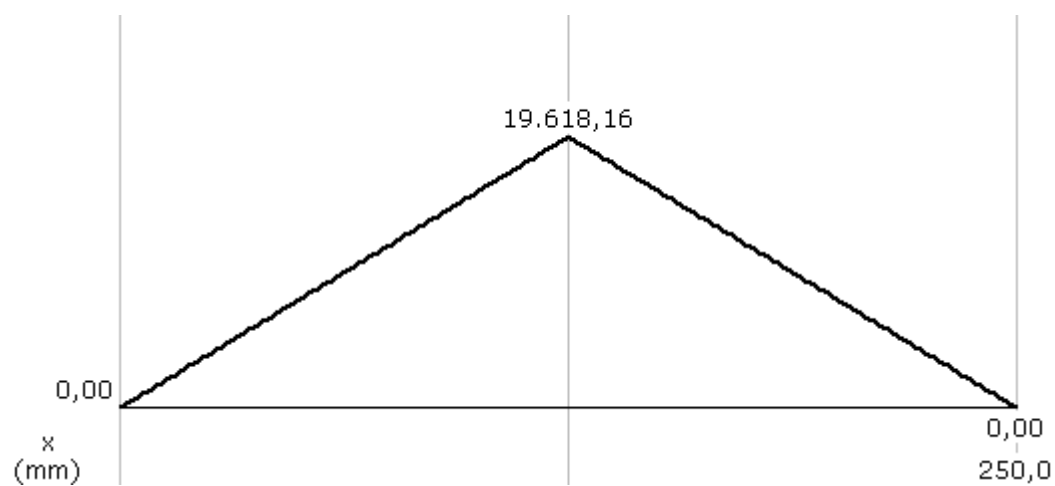
Utilizando o software *MD Solids 2.2*, temos os seguintes Diagramas de Esforço Cortante, Figura 22, e Momento Fletor, Figura 23:



**Figura 21 - Carregamento da Chapa de Sustentação**



**Figura 22 - Diagrama de Esforço Cortante da Chapa de Sustentação**



**Figura 23 - Diagrama de Momento Fletor da Chapa de Sustentação**

Seguem como resultados dos diagramas:

- Máximo Esforço Cortante ( $V_{\text{máx}} = 156.945,29 \text{ N}$ ;
- Máximo Momento Fletor ( $M_{\text{máx}} = 19.618,161 \text{ Nm}$  ( $19.618.161 \text{ Nmm}$ )).

O principal objetivo desta seção é calcular a espessura da Chapa de Sustentação do Cilindro Hidráulico de Prensagem ( $h_{\text{chapa sust}}$ ) que suportará a Força de Prensagem  $P_1$ . Para tal, faz-se necessário calcular o Momento de Inércia para seção retangular ( $I_{\text{chapa sust}}$ ).

➤ **Momento de Inércia:**

$$I_{\text{chapa sust}} = (b_{\text{chapa sust}} * h_{\text{chapa sust}}^3) / 12$$

$$I_{\text{chapa sust}} = (500 * h_{\text{chapa sust}}^3) / 12 \quad (\text{Equação 1})$$

➤ **Tensão de Fadiga:**

$$\sigma_f = [M_{\text{máx}} * (h_{\text{chapa sust}} / 2)] / I_{\text{chapa sust}} \quad (\text{Equação 2})$$

Substituindo a Equação 1 na Equação 2, temos a seguinte expressão:

$$\sigma_f = [19.168.161 * (h_{\text{chapa sust}} / 2)] / [(500 * h_{\text{chapa sust}}^3) / 12]$$

$$97,51 = [19.168.161 * (h_{\text{chapa sust}} / 2)] / [(500 * h_{\text{chapa sust}}^3) / 12]$$

$$h_{\text{chapa sust}} = 49,14 \text{ mm}$$

De acordo com a *ABNT PB 34* e *PB 35*, temos a seguinte espessura da chapa de sustentação padronizada:

$h_{\text{chapa sust}} = 50,00 \text{ mm}$
--

### 5.3 Pórticos de Suporte

Os pórticos são tubos de aço destinado a suportar a Chapa de Sustentação do Cilindro de Prensagem. Ao todo temos quatro pórticos constituídos do mesmo material desta chapa de sustentação, o Aço AISI 1020 normalizado a 870 °C.

Faz-se necessário o cálculo da tensão de fadiga  $\sigma_f$  dos Pórticos de Suporte conforme critérios apresentados na Seção 5.1. A Tabela 7 possui todos os coeficientes relacionados para o cálculo desta tensão:

**Tabela 7 - Fatores para Determinação da Tensão de Fadiga nos Pórticos de Suporte**

FATOR	VALOR	REFERÊNCIA
Ka	0,85	Usinado
Kb	0,65	
Kc	0,869	Confiabilidade de 95%
Kd	1	Temperatura abaixo de 71°C
Ke	1	Sem Concentração de Tensões
Kf	1	Não há vestígios de outros fatores
$\sigma_{R0}$	220 MPa	$\sigma_f = \sigma_{u/2}$
$\sigma_f$	105,627 MPa	-

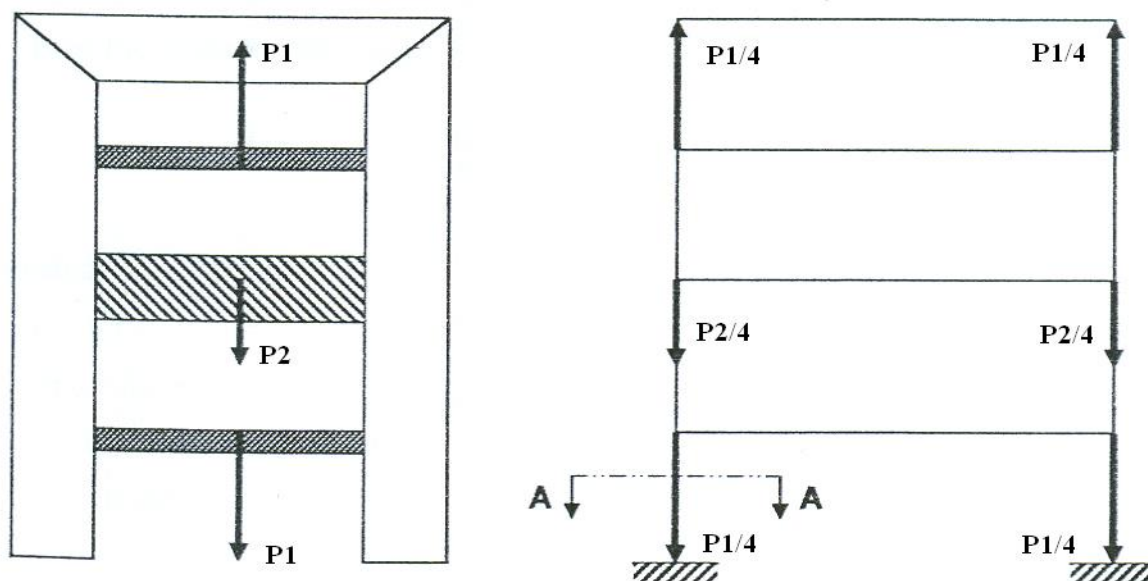
Nesta seção, o objetivo principal é calcular a área da seção circular ( $A_{\text{seção circ}}$ ) que suportará o carregamento conforme dados abaixo:

- Força de Prensagem ( $P_1$ ) = 31.997 Kgf (313.890,57 N);
- Peso da Estrutura de Prensagem ( $P_2$ ) = 5.000 N.

A Figura 24 faz uma representação dos carregamentos aos quais os Pórticos de Suporte estão submetidos. O carregamento total atuando sobre os quatro pórticos é de aproximadamente **318.890,57 N**, o que indica um carregamento por pórtico ( $F_{\text{pórtico}}$ ) da ordem de **79.722,6 N**. A partir deste carregamento e da tensão de fadiga  $\sigma_f$  acima calculada, segue cálculo para o dimensionamento da área da seção circular dos pórticos ( $A_{\text{seção circ}}$ ):

$$A_{\text{seção circ}} = F_{\text{pórtico}} / \sigma_f = 318.890,57 / 105,627 = 754,76 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{seção circ}} = 7,5476 \text{ cm}^2$$



**Figura 24 - Carregamentos Sobre os Pórticos de Suporte**

A partir da área da seção circular previamente calculada, segue a especificação dos pórticos conforme *DIN 2440*:

**Tubo 75 X 3,75 DIN 2440**

## 5.4 Tampa Inferior da Forma

A Tampa Inferior da Forma deve suportar a pressão exercida pela mistura de solo-cimento sendo compactada pela ação do Cilindro de Prensagem. Para tal, foi escolhido um Aço AISI 1080 normalizado a 815 °C cujas características principais são:

- Densidade : 7,85 g/mm<sup>3</sup>;
- Dureza Brinell : 341;
- Tensão última  $\sigma_u$  : 1.165 MPa;
- Tensão de escoamento  $\sigma_e$  : 841 MPa;
- Módulo de Elasticidade E : 205 GPa;
- Coeficiente de Poisson : 0,29.

Para a determinação da tensão de fadiga  $\sigma_f$  da Tampa Inferior da Forma de acordo com os critérios citados na Seção 5.1, teremos como base os dados da Tabela 8:

**Tabela 8 - Fatores para Determinação da Tensão de Fadiga na Tampa Inferior da Forma**

FATOR	VALOR	REFERÊNCIA
Ka	0,85	Usinado
Kb	0,9	
Kc	0,869	Confiabilidade de 95%
Kd	1	Temperatura abaixo de 71°C
Ke	1	Sem Concentração de Tensões
Kf	0,94	Chapa em contato com mistura
$\sigma_{f0}$	582,5 MPa	$\sigma_f = \sigma_u/2$
$\sigma_f$	364 MPa	-

Seguem dados preliminares para cálculo do Momento Fletor e Esforço Cortante da Tampa Inferior da Forma:

- Força de Prensagem ( $P_1$ ) = 31.997 Kgf (313.890,57 N);
- Largura do Tijolo de Solo-Cimento ( $L_{\text{tijolo}}$ ) = 110 mm (0,11 m);
- Comprimento Total da Tampa ( $L_{\text{tampa}}$ ) = 300 mm;
- Largura da Tampa ( $b_{\text{tampa}}$ ) = 230 mm.

A carga distribuída sobre o comprimento da tampa ( $W_t = W_1 + W_2$ , sendo  $W_1 = W_2$ ) é calculada da seguinte maneira:

$$W_t = P_1 / L_{\text{tijolo}} = 313.890,57 / 0,11 = 2.853.550,64 \text{ Nm}$$

$$W_1 = W_2 = W_t / 2 = 1.426.775,32 \text{ Nm}$$

Utilizando o software *MD Solids 2.2*, temos os seguintes Diagramas de Esforço Cortante, Figura 26, e de Momento Fletor, Figura 27:



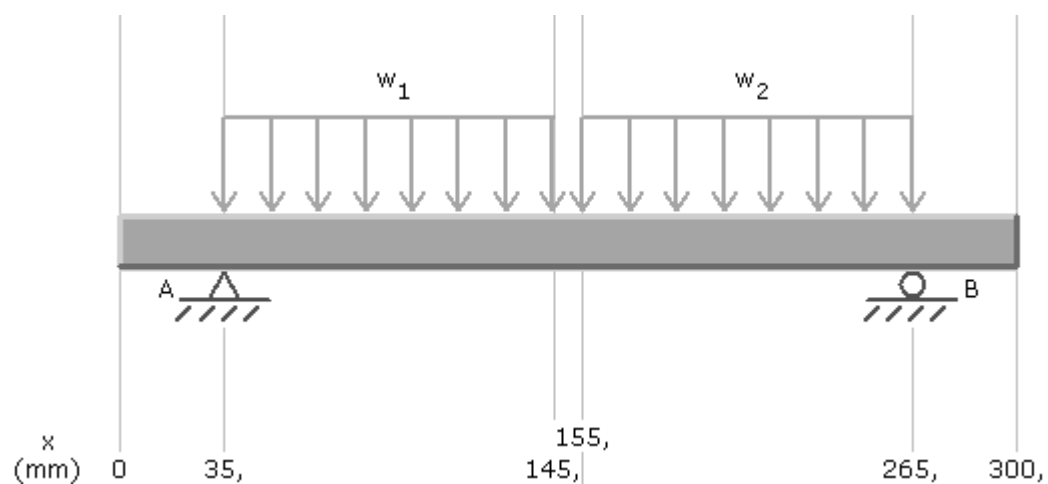


Figura 25 - Carregamento da Tampa Inferior da Forma

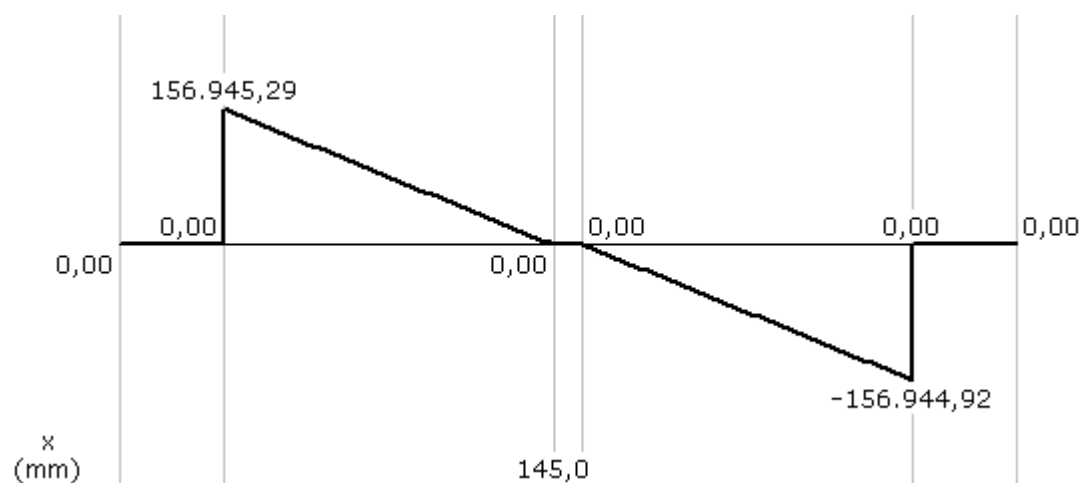


Figura 26 - Diagrama de Esforço Cortante da Tampa Inferior da Forma

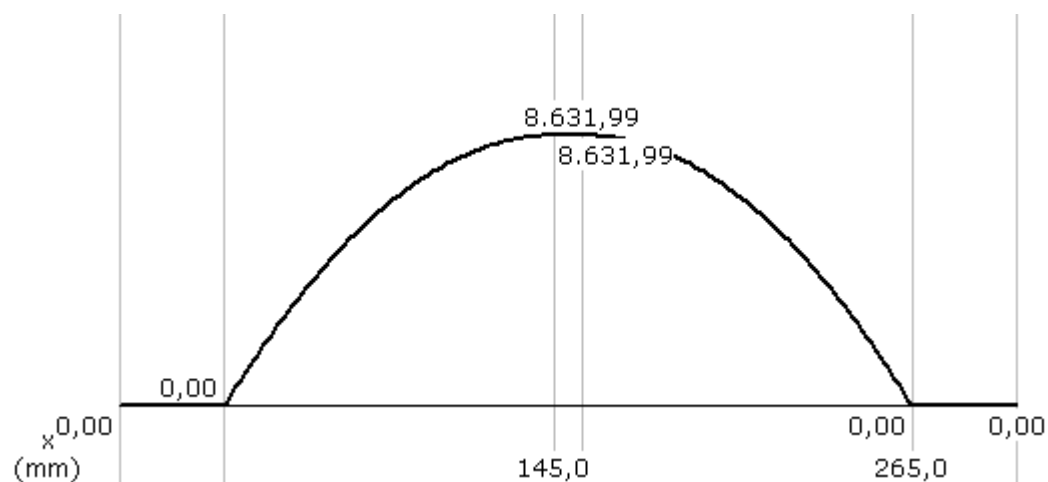


Figura 27 - Diagrama de Momento Fletor da Tampa Inferior da Forma

Seguem como resultados dos diagramas:

- Máximo Esforço Cortante ( $V_{\text{máx}} = 156.945,29 \text{ N}$ ;
- Máximo Momento Fletor ( $M_{\text{máx}} = 8.631,99 \text{ Nm}$  ( $8.631.990 \text{ Nmm}$ ).

O objetivo desta seção é calcular a espessura da Tampa Inferior da Forma ( $h_{\text{tampa}}$ ). Portanto, é necessário calcular o Momento de Inércia para seção retangular ( $I_{\text{tampa}}$ ).

➤ **Momento de Inércia:**

$$I_{\text{tampa}} = (b_{\text{tampa}} * h_{\text{tampa}}^3) / 12$$

$$I_{\text{tampa}} = (230 * h_{\text{tampa}}^3) / 12 \quad (\text{Equação 3})$$

➤ **Tensão de Fadiga:**

$$\sigma_f = [M_{\text{máx}} * (h_{\text{tampa}} / 2)] / I_{\text{tampa}} \quad (\text{Equação 4})$$

Substituindo a Equação 3 na Equação 4, temos a seguinte expressão:

$$\sigma_f = [8.631.990 * (h_{\text{tampa}} / 2)] / [(230 * h_{\text{tampa}}^3) / 12]$$

$$364 = [8.631.990 * (h_{\text{tampa}} / 2)] / [(230 * h_{\text{tampa}}^3) / 12]$$

$$h_{\text{tampa}} = 24,9 \text{ mm}$$

De acordo com a *ABNT PB 34* e *PB 35*, temos a seguinte espessura da Tampa Inferior da Forma padronizada:

$h_{\text{tampa}} = 25,5 \text{ mm}$
--------------------------------------

## 5.5 Suportes da Tampa Inferior da Forma

Os Suportes da Tampa Inferior da Forma devem suportar ao carregamento que a Tampa Inferior da Forma está exercendo sobre os mesmos. Sendo assim, foi escolhido um Aço AISI 1045 cujas características principais são:

- Densidade : 7,85 g/mm<sup>3</sup>;
- Dureza Brinell : 170;
- Tensão última  $\sigma_u$  : 585 MPa;
- Tensão de escoamento  $\sigma_e$  : 505 MPa;
- Módulo de Elasticidade E : 205 GPa;
- Coeficiente de Poisson : 0,29.

Para a determinação da tensão de fadiga  $\sigma_f$  dos suportes de acordo com os critérios citados na Seção 5.1, teremos como base os dados da Tabela 9:

**Tabela 9 - Fatores para Determinação da Tensão de Fadiga nos Suportes**

FATOR	VALOR	REFERÊNCIA
Ka	0,85	Usinado
Kb	0,75	
Kc	0,869	Confiabilidade de 95%
Kd	1	Temperatura abaixo de 71°C
Ke	1	Sem Concentração de Tensões
Kf	0,94	Chapa em contato com mistura
$\sigma_{f0}$	292,5 MPa	$\sigma_f = \sigma_u/2$
$\sigma_f$	162 MPa	-

Seguem dados preliminares para cálculo do Momento Fletor e Esforço Cortante dos Suportes da Tampa Inferior da Forma:

- Força de Prensagem ( $P_1$ ) = 31.997 Kgf (313.890,57 N);
- Comprimento Total do Suporte ( $L_{\text{suporte}}$ ) = 125 mm;
- Comprimento da Carga Distribuída ( $L_{\text{cdist}}$ ) = 35 mm;
- Largura do Suporte ( $b_{\text{suporte}}$ ) = 250 mm.

A carga total distribuída, em comprimento  $L_{\text{cdist}}$ , por suporte ( $W_{\text{suporte}}$ ) é calculada da seguinte maneira:

$$W_{\text{suporte}} = (P_1 / 2) / L_{\text{cdist}} = (313.890,57 / 2) / 35 = 4.484,15 \text{ N/mm}$$

Utilizando o software *MD Solids 2.2*, temos os seguintes Diagramas de Esforço Cortante, Figura 29 , e de Momento Fletor, Figura 30:

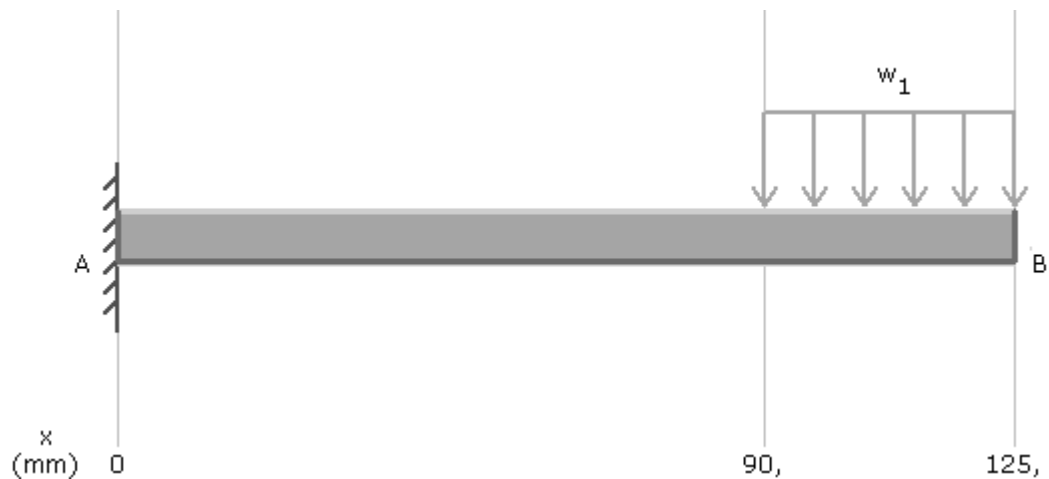


Figura 28 - Carregamento do Suporte

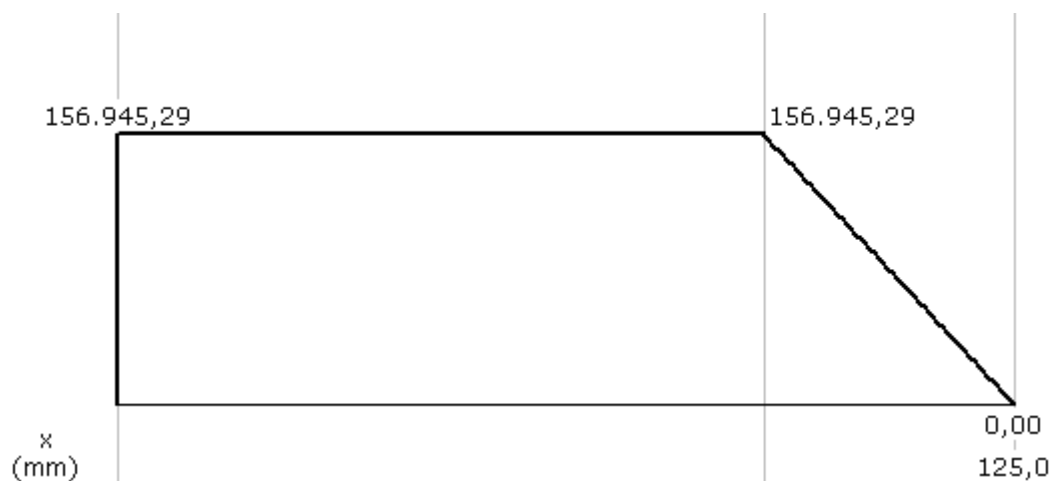


Figura 29 - Diagrama de Esforço Cortante do Suporte

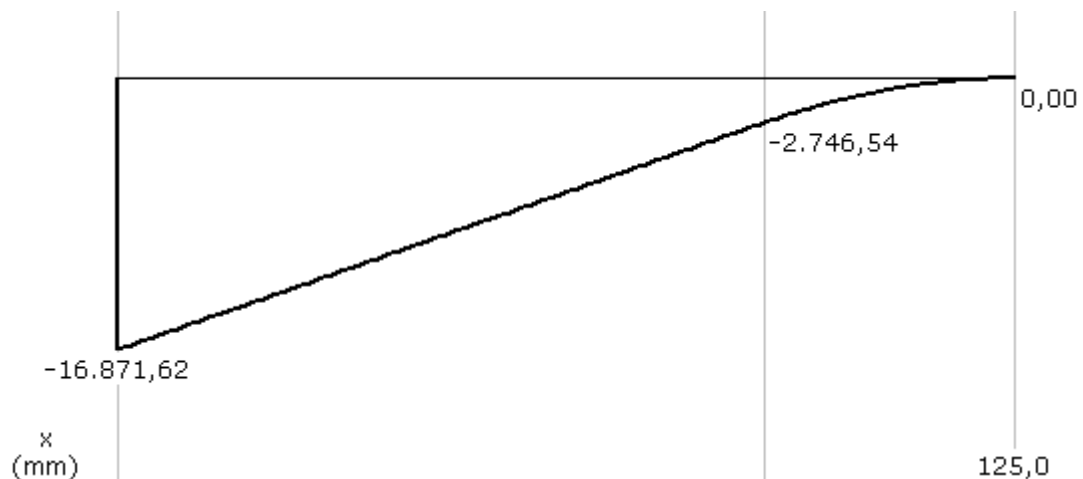


Figura 30 - Diagrama de Momento Fletor do Suporte

Seguem como resultados dos diagramas:

- Máximo Esforço Cortante ( $V_{\text{máx}} = 156.945,29 \text{ N}$ ;
- Máximo Momento Fletor ( $M_{\text{máx}} = 16.871,62 \text{ Nm}$  ( $16.871.620 \text{ Nmm}$ ).

O objetivo desta seção é calcular a espessura dos Suportes da Tampa Inferior da Forma ( $h_{\text{suporte}}$ ). Portanto, é necessário calcular o Momento de Inércia para seção retangular ( $I_{\text{suporte}}$ ).

➤ **Momento de Inércia:**

$$I_{\text{tampa}} = (b_{\text{suporte}} * h_{\text{suporte}}^3) / 12$$

$$I_{\text{tampa}} = (250 * h_{\text{suporte}}^3) / 12 \quad (\text{Equação 5})$$

➤ **Tensão de Fadiga:**

$$\sigma_f = [M_{\text{máx}} * (h_{\text{suporte}} / 2)] / I_{\text{suporte}} \quad (\text{Equação 6})$$

Substituindo a Equação 5 na Equação 6, temos a seguinte expressão:

$$\sigma_f = [16.871.620 * (h_{\text{suporte}} / 2)] / [(250 * h_{\text{suporte}}^3) / 12]$$

$$162 = [16.871.620 * (h_{\text{suporte}} / 2)] / [(250 * h_{\text{tampa}}^3) / 12]$$

$$h_{\text{tampa}} = 50 \text{ mm}$$

De acordo com a *ABNT PB 34* e *PB 35*, temos a seguinte espessura da Tampa Inferior da Forma padronizada:

$h_{\text{suporte}} = 50,00 \text{ mm}$
---

## 5.6 Especificação da Viga H

Os Pórticos de Suporte estão apoiados sobre duas vigas de perfil H. Como estas vigas não estão sob ação de momentos flettores, a especificação das mesmas depende dos dados listados abaixo:

- Material das Vigas : Aço Estrutural A-36;
  - Densidade : 7,85 g/mm<sup>3</sup>;
  - Tensão última  $\sigma_u$  : 400 MPa;
  - Tensão de escoamento  $\sigma_e$  : 250 MPa;
  - Módulo de Elasticidade E : 200 GPa;
  - Coeficiente de Poisson : 0,32.
- Diâmetro dos pórticos ( $D_{\text{pórticos}}$ ) : 75 mm;
- Carga sobre a viga ( $W_{\text{viga}}$ ) : 20.000 N;

Levando em consideração que a largura do perfil  $b_f$  tem que ser maior que o diâmetro dos pórticos, a espessura da alma  $t_w$  deve ser suficiente para suportar a carga sobre a viga. A partir de catálogos de perfis em H da *Gerdau S.A.*, segue especificação da Viga H conforme Tabela 10:

### ➤ Cálculo da Tensão no perfil:

$$\sigma_{\text{perfil}} = W_{\text{viga}} / (D_{\text{pórticos}} * t_w)$$

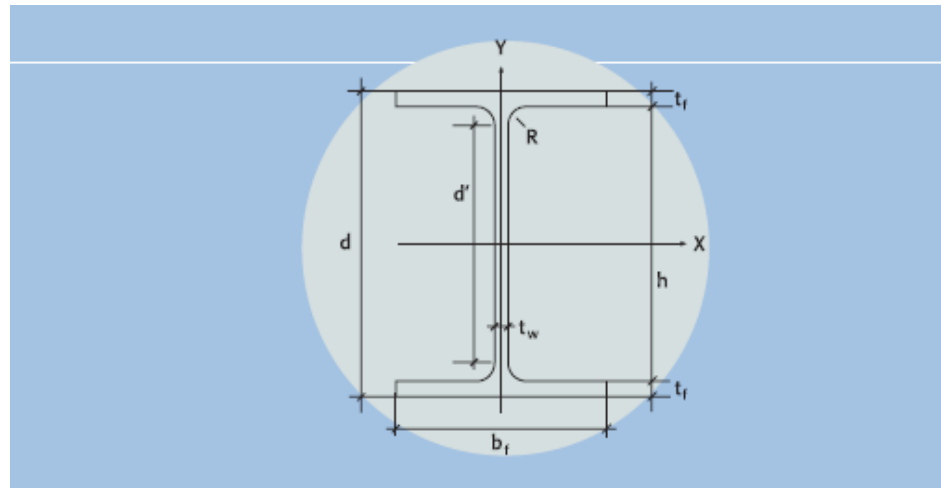
$$\sigma_{\text{perfil}} = 20.000 * (75 * t_w) \quad (\text{Equação 7})$$

Para um  $t_w = 5,8$  mm, substituindo na Equação 7:

$\sigma_{\text{perfil}} = 45,98 \text{ MPa} < \sigma_e$ , indicando que a espessura da alma especificada atende aos pré-requisitos acima listados. Segue a especificação da Viga H:

Bitola Perfil H - W 150 x 22,5
--------------------------------

Tabela 10 - Tabela de Bitolas de Perfis H



LEGENDA

d	= altura do perfil	$r_t$	= raio de giração em relação ao eixo Y-Y do T formado pela área da aba mais 1/6 da área da alma
$b_f$	= largura da aba do perfil	$I_t$	= momento de inércia à torção
$t_w$	= espessura da alma	$\lambda_f$	= esbeltez da aba
$t_f$	= espessura da aba	$\lambda_w$	= esbeltez da alma (parte plana)
h	= altura interna	$C_w$	= constante de empenamento
d'	= altura livre da alma	u	= área superficial por metro linear
ÁREA	= área da seção		
R	= raio de concordância		
I	= momento de inércia		
W	= módulo de resistência		
r	= raio de giração		
Z	= módulo de resistência plástico		

TABELA DE BITOLAS - PERFIS H																							
BITOLA	Massa linear kg/m	d mm	b <sub>f</sub> mm	ESPESSURA		h mm	d' mm	Área cm²	EIXO X - X				EIXO Y - Y				r <sub>t</sub> cm	I <sub>t</sub> cm⁴	ESBELTEZ		C <sub>w</sub> cm²	u m²/m	BITOLA
				t <sub>w</sub> mm	t <sub>f</sub> mm				I <sub>x</sub> cm⁴	W <sub>x</sub> cm³	r <sub>x</sub> cm	Z <sub>x</sub> cm³	I <sub>y</sub> cm⁴	W <sub>y</sub> cm³	r <sub>y</sub> cm	Z <sub>y</sub> cm³			ABA - λ <sub>f</sub> b <sub>f</sub> / 2t <sub>f</sub>	ALMA - λ <sub>w</sub> d' / t <sub>w</sub>			
W 150 x 22,5	22,5	152	152	5,8	6,6	139	119	29,0	1.229	161,7	6,51	179,6	367	50,9	3,65	77,9	4,10	4,75	11,52	20,48	20,417	0,95	W 150 x 22,5
W 150 x 29,8	29,8	157	153	6,6	9,3	138	118	38,5	1.739	221,5	6,72	247,5	556	72,6	3,80	110,8	4,18	10,95	8,23	17,94	30,277	0,96	W 150 x 29,8
W 150 x 37,1	37,1	162	154	8,1	11,6	139	119	47,8	2.244	277,0	6,85	313,5	707	91,8	3,84	140,4	4,22	20,58	6,64	14,67	39,930	0,97	W 150 x 37,1
W 200 x 35,9	35,9	201	165	6,2	10,2	181	161	45,7	3.437	342,0	8,67	379,2	764	92,6	4,09	141,0	4,50	14,51	8,09	25,90	69,502	1,10	W 200 x 35,9
W 200 x 46,1	46,1	203	203	7,2	11,0	181	161	58,6	4.543	447,6	8,81	495,3	1.535	151,2	5,12	229,5	5,58	22,01	9,23	22,36	141,342	1,25	W 200 x 46,1
HP 200 x 53,0	53,0	204	207	11,3	11,3	181	161	68,1	4.977	498,0	8,55	551,3	1.673	161,7	4,96	248,6	5,57	31,93	9,16	14,28	155,075	1,26	HP 200 x 53,0
W 200 x 71,0	71,0	216	206	10,2	17,4	181	161	91,0	7.660	709,2	9,17	803,2	2.537	246,3	5,28	374,5	5,70	81,66	5,92	15,80	249,976	1,28	W 200 x 71,0
HP 250 x 62,0	62,0	246	256	10,5	10,7	225	201	79,6	8.728	709,6	10,47	790,5	2.995	234,0	6,13	357,8	6,89	33,46	11,96	19,10	414,130	1,55	HP 250 x 62,0
W 250 x 73,0	73,0	253	254	8,6	14,2	225	201	92,7	11.257	899,9	11,02	983,3	3.880	305,5	6,47	463,1	7,01	56,94	8,94	23,33	552,900	1,56	W 250 x 73,0
W 250 x 80,0	80,0	256	255	9,4	15,6	225	201	101,9	12.550	980,5	11,10	1.088,7	4.313	338,3	6,51	513,1	7,04	75,02	8,17	21,36	622,878	1,57	W 250 x 80,0
HP 250 x 85,0	85,0	254	260	14,4	14,4	225	201	108,5	12.280	966,9	10,64	1.093,2	4.225	325,0	6,24	499,6	7,00	82,07	9,03	13,97	605,403	1,57	HP 250 x 85,0
W 250 x 89,0	89,0	260	256	10,7	17,3	225	201	113,9	14.237	1.095,1	11,18	1.224,4	4.841	378,2	6,52	574,3	7,06	102,81	7,40	18,82	712,351	1,58	W 250 x 89,0
HP 310 x 79,0	79,0	299	306	11,0	11,0	277	245	100,0	16.316	1.091,3	12,77	1.210,1	5.258	343,7	7,25	525,4	8,20	46,72	13,91	22,27	1.089,258	1,87	HP 310 x 79,0
HP 310 x 93,0	93,0	303	308	13,1	13,1	277	245	119,2	19.682	1.299,1	12,85	1.450,3	6.387	414,7	7,32	635,5	8,26	77,33	11,76	18,69	1.340,320	1,88	HP 310 x 93,0
W 310 x 97,0	97,0	308	305	9,9	15,4	277	245	123,6	22.284	1.447,0	13,43	1.594,2	7.286	477,8	7,68	725,0	8,39	92,12	9,90	24,77	1.558,682	1,89	W 310 x 97,0
W 310 x 107,0	107,0	311	306	10,9	17,0	277	245	136,4	24.839	1.597,3	13,49	1.768,2	8.123	530,9	7,72	806,1	8,41	122,68	9,00	22,48	1.754,271	1,90	W 310 x 107,0
HP 310 x 110,0	110,0	308	310	15,4	15,5	277	245	141,0	23.703	1.539,1	12,97	1.730,6	7.707	497,3	7,39	763,7	8,33	125,66	10,00	15,91	1.646,104	1,90	HP 310 x 110,0
W 310 x 117,0	117,0	314	307	11,9	18,7	277	245	149,9	27.563	1.755,6	13,56	1.952,6	9.024	587,9	7,76	893,1	8,44	161,61	8,21	20,55	1.965,950	1,91	W 310 x 117,0
HP 310 x 125,0	125,0	312	312	17,4	17,4	277	245	159,0	27.076	1.735,6	13,05	1.963,3	8.823	565,6	7,45	870,6	8,39	177,98	8,97	14,09	1.911,029	1,91	HP 310 x 125,0
W 360 x 110,0	110,0	360	256	11,4	19,9	320	298	140,6	33.155	1.841,9	15,36	2.059,3	5.570	435,2	6,29	664,5	6,96	161,93	6,43	25,28	1.609,070	1,79	W 360 x 110,0
W 360 x 122,0	122,0	363	257	13,0	21,7	320	298	155,3	36.599	2.016,5	15,35	2.269,8	6.147	478,4	6,29	732,4	6,98	212,70	5,92	22,12	1.787,806	1,80	W 360 x 122,0

## 5.7 Dimensionamento das Juntas Soldadas

Nesta seção será especificado o eletrodo cuja finalidade será soldar as peças que estão sob a ação das maiores tensões: a Chapa de Sustentação do Cilindro Hidráulico de Prensagem e os Pórticos de Suporte.

As seguintes considerações devem ser levadas em conta:

- Material Base: Aço AISI 1020;
- Processo de soldagem por eletrodo revestido.

A força de prensagem distribuída entre os quatro pórticos ( $F_{\text{pórtico}}$ ) é igual a 79.722,6 N. O objetivo principal é calcular a tensão admissível  $\sigma_{\text{adm}}$  a fim de especificar o eletrodo que melhor se enquadra finalidade requerida.

### ➤ Área do Cordão de Solda:

A Área do Cordão de Solda ( $A_{\text{cordão}}$ ) para uma seção circular é dada por:

$A_{\text{cordão}} = 1,414 * \pi * h * r$ , onde  $h$  é a penetração da solda e  $r$  o raio da seção circular da solda, o qual é equivalente ao diâmetro externo do pórtico de sustentação analisado. Analisando uma penetração de solda da ordem de 5 mm, segue cálculo da área do cordão de solda:

$$A_{\text{cordão}} = 1,414 * \pi * 5 * (75 / 2) = 832,915 \text{ mm}^2$$

### ➤ Tensão Admissível:

A tensão admissível  $\sigma_{\text{adm}}$  pode ser calculada da seguinte maneira:

$$\sigma_{\text{adm}} = F_{\text{pórtico}} / A_{\text{cordão}} = 79.722,6 / 832,915$$

$$\sigma_{\text{adm}} = 95,715 \text{ MPa}$$



➤ **Especificação do Eletrodo:**

A partir da tensão admissível  $\sigma_{adm} = 95,715$  MPa e conforme sistema de numeração para especificação de eletrodos de acordo com o código da *Sociedade Americana de Solda (AWS)*, segue abaixo Tabela 11 para especificação de eletrodos:

**Tabela 11 - Especificação dos Eletrodos Conforme AWS**

<b>Número AWS do Eletrodo</b>	<b>Resist. Tração (MPa)</b>	<b>Tensão de Escoamento (MPa)</b>	<b>Alongamento Percentual</b>
<b>E 60 xx</b>	<b>427,20</b>	<b>344,52</b>	<b>17-25</b>
E 70 xx	482,33	392,75	22
E 80 xx	551,23	461,66	19
E 90 xx	620,13	530,56	14-17
E 100 xx	689,04	599,46	13-16
E 120 xx	826,85	737,27	14

Segue a especificação definitiva do eletrodo que proverá a soldagem da Chapa de Sustentação do Cilindro de Prensagem com os Pórticos de Suporte:

- Eletrodo: E 6027;
- Resistência a Tração: 427,20 MPa;
- Tensão de Escoamento: 344,52 MPa;
- Permite soldagem em todas as posições;
- Revestimento básico.

## 6 Informações Adicionais

Nesta seção serão levantadas algumas informações adicionais pertinentes à qualidade do produto e a produtividade do sistema automatizado de produção de tijolos de solo-cimento aqui proposto.

### 6.1 Processo de Cura dos Tijolos de Solo-Cimento

Os tijolos de solo-cimento recém conformados ainda não atingiram a resistência ideal para serem utilizados nas mais diversas aplicações existentes. Para que esta resistência ideal seja alcançada, é necessário que os tijolos de solo-cimento passem por um processo de “endurecimento”, denominado de cura.

Este processo consiste basicamente em manter os tijolos de solo-cimento úmidos por um período de aproximadamente 7 dias, afim de que as moléculas de água entrem em reação química com as do cimento presente na mistura, garantindo assim uma resistência ideal do produto fabricado.

Existem várias metodologias para o procedimento de cura dos tijolos de solo-cimento, sendo que a NBR 10833/1989 considera como o ideal que *“durante os sete primeiros dias após processo de prensagem, molhar os tijolos ao menos 3 vezes por dia para garantir a cura necessária”*.

A fim de atingir o máximo controle na qualidade dos tijolos de solo-cimento, existem no mercado inúmeros sistemas automatizados para realização do processo de cura. Recentemente no Departamento de Engenharia Civil da UFES foi instalado um destes sistemas. É chamado de *“Câmara Úmida”*. A umidade do local é controlada via *PLC*, mas o operador tem a sua disposição um painel de controle, Figura 31, onde pode modificar as condições do ambiente interno desta sala manualmente.



**Figura 31 - Painele de Controle da Câmara Úmida**

Os lotes dos tijolos, Figura 32, são demarcados de acordo com a data a que foram submetidos ao processo de cura. Com a automatização deste processo, a cura tornou-se muito mais eficiente, visto que os tijolos de solo-cimento recebem a quantidade de água exata para atingir a resistência ideal em intervalos de tempo menores do que 7 dias.



**Figura 32 - Lotes de Tijolos Demarcados**

A umidade dentro da Câmara Úmida é mantida pela ação de um ventilador (Figura 33) que, quando a umidade atinge níveis relativamente baixos, é acionado por *PLC*, borrifando *sprays* de água sobre os tijolos.



**Figura 33 - Ventilador da Câmara Úmida**

Na maioria dos casos, o procedimento adotado para a cura não utilizará sistemas automatizados, a não ser para produção de tijolos de solo-cimento em escala industrial. Cabe ao usuário do sistema de produção automatizado de tijolos de solo-cimento aqui proposto definir a melhor metodologia que lhe convier para a questão da cura dos tijolos.

## **6.2 Produtividade e Custo de Obra**

Na intenção de comparar a produtividade da nova concepção de prensa hidráulica aqui proposta com o equipamento atual, foi elaborado projeto de uma casa popular com aproximadamente 65 m<sup>2</sup>, Figura 34. Será comparado o tempo necessário para as prensas hidráulicas produzirem a quantidade de tijolos necessários para construir esta casa. Além disso, será comparado o custo de obra (referente à compra de tijolos), comparando com três tipos de tijolos diferentes: Tijolo Baiano (lajota), Tijolo Maciço de Barro Cozido (tijolo cerâmico convencional), e Tijolo de solo-cimento.

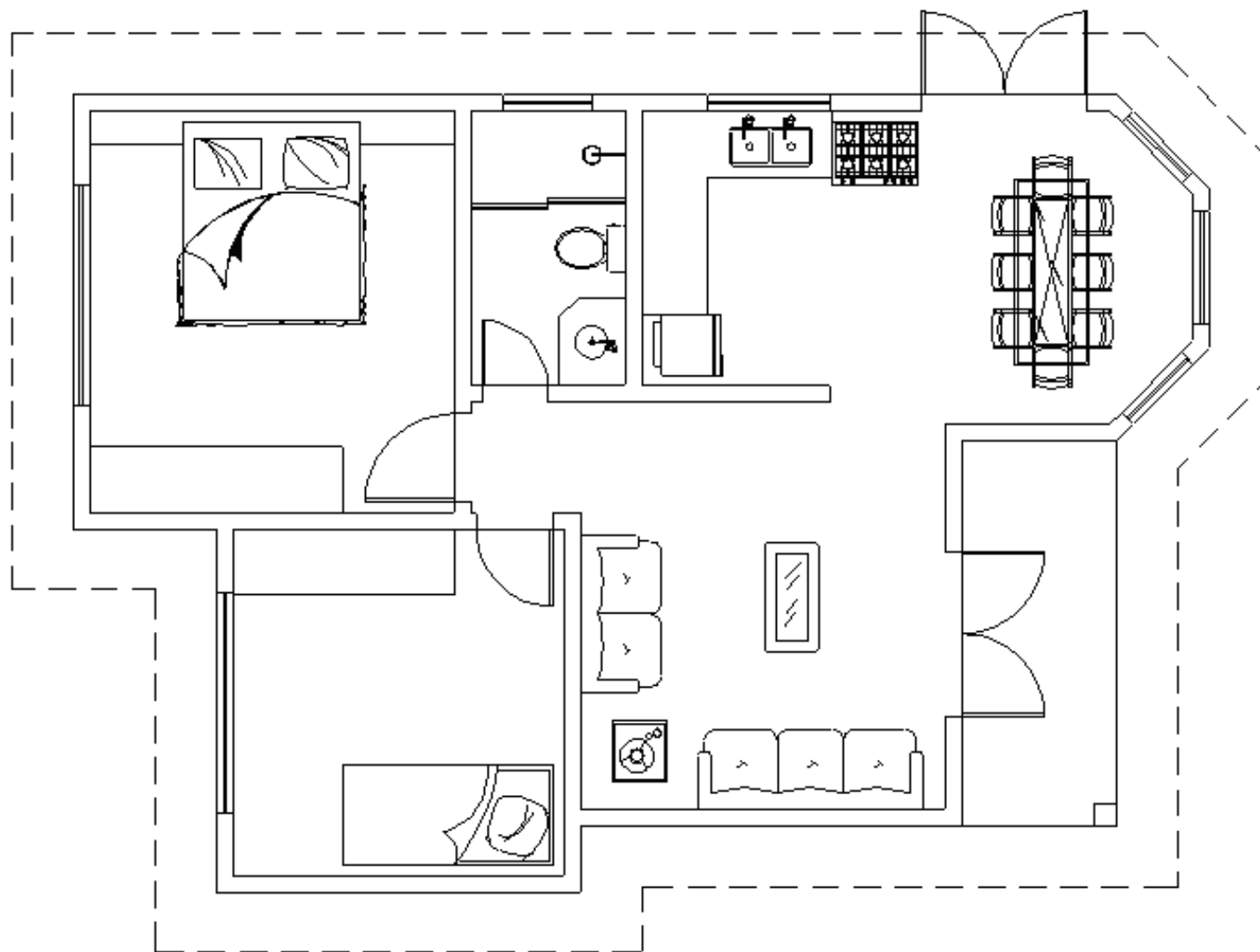


Figura 34 - Planta Baixa de Casa Popular

### 6.2.1 Produtividade

Com base no projeto, Figura 34, será calculado o comprimento das paredes, que multiplicado pelo “pé direito” (altura da parede) nos fornecerá a área de total das paredes da casa.

A comprimento das paredes externas (perímetro) é de 34,10 m e o comprimento das paredes internas é de 15,10 m , fornecendo um comprimento total de 49,20 m. Com um “pé direito” de 2,90 m, teremos uma área total das paredes de 142,69 m<sup>2</sup>.

De acordo com o artigo publicado no site *www.ecivilnet.com*, o número de tijolos de solo-cimento por metro quadrado de parede construída é de 77 unidades, no cálculo dessa quantidade deve ser levada em consideração à camada de argamassa.

Para a área de 142,69 m<sup>2</sup>, teremos um total de **10.987** (142,69 m<sup>2</sup> \* 77 unidades/m<sup>2</sup>) tijolos de solo-cimento. Com uma produção da máquina atual calculada em **1500 tijolos**, vide Seção 2.1.5 - Equipamento Atual, em uma jornada de trabalho de 8 horas diárias, e produção da nova concepção de prensa hidráulica de **2600 tijolos**, vide Seção 4.6 - Cálculo do Tempo Total e Produção do Sistema de Produção Automatizado de Tijolos de Solo-Cimento , em jornada de trabalho equivalente. Desta forma, o equipamento atual produzirá o total de tijolos para construir esta casa em 45 horas e 47 minutos (5 dias e 6 horas). Já a nova concepção de prensa hidráulica produzirá a mesma quantidade de tijolos em 33 horas e 48 minutos (4 dias e 2 horas), que representa que uma redução do tempo em aproximadamente 27%. Na Tabela 12 segue resumo do cálculo da produtividade por concepção analisada:

**Tabela 12 - Resumo do Cálculo da Produtividade**

Concepção	Área (m <sup>2</sup> )	Num Tijolos de SC	Produção	Tempo
Equipamento Atual	142,69	10.987	1500	45 horas e 47 minutos
Nova Concepção	142,69	10.987	2600	33 horas e 48 minutos

## 6.2.2 Custo da Obra

Nesta seção será comparado o custo de construção (referente à compra de tijolos) do projeto de casa popular mostrado na Figura 34, entre três tipos de tijolos diferentes mais comuns no mercado: Tijolo Baiano (lajota), Tijolo Maciço de Barro Cozido (tijolo cerâmico convencional), e Tijolo de Solo-Cimento. De acordo com o artigo publicado no site [www.ecivilnet.com](http://www.ecivilnet.com), o número de tijolos por metro quadrado, e número total de tijolos, para área de paredes de 142,69 m<sup>2</sup>, para cada tipo de tijolo, é mostrado na Tabela 13.

**Tabela 13 - Número de Tijolos/m<sup>2</sup>**

Tipo de Tijolo	Qtde Tijolos por m <sup>2</sup>	Numero Total de tijolos
Tijolo Baiano	22	3.139
Tijolo Maciço	77	10.987
Tijolo Solo-Cimento	77	10.987

De acordo com a revista *Arquitetura & Construção*, Edição Fevereiro de 2005, o preço médio do Tijolo Baiano é de R\$ 297,20 o milheiro (1.000 tijolos), já o preço médio do Tijolo Maciço é de R\$ 120,00 o milheiro, e o preço médio do cimento *CP II 32* é de R\$ 17,30 o saco de 50 kg.

Com uma massa de 2,5 kg de mistura de solo-cimento para produzir cada tijolo e um percentual de 6 % de cimento na mistura, desta forma teremos a quantidade de cimento por milheiro produzido (2,5 kg \* 1000 tijolos \* 0,06) de 150 kg, que dá um custo de R\$ 51,90 por milheiro. Considerando o consumo de energia da prensa hidráulica de aproximadamente 23 KW/h, considerando o preço do KW.h em R\$ 0,40, termos um custo com energia elétrica de R\$ 28,30 por milheiro. Desta forma o custo total do milheiro de tijolos de solo-cimento é de R\$ 80,20.

**Tabela 14 - Custo de Construção da Casa**

Tipo de Tijolo	Numero Total de tijolos	Custo por milheiro (R\$)	Custo Total (R\$)
Tijolo Baiano	3.139	297,20	932,98
Tijolo Maciço	10.987	120,00	1318,48
Tijolo Solo-Cimento	10.987	80,20	881,18

Percebemos que o a utilização do Tijolo de Solo-Cimento, Tabela 14, traz uma redução de custo de em relação ao Tijolo Baiano de aproximadamente 6% e em relação ao Tijolo Maciço de 33%.

No caso da utilização do Tijolo Baiano, faz-se necessário utilizar-se de revestimento (reboco) sobre os tijolos, que acarretará em um custo adicional na obra. Já para os Tijolos Maciço e de Solo-Cimento não é necessário este revestimento, conforme Figura 35.



**Figura 35 - Casas Construídas com Tijolos de Solo-Cimento**



## **7 Considerações Finais**

Neste capítulo serão abordadas algumas considerações finais a respeito do sistema de produção automatizado de tijolos de solo-cimento aqui proposto. Será enfatizado todas as melhorias que esta nova concepção de sistema apresenta em relação à concepção escolhida para efeitos de comparação, bem como sugestões com intuito de continuidade do projeto.

### **7.1 Melhorias da Nova Concepção em Relação à Concepção Atual**

#### **7.1.1 Circuito Hidráulico**

Comparando-se a nova concepção de sistema de produção automatizado de tijolos de solo-cimento com a concepção do equipamento estrutural mostrada na Seção 2.1.5, pode-se constatar o correto dimensionamento dos cilindros hidráulicos, bem como a especificação da bomba de engrenagens e seu respectivo motor elétrico de acionamento. É importante frisar que a concepção atual possuía motor elétrico sub-dimensionado e bomba super-dimensionada, o que comprometia profundamente o desempenho do sistema hidráulico.

Este problema foi sanado com o correto dimensionamento e especificações do conjunto bomba de engrenagens – motor elétrico de acionamento. Além disso, um correto dimensionamento do reservatório de óleo da nova concepção do sistema garantiu uma maior área superficial para trocas térmicas, suficiente para que ocorra um arrefecimento adequado do fluido de trabalho.

As chaves de fim de curso adicionadas ao sistema automatizado possibilitam maior controle dimensional do produto a ser fabricado, o que aumenta sua qualidade. Sem estas chaves, como ocorre na concepção atual, o controle das dimensões nominais dos tijolos de solo-cimento torna-se impraticável.

Outra expressiva alteração no circuito hidráulico da nova concepção do sistema de produção automatizado foi à introdução da válvula de ventagem. Sem a válvula de ventagem, no intervalo de tempo entre o acionamento da bomba de engrenagens através da partida do motor elétrico de acionamento até o início do ciclo de prensagem, o circuito hidráulico se encontra pressurizado e a

válvula de segurança sendo solicitada constantemente. Esta solicitação acontece na forma de abertura e fechamento desta válvula em um curto intervalo de tempo, o que provoca sucessivos jatos de óleo que geram um significativo aumento na temperatura do fluido de trabalho, tendo como consequência a redução da vida útil dos elementos internos da válvula.

A introdução da válvula de ventagem faz com que o fluido de trabalho circule diretamente para o reservatório de óleo nos momentos em que não é necessária pressão no circuito hidráulico, não havendo, portanto, uma pressão desnecessária nas válvulas direcionais.

### **7.1.2 Automação do Processo**

A automação do processo de fabricação de tijolos de solo-cimento é um dos fatores de maior expressão na comparação entre as concepções. O operador da prensa hidráulica automatizada tem a possibilidade de escolher entre dois modos de operação distintos: o modo manual, onde os cilindros hidráulicos, ventagem e sistema de dosagem são acionados manualmente através de botões em um painel de controle, e o modo automático, onde os cilindros hidráulicos são acionados por solenóides comandadas por um diagrama de relés.

Escolhendo o modo automático, o operador inicia a operação da prensa hidráulica acionando o botão de início, depois todos os processos ocorrem automaticamente. Além disso, foram adicionados LED's que fornecem importantes informações sobre as condições de funcionamento do sistema.

### **7.1.3 Operação da Prensa Hidráulica**

O aspecto mais importante a ser frisado nesta seção é a maior facilidade na operação da nova concepção da prensa hidráulica. Operacionalmente, a concepção atual apresenta uma série de dificuldades, sobretudo pela falta de dispositivos de controle de pressão e de fim de curso dos cilindros hidráulicos. O operador necessita de alta experiência, sensibilidade e perícia para o correto manuseio da prensa hidráulica. Erros de operação podem acarretar a perda iminente da qualidade dos tijolos de solo-cimento, além de casos mais extremos como problemas estruturais decorrentes de empenos devido à ação do cilindro hidráulico de prensagem.

#### **7.1.4 Número de Operadores Envolvidos no Processo de Fabricação de Tijolos de Solo-Cimento:**

A concepção atual necessita de grande número de operadores, de quatro a seis, conforme referido na Seção 2.1.5, o que deixa o processo de fabricação dos tijolos de solo-cimento mais caro e muito mais presumível de ocorrência de erros. Este fator determinante influencia negativamente na produtividade da máquina, o que não é atrativo observado do ponto de vista econômico.

O número de operadores da nova concepção do sistema de produção de tijolos de solo-cimento foi reduzido à pelo menos metade do número de operadores, o que reduz o custo fixo do processo.

#### **7.1.5 Sistema de Dosagem da Mistura de Solo-Cimento**

O sistema de dosagem da mistura foi aprimorado na nova concepção devido a grandes avanços tecnológicos na área de dosagem. A mistura de solo-cimento é distribuída de uma maneira mais uniforme sobre as formas, através do sistema de Calha Dosadora e da Calha de Escoamento, o que elimina as regiões de maior ou menor densidade no tijolo de solo-cimento. A existência destas regiões afeta gravemente a qualidade do produto, como acontece na concepção atual de prensa hidráulica analisada.

#### **7.1.6 Estrutura da Prensa Hidráulica**

A concepção atual apresenta uma diferença entre o diâmetro dos pórticos de suporte do cilindro hidráulico de prensagem e a largura da aba da viga I, sendo o primeiro maior. Isto ocasiona uma perda na área do cordão de solda, com conseqüente diminuição em sua resistência, além de conferir ao equipamento menor estabilidade.

O correto dimensionamento dos pórticos de sustentação visa acabar com este problema, conferindo a máquina maior estabilidade durante a execução do processo de fabricação dos tijolos. Optou-se pela substituição da viga de perfil I por uma viga de perfil H de aba muito maior, eliminando definitivamente o problema da diferença entre diâmetro dos pórticos e largura da viga.

### 7.1.7 Autonomia do Processo

A nova concepção possui um silo de alimentação dimensionado para atender a premissa operacional de autonomia igual a 30 minutos, tornando a produtividade do sistema muito maior comparado à concepção atual.

## 7.2 Sugestões para Continuidade do Projeto

- **Melhoria no Sistema de Alimentação:** utilização de dois ou mais silos de alimentação, onde as matérias primas para fabricação da mistura de solo-cimento ficam armazenadas separadamente, para posteriormente serem dosadas e misturadas;
- **Total Controle do Processo por PLC:** todas as operações de avanço e retorno dos cilindros hidráulicos serão controladas por *PLC*, aumentando o dinamismo do processo. O operador pode controlar os procedimentos efetuados pela prensa hidráulica remotamente via terminal on-line;
- **Universalização da Forma:** projetar vários formatos de formas, para que com isso a prensa hidráulica seja capaz de produzir não só tijolos maciços de solo-cimento, mas também blocos vazados de solo-cimento, pavietes, etc.

### **7.3 Conclusão**

O uso de métodos científicos aplicados à engenharia resultam em um aprimoramento constante dos diversos equipamentos utilizados na indústria e nos mais diversos segmentos da sociedade.

A aplicação dessas metodologias na concepção proposta por este projeto trouxe melhorias quanto à facilidade de operação, ganho de produtividade, aumento na qualidade do produto final, ganho em manutenção, dentre outros.

Além disso, a utilização do solo-cimento mostra-se uma alternativa viável e interessante em construções de pequeno e médio porte. O projeto de equipamentos eficazes e de custos reduzidos é mais uma das atividades onde se fazem necessários os conhecimentos do engenheiro mecânico.

## Bibliografia

### Livros e Apostilas:

- HIBBELER, R.C.; Resistências dos Materiais, 3ª Edição, Editora LTC, 1997;
- BEER, Ferdinand P.; JR, E. Russell Johnston. Mecânica Vetorial para Engenheiros, 5ª Edição, Editora MacGraw-Hill, 1991;
- BEER, Ferdinand P.; JR, E. Russell Johnston. Resistências da Material, 3ª Edição, Editora MacGraw-Hill, 1982;
- OKUMURA, Toshie. Engenharia de Soldagens e aplicações, 1º Edição, Editora LTC, 1982;
- PROVENZA, Francesco. Projetista de Máquinas. 5ª Edição, Escola Politec, 1976;
- FIALHO, Arrivelto Bustamante. Automação Hidráulica – Projeto, Dimensionamento e análise dos Circuitos. 1º Edição, Editora Érica Ltda, 2002.
- ARIVABENE, Vladimir. Resistência dos Materiais. Editora Makron Books, 1994;
- MIYAGI, P. E.; Apostila: Metodologia de Projetos de Sistema de Controle de Eventos Discretos.

## **Normas Pesquisadas:**

- NBR 8491 / 1984 : Tijolo Maciço de Solo-Cimento;
- NBR 10834 / 1989 : Bloco Vazado de Solo-Cimento – Especificações;
- NBR 10835 / 1989 : Bloco Vazado de Solo-Cimento – Forma e Dimensões;
- NBR 10833 / 1989 : Fabricação de Tijolo Maciço e Bloco Vazado de Solo-Cimento com Utilização de Prensa Hidráulica;
- ABNT PB 34 e PB 35 : Espessuras Normalizadas de Chapas de Aço Carbono;
- DIN 2440 : Tubos de Aço.

## **Sites Pesquisados:**

- [www.abcp.org.br](http://www.abcp.org.br);
- [www.cimentoitambe.com.br](http://www.cimentoitambe.com.br);
- [www.agrocasa.com.br](http://www.agrocasa.com.br);
- <http://arq.ufmg.br/habitar/sis4.html#descricao>;
- [www.rioserv.com.br](http://www.rioserv.com.br);
- [www.projetoconstrucao.hpg.ig.com.br/alvenaria.html](http://www.projetoconstrucao.hpg.ig.com.br/alvenaria.html);
- [www.dnocs.gov.br](http://www.dnocs.gov.br);
- [www.geocities.com/neidyr](http://www.geocities.com/neidyr);
- [www.man.com.br](http://www.man.com.br);
- [www.boschrexroth.com](http://www.boschrexroth.com);
- [www.weg.com.br](http://www.weg.com.br);
- [www.toledobrasil.com.br](http://www.toledobrasil.com.br);
- [www.schenck-usa.com](http://www.schenck-usa.com);
- [www.enerpac.com](http://www.enerpac.com);
- [www.equipaindustria.com.br](http://www.equipaindustria.com.br);
- [www.furlan.com.br](http://www.furlan.com.br);
- [www.belgomineira.com.br](http://www.belgomineira.com.br);
- [www.gerdau.com.br](http://www.gerdau.com.br);
- [www.dropsa.com](http://www.dropsa.com);
- [www.multiconex.com.br](http://www.multiconex.com.br);
- [www.ecivilnet.com](http://www.ecivilnet.com);
- [www.matweb.com](http://www.matweb.com);
- [www.mdsolids.com](http://www.mdsolids.com).



## **Softwares Utilizados:**

- AutoCAD 2004;
- Solid Edge 7;
- MD Solids 2.2;
- Automation Studio 5.0 .

## **Catálogos:**

- Catálogo eletrônico de componentes hidráulicos Rexroth Hidraulics;
- Catálogo da JTS Equipamentos Hidráulicos LTDA;
- Catálogo de perfis da Belgo Mineira;
- Catálogo de perfis da Perfilados Rio Doce;
- Catálogo de perfis da Gerdau;
- Catálogo eletrônico de componentes hidráulicos Dropsa Brasil;
- Catálogo de componentes hidráulicos Enerpac;
- Catálogo eletrônico de transportadores de correia Máquinas Furlan LTDA;
- Catálogo eletrônico de *PLC*'s da FAL Automação.

## **ANEXOS**

## **Anexo 1 - Data Sheet Silo de Alimentação**

As informações abaixo relacionadas devem ser enviadas a *Toledo do Brasil* para especificação de equipamentos para automação do Silo de Alimentação a ser utilizado no sistema de produção automatizado de tijolos de solo-cimento.

### **Produto a ser Pesado**

1. Nome: Mistura de Solo-Cimento;
2. Capacidade Horária Pretendida: 5 m<sup>3</sup>/h;
3. Densidade Aparente: 1,9 g/cm<sup>3</sup>;
4. Ângulo de Repouso: 0°
5. Umidade: 20%;
6. Temperatura do Produto em Operação: 25 °C.

### **Fluidez do Produto**

Boa. O produto é seco, solto, igual à farofa.

### **Características do Processo**

1. O Silo de Alimentação será alimentado manualmente ou por meio de transportador de correia;
2. A capacidade do silo deve ser de 495 Kg.

### **Condições de Instalação**

1. Temperatura Ambiente: 25 °C;
2. Local de Instalação: Existente e Coberto;
3. Altura disponível: 4m;
4. Montagem: Abrigado;

5. Ambiente: Normal;
6. Vibração no Prédio ou Estruturas: Não;
7. Equipamento Sujeito a Lavagens: Não.

### **Equipamentos de Apoio Opcionais**

Nenhum equipamento de apoio opcional a ser especificado.

## **Anexo 2 - Data Sheet Calha Dosadora**

As informações abaixo relacionadas devem ser enviadas a *Toledo do Brasil* para especificação de equipamentos para automação da Calha Dosadora a ser utilizada no sistema de produção automatizado de tijolos de solo-cimento.

### **Produto a ser Pesado**

1. Nome: Mistura de Solo-Cimento;
2. Capacidade Horária Pretendida: 5 m<sup>3</sup>/h;
3. Densidade Aparente: 1,9 g/cm<sup>3</sup>;
4. Ângulo de Repouso: 0°
5. Umidade: 20%;
6. Temperatura do Produto em Operação: 25 °C.

### **Fluidez do Produto**

Boa. O produto é seco, solto, igual à farofa.

### **Características do Processo**

1. O produto ficará estocado dentro de um silo de alimentação de capacidade igual a 495 Kg;
2. Após conformação, a mistura compactada é extraída por meio de um transportador de correias de capacidade nominal igual a 60 m<sup>3</sup>/h.

### **Condições de Instalação**

1. Temperatura Ambiente: 25 °C;
2. Local de Instalação: Existente e Coberto;
3. Altura disponível: 4m;
4. Montagem: Abrigado;

5. Ambiente: Normal;
6. Vibração no Prédio ou Estruturas: Não;
7. Equipamento Sujeito a Lavagens: Não.

### **Detalhamento do Motor Elétrico**

1. Potência: 3 CV;
2. Número de Pólos: 4;
3. Tensão Nominal: 220 / 380 V.

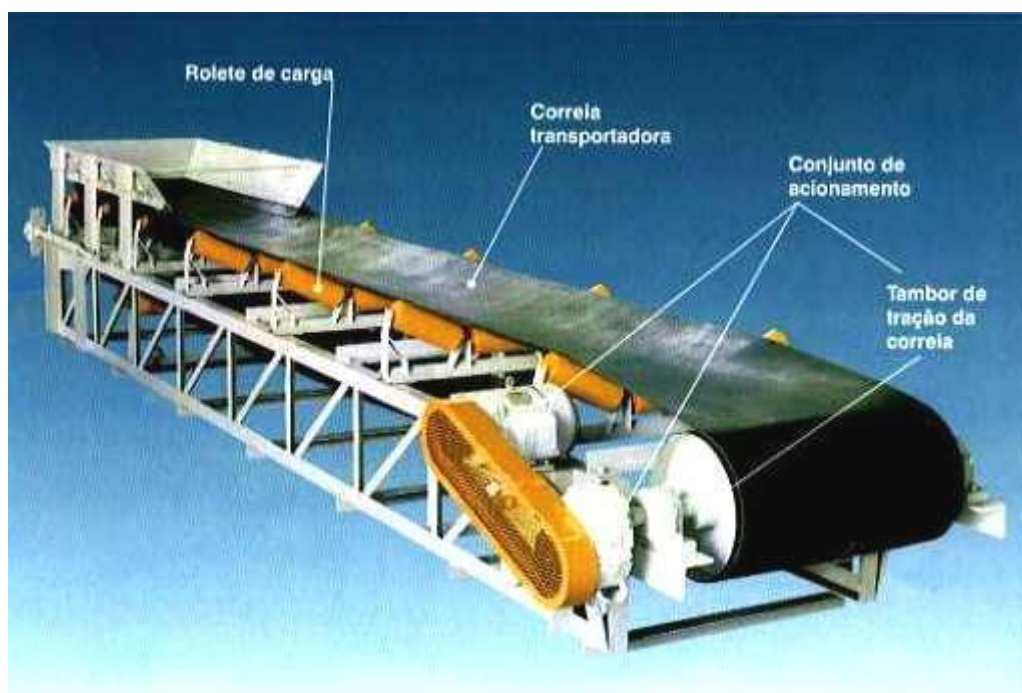
### **Equipamentos de Apoio Opcionais**

Nenhum equipamento de apoio opcional a ser especificado.

## Anexo 3 - Transportador de Correias

O Transportador de Correias especificado é produzido pela *Máquinas Furlan LTDA*. E tem como principais características técnicas:

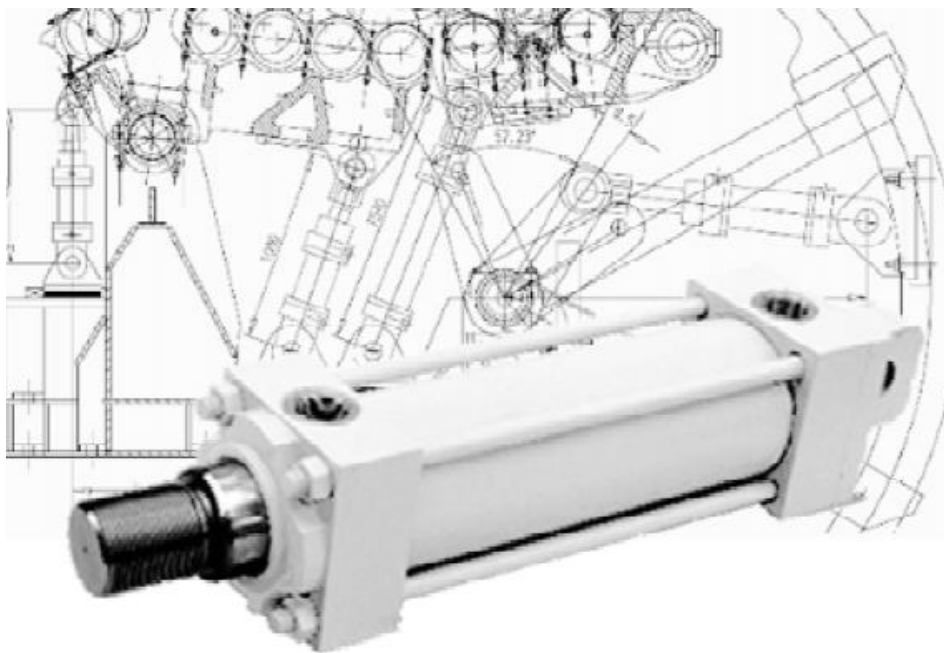
1. Largura da Correia Transportadora: 12”;
2. Capacidade Máxima de Transporte: 60 m<sup>3</sup>/h;
3. Comprimento do Transportador de Correia: 2 m;
4. Potência do Motor Elétrico de Acionamento: 3 CV;
5. Número de Pólos do Motor Elétrico: 4 pólos;
6. Diâmetro dos Tambores de Tração e Retorno: 0,1 m;
7. Redução do Redutor: 1:20;
8. Diâmetro de Polia Motora: 125 mm;
9. Diâmetro de Polia Movida: 125 mm.





## Anexo 4 - Seleção dos Cilindros Hidráulicos

A seleção dos cilindros hidráulicos baseia-se no catálogo eletrônico da *Rexroth Hydraulics*. Seguem os dados técnicos gerais do cilindro hidráulico com tirantes do tipo CD e CG 160, além de tabela para seleção dos mesmos.



### Dados Técnicos Gerais

1. Pressão Máxima de Trabalho: 210 bar;
2. Posição de Montagem: Qualquer;
3. Fluido de Trabalho: Óleo mineral conforme DIN 51 524 (HL, HLP);
4. Faixa de Temperatura do Fluido de Trabalho: - 20 °C a + 70 °C.

Os cilindros hidráulicos que, para atender as características da sua aplicação, não estejam conforme os dados técnicos acima podem ser fornecidos sob consulta, desde que todas as informações necessárias à sua análise e projeto sejam fornecidas e compatíveis com os critérios de segurança.

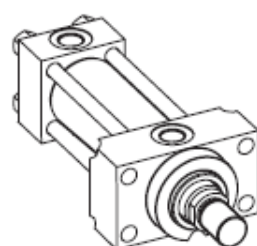
# Tabela de Seleção dos Cilindros Hidráulicos

Dados para encomenda																																																																																			
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <p>Cilindro</p> <p>Diferencial = CD</p> <p>Cilindro haste passante igual = CG</p> </div> <div> <p>Série construtiva</p> <p>160 = 160</p> </div> <div> <p>Tipos de Fixação</p> <p>(vide página 5)</p> </div> <div> <p>Outros dados em texto complementar</p> <p>Distanciadores (ver página 18)</p> <p>T = Anel Deslizante para operação com atrito reduzido</p> <p>A = ( * ) Vedações Tipo "U"</p> <p>Posição da conexão no fundo ( ** ) (ver páginas 7 a 17)</p> <p>Posição da conexão no cabeçote ( ** ) (ver páginas 7 e 17)</p> <p>Vedações</p> <p>M = Óleo mineral conforme DIN 51524 HL e HLP</p> <p>V = ( * ) Viton para Ester fosfato conforme VDMA 24317 (HFD-R)</p> <p>D= Amortecimento auto-ajustável em ambos os lados</p> <p>U= Sem amortecimento</p> <p>K= Amortecimento auto-ajustável do lado do êmbolo</p> <p>S = Amortecimento auto-ajustável do lado da haste</p> <p>E = Amortecimento auto-ajustável em ambos os lados</p> <p>Ponta da haste</p> <p>H= Rosca para olhal CGKA (ver página 5)</p> <p>J = ( * ) Rosca maior (ver tabela) (ver páginas 7 a 17)</p> <p>Execução das hastes com cromo duro</p> <p>C= Ø até 36 mm - SAE 4140 &gt; 36 mm - SAE 1045</p> <p>H= ( * ) Temperado com material SAE 4140 p/ Ø ≤ 110 mm</p> <p>Conexões</p> <p>01= Roscas conforme ISO 228/1</p> <p>13= ( * ) Roscas maiores conforme ISO 228/1</p> <p>14= ( * ) Roscas métricas ISO 228/1</p> </div> </div>																																																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ø do êmbolo (mm)</th> <th>Ø da haste (mm)</th> <th>Relação das Áreas <math>\Phi</math></th> <th>Dados p/ Encomenda</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">25</td> <td>12</td> <td>1,25:1</td> <td>= 25/ 12</td> </tr> <tr> <td>18</td> <td>1,25:1</td> <td>= 25/ 18</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">32</td> <td>14</td> <td>1,25:1</td> <td>= 32/ 14</td> </tr> <tr> <td>22</td> <td>2:1</td> <td>= 32/ 22</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">40</td> <td>18</td> <td>1,25:1</td> <td>= 40/ 18</td> </tr> <tr> <td>28</td> <td>2:1</td> <td>= 40/ 28</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">50</td> <td>22</td> <td>1,25:1</td> <td>= 50/ 22</td> </tr> <tr> <td>36</td> <td>2:1</td> <td>= 50/ 36</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">63</td> <td>28</td> <td>1,25:1</td> <td>= 63/ 28</td> </tr> <tr> <td>45</td> <td>2:1</td> <td>= 63/ 45</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">80</td> <td>36</td> <td>1,25:1</td> <td>= 80/ 36</td> </tr> <tr> <td>56</td> <td>2:1</td> <td>= 80/ 56</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">100</td> <td>45</td> <td>1,25:1</td> <td>=100/ 45</td> </tr> <tr> <td>70</td> <td>2:1</td> <td>=100/ 70</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">125</td> <td>56</td> <td>1,25:1</td> <td>=125/ 56</td> </tr> <tr> <td>90</td> <td>2:1</td> <td>=125/ 90</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">160</td> <td>70</td> <td>1,25:1</td> <td>=160/ 70</td> </tr> <tr> <td>110</td> <td>1,8:1</td> <td>=160/110</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">200</td> <td>90</td> <td>1,35:1</td> <td>=200/ 90</td> </tr> <tr> <td>140</td> <td>2:1</td> <td>=200/140</td> </tr> </tbody> </table>										Ø do êmbolo (mm)	Ø da haste (mm)	Relação das Áreas $\Phi$	Dados p/ Encomenda	25	12	1,25:1	= 25/ 12	18	1,25:1	= 25/ 18	32	14	1,25:1	= 32/ 14	22	2:1	= 32/ 22	40	18	1,25:1	= 40/ 18	28	2:1	= 40/ 28	50	22	1,25:1	= 50/ 22	36	2:1	= 50/ 36	63	28	1,25:1	= 63/ 28	45	2:1	= 63/ 45	80	36	1,25:1	= 80/ 36	56	2:1	= 80/ 56	100	45	1,25:1	=100/ 45	70	2:1	=100/ 70	125	56	1,25:1	=125/ 56	90	2:1	=125/ 90	160	70	1,25:1	=160/ 70	110	1,8:1	=160/110	200	90	1,35:1	=200/ 90	140	2:1	=200/140
Ø do êmbolo (mm)	Ø da haste (mm)	Relação das Áreas $\Phi$	Dados p/ Encomenda																																																																																
25	12	1,25:1	= 25/ 12																																																																																
	18	1,25:1	= 25/ 18																																																																																
32	14	1,25:1	= 32/ 14																																																																																
	22	2:1	= 32/ 22																																																																																
40	18	1,25:1	= 40/ 18																																																																																
	28	2:1	= 40/ 28																																																																																
50	22	1,25:1	= 50/ 22																																																																																
	36	2:1	= 50/ 36																																																																																
63	28	1,25:1	= 63/ 28																																																																																
	45	2:1	= 63/ 45																																																																																
80	36	1,25:1	= 80/ 36																																																																																
	56	2:1	= 80/ 56																																																																																
100	45	1,25:1	=100/ 45																																																																																
	70	2:1	=100/ 70																																																																																
125	56	1,25:1	=125/ 56																																																																																
	90	2:1	=125/ 90																																																																																
160	70	1,25:1	=160/ 70																																																																																
	110	1,8:1	=160/110																																																																																
200	90	1,35:1	=200/ 90																																																																																
	140	2:1	=200/140																																																																																
<p>(somente para cilindro de 2 hastes)</p> <p>2ª haste (ver tabela acima)</p>																																																																																			
<p>Indicar o curso</p> <p>mm</p>																																																																																			
<p>Série 1XB</p> <p>10B até 19B</p>																																																																																			

## Dimensões dos Cilindros Hidráulicos

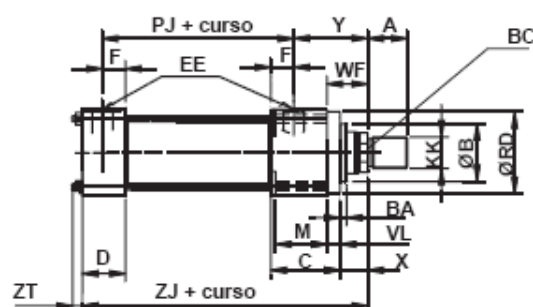
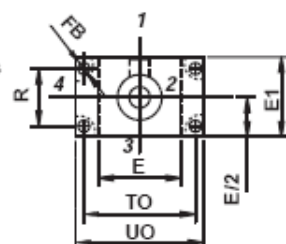
**Dimensionamento:** Fixações ME5; ME6; MS2

Medidas em mm



**Tipo de fixação ME5 - Flange no cabeçote  
(Antiga fixação "C")**

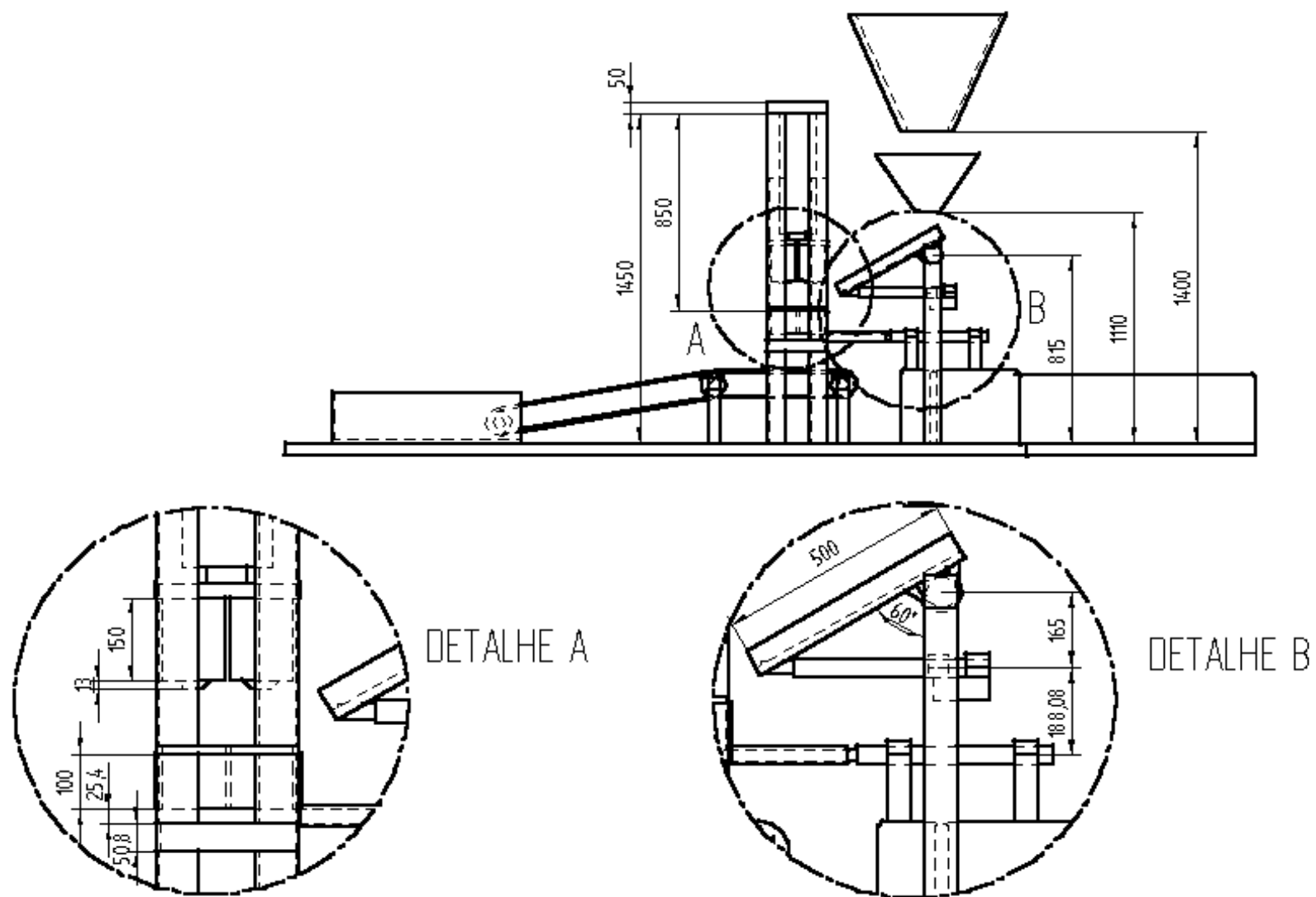
Posição 1, 2, 3 e 4 das conexões no cabeçote e no fundo (Posição 1 é padrão)



Dimensões conforme ISO 6020-2

Diâm. Êmbolo	Haste tipo	KK	A	E	E1	E2 H13	EE	FB	LH h10	PJ	R Js13	RD 18	SB H13	SS	ST	TO Js13	TS Js13	UO máx.	US	WF	XS	Y	ZJ
25	12 H 18 H 18 J	M10x1,25 M10x1,25 M14x1,5	14 14 18	40	45	45	G1/4	5,5	19	53	27	38	6,6	73	8,5	51	54	65	72	25	33	50	114
32	14 H 22 H 22 J	M12x1,25 M12x1,25 M16x1,5	16 16 22	45	50	50	G1/4	6,6	22	56	33	42	9	73	12,5	58	63	70	84	35	45	60	128
40	18 H 28 H 28 J	M14x1,5 M14x1,5 M20x1,5	18 18 28	63	63	63	G3/8	11	31	73	41	62	11	98	12,5	87	83	110	103	35	45	62	153
50	22 H 36 H 36 J	M16x1,5 M16x1,5 M27x2	22 22 36	75	75	74	G1/2	14	37	74	52	74	14	92	19	105	102	130	127	41	54	67	159
63	28 H 45 H 45 J	M20x1,5 M20x1,5 M33x2	28 28 45	90	90	89	G1/2	14	44	80	65	75 88 88	18	86	26	117	124	145	161	48	65	71	168
80	36 H 56 H 56 J	M27x2 M27x2 M42x2	36 36 56	115	115	114	G3/4	18	57	93	83	82 105 105	18	105	26	149	149	180	186	51	68	77	190
100	45 H 70 H 70 J	M33x2 M33x2 M48x2	45 45 63	130	130	129	G3/4	18	63	101	97	92 125 125	26	102	32	162	172	200	216	57	79	82	203
125	56 H 90 H 90 J	M42x2 M42x2 M64x3	56 56 85	165	165	165	G1	22	82	117	126	105 150 150	26	131	32	208	210	250	254	57	79	86	232
160	70 H 110 H 110 J	M48x2 M48x2 M80x3	63 63 95	205	205	205	G1	26	101	130	155	125 170 170	33	130	38	253	260	300	318	57	86	86	245
200	90 H 140 H 140 J	M64x3 M64x3 M100x3	85 85 112	245	245	245	G1 1/4	33	122	165	190	150 210 210	39	172	44	300	311	360	381	57	92	98	299

## Anexo 5 - Croquis Adicionais (Vista Lateral)



**Anexo 6 - Croquis Adicionais (Vista Frontal)**

