

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL

GABRIEL VILLELA SERTA
JULIANO DOS SANTOS ROCHA

TERMOFORMADORA A VÁCUO AUTOMATIZADA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2012

GABRIEL VILLELA SERTA
JULIANO DOS SANTOS ROCHA

TERMOFORMADORA A VÁCUO AUTOMATIZADA

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial do Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELN – e Mecânica – DAMEC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Gilson Yukio Sato

CURITIBA

2012

GABRIEL VILLELA SERTA
JULIANO DOS SANTOS ROCHA

TERMOFORMADORA A VÁCUO AUTOMATIZADA

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado no dia 08 de agosto de 2012, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Os alunos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Milton Luiz Polli
Coordenador de Curso
Departamento Acadêmico de Mecânica

Prof. Dr. Décio Estevão do Nascimento
Responsável pela Atividade de Trabalho de Conclusão de Curso
Departamento Acadêmico de Eletrônica

BANCA EXAMINADORA

Prof. João Almeida de Góis

Prof. Dr. Gilson Yukio Sato
Orientador

Prof. Dr. Marcelo Victor Wüst Zibetti

AGRADECIMENTOS

Obrigado a todos os amigos que acreditaram no conceito da máquina e na construção de futuros projetos, valorizando a dedicação e demonstrando um sentimento de orgulho. Meu objetivo principal ao realizar o projeto de uma máquina automatizada foi sentir orgulho por buscar novos desafios. Tal sentimento que traz e leva a felicidade para mim e para as pessoas que me acompanham e me apoiam.

Agradeço ao Victor Villela Serta, Caio de Oliveira Pizzol, Jefferson Koloda dos Santos e Iron Lukas Tessaro por sempre incentivarem meus esforços na área de automação e tecnologia, responsável por trazer benefícios ao nosso país em termos econômicos, a capacitação e ergonomia aos funcionários, a tecnologia e qualidade de produtos para os consumidores finais. Agradeço ao Juliano dos Santos Rocha por ter me convidado para participar do projeto, me ensinado e apresentado os processos de fabricação de polímeros.

Gostaria de agradecer meus pais, engenheiros, por sempre incentivarem a educação e por me apresentar a primeira linha de produção automatizada que conheci na Robert Bosch, aos meus 10 anos já me senti apaixonado pelo setor industrial automobilístico.

Não posso deixar de agradecer às empresas em que trabalhei, por fornecerem conhecimento e experiência na área de processos industriais, sistemas de produção e automação (PKC Group e In-Tech Automação). Agradeço à empresa Fluipress Automação pela oportunidade e confiança no desenvolvimento projetos de máquinas especiais.

Venho a agradecer o professor Milton Luiz Polli por disponibilizar um local na UTFPR para elaborarmos o protótipo e o professor Gilson Yukio Sato que além de revisar a documentação e nos orientar durante o projeto, foi um incentivador que esteve nos demonstrando muita dedicação.

Gabriel Villela Serta

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por sempre ter me dado força em todos os momentos, por ter me ajudado nos momentos difíceis e nunca ter me abandonado. Agradeço à minha família, agora com a ausência sempre sentida da minha querida mãe, pois sempre estiveram do meu lado, me apoiando, incentivando, acordando, dando conselhos, brigando quando necessário e acima de tudo pelo amor recebido. Meu pai sempre foi e continua sendo minha referência em responsabilidade e dedicação e minha mãe em humildade e sinceridade. Então tenho muito que agradecer aos dois, pois devo a eles quem eu sou, à excelente educação e ótimas referências que tive e tenho dentro de casa.

Agradeço os professores, que sempre se esforçaram para transmitir seus conhecimentos da melhor maneira possível, vencendo as dificuldades dos alunos e procurando assimilar ao máximo a sala de aula com a vida profissional.

De modo especial gostaria de agradecer ao meu amigo Gabriel Villela Sertá, que encarou o desafio de projetar e montar esse protótipo, demonstrando sempre muito interesse, comprometimento, responsabilidade e conhecimento técnico. Também não posso me esquecer de agradecer aos amigos Jefferson Koloda dos Santos e Iron Lukas Tessaro pelo companheirismo durante o período de nossa formação. Agradeço ao professor orientador Gilson Yukio Sato, que nos ajudou durante o desenvolvimento desse trabalho, buscando um local para montarmos o protótipo, corrigindo nossos erros quantas vezes fossem necessárias até alcançar o padrão de qualidade adequado para esse documento. Agradeço às empresas que trabalhei desde o início do curso, pois devo grande parte do meu conhecimento técnico às experiências profissionais que tive (Volkswagen do Brasil, KYB do Brasil, MLM, Riskimax e Tecpron). Também gostaria de agradecer às empresas que nos ajudaram com patrocínio integral e parcial em muitos itens do projeto.

Gostaria de finalizar meus agradecimentos dizendo: “Odete dos Santos Rocha, minha querida mãe, embora você não esteja mais entre nós, você sempre estará em meu coração eternamente, gostaria muito que você estivesse aqui para compartilhar esse momento tão especial em minha vida, mas, tem coisas na vida que não temos controle, e aonde quer que você esteja, quero que todos saibam que eu te amo muito!”.

Juliano dos Santos Rocha

RESUMO

SERTA, G. V.; ROCHA, J. S.. **Termoformadora a vácuo automatizada**. 2012. 135 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial), Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

Realizando visitas em indústrias e uma pesquisa de mercado preliminar, na região de Curitiba, foi observado que existem processos de termoformagem plástica, responsável por produzir artefatos plásticos, realizados de uma forma artesanal, ou seja, apenas com maquinaria operada manualmente. Esse processo tende a apresentar limitações pela falta de automatização. Buscando melhorar esse processo, o objetivo do presente trabalho foi o desenvolvimento do protótipo de uma máquina termoformadora a vácuo automatizada, por meio de um CLP (Controlador Lógico Programável) e com o auxílio de ferramentas CAD (*Computer Aided Design*). O protótipo resultante do trabalho é capaz de operar com chapas de PET (Politereftalato de Etileno), ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno), PVC (Policloreto de Vinila) e Policarbonato com dimensões entre 50 x 207 e 319 x 289 mm. O processo dura cerca de 60 a 90 segundos dependendo da espessura da chapa podendo ser aplicado principalmente nas indústrias de autopeças, embalagens, brinquedos e utensílios domésticos.

Palavras-chave: Termoformagem. Automação. Artefatos Plásticos.

ABSTRACT

SERTA, G. V.; ROCHA, J. S.. **Automated vacuum thermoformer**. 2012. 135 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial), Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

Visiting some industrial companies and conducting a preliminary market research, we could observe that several companies in Curitiba area were using a plastic thermoforming process, responsible for producing plastic ware, based on manually operated machinery only. Such a process tends to have limitations due to the lack of automation. Seeking to improve this process, the objective of this study was to develop a prototype automated vacuum thermoforming machine, by means of a PLC (Programmable Logic Controller) and with the support of CAD tools (Computer Aided Design). The resulting prototype is capable of operating with sheets of PET (Polyethylene Terephthalate), ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene), PVC (Polyvinyl Chloride) and Polycarbonate with dimensions between 50 x 207 mm and 319 x 289 mm. The process takes about 60 to 90 seconds depending on the thickness of the sheet. It can be applied mainly in the auto parts, packaging, toys and household industries.

Keywords: Thermoforming. Automation. Plastics Ware.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - VISTA FRONTAL DE UMA TERMOFORMADORA.....	8
FIGURA 2 - VISTA LATERAL DE UMA TERMOFORMADORA	9
FIGURA 3 - PROCESSO DE TERMOFORMAGEM A VÁCUO	9
FIGURA 4 - LINHA DE PRODUÇÃO DE EXTRUSÃO E TERMOFORMAGEM.....	17
FIGURA 5 - BOBINA PARA TERMOFORMAGEM	19
FIGURA 6 - CHAPA PLÁSTICA PARA TERMOFORMAGEM	20
FIGURA 7 - EXEMPLO DE CONVECÇÃO FORÇADA E NATURAL.....	22
FIGURA 8 - EXEMPLO DE RADIAÇÃO.....	22
FIGURA 9 - ZONAS DE AQUECIMENTO.....	23
FIGURA 10 - EXEMPLO DA MOLDAGEM POR VÁCUO	25
FIGURA 11 - MOLDAGEM POR PRESSÃO POSITIVA	25
FIGURA 12 - MOLDAGEM POR FORÇA MECÂNICA.....	26
FIGURA 13 - SERPENTINA NO MOLDE EM FASE DE CONSTRUÇÃO.....	27
FIGURA 14 - EXEMPLO DE UM MOLDE DE ALUMÍNIO.....	28
FIGURA 15 - EXEMPLO DA POSIÇÃO DOS EXAUSTORES.....	28
FIGURA 16 - ESTIRAMENTO DE UMA CHAPA DE PLÁSTICO.....	30
FIGURA 17 - SUCATA DE UMA PEÇA TERMOFORMADA.....	32
FIGURA 18 - TERMOFORMAGEM A VÁCUO COM MOLDE NEGATIVO	34
FIGURA 19 - TERMOFORMAGEM A VÁCUO COM MOLDE POSITIVO.....	35
FIGURA 20 - CICLO DE PROCESSAMENTO DE UM CLP.....	41
FIGURA 21 - ILUSTRAÇÃO DE UMA ARQUITETURA SCADA.....	43
FIGURA 22 - WBS DO PROTÓTIPO	45
FIGURA 23 - ETAPAS DA MECÂNICA.....	45
FIGURA 24 - ETAPAS DA ELÉTRICA E AUTOMAÇÃO.....	46
FIGURA 25 - ETAPAS DA FABRICAÇÃO E DOS TESTES	47
FIGURA 26 - PRODUTO DESEJADO	48
FIGURA 27 - REPRESENTAÇÃO DO PAINEL ELÉTRICO.....	50
FIGURA 28 - CICLO DA MÁQUINA	54
FIGURA 29 - RESISTÊNCIA CERÂMICA CÔNCAVA	57
FIGURA 30 - POSIÇÃO DAS RESISTÊNCIAS NO FORNO.....	58
FIGURA 31 - COMPARATIVO ENTRE OS SUPORTES DAS RESISTÊNCIAS.....	59
FIGURA 32 - GRAMPO DE FIXAÇÃO DA RESISTÊNCIA	60
FIGURA 33 - ROLDANA TRILHO (ESQUERDA) E LIVRE (DIREITA).....	61
FIGURA 34 - CONJUNTO AQUECIMENTO	61
FIGURA 35 - CONJUNTO QUADRO	63
FIGURA 36 - CONJUNTO MOVIMENTA MOLDE	65
FIGURA 37 - CONJUNTO RESFRIAMENTO	66
FIGURA 38 - CONJUNTO PNEUMÁTICO.....	67
FIGURA 39 - CONJUNTO ESTRUTURAL.....	70
FIGURA 40 - PRÉ-MONTAGEM DOS CONJUNTOS	71
FIGURA 41 - MONTAGEM DO CONJUNTO ESTRUTURA.....	72
FIGURA 42 - PAINEL ELÉTRICO DO PROTÓTIPO.....	75
FIGURA 43 - ILUSTRAÇÃO DE SENSORES	79
FIGURA 44 - CLP SIEMENS S7-200 CPU 216-2	81
FIGURA 45 - CHAMADA DE UMA SUBROTINA.....	82
FIGURA 46 - ENTRADA DE UM SINAL DE SENSOR.....	82

FIGURA 47 - LÓGICA DE PASSOS	83
FIGURA 48 - LÓGICA DE ACIONAMENTO.....	84
FIGURA 49 – PROCESSO DE SOLDAGEM	89
FIGURA 50 - PLANEJAMENTO DO CRONOGRAMA.....	91
FIGURA 51 - GRÁFICO DO CRONOGRAMA.....	92
FIGURA 52 - PROTÓTIPO MONTADO	95
FIGURA 53 - MOLDE DO PRODUTO.....	95
FIGURA 54 - AQUECIMENTO DA CHAPA.....	96
FIGURA 55 - PRODUTO SUPERAQUECIDO	96
FIGURA 56 - PRODUTO SUBAQUECIDO	97
FIGURA 57 - PRODUTO FINAL COM ACABAMENTO	97
FIGURA 58 - SIMULAÇÃO DOS CUSTOS E LUCROS.....	98

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - POTÊNCIA NOMINAL DOS EQUIPAMENTOS	76
TABELA 2 - POTÊNCIA MÁXIMA DOS EQUIPAMENTOS.....	77
TABELA 3 - DISJUNTORES DE PROTEÇÃO	77
TABELA 4 - CUSTOS DE MATÉRIA-PRIMA	93
TABELA 5 - CUSTOS TOTAIS DO PROTÓTIPO	93

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - ESPECIFICAÇÕES DA MÁQUINA	49
QUADRO 2 - SINALIZAÇÕES DO PROCESSO	50
QUADRO 3 - EQUIPAMENTOS DE INTERFACE	51
QUADRO 4 - FALHAS DA MÁQUINA.....	55

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	6
2 PROBLEMA	10
3 JUSTIFICATIVA	12
4 OBJETIVOS	14
4.1 OBJETIVO GERAL	14
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
5.1 O PROCESSO DE TERMOFORMAGEM.....	16
5.1.1 Etapas do processo	18
5.1.1.1 Fixação	19
5.1.1.2 Aquecimento.....	20
5.1.1.3 Moldagem.....	24
5.1.1.4 Resfriamento	26
5.1.1.5 Extração	29
5.2 PARÂMETROS DE PROJETO DA TERMOFORMAGEM	29
5.2.1 Estiramento.....	29
5.2.2 Contração	30
5.2.2.1 Contração no molde	31
5.2.2.2 Contração fora do molde	31
5.2.2.3 Contração em uso	31
5.2.3 Aproveitamento da chapa	32
5.2.4 Técnicas de termoformagem	33
5.2.4.1 Termoformagem a vácuo com molde negativo.....	33
5.2.4.2 Termoformagem a vácuo com molde positivo	34
5.3 A INFLUÊNCIA TECNOLÓGICA.....	36
5.4 A NECESSIDADE DA AUTOMAÇÃO NA INDÚSTRIA.....	37
5.5 A AUTOMAÇÃO.....	39
5.6 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL	40
5.7 SISTEMAS SUPERVISÓRIOS	42
6 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	44
6.1 ESPECIFICAÇÕES DA MÁQUINA	48
6.2 FUNCIONAMENTO DA MÁQUINA	49
6.2.1 Interface.....	50
6.2.2 Condições Iniciais.....	51
6.2.3 Modos de Operação	52
6.2.4 Ciclo da Máquina	53
6.2.5 Falhas da Máquina	54
6.3 MECÂNICA	56
6.3.1 Conjunto Aquecimento.....	56
6.3.2 Conjunto Quadro de Fixação	62
6.3.3 Conjunto de Elevação do Molde	64
6.3.4 Conjunto do Resfriamento	66
6.3.5 Conjunto Pneumático.....	66

6.3.6	Conjunto Elétrico	69
6.3.7	Conjunto da Estrutura	69
6.3.8	Detalhamento de Peças e Conjuntos	73
6.4	SETUP DA MÁQUINA	74
6.5	ELÉTRICA	74
6.5.1	Especificações Elétricas	75
6.5.2	Proteções de Equipamentos	77
6.5.3	Segurança	77
6.5.4	Acionamentos	78
6.5.5	Sensores	79
6.6	AUTOMAÇÃO	80
6.6.1	Base de Pontos	80
6.6.2	Diagrama Lógico	80
6.6.3	Controlador	80
6.6.4	Supervisório	84
6.6.5	Pré-Teste	84
6.7	FABRICAÇÃO E MONTAGEM	85
6.8	TESTES E AJUSTES	90
6.9	CRONOGRAMA	90
6.10	ORÇAMENTO	92
6.11	EXECUTORES	94
7	RESULTADOS	95
8	COMENTÁRIOS FINAIS	99

1 INTRODUÇÃO

Com a inovação tecnológica iniciada na chamada terceira Revolução Industrial, o desenvolvimento técnico e gerencial passou a proporcionar um novo padrão de vida para o ser humano com privilégios que não existiam até então. Parte da inovação foi motivada pela necessidade do desenvolvimento de tecnologias bélicas para a Segunda Guerra Mundial e da recuperação de insumos. A partir do fim da guerra, a recuperação da economia mundial aumentou a competitividade de diversos países. No Japão pós-guerra surgiu um novo método de manufatura, o Sistema Toyota de Produção (TPS). Concomitantemente, houve um aumento significativo da população urbana, que passou a exigir novos produtos e inovações tecnológicas das indústrias. As indústrias trabalham com o objetivo de diminuir os desperdícios – de superprodução, de tempo de espera, em transporte, do processamento, de estoque, de movimentação e de produtos defeituosos – para a redução dos custos de produção e aumento do lucro (ZIBETTI, 2010).

Um importante fator para a evolução do processo industrial foi o desenvolvimento de máquinas e equipamentos utilizando sistemas de automação. Outro fator importante foi a introdução de ferramentas computacionais para auxiliar nas diversas etapas do desenvolvimento de produtos (ex. CAD, CAE, CAM). A introdução da tecnologia eletrônica, a partir de 1960, resultou em circuitos de controles mais confiáveis e fisicamente menores. Os transistores tornaram possível a criação de circuitos integrados (CI) utilizados para o desenvolvimento de computadores, logo sendo utilizados para o desenvolvimento de projetos e controle de processos industriais (MIYAGI, 1996).

Antes da era digital, máquinas e equipamentos industriais eram controlados por relés, sistemas mecânicos ou manualmente, o que ocasionava falta de flexibilidade das linhas de produção, índice significativo de quebras, acidentes e ineficiência produtiva. Isso elevava diretamente o custo de fabricação e dificultava o gerenciamento de demanda (LOYOLA, 1999).

A automação é um meio efetivo de atender as exigências da sociedade e do mercado, em relação à qualidade de produtos, produção com demandas variadas, confiabilidade das instalações, economia com insumos, prazos de entrega,

segurança e facilidade para o processo operacional (MIYAGI, 1996). O controle automático de um processo é capaz de controlar a execução de tarefas pré-estabelecidas, supervisionando, efetuando medições, determinando pontos de operação ou referência, tomando decisões e introduzindo correções quando necessário, sem a necessidade da intervenção do homem. A automação visa diminuir o uso de mão-de-obra, aumentar a flexibilidade dos processos, diminuir perdas, erros e funções repetidas, melhorando a produtividade. Conseqüentemente torna os processos mais eficientes diminuindo o custo de produção (OGATA, 1998).

Os projetos mecânicos de máquinas e equipamentos, que compõem uma linha de produção, podem utilizar ferramentas computacionais que auxiliem o seu desenvolvimento tornando-os mais eficientes. Os sistemas CAD (*Computer Aided Design* – Desenhos Assistidos por Computador) são softwares que fornecem uma série de ferramentas para construção de modelos matemáticos de peças e conjuntos. Tais ferramentas podem ser usadas desde a fase de desenvolvimento da peça, na qual uma visualização tridimensional é importante para o usuário, até a fabricação, na qual uma representação bidimensional é suficiente para a fabricação. Os sistemas CAE (*Computer Aided Engineering* – Engenharia Assistida por Computador) simulam a condição real de funcionamento de um modelo CAD. É possível analisar como o modelo está fixado, quais são as forças às quais está sendo submetido, quais as relações de contato entre todas as peças envolvidas na análise, entre outras variáveis. E como resposta a esses dados, o software fornece uma visualização de resultados de tensão, deslocamento, deformação, fator de segurança e qualquer outro resultado que o usuário deseje analisar. Com base nesses resultados é possível saber se o projeto está otimamente dimensionado. Com isso pode-se obter uma redução significativa dos custos, pois se evita a fabricação de protótipos desnecessários e retrabalhos indesejados na fase de fabricação do projeto (SOUZA; ULBRICH, 2009).

A maioria dos projetos de engenharia visa atingir os requisitos definidos previamente dentro do escopo da estratégia da empresa. Para alcançar isso, as empresas buscam reduzir os custos, maximizar o lucro e não perder a competitividade no mercado, o que está diretamente vinculado à qualidade do produto final. Nesse sentido, todas as ferramentas descritas anteriormente contribuem para a redução do tempo de desenvolvimento dos projetos. Geralmente

essas ferramentas ainda precisam ser complementadas por um conhecimento em processos de fabricação. Segundo Black (1998, p.31), “Processos de fabricação são desenvolvidos para agregar valor aos materiais da forma mais eficiente possível. Avanços nas tecnologias de fabricação normalmente trazem ganhos em produtividade”. Logo, os métodos e ferramentas utilizados no desenvolvimento de projetos podem influenciar a eficiência dos processos de produção.

Considerando que as ferramentas descritas anteriormente contribuem para a redução do tempo de desenvolvimento dos projetos e melhoria na produtividade das indústrias, pretende-se desenvolver um protótipo de uma termoformadora a vácuo para polímeros termoplásticos utilizando técnicas de informática, eletrônica e mecânica, conhecidas como mecatrônica.

O processo realizado pela termoformadora a vácuo (Figura 1 e 2) é conhecido nas indústrias como: *vacuum forming* (Figura 3). A proposta consiste em realizar o projeto e montagem de um protótipo, contendo um sistema de automação para o processo. O projeto elétrico e mecânico visam à segurança e eficiência da máquina com o menor custo possível. Para isso, foi feito um planejamento de todas as etapas e atividades do projeto, com orçamento controlado e divisão de tarefas entre os integrantes da equipe.



Figura 1 - Vista Frontal de uma Termoformadora
Fonte: Eletro-Forming (2011).



Figura 2 - Vista Lateral de uma Termoformadora
Fonte: Eletro-Forming (2011).

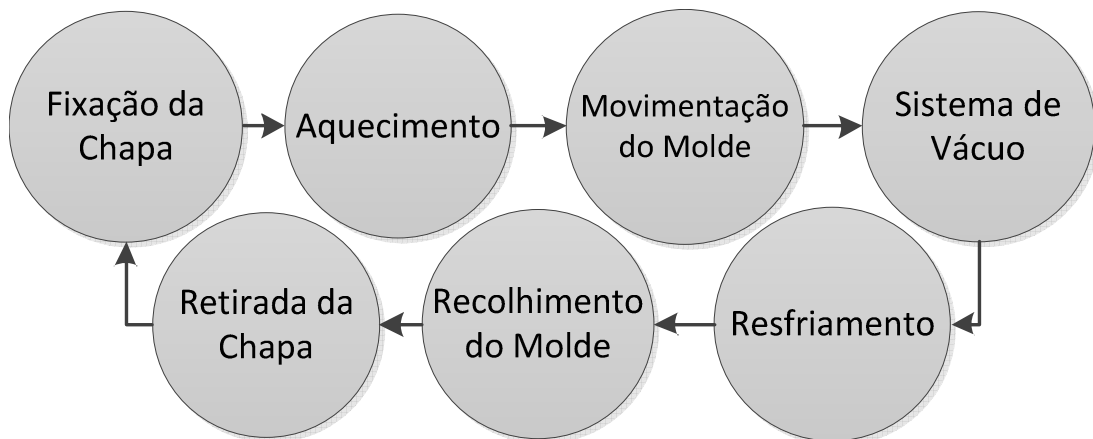


Figura 3 - Processo de Termoformagem a Vácuo
Fonte: Autoria Própria.

2 PROBLEMA

Por meio de uma visita técnica às empresas MLM Indústria e Comércio de Artefatos Plásticos e MVC Soluções em Plásticos, foram analisadas máquinas termoformadoras a vácuo que realizam o processo de *vacuum forming*. O intuito da visita era discutir um possível projeto de uma máquina automatizada para esse processo. Algumas das máquinas encontradas na empresa MVC eram semi-automáticas. Cada etapa do processo dependia do operador para ser realizada. Foi observado também que as máquinas automatizadas e mais sofisticadas eram importadas da Europa, demandando um alto investimento ao empresário. Na MLM, o processo era feito de forma mais artesanal, se comparada com o da MVC, utilizando maquinaria operada manualmente.

A eficiência da produção de um equipamento manual ou semi-automático é baixa, se comparada com a de um automático. Por isso, existe a necessidade de investir-se em uma máquina sofisticada que traga produtividade sem o gasto de importação. Os problemas que envolvem equipamentos manuais ou semi-automáticos são diversos, e a falta de investimentos para a melhoria dessas máquinas vem afetando a competitividade das empresas visitadas. Os principais problemas observados são: a falta de segurança, paradas de emergência no processo e perda de matéria-prima. O elevado investimento para a aquisição de uma máquina automática não permite que as empresas a adquiram.

A falta de segurança nessas máquinas ocasiona riscos ao operador. Em muitas máquinas existentes, é possível observar o descumprimento da norma regulamentadora brasileira que trata da segurança de máquinas e equipamentos (NR12 - ABNT). Por ser uma máquina com movimentação de moldes, há um risco de acidentes graves pelo fato da força aplicada a esse movimento ser muito intensa (pressão na faixa de 80 a 300 bar). As máquinas analisadas não possuíam segurança para evitar o contato do operador com os componentes em movimento e nenhum travamento de segurança dos comandos dados por ele. Não havia sensores para a detecção de presença humana nas aberturas das máquinas ou segurança mecânica, que impossibilitasse que o operador entrasse em contato com o interior da máquina enquanto ela estivesse em processo de fabricação.

Além dos problemas de segurança, é comum o operador errar a sequência de etapas do processo, já que a máquina demanda comandos manuais ou semi-automáticos. Isso ocasiona paradas no processo e até perda de material. Como o operador é quem realiza a sequência de comandos, o tempo de produção permanece vinculado à sua eficiência. Além disso, o operador não pode realizar outras tarefas durante o processo.

Outro problema que causa parada de emergência e perda de matéria-prima pode ocorrer durante o processo de aquecimento. Ao aquecer a chapa plástica, o forno que fica embaixo da chapa (somente durante o aquecimento) faz com que a chapa entre em processo de fusão e tenda a descer pela força da gravidade. Se a chapa descer além do limite, existe o risco de que ela toque o forno e se queime, causando um incêndio e danificando as resistências do forno. Para que isso não ocorra, há um sensor que, sempre que a chapa desce abaixo de um nível, aciona um sistema que sopra ar comprimido de alta pressão para manter a chapa acima do forno. Porém, quando a chapa não é bem fixada, esse sistema pode fazer com que a chapa plástica escape do quadro mecânico que a fixa, causando um incêndio. Tal ocorrência não é incomum.

Outro problema é a falta de supervisão do processo. Quando ocorre uma parada, o tempo de manutenção é significativo, pois se torna difícil detectar qual componente da máquina está danificado ou qual é o real problema da mesma ou se ela voltou à operação normal.

Todos esses fatores dificultam o desenvolvimento de empresas que não possuem recursos financeiros suficientes para adquirir equipamentos de *vacuum forming* automatizados.

3 JUSTIFICATIVA

Há diversas vantagens em realizar um investimento para automatizar a operação de uma máquina ou um equipamento e projetá-los com o auxílio de softwares CAD/CAE. O investimento inicial em uma máquina automatizada pode ser alto, mas normalmente o aumento da eficiência do processo faz com que esse investimento seja pago em um período curto de tempo, devido à diminuição do custo de produção gerado pelo equipamento automatizado. É por esse motivo que as maiores montadoras de veículos investem nessa área e levam as demais empresas do setor a seguir essa tendência tecnológica. Pode-se concluir que, devido ao investimento na área, as empresas terão uma redução no custo da produção do produto, aumentando o seu lucro e ainda a sua capacidade produtiva.

Por meio da automação, é possível desenvolver uma máquina mais segura, utilizando travamento de comandos, sensores e lógicas de segurança em um sistema de controle. Além disso, o projeto mecânico auxiliado por computador pode ser usado para projetar a máquina, permitindo a verificação dos pontos nos quais o operador poderia entrar em contato com o material plástico aquecido. Com isso é possível desenvolver um projeto que evite a ocorrência de um acidente. Os acidentes normalmente geram custos para as empresa, pois podem ocasionar o afastamento de operadores, gastos com a saúde e aposentadoria por invalidez.

Outra vantagem do desenvolvimento de projetos mecânicos auxiliados por computador, além de possibilitar a visualização de possíveis riscos ao operador, é a flexibilidade de alterar os componentes durante o andamento do projeto, garantindo a identificação de possíveis falhas nos desenhos e nas montagens dos componentes. Existe também a possibilidade de otimizar a utilização de material, por meio do dimensionamento e cálculo estrutural. Usando ferramentas CAD/CAE é possível simular o equipamento em desenvolvimento, ou seja, é possível analisar se os componentes da máquina resistem aos esforços do processo. Ainda é possível um cálculo que evite um sobredimensionamento, o que ocasionaria um desperdício de material e um aumento no custo final da máquina ou equipamento.

Outra vantagem da utilização de ferramentas de automação é a flexibilidade que se consegue em um processo, pois podem ser realizadas melhorias e inclusão

de componentes ou equipamentos à máquina. Um exemplo seria uma máquina já em processo na qual se deseja integrar um sistema de alimentação de matéria-prima automático. Além da máquina como um todo poder integrar novos sistemas, um sistema de alimentação também pode ser feito para atender diversas dimensões de matéria-prima e manipular diferentes regulagens para o processo, possibilitando a fabricação de um número maior de produtos diferentes.

Quando se possui um sistema controlado e supervisionado, os tempos de ciclo de produção permanecem constantes, aumentando a eficiência da máquina e padronizando o tempo do ciclo de operação, facilitando, assim, o balanceamento dos tempos na linha de produção. Ao retirar do operador a função de executar os comandos evita-se o tempo ocioso e a perda de produtividade devido à fadiga do operador.

Outra vantagem dos sistemas controlados são os tempos de parada reduzidos devido à supervisão do sistema que acusa e detecta uma falha em um determinado componente da máquina, otimizando o tempo de manutenção. Com a máquina funcionando em automático, o operador pode realizar outras tarefas como operar outras máquinas, realizar o processo consequente ou limpar e organizar o setor.

Portanto, são várias as vantagens de se automatizar uma máquina. Para avaliar os efeitos econômicos da automação, utiliza-se como parâmetro o tempo necessário para que o investimento feito na máquina seja pago pela economia e aumento de sua produtividade. Esse parâmetro varia para cada tipo de projeto e pela complexidade do mesmo.

Dentro da realidade acadêmica na qual se encontram os executores do presente projeto, pretende-se realizar a construção de um protótipo de uma termoformadora a vácuo, na qual seja possível avaliar algumas das principais características que uma máquina real exige. Com isso poderá ser oferecida uma solução mais viável para as empresas que tiverem interesse em aumentar a escala do protótipo.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver e executar o projeto e a documentação do protótipo de uma termoformadora a vácuo.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar os requisitos das empresas potencialmente interessadas;
- Analisar o processo de termoformagem;
- Estudar o que já existe e como é feito;
- Relacionar fornecedores e custos para o projeto;
- Planejar as etapas do projeto com um cronograma de atividades e custos;
- Projetar a parte mecânica;
- Projetar a parte elétrica;
- Projetar a automação do processo;
- Executar a montagem e integração do protótipo;
- Realizar testes e ajustes;
- Documentar o projeto;
- Comparar o que foi planejado com o que foi executado;
- Apresentar o produto e os resultados.

5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O desenvolvimento de novos produtos requer um conhecimento prévio de qual processo de fabricação seria o mais adequado para produção do produto. Para Black (1998, p.32), “processos de fabricação são desenvolvidos para agregar valor aos materiais da forma mais eficiente possível”. Além disso, é preciso saber qual material será utilizado, a geometria do produto, a estimativa de vendas deste novo produto, entre outros fatores que podem variar conforme o porte da empresa e objetivo do cliente.

Para Souza e Ulbrich (2009, p.63), “deve-se evitar o investimento em sistemas de fabricação que possam superar a necessidade do processo específico, assim como ter cautela para a aquisição de um sistema que supra a necessidade”.

Qualquer desperdício de tempo ou de matéria-prima afeta diretamente o custo final de fabricação e conseqüentemente o preço de venda do produto, fazendo com que a empresa possa ganhar ou perder competitividade no mercado. Utilizando o exemplo de Black, normalmente o custo de fabricação representa 40% do preço de venda de um produto (BLACK, 1998). Black (1998, p.32) conclui que “como o preço de venda é determinado pelo mercado, a manutenção do lucro depende da redução dos custos de fabricação”. A busca pela melhoria contínua no processo de fabricação, também conhecida como *kaizen*, pode ser motivada por essa redução de custos.

O conhecimento das propriedades dos materiais utilizados na fabricação dos produtos é importante, pois cada material possui um comportamento que diferencia o processo de fabricação a qual ele será submetido. Para fazer sua escolha, o projetista precisa levar em conta as propriedades do material antes e após seu processamento, pois nesse intervalo, mudanças importantes acontecem e podem afetar o projeto. Algumas propriedades como: resistência mecânica, densidade, condutividade térmica e/ou elétrica, usinabilidade, plasticidade entre outras, são importantes, assim como o custo e a disponibilidade (VAN VLACK, 1970).

Para Black (1998, p.31), “à medida que a variedade de materiais se expande, a variedade dos processos também aumenta”. Os materiais sólidos são

classificados nos seguintes grupos: metais, cerâmicos, polímeros, compósitos, semicondutores e biomateriais (CALLISTER, 1940).

A termoformagem é um processo de fabricação de peças com polímeros termoplásticos, ou seja, plásticos que após serem submetidos a altas temperaturas podem ser moldados de forma a permanecer nesse estado após o resfriamento. Diferentemente dos polímeros termofixos, que não podem ser moldados após serem submetidos às mesmas condições. Segundo Norton (2004, p.82), “os termoplásticos são fáceis de moldar e seus refugos e restos podem ser reaproveitados em uma nova moldagem”.

Os polímeros são geralmente manufaturados, mas também são encontrados na natureza como, por exemplo, a borracha e a cera (NORTON, 2004). Os termoplásticos utilizados nas indústrias de artefatos plásticos são: PP (Polipropileno), ABS (Acrilonitrila-butadieno-estireno), Polietileno, PS (Poliestireno) e PET (Poliéster). Segundo Callister (1940, p.345), “diversos plásticos exibem propriedades notavelmente excepcionais.”, ou seja, para cada aplicação pode ser estudado um material plástico que atenda as especificações do escopo do projeto, que podem ser: boa resistência mecânica, baixo coeficiente de atrito, estabilidade dimensional, resistência química, isolamento elétrica, transparência, baixo peso, entre outras. É comum o desenvolvimento de polímeros que formam “ligas” entre eles ou podem ser misturados a materiais inorgânicos como talco ou fibra de vidro para atingir propriedades específicas (NORTON, 2004).

Segundo Michaeli et al. (1992, p.79), “O processo de termoformagem é aplicado para a produção em larga escala de embalagens, como por exemplo, copos de iogurte, mas também para grandes peças como piscinas ou peças de automóveis”.

5.1 O PROCESSO DE TERMOFORMAGEM

Os processos de fabricação são caracterizados por modificarem geometricamente uma matéria prima. Essa modificação pode gerar o produto final ou a matéria-prima para um processo subsequente. A termoformagem é um exemplo

do segundo caso, sendo precedida pelo processo de extrusão de plástico, no qual são feitas as chapas e bobinas (THRONE, 1996).

Na termoformagem, uma lâmina seca é aquecida a uma temperatura pré-determinada na qual o material plástico amolece, mas de forma menor a sua temperatura de fusão. A mesma é esticada para cobrir o contorno do molde e logo é resfriada na temperatura na qual o termoplástico passa a ser rígido, retendo assim a forma do molde (INNOVA, 2009, p. 23).

Após o processo de *vacuum forming*, a peça pode ser cortada para eliminar as superfícies que não compõem o produto final, podem ser decoradas e/ou convertidas em produtos para diversas aplicações (INNOVA, 2009).

Devido à demanda de peças para interiores de geladeiras e para a indústria automotiva, os conceitos de termoformagem têm-se desenvolvido, e a integração do processo de termoformagem com outros equipamentos tem sido largamente utilizada (Figura 4) (THRONE, 1996).

A termoformagem também pode ser comparada com outros processos de fabricação de polímeros termoplásticos, como por exemplo, com a injeção de plástico. Segundo Sors et al. (2002, p. 238), “é extremamente importante e frequentemente difícil decidir quanto ao limite da moldagem de injeção e se os processos são econômicos ou não, por que ambos os processos (termoformagem e injeção) tem suas vantagens e desvantagens”. Por exemplo, quando é exigida uma tolerância na casa de 0,1mm, a termoformagem não deve ser utilizada. Dependendo do tamanho do produto, a tolerância considerada factível situa-se na faixa de 0,5 a 1 mm (SORS et al., 2002).

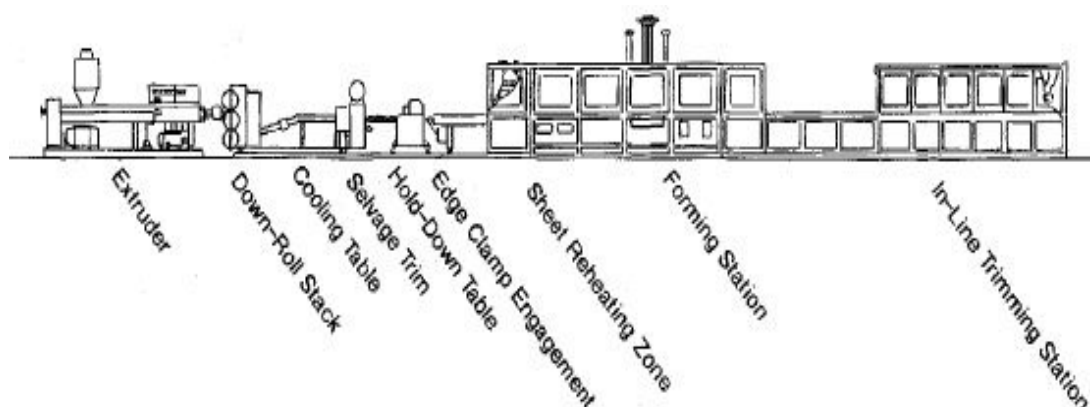


Figura 4 - Linha de Produção de Extrusão e Termoformagem
 Fonte: Throne (1996, p.13).

A termoformagem possibilita a utilização de um equipamento de menor custo, moldagem de chapas com espessura reduzida e possibilidade de moldagem de superfícies mais extensas. Devido às facilidades na construção do molde e ao menor custo a ele agregado, em comparação com o da injeção de plástico, o tempo de desenvolvimento de produto pode ser reduzido. Além disso, alterações podem ser feitas no molde com mais facilidade. Dependendo da maneira como a termoformagem é feita, o tempo de ciclo pode ser potencialmente menor (INNOVA, 2009).

Algumas limitações do processo de termoformagem podem ser observadas: maior geração de moagem, ou seja, material que não é utilizado na peça; dificuldade em controlar a espessura do produto, que pode apresentar significativa variação. Dependendo da complexidade da peça pode não ser possível utilizar a termoformagem; pois a variação dimensional entre chapas do mesmo lote afeta a qualidade do produto termoformado (INNOVA, 2009).

Na termoformagem, a extração de peças com ângulos negativos pode ser facilitada. O baixo custo de fabricação e alteração dos moldes aliados ao reduzido tempo de fabricação do mesmo constituem pontos positivos na escolha deste processo (THRONE, 1996).

5.1.1 Etapas do processo

O processo de termoformagem é composto das seguintes etapas: fixação, aquecimento, moldagem, resfriamento e extração. O processo pode ser classificado pela espessura da chapa, podendo ser de espessura fina ou espessura grossa. Chapas com espessura menor do que 1,5mm são consideradas finas enquanto espessuras maiores que 3,0mm constituem chapas grossas. No intervalo entre 1,5mm e 3,0mm, não é possível classificar o processo, pois a literatura reporta a dificuldade em se prever o comportamento de chapas nessas espessuras. Em alguns casos elas se comportam como chapas finas e em outros como chapas grossas (THRONE, 1996).

5.1.1.1 Fixação

As chapas finas geralmente são fornecidas em rolos (Figura 5), podendo ser constituídas de diferentes materiais conforme a necessidade do processo. Aplicações de termoformagem em embalagens utilizam esses rolos com frequência. Nesse caso, a fixação pode ser feita por meio de pinos que pressionam a borda da chapa em tempos determinados. Um sistema de correias pode ser desenvolvido para movimentar a chapa e fazer com que ela passe pelos estágios necessários da máquina (THRONE, 1996).



- a) Realce na bobina de alimentação;
- b) Bobina ampliada;
- c) Bobina na extrusora.

Figura 5 - Bobina para Termoformagem
Fonte: Eletro-Forming (2011).

Diferentemente das chapas finas, as grossas são geralmente fornecidas cortadas, empilhadas ou em pallet (Figura 6). Os sistemas de fixação utilizados são geralmente mecânicos (com garras que utilizam molas com uma pré-carga) ou pneumáticos (ventosas e cilindros).



Figura 6 - Chapa Plástica para Termoformagem
Fonte: MLM Indústria e Com. De Aterfatos Plásticos (2010).

5.1.1.2 Aquecimento

Alguns dos problemas encontrados em uma peça termoformada têm como causa raiz o aquecimento. Tanto o excesso quanto a falta de aquecimento podem acarretar esses problemas. Por isso, pode-se considerar que essa é uma das etapas mais importantes do processo (THRONE, 1996).

A temperatura de processamento dos plásticos pode chegar até aproximadamente 250°C. Esta baixa temperatura, se comparada àquela dos aços, é alcançada com pouco gasto de energia, reduzindo assim os custos de fabricação, mesmo para peças complexas (MICHAELI et al., 1992).

A capacidade de um material conduzir calor é chamada de condutividade térmica (ÇENGEL, 2009). Sua unidade no Sistema Internacional de Unidades (SI) é o W/m.K (Watt/metro.Kelvin).

Para os plásticos, esse valor situa-se na faixa de 0,15 a 0,5 W/m.K. Comparando-o com a condutividade térmica do alumínio que é de 211 W/m.k ou até mesmo a do ar que é de 0,05W/m.K, pode-se perceber que a condutividade térmica dos plásticos é baixa. Um dos motivos pelo qual isso acontece, é pela falta de

elétrons livres no material, o que não acontece com os metais (MICHAELI et al., 1992).

A baixa condutividade térmica dos plásticos traz algumas vantagens e desvantagens ao seu processamento. Uma desvantagem, segundo Michaeli et al. (1992, p.41), é que “o calor necessário para o processamento só pode ser introduzido lentamente no plástico e no final do processamento, também é novamente de difícil remoção”. Essa desvantagem pode ser usada como vantagem em aplicações cotidianas, como cabos de painéis, nos quais se utiliza o plástico que não aquece rapidamente como o metal (MICHAELI et. al, 1992).

Segundo Throne (1996), existem três maneiras de aquecer uma chapa: condução, convecção e radiação.

a) Condução

Segundo Çengel (2009, p.17), a “condução é a transferência de energia das partículas mais energéticas de uma substância para as vizinhas menos energéticas como resultado da interação entre elas”. Para o processo de termoformagem a condução acontece quando a chapa é colocada diretamente em contato com a fonte de calor. Outro exemplo da utilização da condução para o aquecimento de chapas de plástico é encontrado em máquinas de plastificação de documentos, nas quais a fonte de calor é colocada em contato com o plástico (THRONE, 1996).

b) Convecção

Segundo Çengel (2009, p.25), a “convecção é o modo de transferência entre uma superfície sólida e uma líquida ou um gás, que está em movimento e que envolve os efeitos combinados de condução e de movimento de um fluido”. A convecção pode ser forçada ou natural (Figura 7). A convecção pode estar presente na termoformagem, quando se utiliza ar quente para aquecer a chapa (THRONE, 1996).

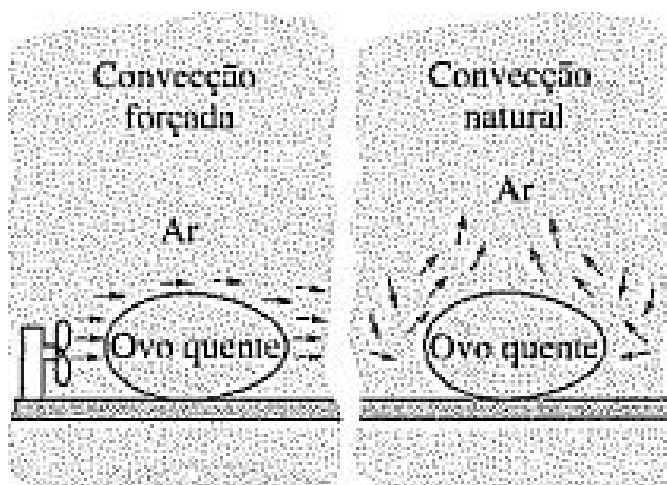


Figura 7 - Exemplo de Convecção Forçada e Natural
Fonte: Çengel (2009, p. 17).

c) Radiação

Segundo Çengel (2009, p.27), a “radiação é a energia emitida pela matéria sob forma de ondas eletromagnéticas (ou fótons) como resultado das mudanças nas configurações eletrônicas dos átomos ou moléculas”.

A radiação infravermelha (Figura 8) é a maneira mais usual de transferência de calor no processo de termoformagem. Contribuem para essa escolha: a rapidez, a homogeneidade e a conservação da superfície da chapa (MICHAELI et al., 1992).

O comprimento de onda de um emissor de radiação infravermelha é considerado ótimo quando se encontra na faixa de 3,0 a 4,0 microns, possibilitando a maior absorção de energia pela chapa plástica (INNOVA, 2009).

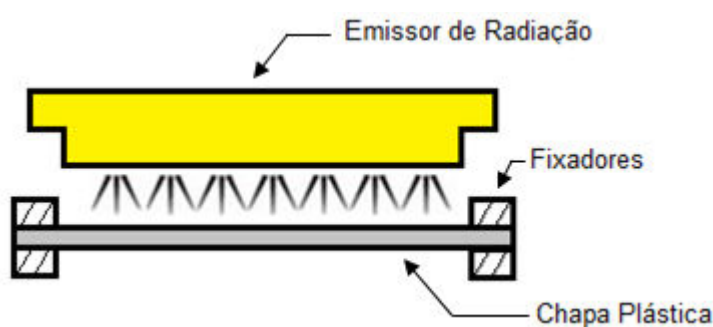


Figura 8 - Exemplo de Radiação
Fonte: Autoria Própria.

No processo de termoformagem, a temperatura de uma chapa de poliestireno pode variar entre 93°C e 177°C, sendo que para a fonte emissora de

radiação este valor varia de 260°C a 590°C. A distância entre a chapa e o forno também é importante, podendo variar de 15 a 30 mm, quando o forno está acima da chapa e de 30 a 45 mm quando o forno está abaixo da chapa (INNOVA, 2009). Dessa maneira, observa-se que a temperatura da chapa, a temperatura do forno e a distância entre o forno e a chapa são parâmetros importantes que envolvem o aquecimento.

A falta de algumas precauções básicas pode causar problemas. Ainda que seja alcançada uma uniformidade adequada e precisão no aquecimento, um ambiente com portas e janelas abertas pode alterar a temperatura da chapa. Por isso, recomenda-se proteger o equipamento contra correntes de ar (INNOVA, 2009).

Mesmo com um aquecimento uniforme e a isolação contra correntes de ar, a peça termoformada ainda pode apresentar problemas relacionados ao aquecimento, como um produto final com a espessura não uniforme. A geometria do produto pode estar diretamente ligada a isso e, nesse caso, o aquecimento não uniforme pode corrigir esse problema. Nesta solução são colocados elementos isolantes em regiões determinadas a fim obstruir a passagem de radiação (INNOVA, 2009).

Devido à geometria do produto e à moldagem de materiais sensíveis como o PP, pode ser necessário o controle do aquecimento do forno por zonas de aquecimento (Figura 9). Esse caso é encontrado por clientes da fabricante nacional de máquinas para termoformagem, Eletro-Forming, que atua no setor desde 1972. Essas soluções podem apresentar de 8 a 300 zonas de aquecimento e podem ainda ter um controle PID (proporcional, integral e derivativo).



Figura 9 - Zonas de Aquecimento
Fonte: Eletro-Forming (2011).

Para chapas grossas, pode-se usar um pré-aquecimento para reduzir o tempo do ciclo de aquecimento e melhorar a qualidade da termoformagem. Segundo Innova (2009, p.6), “Se a lâmina é aquecida em ambas as faces, pode-se omitir o pré-aquecimento, exceto em espessuras maiores a 5,5 mm”.

5.1.1.3 Moldagem

Após o aquecimento, a chapa encontra-se em um estado intermediário entre o estado sólido e o estado líquido do material. É quando deve acontecer a moldagem. Seu principal objetivo é fazer com que a chapa preencha todo o contorno do molde. Essa etapa pode ser feita manualmente ou automaticamente. Basicamente, existem três maneiras de operar essa etapa: moldagem por vácuo, moldagem por pressão positiva e moldagem por força mecânica (INNOVA, 2009).

a) Moldagem por vácuo

O molde contém pequenos orifícios de aproximadamente 0,6 mm de diâmetro, distribuídos em todo seu contorno (Figura 10). É através desses orifícios que o vácuo atua, atraindo a superfície da chapa ao contorno do molde (INNOVA, 2009).

Para que o vácuo não perca eficiência fazendo com que a chapa não preencha completamente o contorno do molde, recomenda-se que o reservatório de vácuo da máquina tenha de quatro a cinco vezes o volume de ar que será descarregado pelos orifícios internos do molde (SORS et al., 2002).

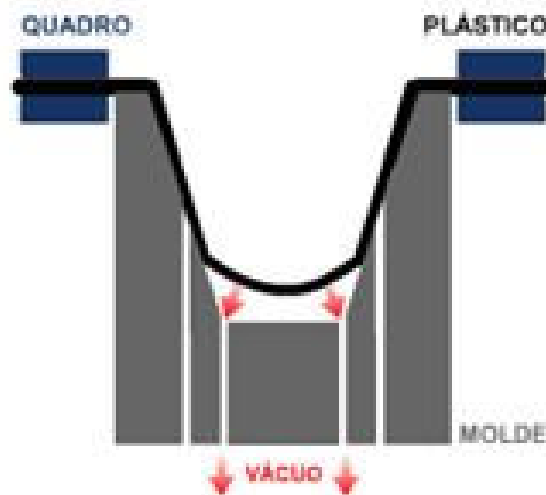


Figura 10 - Exemplo da Moldagem por Vácuo
Fonte: Eletro-Forming (2011).

b) Moldagem por pressão positiva

Nessa aplicação, o que atrai a peça ao molde é a pressão positiva aplicada do lado oposto ao molde (Figura 11). Uma vedação de qualidade é exigida para que não haja vazamento de ar durante a moldagem. Geralmente, esse processo é mais rápido que a moldagem por vácuo, porém ele exige uma máquina mais robusta (INNOVA, 2009).

A utilização da moldagem por pressão positiva é mais eficiente para moldagem de chapas grossas. Em casos extremos, a pressão pode chegar até 20 bar e em outros mais comuns de quatro a seis bar (SORS et al., 2002).

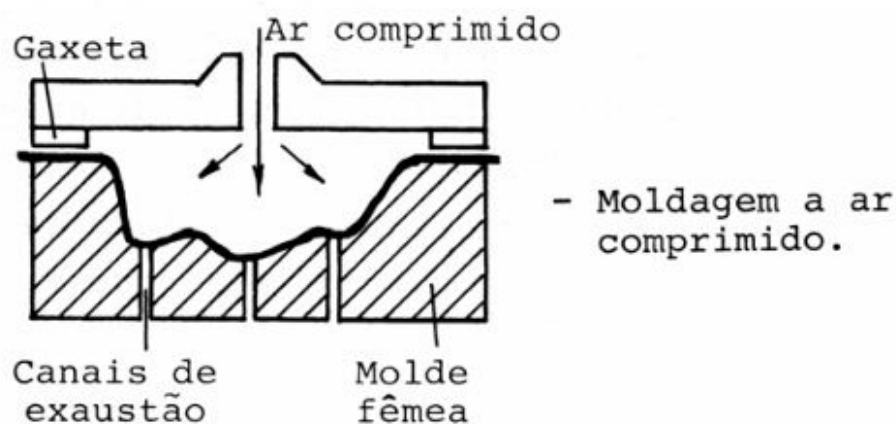


Figura 11 - Moldagem por Pressão Positiva
Fonte: Adaptado de INNOVA (2009).

c) Moldagem por força mecânica

Nesse sistema, utiliza-se um molde macho e um fêmea (Figura 12), geralmente fabricados em materiais metálicos. Após o aquecimento, o molde macho é pressionado pneumaticamente contra a chapa e o molde fêmea. Esse método pode garantir uma boa uniformidade na espessura do produto, no entanto, o custo de fabricação do molde pode ser mais elevado, se comparado com os outros métodos de moldagem (THRONE, 1996).

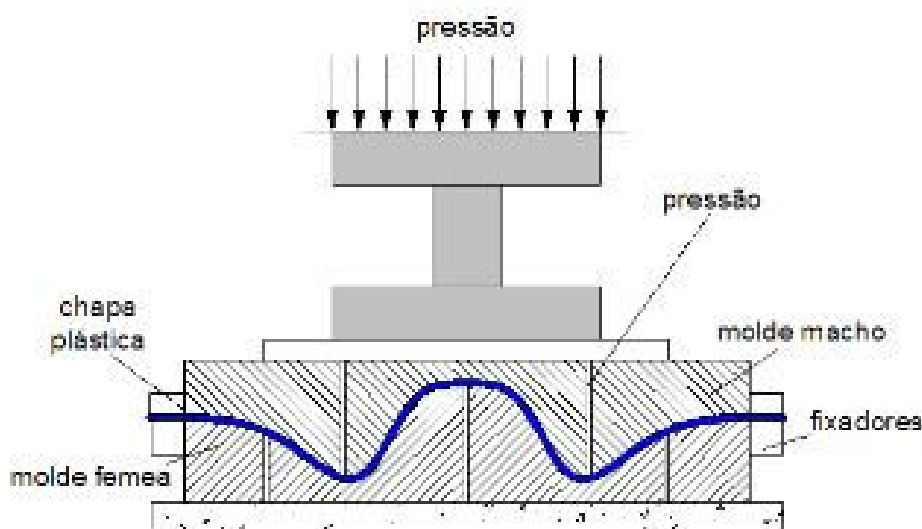


Figura 12 - Moldagem por Força Mecânica
 Fonte: Adaptado de Throne (1996).

5.1.1.4 Resfriamento

Nessa etapa, a superfície da chapa que está em contato com a peça começa a perder calor por condução para o molde. Sendo que o molde começa a perder calor para o ambiente pela convecção natural do ar. Segundo Innova (2009, p.8) “esta é usualmente a etapa controladora do tempo do processo de termoformagem”.

Quando se deseja uma produção mais rápida, que diminua esse tempo podem ser utilizados métodos que forcem o resfriamento, sejam por condução ou convecção.

a) Resfriamento por condução forçada

Pode-se utilizar um molde refrigerado para retirar o calor da peça por condução. Um dos métodos possíveis é a utilização de serpentinas dentro do molde (Figura 13). Essas serpentinas são tubos metálicos de um material condutor térmico e maleável, que seja capaz de percorrer a geometria do molde sem quebrar e que tenha facilidade em extrair o calor. Pode-se ligar um sistema hidráulico para fazer a água circular pela serpentina e facilitar a troca de calor. Dessa maneira pode-se ter um ganho considerável no tempo de resfriamento e vida útil do molde.



Figura 13 - Serpentina no Molde em Fase de Construção
Fonte: MLM Indústria e Com. de Artefatos Plásticos (2010).

Pode-se ainda trabalhar com propriedades térmicas do material escolhido para o molde. Escolher um material de alto valor de condutividade térmica pode ser uma opção. Materiais como o alumínio (Figura 14) e o cobre, que possuem sua condutividade térmica próximas dos 240 W/m.K e 400 W/m.K, respectivamente, podem ser boas escolhas (VAN VLACK, 1970).



Figura 14 - Exemplo de um Molde de Alumínio
Fonte: MLM Indústria e Com. de Artefatos Plásticos (2010).

b) Resfriamento forçado por convecção

Acontece quando é colocado um ventilador ou exaustor, do lado oposto ao molde (Figura 15), para fazer circular o ar que está acima da peça, ocasionando a troca de calor forçada por convecção.

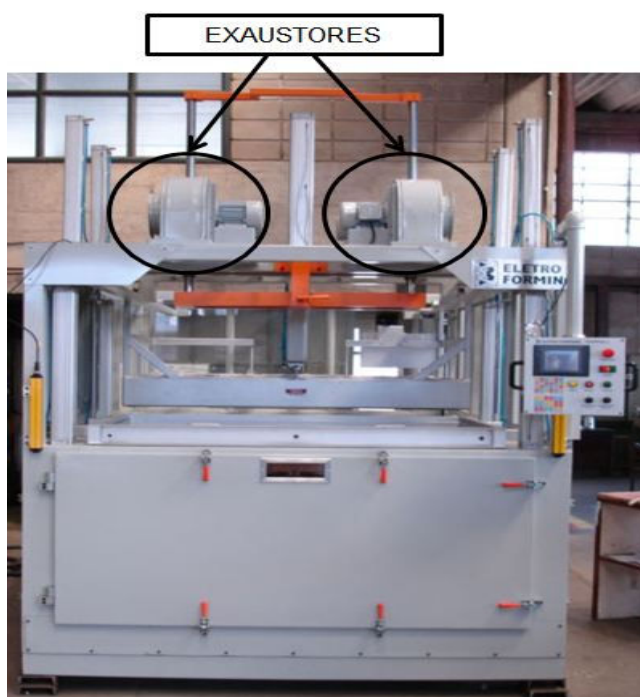


Figura 15 - Exemplo da Posição dos Exaustores
Fonte: Adaptado de Eletro-Forming (2011).

5.1.1.5 Extração

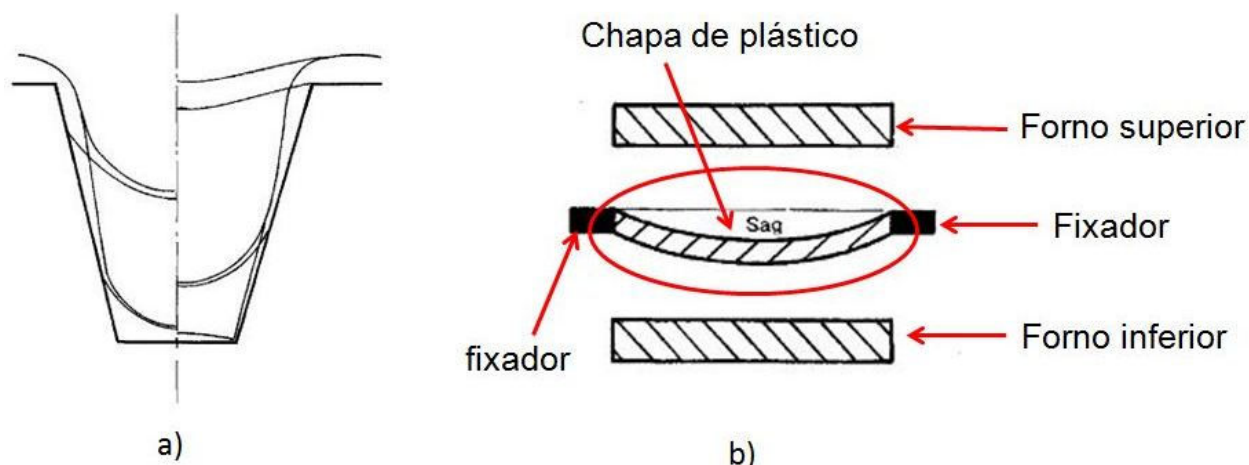
É a última etapa do processo de termoformagem. Após o resfriamento, a peça deve estar em condições de permanecer geometricamente estável, mesmo fora do molde. A peça pode ser removida do molde, manualmente ou automaticamente. Quando a peça adere ao molde ou apresenta alguma dificuldade em ser extraída, pode-se aplicar uma pressão positiva por dentro do molde a fim de destacar a peça com facilidade (INNOVA, 2009).

5.2 PARÂMETROS DE PROJETO DA TERMOFORMAGEM

Os parâmetros de projeto da termoformagem podem definir como será o produto final, antes mesmo da sua fabricação. Com isso, é possível verificar se o processo de termoformagem irá atender, ou não, aos requisitos do projeto. Alguns dos parâmetros são: estiramento, contração, aproveitamento da chapa, tipo do molde, entre outros (INNOVA, 2009).

5.2.1 Estiramento

Para Throne (1996, p.202), "O estiramento é o alongamento da deformação do material". Em outras palavras, é a redução da espessura da chapa causada pelo aumento de sua área devido ao aquecimento (Figura 16a).



- a) Variações de espessura de uma chapa durante uma moldagem com molde negativo.
 b) Exemplo do “embarrigamento” durante o aquecimento

Figura 16 - Estiramento de uma Chapa de Plástico
 Fonte: Adaptado de Throne (1996).

Durante essa etapa, a chapa assume o formato de um arco (Figura 16b) devido ao aquecimento. O nome para este formato não é padronizado na literatura consultada, sendo que na indústria do plástico utiliza-se o termo “embarrigamento” para se referir a ele. Quando necessário será utilizado esse mesmo termo, como padrão para o desenvolvimento deste trabalho.

Existem algumas maneiras de reduzir o estiramento: a utilização de placas de pressão (ou *plug* como é conhecido no ambiente industrial), utilização de ar comprimido ou até mesmo vácuo. Todas as opções têm como objetivo realizar um estiramento preliminar da chapa aquecida, reduzindo o estiramento ocasionado na moldagem. Dessa maneira é possível a moldagem de produtos com a profundidade igual ao comprimento do produto. No entanto, mesmo com esses cuidados, a peça poderá ter variação de espessura (SORS et al., 2002).

5.2.2 Contração

Para Innova (2009, p.17), “a mudança volumétrica produzida em um polímero durante seu esfriamento desde a temperatura de moldagem até a

temperatura ambiente se chama contração”. A contração pode acontecer em três situações: contração no molde, fora do molde e em uso.

5.2.2.1 Contração no molde

A contração no molde acontece quando o ciclo de resfriamento é iniciado. Isso significa dizer que as dimensões do produto começam a diminuir. Esta redução varia conforme o tipo do material, geometria da peça e outros parâmetros do processo. Experiências práticas mostram que moldes positivos conseguem retardar a ação da contração (INNOVA, 2009).

5.2.2.2 Contração fora do molde

Após a extração, a peça ainda não alcançou o equilíbrio térmico com o ambiente e ela continua contraindo-se. Esse efeito somente cessará quando ocorrer o equilíbrio térmico entre o produto e o ambiente (INNOVA, 2009).

5.2.2.3 Contração em uso

Alterações dimensionais do produto podem acontecer como resultado da mudança de temperatura e umidade. Porém, essa contração só é considerada importante, quando as tolerâncias exigidas são críticas. Recomenda-se realizar testes reais na aplicação final do produto para comprovar essas e outras especificações (INNOVA, 2009).

5.2.3 Aproveitamento da chapa

Um produto termoformado deve ser projetado de modo a otimizar o aproveitamento da chapa. Ou seja, a geometria do produto deve ocupar a maior área possível da chapa. Para melhorar esse aproveitamento, o molde pode conter mais de uma cavidade e peças diferentes em um mesmo ferramental (THRONE,1996).

A geração de moagem é normal ao processo, pois em alguns casos as peças precisam ser cortadas depois da moldagem. Esse resíduo (Figura 17), geralmente é reciclado e reutilizado. No entanto, mesmo com a reciclagem, procura-se evitar esses casos. As partes sobressalentes podem comprometer o custo final do produto, pois geram custos extras de transporte, compra, venda e armazenamento (THRONE, 1996).



Figura 17 - Sucata de uma Peça Termoformada
Fonte: MLM Indústria e Com. de Artefatos Plásticos (2010).

5.2.4 Técnicas de termoformagem

A partir do momento em que o processo de termoformagem é escolhido, precisa-se compreender como cada parâmetro do processo funciona e qual é o seu efeito na qualidade do produto final. O processo de termoformagem pode ser realizado com molde negativo ou positivo, com pressão positiva ou negativa, com alimentação por chapas ou bobinas, pode-se utilizar somente um forno para o aquecimento ou dois fornos, podem ser usados contramoldes ou *plugs*, entre outros (SORS et al., 2002).

5.2.4.1 Termoformagem a vácuo com molde negativo

O processo de termoformagem a vácuo com molde negativo, inicia-se com a fixação da chapa em uma armação, que é colocada sobre o molde, ficando vedada. Nesse momento, inicia-se o aquecimento (Figura 18a). Como resultado do aquecimento, a chapa começa a esticar e ser conduzida para a geometria do molde. Com o auxílio do vácuo e da pressão atmosférica, a chapa é forçada a copiar a geometria do molde (Figura 18b). Após a moldagem, ainda é necessário esperar um determinado tempo para que se possa retirar a peça acabada, pois ela precisa ser resfriada. Como consequência, a peça vai contraindo (SORS et al., 2002).

Pode-se perceber que próximo dos cantos, a peça fica com espessura mais fina (Figura 18c). Esse pode ser um fator limitante para o processo, pois, segundo Sors et al. (2002, p. 239), “Se o produto for muito comprido, um furo será formado nos cantos”. Nesses casos, recomendam-se outras técnicas de termoformagem para diminuir esse efeito do estiramento, porém elas não serão tratadas no desenvolvimento do projeto.

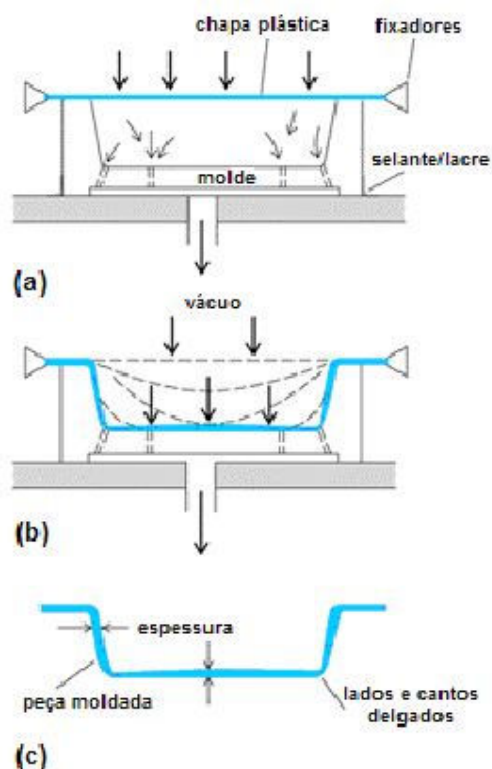


Figura 18 - Termoformagem a Vácuo com Molde Negativo
Fonte: Adaptado de INNOVA (2009).

5.2.4.2 Termoformagem a vácuo com molde positivo

As etapas iniciais do processo de termoformagem a vácuo com molde positivo são as mesmas que foram descritas para a termoformagem a vácuo com molde negativo (Figura 19a). No entanto, após o amolecimento do plástico ocasionado pelo aquecimento, o molde positivo que corresponde ao contorno interno do produto, pressiona a chapa para cima, fazendo o plástico esticar. Ou ainda, a chapa pode descer e encontrar o molde, ocasionando o mesmo efeito de estiramento (Figura 19b). Logo após o estiramento da chapa, o sistema de vácuo é acionado, e a chapa é forçada a preencher as superfícies restantes do molde (SORS et al., 2002).

Percebe-se que com essa disposição do molde, o efeito da contração no molde é retardado, pois seu formato favorece esse processo. Peças com profundidades idênticas ao comprimento do produto podem também ser

reproduzidas. A primeira superfície da chapa que encosta no molde fica mais espessa (Figura 19c) e a partir dali o estiramento é acentuado (SORS et al., 2002).

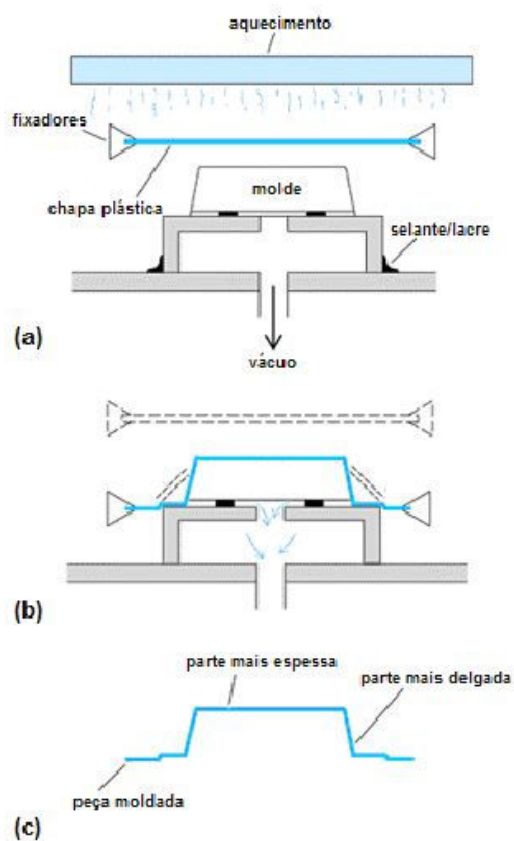


Figura 19 - Termoformagem a Vácuo com Molde Positivo
Fonte: Adaptado de INNOVA (2009).

5.3 A INFLUÊNCIA TECNOLÓGICA

A inovação tecnológica é definida como toda e qualquer descoberta que modifique e melhore os padrões de um sistema produtivo. A automação de uma máquina ou equipamento é considerada uma inovação revolucionária, caracterizada por provocar mudanças significativas em um processo produtivo tornando as indústrias mais competitivas no mercado (LOYOLA, 1999).

Um dos fatores para o progresso competitivo e intelectual de uma indústria é o desenvolvimento e o crescimento técnico de máquinas, pois com isso se consegue uma produtividade com uma quantidade menor de trabalho. O desenvolvimento implica em reduzir a quantidade de trabalhadores aumentando o número de máquinas por operador (MARX, 1986¹ apud LOYOLA, 1999).

A influência da inovação tecnológica é ilustrada pelo sucesso do desenvolvimento econômico e industrial do Japão, conhecido como o “milagre japonês”. A competição do mercado fez com que as suas indústrias investissem em automação para produzirem com qualidade e produtividade (LOYOLA, 1999).

Nos países em desenvolvimento ou emergentes há companhias multinacionais que realizam a importação da tecnologia de suas matrizes. Isso ocorre pelo fato de que os países desenvolvidos investem nos países emergentes com o interesse em criar uma dependência tecnológica. Os países desenvolvidos vendem as tecnologias necessárias aos emergentes para que possam produzir um bem ou serviço. A importação da tecnologia, incluindo a automação, gera um custo elevado para as indústrias e um bloqueio para o seu desenvolvimento econômico (LOYOLA, 1999).

¹ MARX, K. **O capital**. Livro I, São Paulo: Editora Atlas, 1986.

5.4 A NECESSIDADE DA AUTOMAÇÃO NA INDÚSTRIA

Novas tecnologias industriais, incluindo o desenvolvimento da automação, surgiram a partir da década de 1970, década em que ocorreu uma crise econômica dos países capitalistas avançados. Houve uma queda na economia, marcada pela crise do petróleo no outono de 1973, afetando os governos, empresas e sociedades no mundo inteiro (OHNO, 1997).

A crise econômica fez com que as limitações do sistema convencional americano de produção em massa ficassem evidentes. Os métodos de produção eram baseados no taylorismo e no fordismo. Nesses métodos, para que pudesse ser usada uma mão-de-obra de baixo custo, o operador tinha que realizar uma tarefa exclusivamente braçal e padronizada. O foco estava em um gerenciamento *top-down*, no qual havia uma separação de atividades entre gerentes que planejavam e operários que se limitavam a executar tais planos. O fordismo reforça a ideia de que os operadores deveriam ter a menor tarefa e locomoção possível. A produção era feita em larga escala por um custo unitário muito baixo e com produtos similares. Os métodos baseados no taylorismo/fordismo eram aplicáveis na década de 1960, porque a massa trabalhadora tinha pouca qualificação, era possível intensificar o ritmo de trabalho e as exigências, em termos de condições de trabalho, eram insignificantes. Com o aumento do grau de sofisticação dos produtos a serem fabricados, esses métodos tornaram-se ineficientes, devido ao excesso de tempos mortos e de tempos improdutivo despendidos em técnicas complexas de balanceamento das cadeias produtivas (CORIAT², 1988 apud LOYOLA, 1999).

Durante a crise da década de 1970, houve uma redução do poder de compra dos países desenvolvidos que adotaram programas de combate à inflação. Com isso, o mercado consumidor começou demandar produtos de maior qualidade e mais específicos, que deviam ser produzidos em séries menores e mais diversificadas. Na produção de alta escala existia a filosofia consumista, no qual o importante era produzir o maior número possível sem se importar com a demanda de venda, essa filosofia recebia apoio do governo. Segundo Coriat (1988 apud LOYOLA, 1999), a mudança verificada nos padrões da concorrência possibilitou o

² CORIAT, B. Automação programável: novas formas e conceitos de organização da produção. *In*: SCHMITZ, H.; CARVALHO, R. Q. **Automação, competitividade e trabalho**: a experiência

aparecimento das linhas flexíveis de produção, capazes de fabricar diferentes produtos com a mesma organização básica de equipamentos, após somente a um curto intervalo de tempo para adaptações. Para atender os novos padrões do mercado um novo método produtivo entra em destaque, o Sistema Toyota de Produção, conhecido no ocidente como *Lean Line Design* ou produção enxuta.

Durante décadas os Estados Unidos da América baixaram custos produzindo em massa um menor número de tipos de carros. Era um estilo de trabalho americano, mas não japonês. Nosso problema era como cortar custos e, ao mesmo tempo, produzir pequenas quantidades de muitos tipos de carros (OHNO, 1997, p. 23).

No método da Toyota, a automação industrial entra como uma das ferramentas para propiciar o aumento da produtividade na produção de pequenas séries de produção de diversos modelos diferentes. O processo de produção torna-se contínuo ou de “rápida adaptação às variedades de demanda”, assim deixando de ser uma produção por lotes em massa (LOYOLA, 1999, p. 34). Segundo Ohno (1997), o objetivo da Toyota é minimizar os desperdícios para aumentar a eficiência e diminuir os custos de produção da indústria. Uma das ferramentas para diminuir os desperdícios é a “autonomação”, conhecida como automação com um toque humano.

A automação consiste em dar inteligência à máquina, de forma que qualquer anormalidade em seu funcionamento seja indicada, assim evitando a produção de produtos defeituosos, obtendo uma manutenção mais eficiente e uma maquinaria segura. Ohno (1997, p.29) afirma que “A chave está em dar inteligência humana à máquina e, ao mesmo tempo, adaptar o movimento simples do operador humano às máquinas autônomas”. Com a automação o operador só se torna necessário quando há alguma anormalidade na máquina. Um operador pode supervisionar diversas máquinas reduzindo o número de operadores e aumentando a eficiência da produção (OHNO, 1997).

5.5 A AUTOMAÇÃO

O controle de um sistema é feito por meio de tomadas de decisões em estados pré-estabelecidos para atingir-se um determinado objetivo. A automação de uma termoformadora a vácuo utiliza conceitos de Sistemas a Eventos Discretos (SED). O controle de SED é baseado na tecnologia de computadores que substituem os relés eletromagnéticos. Serve para realizar operações seguindo um procedimento pré-estabelecido, no qual cada etapa de controle do processo é realizada de uma forma ordenada. Os sistemas de automação necessitam de: (1) dispositivos de comando, que correspondem a botoeiras, chaves rotativas, seccionadoras, entre outros; (2) dispositivos de atuação, que são válvulas solenóides, contactores, motores, entre outros; (3) dispositivos de detecção que são representados por chaves-limites, potenciômetros, chaves-fotoelétricas, termostatos, tacômetros, entre outros; (4) dispositivos de monitoração que sinalizam por meio de lâmpadas, buzinas, alarmes, telas monitoras, entre outros; (5) dispositivos de realização que incluem circuitos elétricos, controladores programáveis, temporizadores, entre outros (MIYAGI, 1996).

A automação busca a utilização de computadores para o controle do processo industrial substituindo o trabalho humano em favor da segurança das pessoas, qualidade dos bens e serviços, eficiência produtiva ou redução de custos. A automação possui outros fatores mais relevantes do que a redução de custos, pois com ela se consegue uma maior flexibilidade de modelos de produtos incluindo a qualidade, menores perdas de insumos, e uma melhor visão e gerenciamento da produção (MORAES; CASTRUCCI, 2007).

A supervisão de um sistema automatizado é normalmente realizada por um equipamento de interface homem-máquina ou por um sistema supervisorio que servem para auxiliar os operadores para a análise e possíveis anomalias do processo. A vantagem da utilização de equipamentos para a automação é a possibilidade de expansão ou alteração do processo. Um exemplo disso são os Controladores Lógicos Programáveis (MORAES; CASTRUCCI, 2007).

5.6 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

O CLP (Controlador Lógico Programável) ou PLC (*Programmable Logic Controller*) “é um computador que realiza funções de controle em vários níveis de complexidade” (PRUDENTE, 2007, p. 1).

O PLC é um equipamento composto de componentes eletrônicos e memória programável ou não programável que contém dados e programas com a finalidade de ler e executar instruções, interagindo com um sistema que deve ser controlado por dispositivos de input e output do tipo digital ou analógico (Norma IEC 61131-1).

Os CLPs surgiram no Brasil na década de 1960, com o objetivo de solucionar os problemas associados à inflexibilidade dos controles a relés eletromagnéticos na indústria automobilística. Além da inflexibilidade do controle por relés, existia a dificuldade na interpretação das lógicas de controle e na identificação de cabos e equipamentos (LOYOLA, 1999).

Naqueles anos a indústria automobilística suspendia a atividade produtiva toda vez que mudava a produção de um modelo de montagem do mesmo tipo de automóvel. Ou seja, mudar o modelo de peça a ser produzida significava mudar todos os quadros elétricos, o que gerava um custo elevado para a empresa (PRUDENTE, 2007, p. 1).

Existia também a dificuldade da verificação do processo de controle e a identificação de falhas. O controle por relés possui uma estrutura diferente para cada tipo de processo, tornando um projeto e instalação específicos. O controle programável armazena em sua memória a sequência de operações de um processo sob a forma de um programa. Isso possibilita que qualquer alteração necessária no processo seja facilitada, pois a estrutura do CLP permite realizar o controle de diversos processos em específico, assim reduzindo custos para a indústria (MIYAGI, 1996).

Os CLPs são de fácil manutenção, pois o seu reparo consiste na troca de seus módulos. Sua forma modular permite a fácil substituição de módulos defeituosos, sem necessidade de se alterar o seu cabeamento. Os CLPs possuem tamanhos e capacidades variáveis pela adição ou retirada de módulos, como portas

de entradas e saídas, módulos de comunicação, entre outros, que podem ser incorporados facilitando a expansão e modificação do sistema. Também possuem uma linguagem de programação com diversas funções aritméticas, controle de sinais analógicos e protocolos de comunicação normalizados. A existência de uma linguagem padrão facilita a modificação dos programas e de módulos. Além disso, eles são controladores que possuem uma alta confiabilidade, empregando uma eletrônica robusta e resistente às condições do ambiente industrial. A estrutura básica de um CLP é a seguinte: (1) Unidade central de processamento (CPU); (2) Memória programável e não programável; (3) Módulos de entradas e saídas de dados (ZIBETTI, 2010).

Os CLPs funcionam de uma forma cíclica (Figura 20) realizando a varredura dos seus módulos de entrada e saída, e do programa armazenado na sua memória. Os itens a seguir descrevem o seu ciclo (TAUILE, 1987³ apud Loyola, 1999).

- Os módulos de entrada captam os sinais analógicos e digitais provenientes de sensores estrategicamente posicionados;
- Os sinais ativam a CPU que procura instruções na memória;
- A resposta da memória é processada na CPU que por meio dos módulos de saída – envia novos comandos para a máquina ou processo;
- A operação toda se repete ciclicamente.



Figura 20 - Ciclo de Processamento de um CLP
Fonte: Autoria Própria.

³ TAIULE, J. R. Automação e competitividade, uma avaliação das tendências no Brasil. **Texto para discussão**, n.11, 1987.

Os CLPs tem a capacidade de trocar informação com outros equipamentos por meio de módulos de comunicação. O meio e os protocolos de comunicação variam de acordo com o fabricante e objetivo desejado. Com a comunicação de dados, o processo controlado pelo CLP pode ser supervisionado por computadores ou por equipamentos de interface homem-máquina (IHM). Softwares de computadores para a supervisão são chamados de sistemas de supervisão e aquisição de dados (PRUDENTE, 2007).

5.7 SISTEMAS SUPERVISÓRIOS

Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA) “são sistemas digitais de monitoração e operação da planta que gerenciam variáveis de processo” (MORAES; CASTRUCCI, 2007, p. 117). Boyer (2004) define o SCADA como uma tecnologia que permite que o usuário colete informações de uma ou mais instalações remotas e envie-lhes instruções de controle, ainda que limitadas. Com isso é possível suprimir a presença constante de um operador e minimizar o número de vistas a sites remotos. O SCADA inclui uma interface com o operador, a manipulação de dados relacionados com a aplicação, ferramentas para análise de processos, manipulação de banco de dados e pode abranger variados tipos de comunicação e integração, entre outras ferramentas (BOYER, 2004).

Os sistemas supervisórios, além da monitoração e operação, também permitem a configuração de informações de alarmes, eventos ocorridos no processo, relatórios, configuração de receitas, análises gráficas, entre outras ferramentas (MORAES; CASTRUCCI, 2007). A Figura 21 ilustra uma arquitetura na qual um sistema supervisório local monitora os equipamentos de campo e outro remoto podendo ser utilizada a internet para realizar a comunicação.

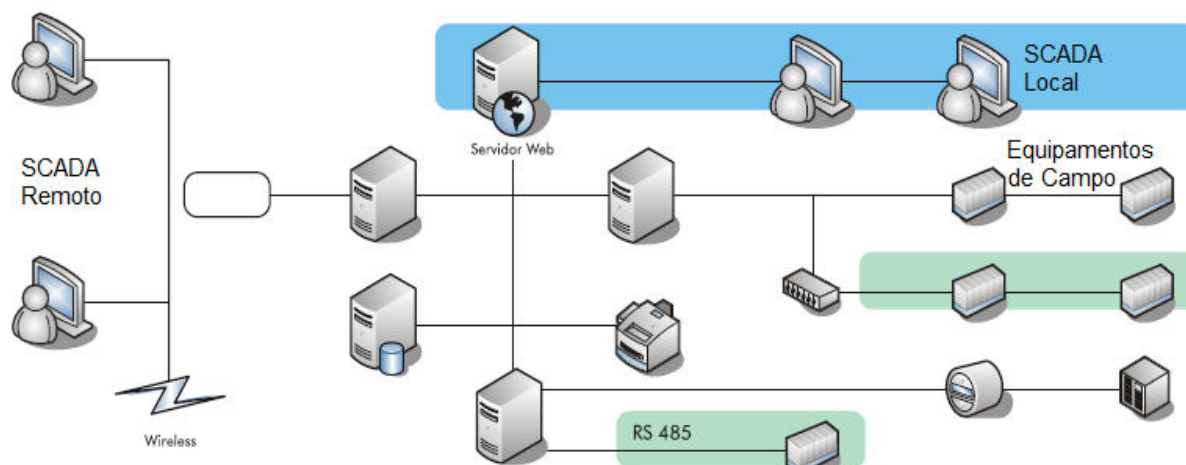


Figura 21 - Ilustração de uma Arquitetura SCADA
 Fonte: Elipse Software (2011).

As principais características e vantagens que um SCADA fornece são: (1) operação remota que permite controlar diversos processos distintos por meio de um único computador, permitindo a redução de operadores; (2) facilidade de interpretação, pois podem ser realizadas animações que facilitam a visualização processo pelo operador, o que permite que paradas no processo por anomalias possam ser diagnosticadas pontualmente; (3) flexibilidade, alterações e melhorias no processo são facilmente realizáveis; (4) estrutura, permite o rápido acesso ao processo que se deseja monitorar permitindo determinar níveis ótimos de trabalho; (5) receitas de produção que permitem *setups* de máquina de uma forma eficaz (MORAES; CASTRUCCI, 2007).

6 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O protótipo foi executado nas dependências da instituição e na residência dos integrantes da equipe, com datas e horários pré-determinados, definidos em cronograma. O sucesso do projeto dependeu da experiência dos integrantes da equipe, da pesquisa em materiais de referência, dos conhecimentos adquiridos durante o Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), do interesse em adquirir novos conhecimentos e encarar novos desafios, dos recursos oferecidos pela instituição por meio dos departamentos de Mecânica (DAMEC) e Eletrônica (DAELN), juntamente com o auxílio dos professores, das empresas MLM Fabricação de Artefatos de Material Plástico e Fluipress Automação Industrial. Conhecendo as necessidades do processo e o ambiente em que o protótipo seria usado, alguns métodos foram definidos:

- O projeto mecânico foi dividido em conjuntos e realizado em etapas;
- A mecânica foi projetada para ser de rápida montagem e fácil integração, possuindo regulagens para atender a flexibilidade do uso de diferentes tipos de moldes;
- Foram utilizados materiais que permitiram reduzir custos, a fadiga e o atrito dos conjuntos;
- O projeto elétrico foi construído visando à segurança da máquina e proteção dos componentes com um baixo custo;
- O programa possui lógicas que evitam erros de operação, verificam falhas na máquina e questões de segurança.

Foi utilizado inicialmente o método *Work Breakdown Structure* (WBS) para realizar a divisão das etapas do projeto (Figuras 22 a 25):

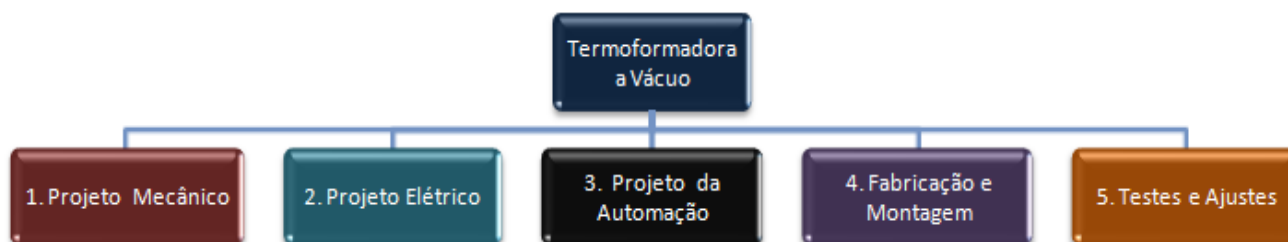


Figura 22 - WBS do Protótipo
Fonte: Autoria Própria.



Figura 23 - Etapas da Mecânica
Fonte: Autoria Própria.

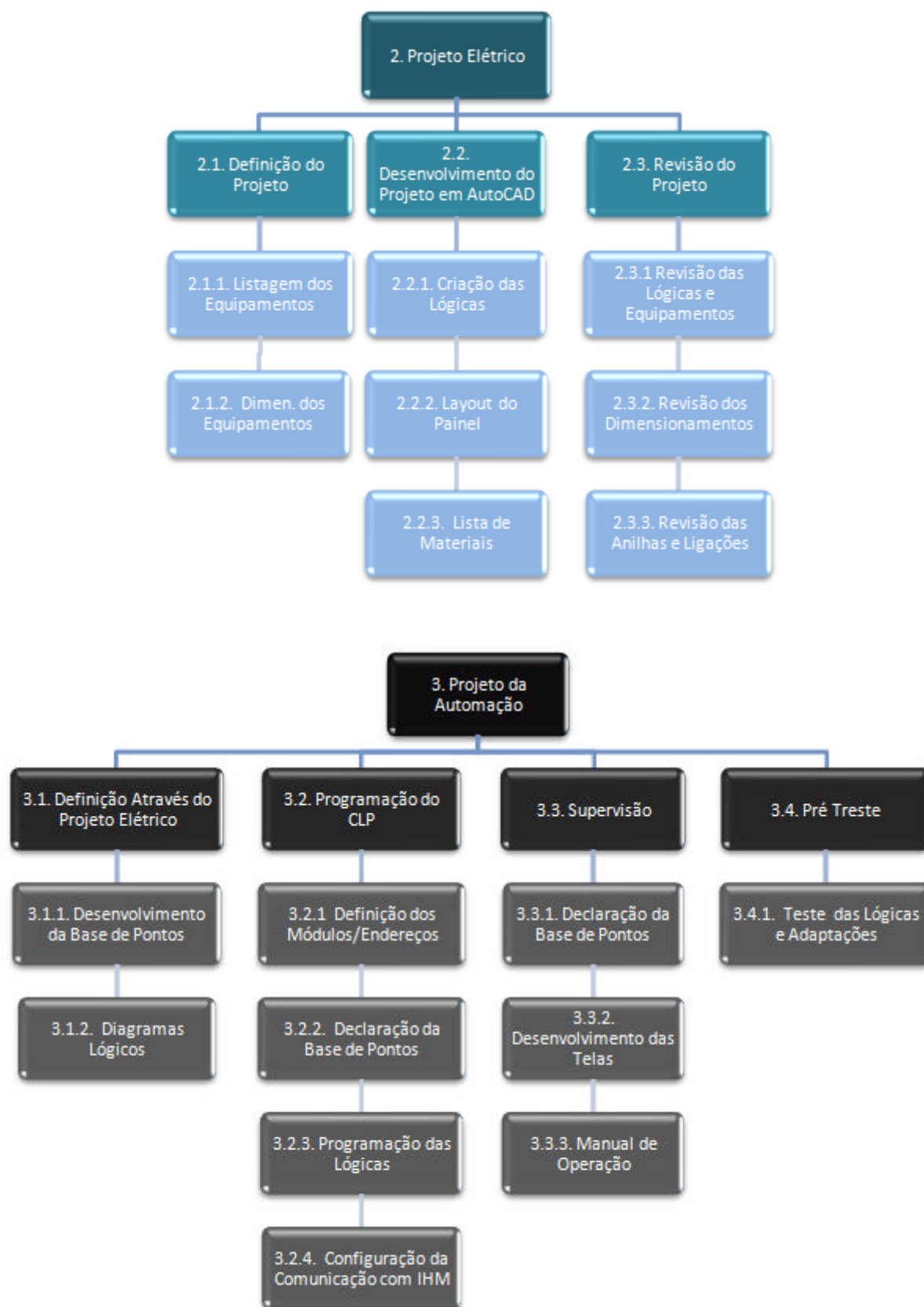


Figura 24 - Etapas da Elétrica e Automação
 Fonte: Autoria Própria.

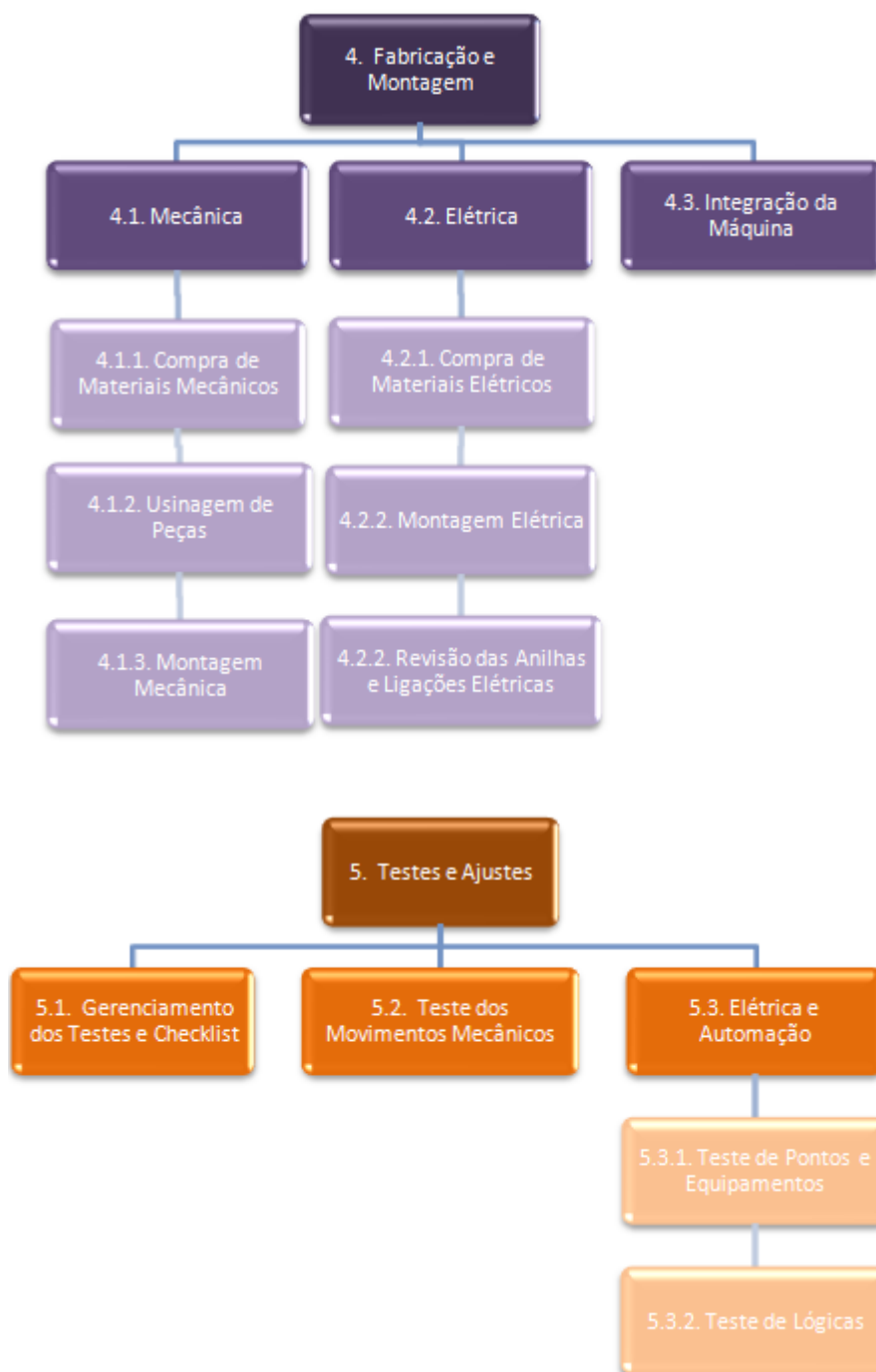


Figura 25 - Etapas da Fabricação e dos testes
Fonte: Autoria Própria.

Os itens a seguir descrevem o resultado da máquina e cada etapa que foi realizada para se chegar ao objetivo de construir um protótipo de uma termoformadora a vácuo automatizada.

6.1 ESPECIFICAÇÕES DA MÁQUINA

A termoformadora foi projetada para operar com diferentes materiais e tamanhos específicos de chapas plásticas, com o objetivo de exigir do operador somente a inserção da matéria prima e a retirada do produto final. O protótipo pode ser utilizado para termoformar artefatos plásticos, dentro de seus limites, atendendo produtos como: embalagens, peças automotivas, utensílios domésticos, brinquedos, entre outros. O molde do produto escolhido para demonstração é uma carcaça plástica para modelos de veículos em miniatura (Figura 26). Tais carcaças são utilizadas para proteger os modelos e fornecer-lhes um perfil aerodinâmico adequado e um aspecto visual atraente. As carcaças, conhecidas usualmente como bolhas, utilizam chapas de PET transparentes com uma espessura de 0,3 mm. As chapas são transparentes para que possam ser pintadas conforme o desejo do cliente. As bolhas possuem uma espessura reduzida para serem leves, assim diminuindo sua influência no desempenho dos modelos.



Figura 26 - Produto Desejado
Fonte: Autorial Própria.

O protótipo construído opera com chapas alimentadas manualmente que devem estar cortadas no tamanho especificado, pois ele não possui nem um subsistema de corte de chapas, nem um de alimentação automática. O sistema mecânico utiliza peças em inox no forno para atender dilatações térmicas e evitar a corrosão de materiais. Os cilindros pneumáticos, responsáveis pelas movimentações mecânicas, possuem regulagem de fluxo de ar para ajustar a velocidade de seu avanço e recuo e o sistema de vácuo é instantâneo. A máquina foi projetada com regulagens mecânicas para atender diferentes moldes, assim se tornando flexível quanto à fabricação de produtos, desde que se respeitem seus limites dimensionais. O resfriamento da peça é realizado por ventiladores de baixa potência, cerca de 80 W, para diminuir custos com energia. Todo o controle da máquina é realizado por meio de um Controlador Lógico Programável (CLP). As especificações mais detalhadas da máquina constam no Quadro 1.

Produtividade	60 a 90 peças / hora
Tipo de plástico	PET / ABS / PVC / Policarbonato
Espessura do plástico	0,1 até 1 mm
Tamanho da moldagem	38 x 195 até 307 x 277 mm
Tamanho da chapa	50 x 207 até 319 x 289 mm
Máxima altura de moldagem	100 mm
Peso aproximado	80 kg
Dimensões	1000 x 800 x 950 mm (C x L x A)
Potência do forno	3 kW
Potência dos ventiladores	80 W
Fluxo de ar dos ventiladores	78 l/s
Tensão de alimentação	127 VCA (Monofásico)
Consumo elétrico	3,65 kW
Pressão pneumática	6 até 8 bar

Quadro 1 - Especificações da Máquina

Fonte: Autoria Própria.

6.2 FUNCIONAMENTO DA MÁQUINA

A máquina possui diferentes estados de operação que são controlados pelo CLP. A visualização do estado em que se encontra o sistema é realizada por sinaleiros elétricos conforme descrito na Quadro 2. Os tópicos seguintes descrevem o funcionamento da máquina.

Estados da Máquina	Condição do Sinaleiro
Aguardando Comando de Início	Verde Piscando (Ciclo)
Em Ciclo	Verde Contínuo (Ciclo)
Aguardando Posição Inicial	Vermelho Piscando (Falha)
Máquina com Alarme	Vermelho Contínuo (Falha)

Quadro 2 - Sinalizações do Processo
Fonte: Autoria Própria.

6.2.1 Interface

A interface do operador com a máquina é realizada por comandos e sinalizações elétricas. Na Figura 27, é indicada a localização de cada comando e sinalização e no Quadro 3 é feita a respectiva descrição.

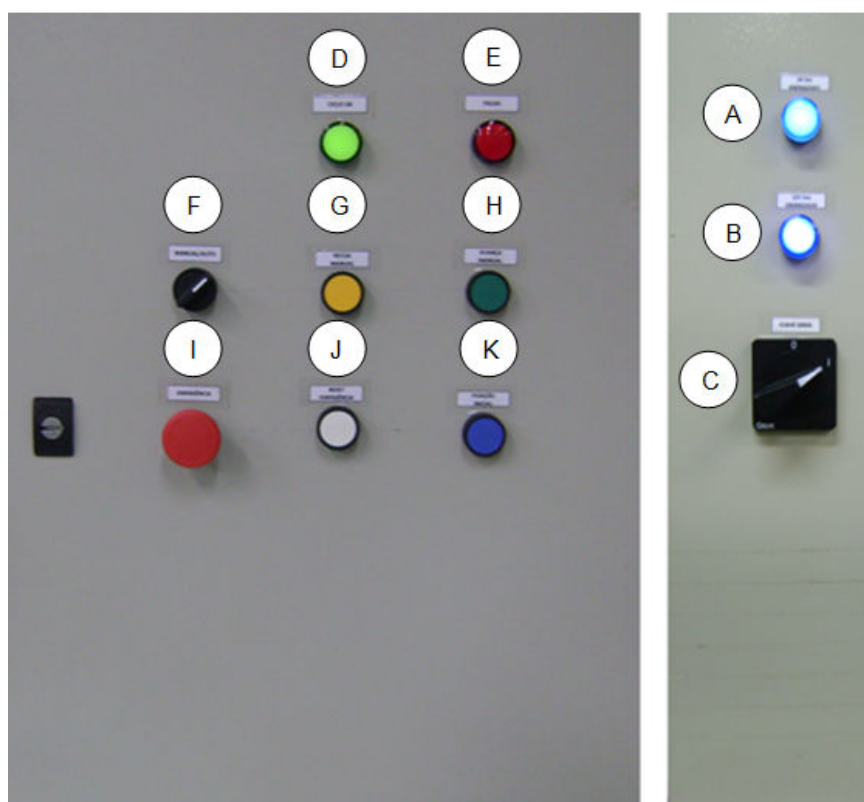


Figura 27 - Representação do Painel Elétrico
Fonte: Autoria Própria.

Localização	Equipamento	Descrição
A	Sinaleiro Azul	24 VCC ENERGIZADO
B	Sinaleiro Azul	127 VCA ENERGIZADO
C	Chave Geral	CHAVE GERAL
D	Sinaleiro Verde	CICLO OK
E	Sinaleiro Vermelho	FALHA
F	Chave Comutadora	AUTO/MANUAL
G	Botão Amarelo	RETORNA MANUAL
H	Botão Verde	AVANÇA MANUAL
I	Botão Vermelho	EMERGÊNCIA
J	Botão Branco	RESET
K	Botão Azul	POSIÇÃO INICIAL
Na Máquina	Botão Preto	INICIA CICLO

Quadro 3 - Equipamentos de Interface
Fonte: Autoria Própria.

6.2.2 Condições Iniciais

Para realizar um ciclo de operação devem ser atendidas algumas condições iniciais:

- O painel elétrico deve estar energizado através da chave geral e todos os disjuntores ligados. A indicação de que o sistema foi energizado consiste de dois sinaleiros azuis na lateral do painel, um indicando a alimentação de 127 VCA e outro a de 24 VCC;
- A parte pneumática do sistema deve estar pressurizada em oito bar, podendo ser regulada na válvula reguladora de pressão e monitorada no manômetro;
- O botão de emergência da máquina deve estar desativado;
- A máquina não deve indicar nenhuma falha ou alarme de processo, no sinaleiro vermelho fixado no painel.

Além dessas condições, a máquina deve estar em uma posição de repouso ou estado inicial, que é indicado pelos dos seguintes itens:

- Cilindro do quadro recuado;
- Cilindro do forno recuado;
- Cilindro do molde recuado.

Caso a máquina não esteja em seu estado inicial, ocasionado por alguma parada no processo ou falha, pode ser enviado um comando que faz com que a máquina vá até a posição de repouso. Esse comando pode ser dado acionando-se o botão azul fixado no painel elétrico. A restrição para que o comando funcione é que a máquina não esteja em estado de emergência e esteja em modo de operação automático.

6.2.3 Modos de Operação

A máquina possui dois modos de operação: automático e manual. Para ambos os modos, as condições iniciais devem ser atendidas, com apenas uma diferença, no modo manual a máquina pode ser operada mesmo que indique falhas ou alarmes. O objetivo dessa condição de funcionamento é permitir a realização de testes.

Os modos de operação selecionados por uma chave de duas posições fixada no painel elétrico. O modo de operação manual é uma lógica passo a passo comandada por dois botões: avançar, botão verde, e recuar, botão amarelo. Quando pressionado o botão de avançar, o ciclo irá para o próximo passo e quando pressionado o botão de recuar, o ciclo irá retornar um passo.

O modo manual não realiza o monitoramento de sensores e desconsidera os tempos de aquecimento, moldagem e resfriamento. Devido a isso, a operação deve ser realizada com cautela e por um operador que conheça cada passo do ciclo da máquina.

O modo de operação automático aguarda um comando de início de ciclo do operador da máquina. Esse comando é dado por um botão preto fixado na máquina. Após dado o comando a máquina irá realizar todo o ciclo.

6.2.4 Ciclo da Máquina

No primeiro ciclo de uma produção, o passo inicial é deixar a máquina em modo automático e aguardar o aquecimento das resistências. Para atingir a temperatura de operação ideal, deve-se aguardar dez minutos, caso contrário o produto final ficará defeituoso.

Sempre que a máquina estiver em modo automático, as resistências ficam ligadas, desde que ela não esteja em um estado de emergência. No modo manual, as resistências ficam desligadas e somente são ligadas no passo do aquecimento da chapa plástica a ser termoformada. Após chegar à temperatura ideal, o operador deve inserir a chapa plástica sobre a mesa de fixação centralizada com o furo da mesa e pressionar o botão de início de ciclo, quando em automático ou o botão de avançar, quando em manual. A Figura 28 representa o funcionamento da máquina. As movimentações mecânicas do ciclo da máquina podem ser visualizadas através do Apêndice E.

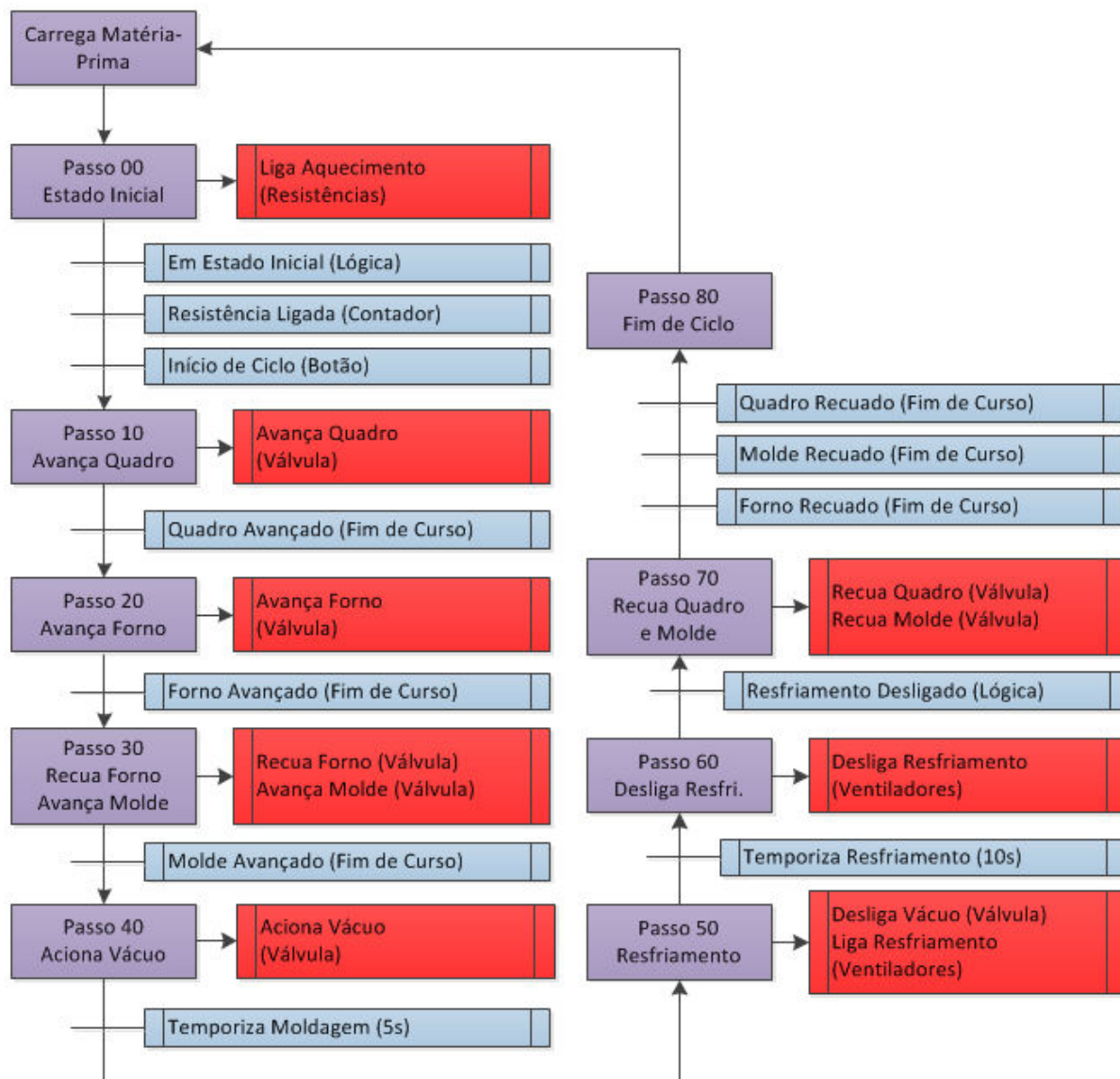


Figura 28 - Ciclo da Máquina
Fonte: Autoria Própria.

6.2.5 Falhas da Máquina

As falhas geram alarmes que param o processo no ciclo automático, caso ocorra alguma anomalia durante o processo. Quando um alarme é gerado, o ciclo automático é desativado mantendo a última posição dos cilindros, desligando o vácuo, as resistências e os ventiladores, caso eles estejam ligados.

Para normalizar a operação da máquina, o fator que a causou a falha deve ser identificado e corrigido. Feita a correção, deve-se pressionar o botão branco de

reset no painel elétrico da máquina. Caso o alarme continue sinalizando, a falha ainda não foi corrigida e continua gerando o alarme. Após corrigir a falha deve-se pressionar o botão de posição inicial para que a máquina entre em seu estado inicial para que seja possível recomeçar o ciclo. As principais falhas possíveis na máquina são citadas no Quadro 4.

Falha	Causa	Solução
Emergência Acionada	Botão de Emergência Acionado. Cabo rompido ou mau contato.	Verificar estado do botão. Verificar ligações elétricas.
Falha Acionamento das Resistências	CLP não recebe sinal de que o contator foi acionado.	Trocar relé 130K1. Verificar ligações elétricas.
Tempo de Avanço do Forno excedeu	Reguladora de fluxo não permite a passagem de ar suficiente no tempo esperado.	Verificar se a pressão da rede pneumática está entre 6 e 8 bar.
Tempo de Recuo do Forno excedeu	Conexão pneumática obstruída ou com vazamentos.	Regular a válvula de fluxo de ar.
Tempo de Avanço do Quadro excedeu	Sensor não detectou o movimento.	Verificar válvula, conexões e mangueiras pneumáticas.
Tempo de Recuo do Quadro excedeu	Ligações entre a válvula de pilotagem do cilindro com o CLP.	Regular posicionamento do sensor ou trocá-lo.
Tempo de Avanço do Molde excedeu		Verificar ligações elétricas do CLP até a solenoide da válvula e o CLP até o sensor.
Tempo de Recuo do Molde excedeu		
Falha Sensor do Forno	Sensores de Avanço e Recuo acionados ao mesmo tempo.	Verificar possíveis colisões mecânicas que acionem os sensores ao mesmo tempo.
Falha Sensor do Quadro	Sensores queimados.	Verificar ligações elétricas.
Falha Sensor do Molde	Contato dos sensores ligados de forma errada.	Trocar sensor.

Quadro 4 - Falhas da Máquina
Fonte: Autoria Própria.

6.3 MECÂNICA

O projeto mecânico foi desenvolvido com auxílio da ferramenta CAD SolidWorks 2010. Basicamente foram utilizados recursos de modelagem de sólidos, chapas metálicas, soldagem, montagem e detalhamento. Além disso, foi realizada a análise de elementos finitos (FEA – *Finite Element Analysis*) com um software CAE da Altair chamado Hypermesh. A mecânica buscou atender alguns requisitos de projeto, como:

- Menor custo possível sem prejudicar o funcionamento do protótipo;
- Menor variedade possível de elementos de fixação. Quanto maior a quantidade de um determinado item, menor o preço. Isso facilita a montagem, pois demanda um número reduzido de ferramentas.
- Menor variedade possível de espessura e material para as peças que utilizaram o processo de fabricação de corte laser. O fornecedor garante um preço reduzido se essa condição for atendida, pois isso reduz o tempo de setup, programação e operação da máquina.
- Dividir o projeto em conjuntos que possam ser montados e testados isoladamente. Garantindo o funcionamento de cada conjunto, quando a montagem completa é feita, os problemas são pontuais e algumas possibilidades podem ser descartadas. Além disso, o transporte do sistema é facilitado.

A mecânica foi dividida em: conjunto de aquecimento, quadro de fixação, elevação do molde, resfriamento, pneumático, elétrico e estrutura. Cada conjunto é descrito nos itens a seguir.

6.3.1 Conjunto Aquecimento

O conjunto de aquecimento é composto por: forno, guias, esteira porta cabos, cilindro pneumático, flanges de fixação e sensores de fim de curso. O forno é

constituído por três resistências de cerâmica com um formato côncavo (Figura 29) de 250 mm de comprimento, totalizando 3 kW de potência. Segundo a Ultratherm, fornecedora das resistências, pode-se variar sua temperatura de 300 °C a 750 °C conforme a especificação dos seguintes parâmetros: potência, tensão e tamanho.

As potências encontradas comercialmente para cada resistência variam de 250 W a 1 kW para tensões de 110 VAC ou 220 VAC e o tamanho varia de 60 até 250 mm de comprimento. Devido às várias possibilidades de combinação de parâmetros, os fornecedores geralmente não trabalham com estoques, salvo para aqueles modelos mais fáceis de comercializar. Sendo assim, após a especificação da resistência, o fornecedor solicita uma quantidade mínima para a fabricação do pedido, além de um prazo para fabricação do mesmo. No fornecedor escolhido, o tempo para fabricação foi de duas semanas e a quantidade mínima foi de três resistências.

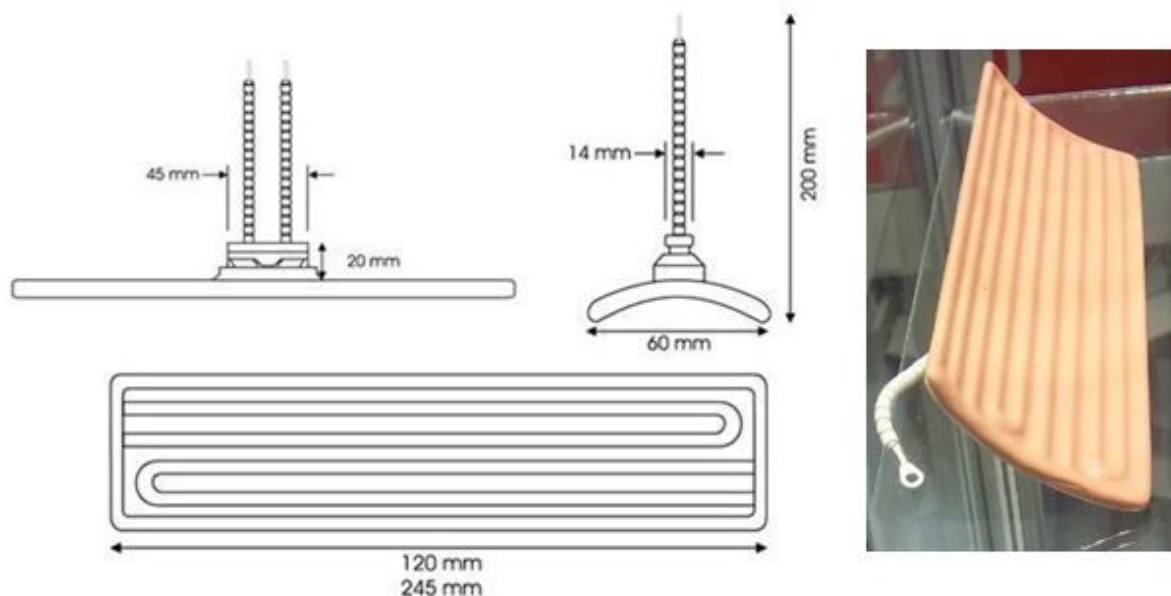


Figura 29 - Resistência Cerâmica Côncava
Fonte: Corel Resistências Elétricas (2011).

Foi determinada inicialmente a potência máxima de 1 kW para cada resistência, com o intuito de possibilitar a variação da potência para qualquer valor entre 100 e 1 kW (10% a 100%) por meio de um controlador *dimmer*. Com o uso desse controlador poderia ser estipulado um tempo único para aquecimento da

chapa plástica (independentemente do material e espessura) e com a variação da potência do forno seria possível adequá-lo a cada situação. No entanto, nos testes preliminares, o *dimmer* foi descartado e o controle do comportamento da chapa foi feito somente com a variação no tempo de aquecimento da mesma.

As dimensões, comprimento x largura do forno devem ser iguais ou superiores ao tamanho da peça termoformada, no caso 210 x 225 mm. A resistência especificada foi de 250 mm de comprimento e 63 mm de largura. Para atingir o requisito de tamanho do forno, três resistências foram posicionadas uma ao lado da outra, espaçadas 19 mm, alcançando o dimensional de 250 x 228 mm (Figura 30).

Um suporte para fixar as três resistências nessa posição foi desenvolvido de forma a evitar colisões entre as resistências, que poderiam gerar trincas, ruptura ou algum outro tipo de dano. O material escolhido para o suporte foi o aço inox, devido a sua capacidade de refletir o calor, diminuindo as perdas e aumentando a eficiência da máquina.

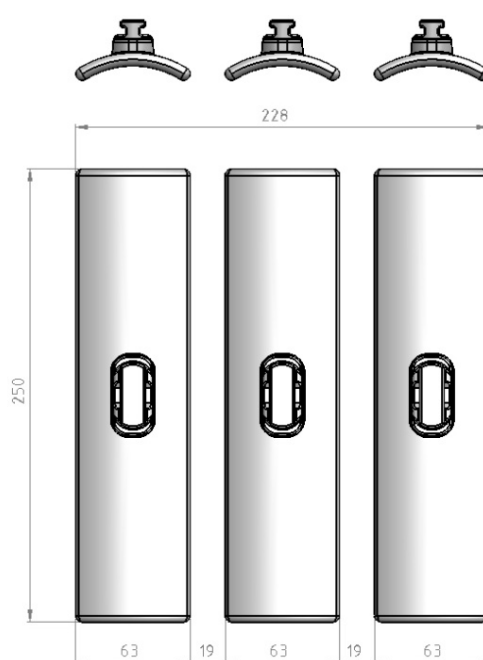


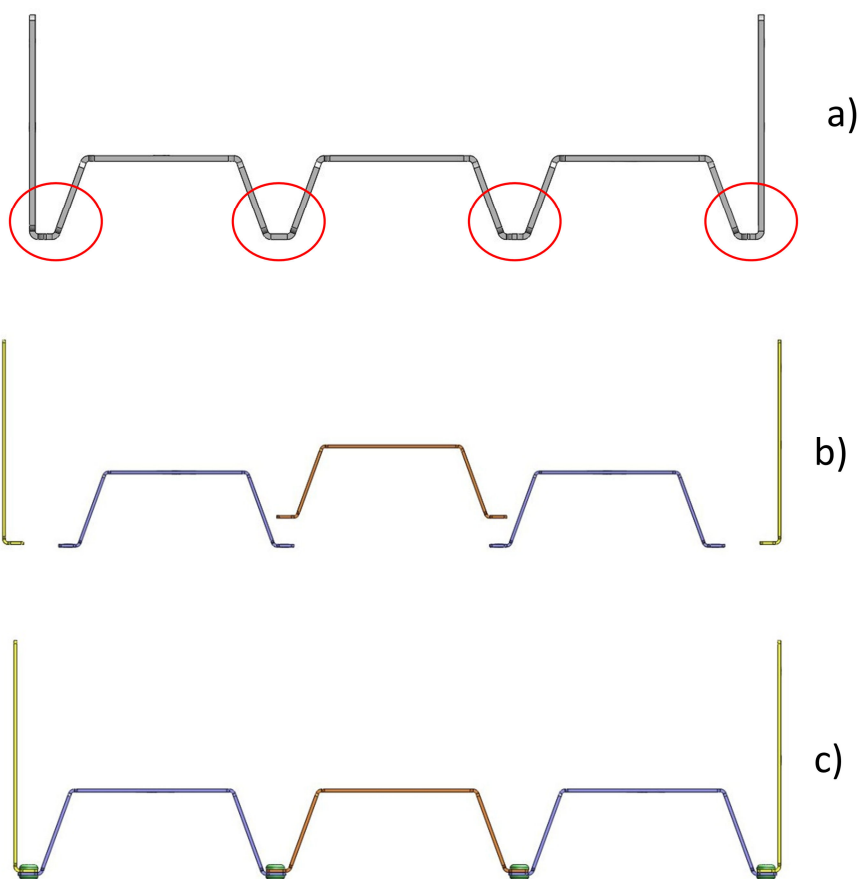
Figura 30 - Posição das Resistências no Forno
Fonte: Autoria Própria.

A complexidade do suporte das resistências, aliada ao processo de fabricação disponível no fornecedor (dobradeira), inviabilizou a manufatura da

primeira concepção do suporte. Com as ferramentas que o fornecedor possuía, não era possível realizar as dobras, pois a distância entre uma dobra e outra estava menor do que o punção da ferramenta de dobra.

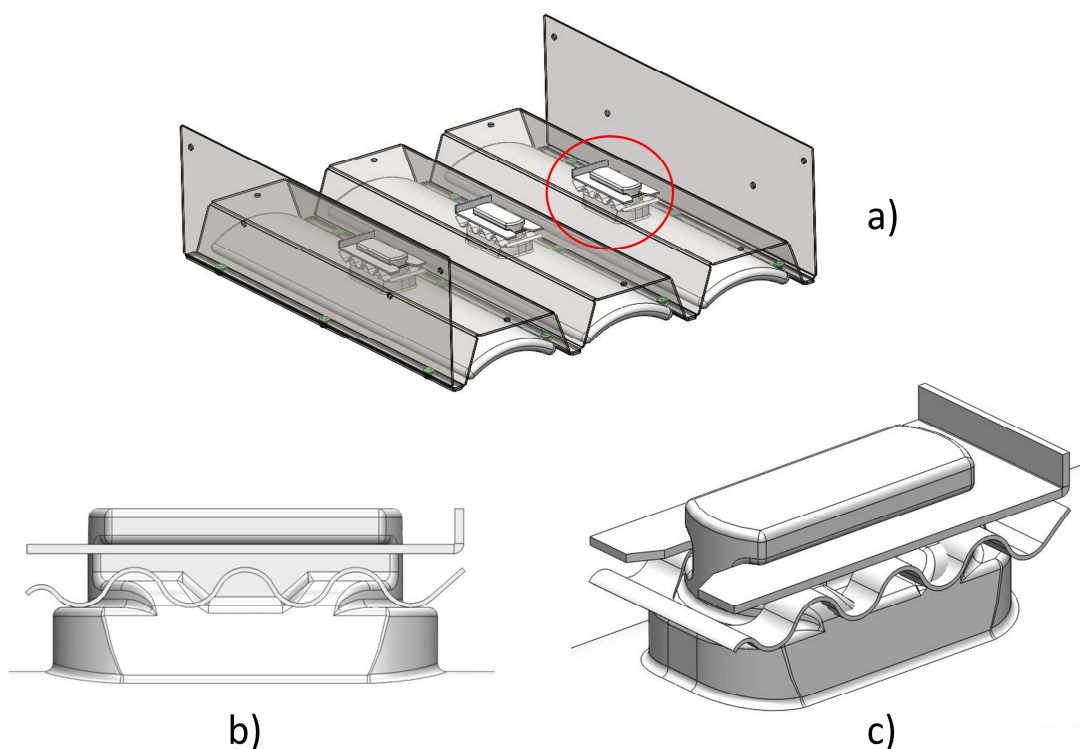
Devido a isso, foi necessário um novo projeto, dividindo a peça em cinco partes, sendo duas simétricas fixadas por rebites de forma a aproximar a nova geometria daquela originalmente projetada (Figura 31).

Para fixar as resistências nesse suporte, são utilizados grampos de fixação (Figura 32) que acompanhavam as resistências. Tais grampos são duas chapas de aço inox, uma ondulada e outra lisa, com o suporte no meio dentre elas. A parte ondulada trabalha como uma mola, permitindo fixar a resistência em suportes de espessuras de 1 a 3 mm.



- a) Primeira versão do suporte. Região em vermelho impossibilitou a manufatura;
- b) Segunda versão do suporte. Cinco peças separadas, sendo duas iguais;
- c) Segunda versão do suporte rebitada.

Figura 31 - Comparativo entre os Suportes das Resistências
Fonte: Autoria Própria.



- a) Posição do grampo de fixação no conjunto;
- b) Vista Lateral do grampo de fixação;
- c) Vista Isométrica do grampo de fixação.

Figura 32 - Grampo de Fixação da Resistência
Fonte: Autoria Própria.

O forno opera em duas posições: avançado e recuado. Para que isso possa acontecer, foram utilizadas guias que asseguram que o movimento seja o mais retilíneo possível, com o menor custo. Vários fabricantes de equipamentos enfrentam a necessidade de usar guias, o que justificou o surgimento de empresas especializadas em guias para movimentação. Essas empresas podem atender tanto a demandas que exijam alta precisão, como as guias lineares, quanto a aplicações com tolerâncias abertas, como buchas de deslizamento.

No protótipo foi utilizado um sistema mais básico, que devido às suas dimensões, não foi encontrado comercialmente. Essa guia é constituída por quatro roldanas, sendo duas do lado direito e duas do lado esquerdo. De um lado da guia, o movimento lateral é restringido pelo uso de um trilho de formato quadrado, e do outro as duas roldanas deslizam livremente com folga no sentido do eixo (Figura 33). Na posição recuada, o forno aciona um sensor de fim de curso que indica que ele está recuado, e na posição avançado outro sensor indica que o forno está avançado.



Figura 33 - Roldana Trilho (Esquerda) e Livre (Direita)
Fonte: Autoria Própria.

Uma esteira porta cabos foi utilizada para guiar o movimento dos cabos das resistências do forno, protegê-los e contribuir positivamente para a estética do conjunto. Um cilindro pneumático de $\varnothing 20 \times 350$ mm operando em 6~8 bar de pressão foi utilizado para realizar o movimento do forno. Ele é fixado na estrutura do protótipo por flanges de aço. Devido ao comprimento considerável do seu eixo, o cilindro, poderia flambar, no entanto, as guias do forno ajudam a reduzir a probabilidade de que isso ocorra. Somados todos esses equipamentos, têm-se o conjunto aquecimento (Figura 34).

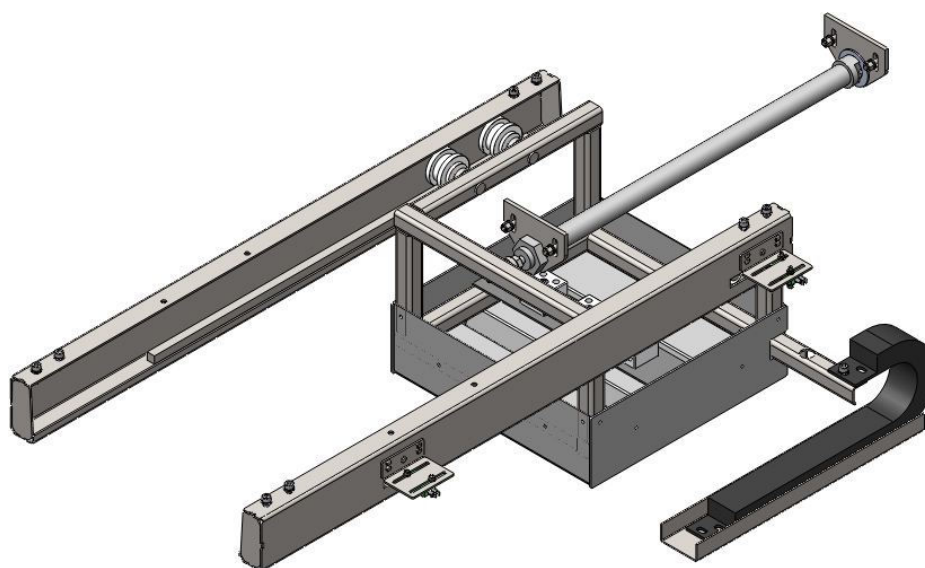


Figura 34 - Conjunto Aquecimento
Fonte: Autoria Própria.

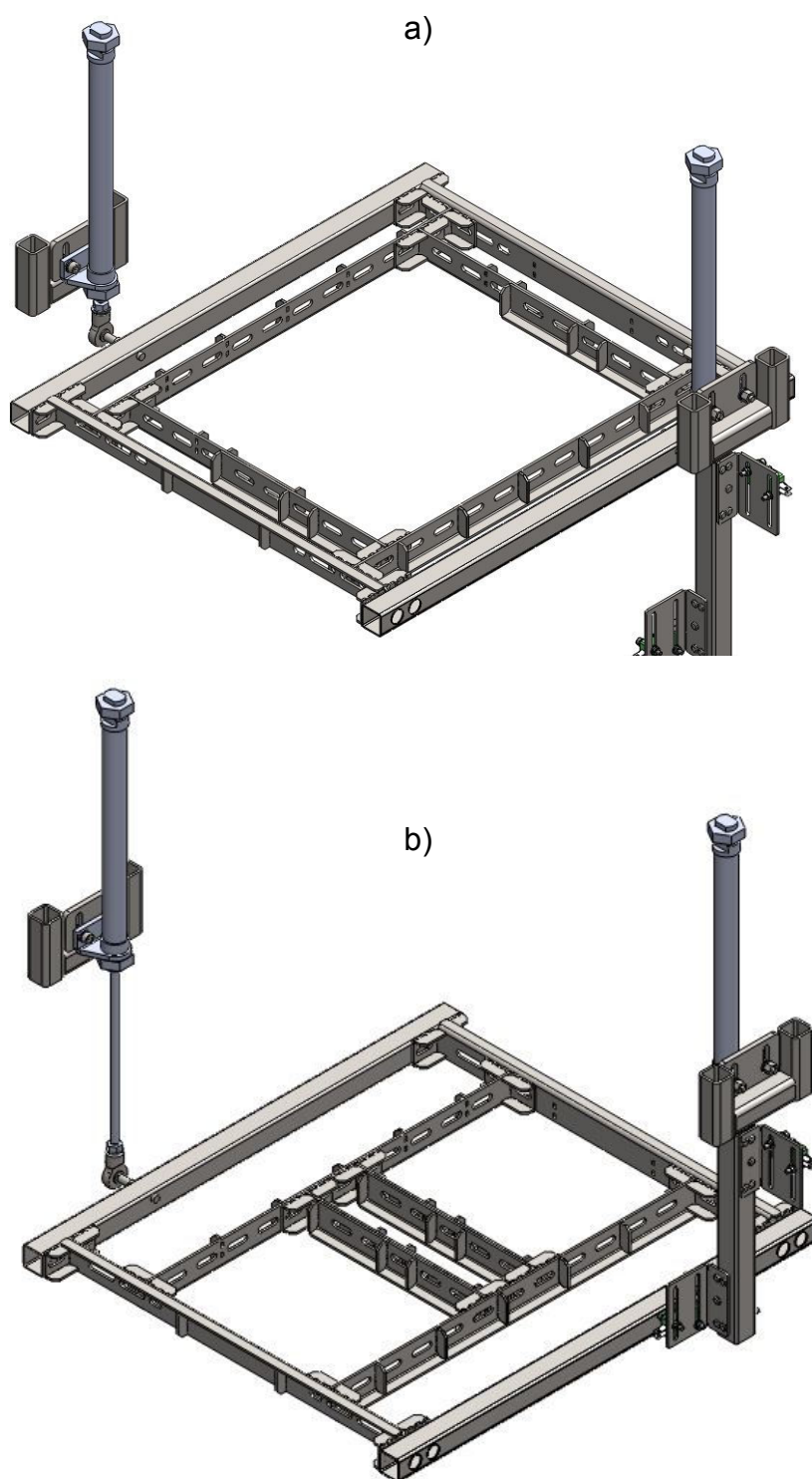
6.3.2 Conjunto Quadro de Fixação

O conjunto quadro de fixação (Figura 35) é composto por: quadro de ajuste, cilindros pneumáticos, flanges de fixação e ponteiras. Pode assumir duas posições: avançado e recuado, sendo que existe um sensor fim de curso para identificar cada uma dessas posições.

O quadro de ajuste é composto por dois perfis quadrados aos quais são soldados dois eixos de Aço 1045 (utilizado para fixar as ponteiras dos cilindros) e parafusados os flanges das chapas metálicas que fazem o ajuste do comprimento e largura do quadro. A menor chapa que pode ser fixada no conjunto pode ter dimensões 50 x 207 mm e a maior 319 x 289 mm, considerando 12 mm de borda de fixação ao redor da chapa.

Inicialmente o conjunto teria somente um cilindro central e duas guias, uma na direita e outra na esquerda. No entanto, como a precisão desse conjunto não é um fator crítico do projeto, as guias foram retiradas e um cilindro foi acrescentado. Essa decisão facilitou a montagem do sistema e reduziu seu custo.

Os flanges dos cilindros foram encontrados comercialmente e sua fixação foi feita na estrutura, com folga para que fosse possível absorver as tolerâncias dos processos de fabricação das peças. As ponteiras também foram encontradas comercialmente, são elas que fazem a conexão dos cilindros com o quadro, por meio do eixo soldado no perfil quadrado. Devido à construção das ponteiras e a não utilização de guias, foi acrescentado um movimento de rotação, com eixo central de giro em uma linha imaginária ligando as duas ponteiras.



- a) Posição do conjunto: recuada; ajuste do quadro: menor chapa possível;
b) Posição do conjunto: avançada; ajuste do quadro: maior chapa possível.

Figura 35 - Conjunto Quadro
Fonte: Autoria Própria.

6.3.3 Conjunto de Elevação do Molde

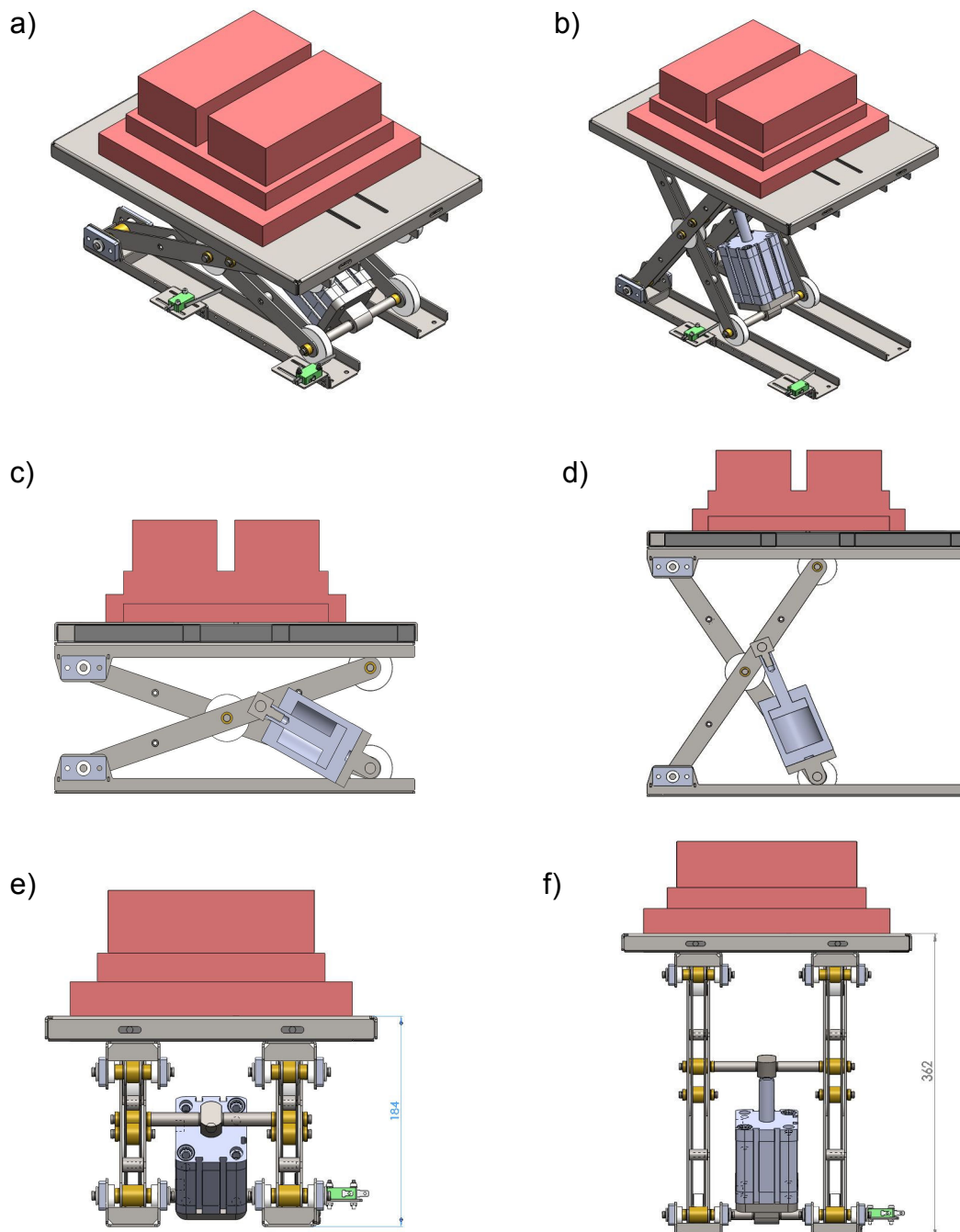
O conjunto elevação do molde foi dimensionado com auxílio do software CAE, chamado Hypermesh. Foram consideradas duas posições na análise, avançada e recuada, e a carga máxima suportada foi de 20 kg (Apêndice F), sendo que a carga requerida é de 5 kg. Ou seja, o conjunto tem coeficiente de segurança quatro.

O mecanismo utilizado para a movimentação do molde é conhecido tecnicamente como mecanismo tesoura e é comercializado como mesa de elevação (Figura 36). As aplicações pesquisadas utilizam esse sistema com acionamento hidráulico, pois esse acionamento proporciona maiores pressões de trabalho quando comparado com o pneumático. Porém, como a carga que será levantada é de 5 kg (3 kg do molde mais 2kg dos componentes do conjunto), foi utilizado um cilindro pneumático. O mecanismo tesoura possibilita a utilização de uma mecânica com dimensões reduzidas, se comparada com um acionamento direto para elevação de cargas. É utilizada a multiplicação do curso de deslocamento do atuador, que nesse caso é de 50 mm. Como o conjunto está sendo deslocado de 178 mm, o curso do atuador está sendo multiplicado por 3,56. No entanto, esse ganho de curso, nessa configuração, diminui a capacidade de levantamento de carga do cilindro em cinco vezes, ou seja, de 100 kg (especificação de carga máxima do fornecedor, para aplicações nas quais a carga é colinear com o sentido de movimentação do atuador) para 20 kg. Em alguns casos, para aumentar essa capacidade de carga, mais cilindros são acrescentados ao acionamento.

O critério de fadiga de “vida infinita” foi adotado na análise, pois a tensão máxima admissível na análise CAE foi metade da tensão admissível real. Esse critério precisou ser aplicado, pois o conjunto opera em ciclos, caracterizados pelo avanço e retorno do cilindro de acionamento. Devido a esse movimento, todo o sistema mecânico sofre um desgaste devido à fadiga e isso acarreta uma diminuição da tensão máxima admissível dos materiais.

Existe um cálculo que pode ser feito para verificar-se a partir de quantos ciclos inicia-se esse efeito e para quanto se altera o valor da tensão máxima

admissível. No entanto, para fins práticos pode-se considerar que para ciclos infinitos haverá uma redução de 50% do valor da tensão máxima admissível inicial.



- a) Posição do conjunto: recuada; vista isométrica;
 b) Posição do conjunto: avançada; vista isométrica;
 c) Posição do conjunto: recuada; vista frontal em corte;
 d) Posição do conjunto: avançada; vista frontal em corte;
 e) Posição do conjunto: recuada; vista lateral;
 f) Posição do conjunto: avançada; vista lateral;

Figura 36 - Conjunto Movimenta Molde
Fonte: Autoria Própria.

6.3.4 Conjunto do Resfriamento

Esse conjunto é composto por dois ventiladores de 120 x 120 mm, com vazão de 39 l/s cada, o que proporciona uma vazão total de 78 l/s. Para fixar os ventiladores no protótipo, foi utilizada uma chapa metálica, parafusos e porcas (Figura 37).

O conjunto resfriamento é responsável por resfriar a peça após o completo preenchimento da chapa plástica no molde. A vazão de ar dos ventiladores foi dimensionada de modo a utilizar o equipamento com a maior vazão possível, atendendo os requisitos dimensionais e de custo do projeto.

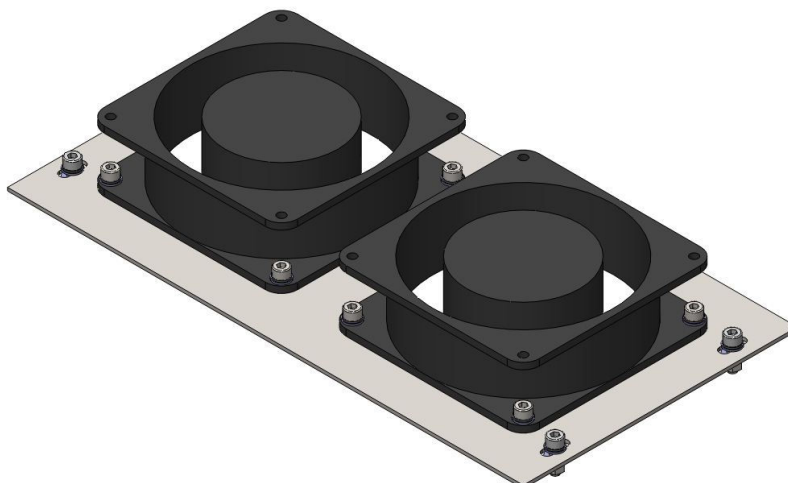


Figura 37 - Conjunto Resfriamento
Fonte: Autoria Própria.

6.3.5 Conjunto Pneumático

O conjunto pneumático é composto por três válvulas direcionais 5/2 vias (uma para cada ciclo de avanço e retorno dos conjuntos: quadro, forno e elevação do molde), uma válvula direcional 3/2 vias (acionar ou não o vácuo), uma válvula geradora de vácuo (para gerar o vácuo dentro do molde), um regulador de pressão (para ajustar a pressão de trabalho), oito válvulas reguladoras de fluxo unidirecional (duas válvulas para cada cilindro, sendo uma para regular o avanço e outra para

regular o recuo) e tubos de $\varnothing 6\text{mm}$ de poliuretano. O projeto do circuito pneumático pode ser encontrado no Apêndice A.

Para fixar as válvulas no protótipo foi utilizada uma chapa metálica, que foi montada separadamente e depois agregada à máquina (Figura 38). O exato posicionamento das válvulas, assim como o roteamento dos tubos não foi projetado com o auxílio de software CAD, pois a maior parte das válvulas e conexões utilizadas não possuía modelo matemático, o que exigiria que elas fossem modeladas uma a uma. Em função do tempo necessário para realizar essa atividade, além daquele usado para rotear todos os tubos, decidiu-se não usar a ferramenta CAD para esse projeto. A opção que a equipe encontrou foi a montagem das válvulas e o roteamento dos tubos após a montagem de todos os conjuntos do protótipo. Dessa maneira as válvulas foram posicionadas da melhor maneira possível e os tubos seguiram as restrições e condições de contorno do projeto.

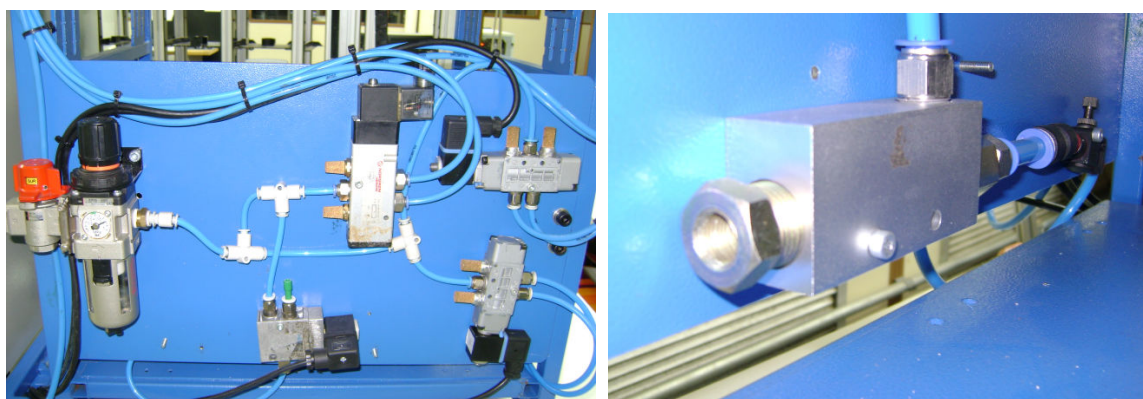


Figura 38 - Conjunto Pneumático
Fonte: Autoria Própria.

Inicialmente, o circuito pneumático teria mais uma válvula direcional 3/2 vias que seria usada para auxiliar na desmoldagem da peça, caso ela ficasse presa no molde após a moldagem, ou caso alguma outra dificuldade na retirada da peça fosse encontrada. Como essa dificuldade não foi encontrada na peça que produzimos com o protótipo, a válvula foi retirada.

A válvula geradora de vácuo, como dito anteriormente, tem a função de gerar vácuo dentro do molde e puxar a chapa de plástico quente para a geometria do molde. Sua implementação foi uma das maiores dificuldades do projeto.

Para especificar a vazão mínima necessária para a válvula geradora de vácuo, foi considerado que o volume total do sistema é a soma do volume de ar que precisa ser retirado das mangueiras (0,8 l) mais o volume do molde (4,2 l). Logo, esse volume de 5,0 l precisa ser retirado no intervalo de tempo que a chapa plástica está na temperatura ideal para a termoformagem, que foi estipulado em três segundos, para fins de cálculo. Assim, seria necessária uma válvula com vazão mínima de 1,67 l/s.

Um dos problemas encontrados foi com a vedação do conjunto, pois qualquer vazamento de ar compromete todos os cálculos e o volume necessário à máquina, que foi estimado, aumenta. Por isso, testes com pressão positiva foram feitos para identificar os possíveis pontos de vazamento e eliminá-los.

Primeiramente, foi comprada uma válvula geradora de vácuo com vazão de 1,0 l/s, ou seja, abaixo da vazão mínima estimada de 1,66 l/s. Essa decisão foi tomada, pois o custo da válvula de maior vazão disponível comercialmente era quatro vezes maior do que aquele da válvula comprada, mas o tempo de moldagem estimado seria de cinco segundos. Caso esse tempo não correspondesse à realidade, seria necessário comprar uma válvula com a vazão maior e aumentar o custo de desenvolvimento do projeto. O teste com a válvula de 1 l/s foi realizado e o resultado não foi satisfatório.

Antes de se comprar uma nova válvula, outro teste foi feito com um tanque de ar de caminhão de 20,0 l. Estimou-se que poderia ser feito um reservatório de vácuo, com o objetivo de aumentar a vazão. Com esse reservatório, o sistema passou a ter vazão de 1,33 l/s, no entanto, como a válvula direcional que acionaria o vácuo foi ligada diretamente a esse reservatório, a solenoide que faz o acionamento do embolo da válvula, não teve força suficiente para vencer a força gerada pelo reservatório, impossibilitando o acionamento do embolo.

Pesquisou-se uma solução para esse problema e chegou-se a conclusão que seria necessária uma válvula direcional pilotada pneumaticamente. Assim uma segunda válvula mandaria o sinal de pressão positiva para pilota-la, vencendo assim a força gerada no reservatório. Sem a válvula direcional adequada, realizou-se o teste manualmente e percebeu-se que a vazão foi insuficiente. Além disso, o custo dessa válvula direcional pilotada se equipara ao custo da válvula geradora de vácuo com a vazão necessária, por isso essa opção foi descartada.

Após o teste com o tanque de ar, concluiu-se que uma válvula geradora de vácuo de maior vazão precisaria ser comprada. A válvula comprada tem vazão de 5,0 l/s e operou como esperado, solucionando assim o problema com a geração de vácuo.

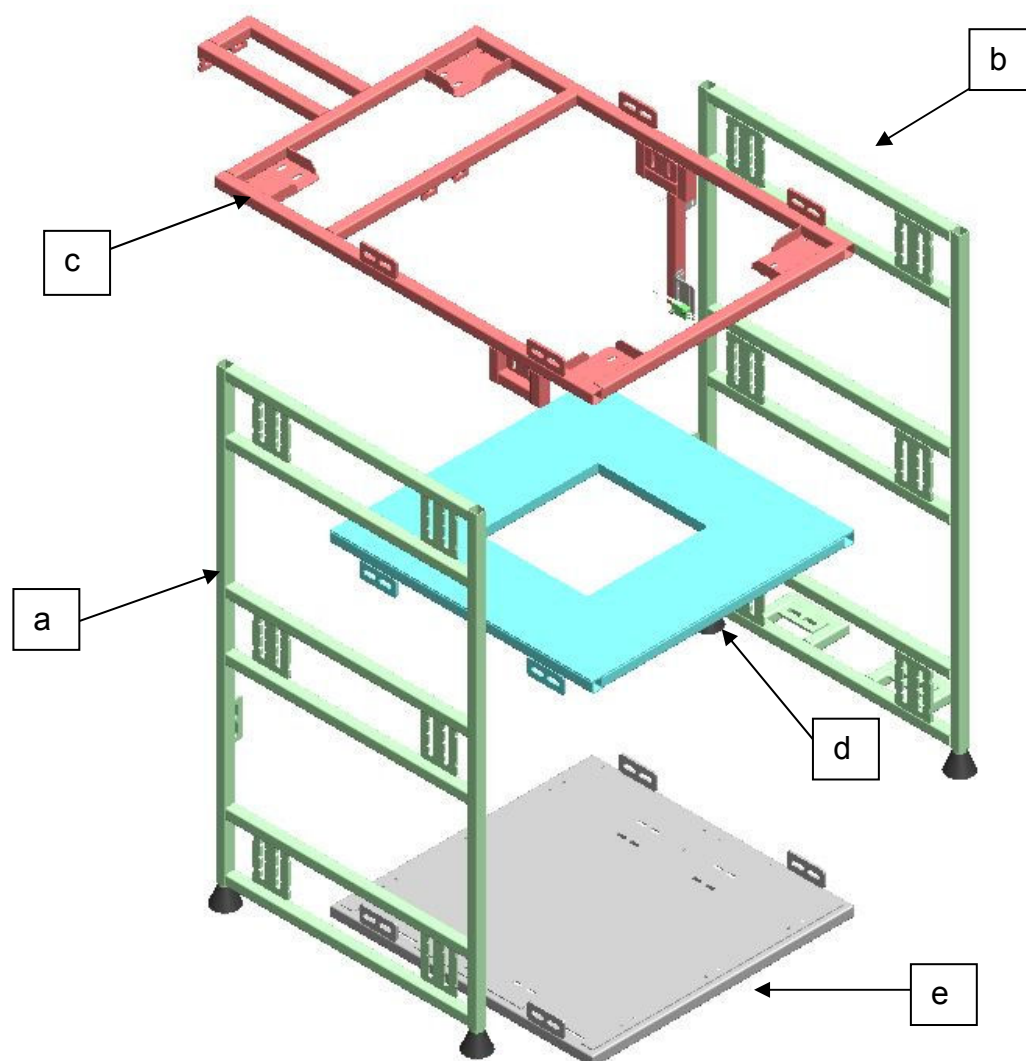
6.3.6 Conjunto Elétrico

Decidiu-se a inserção de um quadro elétrico para auxiliar na proteção, organização e identificação dos componentes elétricos do sistema. Além disso, o quadro poderia facilitar possíveis alterações no projeto. Toda fiação foi identificada conforme o projeto elétrico e protegida por meio de alojamentos no painel elétrico.

Um suporte para o painel elétrico foi desenvolvido, para acoplar o painel na estrutura protótipo. Constatou-se que o painel elétrico, além dos benefícios citados inicialmente, ainda ajuda a evitar acidentes e equívocos na montagem (facilitada pela identificação), a reduzir a dificuldade de acesso e facilitar a manutenção do sistema.

6.3.7 Conjunto da Estrutura

O conjunto estrutura é dividido em cinco partes: chassi direito, chassi esquerdo, chassi do forno, chassi do quadro e chassi do molde (Figura 39). Essa divisão não seria necessária caso a estrutura fosse toda soldada. No entanto, se ela fosse soldada, o controle dimensional do conjunto seria dificultado, pois durante e após o processo de soldagem as peças envolvidas na união sofrem dilatação térmica, distorcendo suas dimensões. Para que esse efeito fosse reduzido, seria necessário desenvolver gabaritos que não permitissem essa distorção durante o processo, mas isso elevaria o custo do projeto.

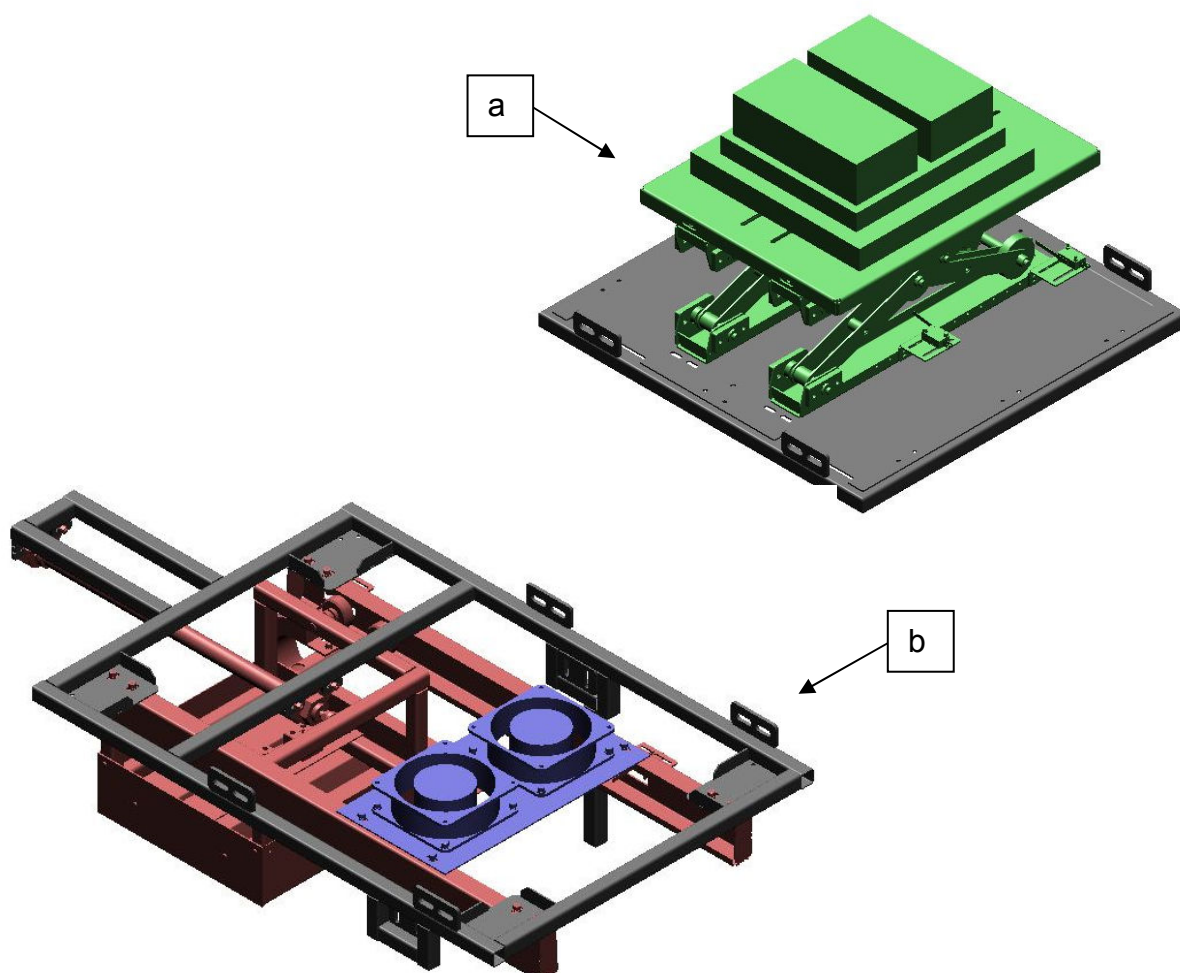


- a) Chassi direito;
- b) Chassi esquerdo;
- c) Chassi do forno;
- d) Chassi do quadro;
- e) Chassi do molde.

Figura 39 - Conjunto Estrutural
Fonte: Autoria Própria.

A solução de dividir o conjunto estrutura em subconjuntos atende aos requisitos estipulados no projeto mecânico, permitindo assim a montagem dos outros conjuntos isoladamente e garantindo o seu funcionamento antes da montagem final. O chassi do molde permite a montagem do conjunto molde, na mesma condição em que o conjunto se encaixará no protótipo. O mesmo acontece com o chassi do forno, que por sua vez permite a montagem do conjunto

resfriamento (Figura 40). Isso não acontece com o conjunto quadro, pois ele necessita da montagem completa para ser testado.



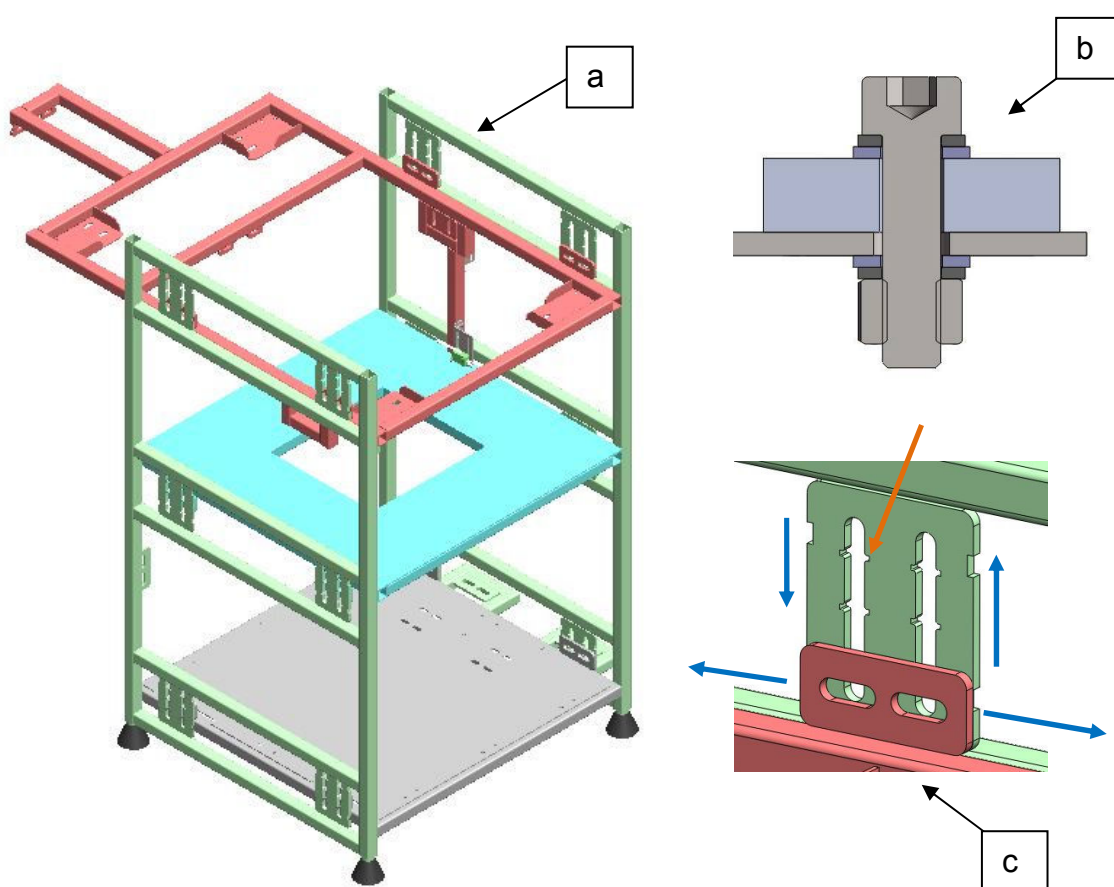
- a) Pré-montagem do conjunto movimenta molde com chassi do molde;
- b) Pré-montagem do conjunto forno com chassi do forno e conjunto resfriamento.

Figura 40 - Pré-Montagem dos Conjuntos
Fonte: Autoria Própria.

Os chassis direito e esquerdo tem a função de unir as divisões do conjunto estrutura (Figura 41.a). Essa união é feita por parafusos e porcas, todos com arruela lisa e de pressão dos dois lados da união (Figura 41.b). A arruela lisa tem a função de aumentar a área de contato com a peça que esta sendo fixada e a arruela de pressão tem a função de reduzir a folga entre o parafuso e a porca, evitando o afrouxamento do sistema durante um possível transporte.

Foi desenvolvido um sistema de ajuste para compensar possíveis desalinhamentos gerados durante o processo de soldagem. Esse ajuste consiste em um oblongo na horizontal nos chassis do forno, quadro e molde, permitindo o deslocamento para frente e para trás.

Nos chassis direito e esquerdo, o oblongo está na vertical, possibilitando o deslocamento para cima e para baixo dos conjuntos. Ambos oblongos possuem 0,5 mm de folga com relação ao diâmetro externo do parafuso, ou seja, como o parafuso é um M8, a largura do oblongo é 8,5 mm. Foram inseridas marcações nos oblongos verticais para auxiliar o posicionamento dos conjuntos (Figura 41.c).



- a) Montagem completa do conjunto estrutura;
- b) Exemplo de fixação com: parafuso, arruela de pressão, arruela lisa, chapas que serão unidas, arruela lisa, arruela de pressão e porca, respectivamente.
- c) Grau de liberdade permitido pelos oblongos (setas azuis) e marcações para auxiliar a montagem (seta laranja);

Figura 41 - Montagem do Conjunto Estrutura
Fonte: Autoria Própria.

6.3.8 Detalhamento de Peças e Conjuntos

Após o modelamento 3D de todas as peças e conjuntos envolvidos no protótipo, iniciou-se o detalhamento 2D. Essa etapa tem como objetivo gerar a documentação que serve como interface entre projeto e fabricação. Ela fornece as informações necessárias para que o fornecedor possa fabricar o produto. Caso as normas técnicas sejam seguidas, o projeto poderá ser interpretado e fabricado de maneira independente da localização do fornecedor. Para isso, o projetista precisa conhecer qual processo de fabricação será utilizado e responder algumas perguntas, tais como:

- Quais dimensões o fornecedor precisa saber para fabricar essa peça?
- Qual é a tolerância geral da peça? Existe alguma cota que necessita de uma tolerância dimensional específica, diferente da tolerância geral?
- Existe alguma característica que necessita ser fixada com uma tolerância geométrica? Por exemplo: concentricidade entre eixos, paralelismo e/ou perpendicularidade entre faces, etc.
- Qual é o acabamento superficial desejado? Qual a tolerância geral para o mesmo? Existe alguma face que necessita de um acabamento superficial diferenciado?
- A peça necessita tratamento térmico? Se sim, qual?
- Qual matéria prima será utilizada? Qual peso e dimensões da matéria prima? Essa informação auxilia no processo de cotação do produto.
- Qual o peso da peça e dimensões máximas da peça acabada? Informação importante para a logística da peça (transporte e armazenamento).
- Quem é o responsável pelo projeto? Quem é o responsável pelo detalhamento? Quem fez a aprovação? Quando o desenho foi liberado? Essas informações são importantes para a rastreabilidade do documento.

Além das informações exigidas pela norma técnica NBR 10067 (Princípios gerais de representação em desenho técnico), qualquer outra que o projetista julgue importante para a fabricação pode ser inserida no documento. É importante salientar que cada empresa pode também criar suas próprias normas.

O detalhamento foi feito para peças fabricadas nos processos de: usinagem (torneamento e fresagem), soldagem (solda MIG-MAG), corte laser, dobra e pintura (pintura eletrostática). Posteriormente, foi gerado o detalhamento dos conjuntos para auxiliar o processo de montagem do protótipo.

6.4 SETUP DA MÁQUINA

Caso o usuário do protótipo deseje efetuar a troca do molde, alguns setups serão necessários:

- Trocar o chassi do quadro para ajustar as dimensões externas e batentes do novo molde;
- Dimensionar a nova chapa de forma que haja área suficiente tanto para a termoformagem do produto quanto para a fixação;
- Ajustar o conjunto do quadro para que ele possa prender a nova chapa;
- Ajustar a altura do chassi do molde para que na posição avançada do conjunto, o molde esteja na posição correta.

6.5 ELÉTRICA

Após definido o processo da máquina e escolhidos os componentes elétricos, o projeto elétrico foi desenvolvido utilizando o software AutoCAD. Na documentação gerada consta todo o esquemático elétrico da máquina, incluindo os itens de especificações, proteções, segurança, controlador, comandos e sensoriamentos, acionamentos, ligações elétricas com as identificações dos cabos e equipamentos e layout do painel. O projeto elétrico consta no Apêndice B. Os principais itens são descritos na sequência com o intuito de descrever o funcionamento e as definições feitas durante o seu desenvolvimento. A Figura 42 ilustra como ficou a montagem do painel elétrico do protótipo.

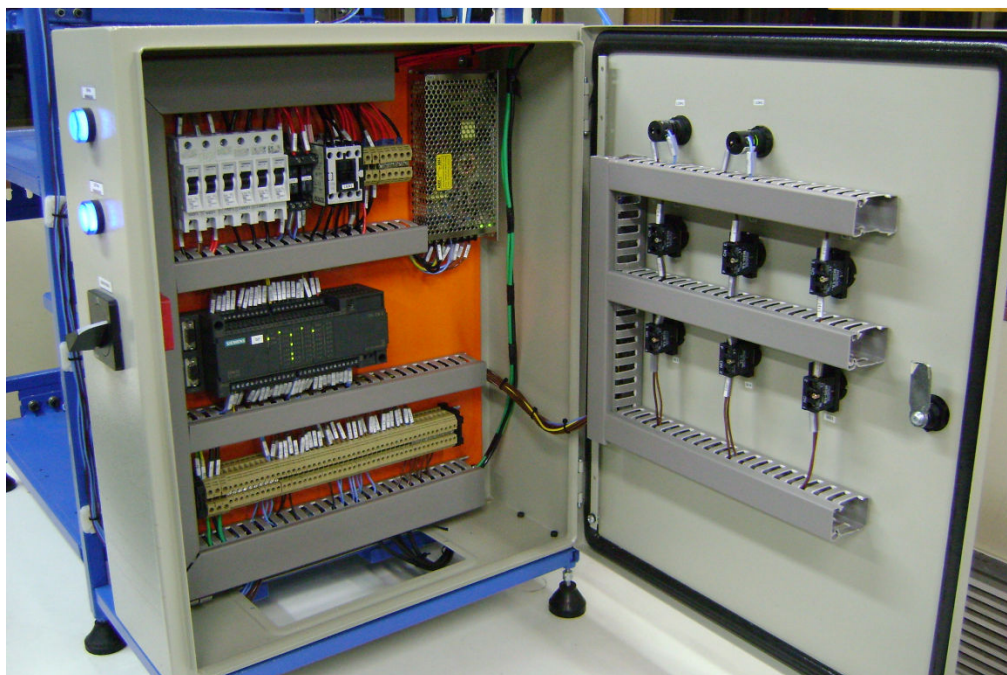


Figura 42 - Painel Elétrico do Protótipo
Fonte: Autoria Própria.

6.5.1 Especificações Elétricas

O passo inicial foi definir a tensão de alimentação da máquina em 127 VCA monofásica. Seria mais adequado tecnicamente utilizar uma alimentação de 220 VCA bifásica para diminuir o consumo de energia, mas por se tratar de um protótipo optou-se por facilitar o acesso a tomadas elétricas convencionais durante os testes. Por isso, todos os equipamentos foram dimensionados para 127 VCA.

Tanto para os equipamentos de sinais e acionamentos, quanto para a alimentação do CLP, foi utilizada uma tensão de 24 VCC provida por uma fonte industrial. A baixa tensão em corrente contínua é utilizada para minimizar riscos de choques elétricos.

Após definida a tensão de trabalho e os equipamentos que seriam utilizados, o próximo passo foi calcular a potência aparente nominal da máquina. Para isso foram identificadas as correntes nominais de cada equipamento e a potência aparente foi calculada com a seguinte fórmula:

$$S = V_e \cdot I_e$$

Onde:

S = Potência aparente em VA

V_e = Tensão de alimentação em V

I_e = Corrente nominal em A

A Tabela 5 mostra correntes e potências nominais de cada componente que foram utilizadas para calcular o consumo total. Essa tabela é utilizada para fins de cálculo de consumo de energia.

Tabela 1 - Potência Nominal dos Equipamentos

Componente	Quantidade	Corrente Unitária (A)	Corrente Nominal (A)	Potência Aparente Nominal (VA)
Fonte de 24 VCC				
Módulo do CLP	1	0,280	0,280	6,720
Entrada do CLP	13	0,007	0,091	2,184
Sinaleiro Vcc	3	0,020	0,060	7,620
Válvula	3	0,150	0,450	10,800
Relé	2	0,150	0,300	7,200
TOTAL DA FONTE			1,181	34,524
Tensão de 127 VCA				
Fonte 24Vcc	1	0,272	0,272	34,524
CLP	1	0,5	0,5	63,5
Sinaleiro Vca	1	0,150	0,150	19,05
Contador	1	0,150	0,150	19,05
Ventilador	2	0,150	0,300	38,1
Resistência	3	7,9	23,7	3000
TOTAL DA MÁQUINA			25,072	3174,224

Fonte: Autoria Própria.

Usando os dados de potência aparente, determinou-se o dimensionamento dos cabos e a proteção da instalação elétrica. Os dados da Tabela 5 não foram utilizados para o dimensionamento dos cabos e proteção, pois para realizar esse cálculo deveria ser considerado que a instalação elétrica poderia utilizar a potência máxima dos equipamentos alimentados em 127 VCA. Deve-se considerar que poderiam ser acrescentados novos equipamentos ou ocorrer alguma anomalia que cause uma sobrecorrente. Para realizar esse cálculo foi utilizada a Tabela 6.

Tabela 2 - Potência Máxima dos Equipamentos

Componente	Quantidade	Corrente Unitária (A)	Corrente Máxima (A)	Potência Aparente Máxima (VA)
Tensão de 127 VCA				
Fonte 24Vcc	1	4	4	508
CLP	1	0,5	0,5	63,5
Sinaleiro Vca	1	0,150	0,150	19,05
Contador	1	0,150	0,150	19,05
Ventilador	2	0,150	0,300	40
Resistência	3	7,9	23,7	3000
TOTAL DA MÁQUINA			31,372	3649,6

Fonte: Autoria Própria.

6.5.2 Proteções de Equipamentos

Para ligar e desligar toda a alimentação do painel foi utilizada uma chave geral (Figura 27). Para a proteção contra curto-circuito e sobrecargas elétricas foram utilizados disjuntores conforme a Tabela 7.

Tabela 3 - Disjuntores de Proteção

Descrição	Identificação	Tensão (V)	Corrente de Proteção (A)
Alimentação do Tabela Distribuidor	-	127 CA	40
Alimentação Fonte 24Vcc	50QF1	127 CA	4
Alimentação de 24Vcc	50QF2	24 CC	6
Alimentação CLP e Relés de Comando	70QF1	127 CA	6
Alimentação Resistência 130R1	130QF1	127 CA	10
Alimentação Resistência 130R2	130QF2	127 CA	10
Alimentação Resistência 130R3	130QF3	127 CA	10

Fonte: Autoria Própria.

6.5.3 Segurança

A segurança elétrica da máquina foi implementada por um botão de emergência do tipo cogumelo com trava, pois quando pressionado ele mantém a posição de acionamento. Nesse botão de emergência é utilizado um contato elétrico normalmente fechado, ou seja, quando o botão não estiver acionado o contato está

fechado conduzindo corrente. Quando o contato estiver fechado, a emergência não está acionada. O circuito elétrico é aberto caso o botão seja acionado ou se o cabo for rompido, assim, acionando a emergência. Uma das extremidades do contato é interligada com a linha de 24 VCC da fonte e a outra cria uma linha de emergência que é monitorada pelo CLP. A linha de emergência também alimenta um dos seus módulos de saída, pois mesmo que o CLP acione logicamente uma porta de saída digital, ela não será acionada eletricamente devido à falta da alimentação de 24 VCC quando a emergência estiver acionada. Sempre que a máquina for desligada e ligada eletricamente, a emergência terá que ser rearmada, esse processo é realizado pelo CLP.

O rearme é comandado pelo botão branco de reset do painel elétrico e sinalizado pelo acionamento contínuo do sinaleiro vermelho, que quando piscando indica uma falha ou alarme conforme item 6.2.4. A lógica do CLP também garante que ao acionar o botão de emergência, o sistema mantém o último estado de posicionamento da máquina.

6.5.4 Acionamentos

Foram utilizados sinaleiros indicando os diferentes estados da máquina para realizar a interface entre os acionamentos e o operador. As movimentações são realizadas por cilindros pneumáticos acionados pela comutação das válvulas. A comutação ocorre ao se acionar solenoides que geram campos magnéticos em bobinas, resultando em uma força que faz a movimentação mecânica na válvula. Em função do conceito adotado no projeto mecânico, não foi necessária a utilização de motores para a realização dos movimentos.

O aquecimento do forno é realizado por três resistências que são acionadas por um contator com três contatos. Nesse caso, as resistências e a bobina de acionamento do contator são de 127 VCA, mas o sinal de acionamento do CLP é de 24VCC. Poderia ter sido utilizado um contator com acionamento em 24 VCC, mas o custo desse contator seria maior do que o do modelo adotado. A solução para

compatibilizar o contator e o CLP foi incluir um relé auxiliar, acionado pelo CLP com 24 VCC, que realiza a comutação do contator em 127 VCA.

Para o sistema de resfriamento foi necessário utilizar dois ventiladores elétricos acionados pelo CLP usando um relé auxiliar. Os ventiladores utilizados são os normalmente encontrados para realizar o resfriamento de painéis elétricos.

6.5.5 Sensores

Os movimentos do protótipo são monitorados por sensores de fim de curso (Figura 43), que verificam se os cilindros estão avançados e recuados. Normalmente em máquinas industriais são utilizados sensores magnéticos fixados diretamente nos cilindros ou sensores indutivos fixados em pontos que detectem a movimentação do conjunto mecânico, mas considerando que a máquina é um protótipo, foram utilizados sensores fim de curso para diminuir o custo do projeto.

A máquina também monitora o contator que aciona as resistências de aquecimento do forno. Esse monitoramento é feito com o objetivo de verificar se o relé, responsável por acionar o contator, está operando corretamente.

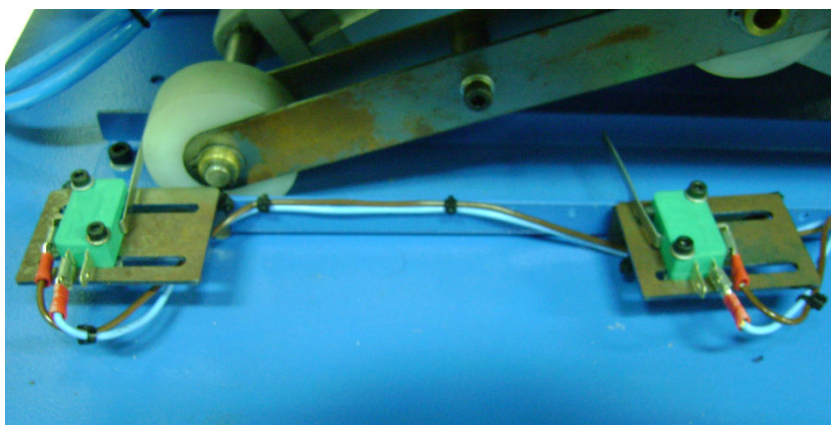


Figura 43 - Ilustração de Sensores
Fonte: Autoria Própria.

6.6 AUTOMAÇÃO

Para implementar a automação do protótipo da termoformadora a vácuo foi utilizado um Controlador Lógico Programável (CLP), que controla e monitora o processo. Os itens seguintes descrevem a metodologia utilizada durante o desenvolvimento do programa do CLP.

6.6.1 Base de Pontos

A base de pontos é um documento que lista todas as entradas e saídas do projeto elétrico, o que define os endereços no CLP. Na base de pontos também constam os sinais de alarme e os estados da máquina. O documento consta no Apêndice C.

6.6.2 Diagrama Lógico

O diagrama lógico consiste de um documento que representa a lógica que o controlador realiza, mostrando de uma forma visual quando e quais condições são necessárias para que os acionamentos sejam realizados. Foi utilizado o *Grafset* ou fluxograma da máquina (Figura 28).

6.6.3 Controlador

O CLP utilizado no projeto é o Simatic S7-200 da Siemens com uma CPU 216-2 (Figura 44). Esse modelo suporta até 24 entradas digitais, que recebem os comandos elétricos e sinais de sensoriamento, e 16 saídas digitais, que enviam

sinais para os acionamentos elétricos e pneumáticos. Esse CLP é programado através do software Step7 MicroWin da Siemens que possibilita o uso da linguagem de programação *Ladder*. O controlador possui três modos de operação:

- Modo de Execução (*Run*);
- Modo de Parada (*Stop*);
- Modo de Programação (*Term*).



Figura 44 - CLP Siemens S7-200 CPU 216-2
Fonte: Aatoria Própria.

Os modos de operação do CLP podem ser selecionados por meio do software Step7 ou por uma chave manual no próprio equipamento. Para fins de padronização o programa foi dividido em sete partes:

- Entradas;
- Alarmes;
- Saídas;
- Estados;
- Ciclo;
- Acionamentos;
- Reseta.

Cada parte representa uma subrotina ou função. As funções são constantemente chamadas no bloco *Main* do CLP. Para todo novo programa, o bloco *Main* deve ser criado, não podendo ser apagado. Ele representa o local onde o CLP irá realizar o processamento do programa de uma forma cíclica, ou seja, cada linha ou *network* de programação será executada na ordem em que aparece no *Main*.

A execução da lógica dentro da *network* é realizada da esquerda para a direita para o CLP da Siemens. A Figura 45 representa a chamada da função de Alarmes realizada na memória SM0.0 (*Always_On*) que fica acionada enquanto o controlador estiver em modo de execução.

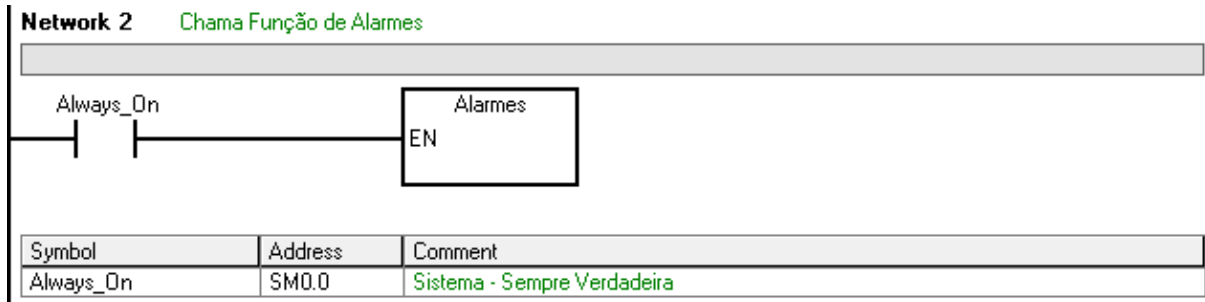


Figura 45 - Chamada de uma Subrotina
Fonte: Autoria Própria.

As funções de entrada e saída servem para estabelecer a correspondência entre os endereços físicos e as variáveis utilizadas na lógica do programa. Usualmente essa correspondência é feita para que se possa usar o sinal em diferentes partes do programa. Além disso, caso seja alterada uma entrada ou saída digital é necessário somente alterar a correspondência entre o endereço físico e a variável, não sendo necessário alterar os demais acessos (estradas e saídas).

O endereço físico possui uma descrição com a identificação do componente elétrico a ele associado, facilitando sua localização caso venha ocorrer uma manutenção na máquina. Segue-se a essa descrição, o nome da variável com a descrição da funcionalidade do mesmo (Figura 46).



Figura 46 - Entrada de um Sinal de Sensor
Fonte: Autoria Própria.

A função de Alarmes possui a lógica de falhas da máquina conforme demonstrado na Tabela 3 – Falhas da Máquina. A subrotina de Estados contém as condições de operação da máquina, ou seja, se ela está com a emergência acionada, em modo de operação automático ou manual e em posição inicial. Já a função Reseta faz com que a máquina vá para a posição inicial.

A lógica do ciclo automático segue uma sequência de passos. Cada passo representa um estado da máquina e suas transições. Assim, dependendo das entradas, a lógica faz a transição para o próximo passo ou estado. Para que isso efetivamente ocorra devem existir duas partes no programa: o ciclo e os acionamentos. Na primeira parte se encontram os passos e a transição para acioná-los. Na Figura 47 pode-se observar que para acionar o Passo 30, responsável por realizar o retorno do forno e avanço do molde, é necessário que o temporizador de aquecimento e o Passo 20 já tenham sido acionados. As linhas de programação sempre possuem a lógica para os comandos automático e manual.

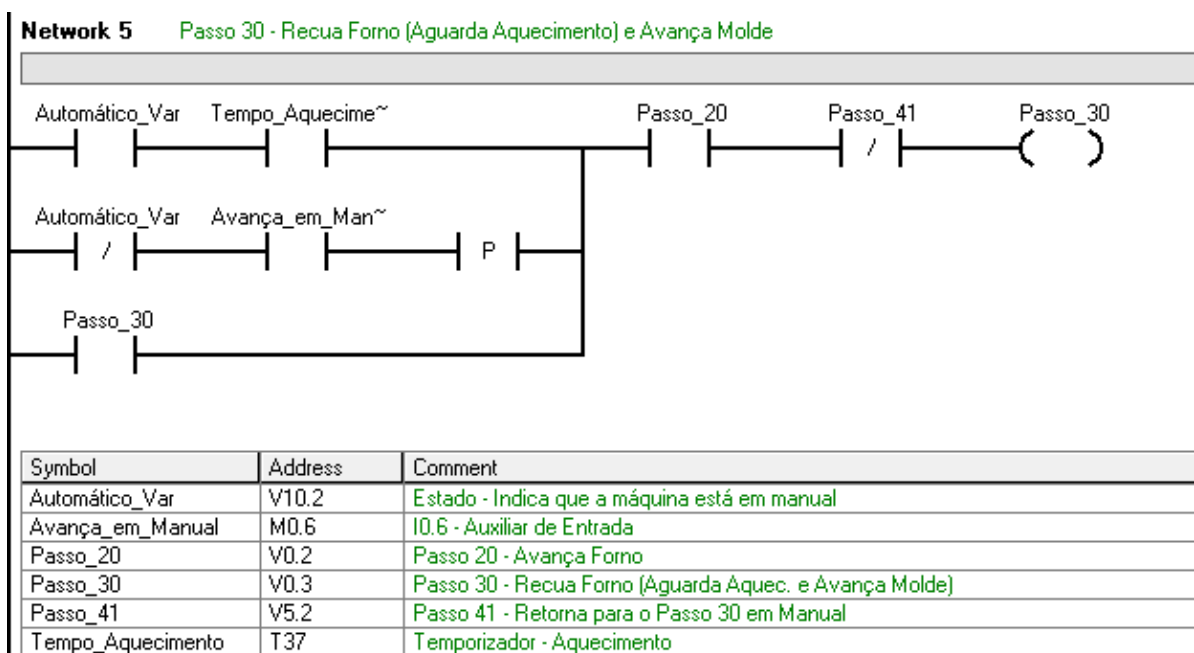


Figura 47 - Lógica de Passos
Fonte: Autoria Própria.

A Figura 48 representa a lógica de acionamento que faz o forno recuar em função do reset do sinal que ocorre ao se acionar o Passo 30, pois ao comandar o reset o sinal que estava fazendo a válvula comutar para o avanço é retirado.



Figura 48 - Lógica de Acionamento
Fonte: Autoria Própria.

6.6.4 Supervisório

Durante o desenvolvimento do projeto foi constatado que a elaboração de um sistema supervisório não era necessária para o tipo de aplicação da máquina, pois a interface com o operador foi simplificada por sinalizações e botões.

O supervisório serviria basicamente para alterar o tempo de aquecimento, a temperatura do forno e a visualização das falhas. Sendo assim, o custo não justificaria a implementação do supervisório para uma máquina desse porte.

6.6.5 Pré-Teste

Essa etapa foi realizada antes da integração com a parte mecânica. O intuito era testar a lógica de programação integrada com os componentes elétricos. Nessa etapa foram realizadas adaptações e correções na lógica do CLP, evitando possíveis danos ao integrar-se o protótipo.

6.7 FABRICAÇÃO E MONTAGEM

Após o término do detalhamento do projeto mecânico, iniciou-se o processo de cotação das peças. Em uma empresa, essa etapa seria executada por um comprador, pois ele possui contato com os fornecedores, entende a rotina administrativa da empresa, possui habilidade para negociar os valores e prazos de entrega, entre outras habilidades necessárias para a função. Como nenhum dos integrantes da equipe havia trabalhado com isso até o presente momento, foi necessário desenvolver essa competência.

Foi feita uma listagem de todas as peças que precisariam ser fabricadas, especificando-se: nome, número (para auxiliar na identificação das peças), utilização, material, processo de fabricação e matéria prima (Apêndice D). Em seguida, as peças foram ordenadas por processo de fabricação, contendo as informações das peças usinadas (torno e fresadora) e corte laser e dobra (chapararia). Juntamente com esses arquivos, foram anexados os detalhamentos. Esse pacote de informação foi enviado para três fornecedores distintos de cada processo de fabricação, em um total de seis fornecedores. O custo e prazo de entrega foram analisados, embora, os fornecedores estivessem praticando preços e prazos de entrega muito semelhantes.

Buscando a redução de custos, foi proposto para as mesmas empresas, se haveria interesse em auxiliar o projeto de alguma maneira, seja com uma cotação abaixo do valor praticado normalmente, ou até mesmo com o patrocínio total do projeto. Em troca disso, a equipe comprometeu-se a demonstrar o projeto na feira de cursos e divulgar os nomes das empresas parceiras. Após o detalhamento das peças soldadas, a especificação da pintura eletrostática e do molde, buscou-se atingir a redução de custos ofertando os mesmos atrativos. Porém, não foi necessário negociar com mais de um fornecedor, pois as três empresas que receberam a primeira oferta aceitaram-na. Nesse período de negociação foram encontradas as seguintes empresas parceiras:

- Dugale Metalúrgica, localizada na Cidade Industrial de Curitiba, possui máquina de corte laser, dobradeiras, puncionadeiras entre outras máquinas utilizadas no setor de metalurgia. A empresa contribuiu com uma cotação com valor reduzido, que é o mesmo ofertado para

empresas fabricantes de máquinas que possuem alto volume de compra;

- Usinik – usinagem industrial, localizada em Piraquara, possui uma linha de produção completa para produtos usinados, como: torno e fresadora convencional e CNC, serra fita, furadeira de bancada e de coluna, entre outras máquinas utilizadas no processo de usinagem. A empresa contribui com o custo integral das peças cuja matéria prima constava de seu estoque, cobrando apenas o custo da matéria prima ausente do estoque;
- Fabro Serralheria, localizada em São José dos Pinhais, possui equipamento de solda com eletrodo revestido, MIG, MAG e TIG. A empresa cobrou somente o custo da matéria prima. A mão de obra, utilização da estrutura e recursos da empresa foi fornecida gratuitamente como forma de auxílio ao desenvolvimento do projeto;
- New Pó – pintura eletrostática, localizada no bairro Boqueirão de Curitiba, possui uma linha de produção para pintura eletrostática dos mais diversos tamanhos e formatos, podendo o cliente escolher a cor e o acabamento, liso ou texturizado. A empresa contribui com a redução de 50% do valor praticado normalmente;
- MLM – Comércio e Produção de Artefatos Plásticos Reforçados, localizada na cidade de São José dos Pinhais, conta com mão de obra qualificada para a fabricação de moldes de *vacuum forming*, RTM, *spray-up* e outros processos da indústria de transformação de termoplásticos e termofixos. Além disso, conta com um centro de usinagem CNC, onde são fabricados os modelos dos moldes de seus clientes. A empresa contribui com o patrocínio total da mão de obra utilizada, sendo dois dias de trabalho, sem auxílio dos integrantes da equipe. Além do uso dos equipamentos e estrutura disponível na empresa. Somente foi cobrado o custo da matéria prima utilizada no molde.

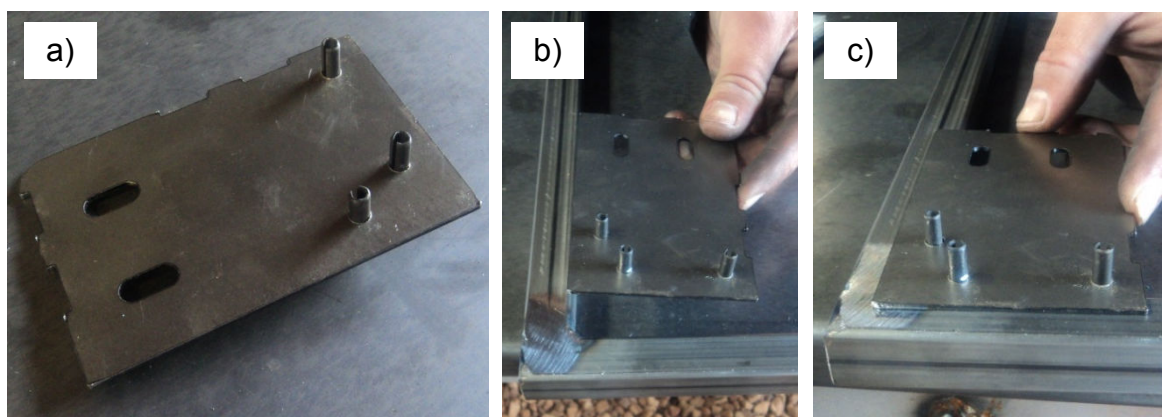
O processo de soldagem foi utilizado em todos os conjuntos do protótipo e foi realizado na empresa “Fabro Serralheria”, durante três finais de semana, sábados

e domingos das 9:00 as 17:00 horas, com uma hora de almoço, totalizando 42 horas de trabalho. Houve a participação de um integrante da equipe, em período integral.

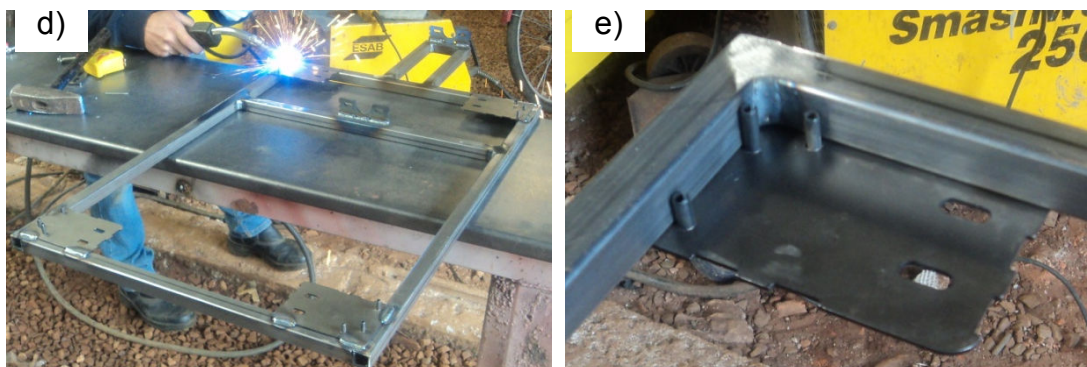
Durante o desenvolvimento do projeto mecânico, buscou-se facilitar e garantir a posição das soldas, levando-se em consideração que a tolerância nominal alcançada pelo processo é maior do que a exigida pelo projeto. Para o completo travamento de uma peça soldada em sua posição de trabalho, foi necessário que seus movimentos estivessem restritos em todos os sentidos. Por isso foram utilizados pinos elástico, encostos e grampos.

Para definir um plano, utilizou-se três pinos, sendo que dois são colineares e um é perpendicular a eles. Dessa maneira a peça ainda possui um grau de liberdade, que foi eliminado pelo uso do apoio (encosto) em uma peça, garantindo o travamento em X, Y e Z.

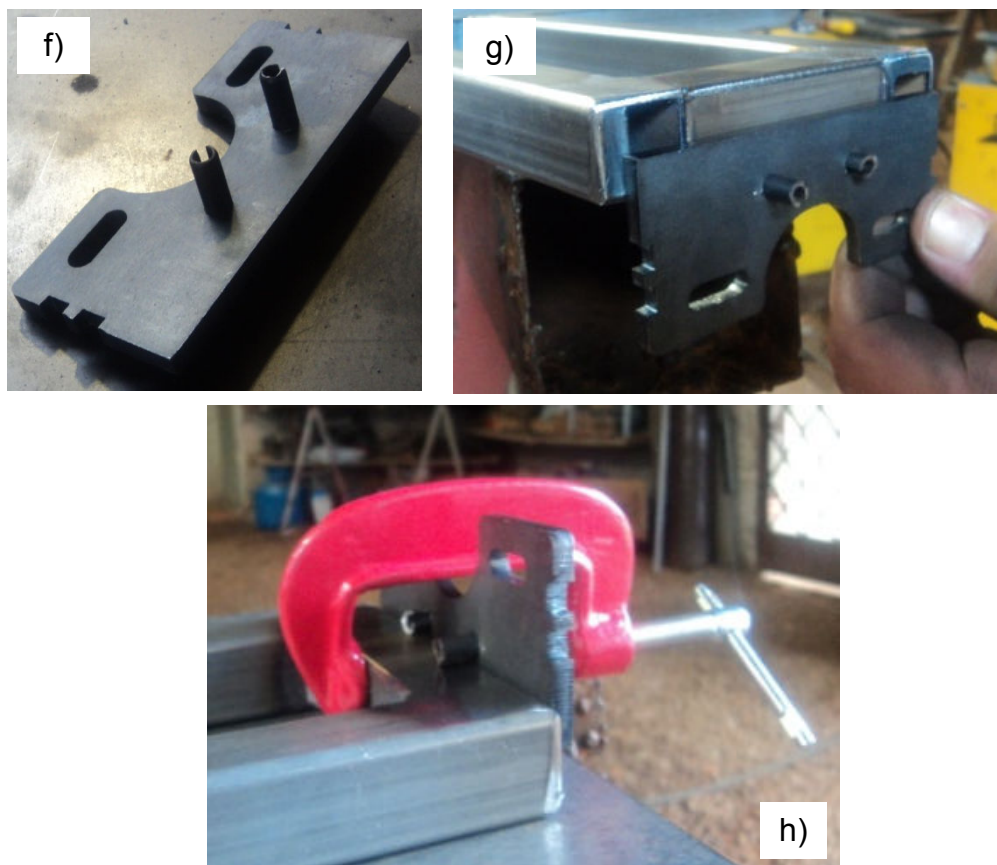
Ainda assim, durante o processo de soldagem a peça poderia sair de posição devido às altas temperaturas do processo que fazem com que o material dilate e saia da posição que deveria estar. Para amenizar esse efeito, em alguns casos foram acrescentados grampos de fixação (Figura 49).



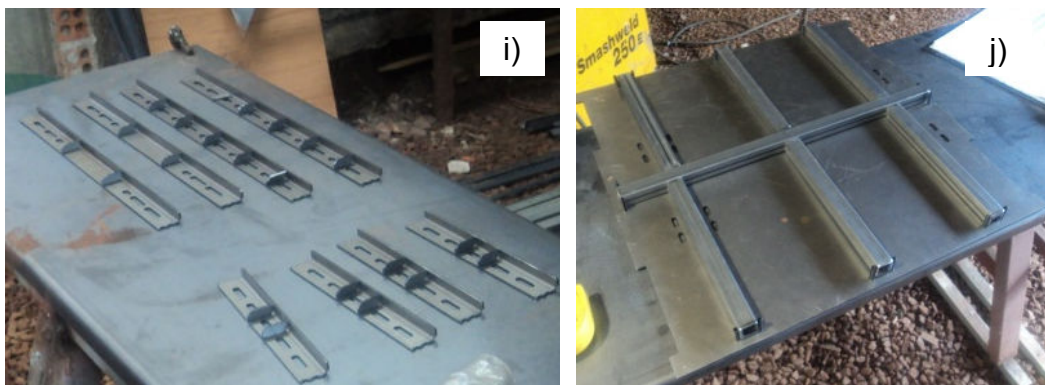
- a) Flange de fixação do conjunto forno, com pinos elástico;
- b) Travamento em um sentido, através do apoio do pino elástico em uma face lateral do metalon;
- c) Formação de um plano, através do apoio de dois pinos elástico, e o encosto na face superior do metalon completando o travamento, e eliminando os graus de liberdade da peça;



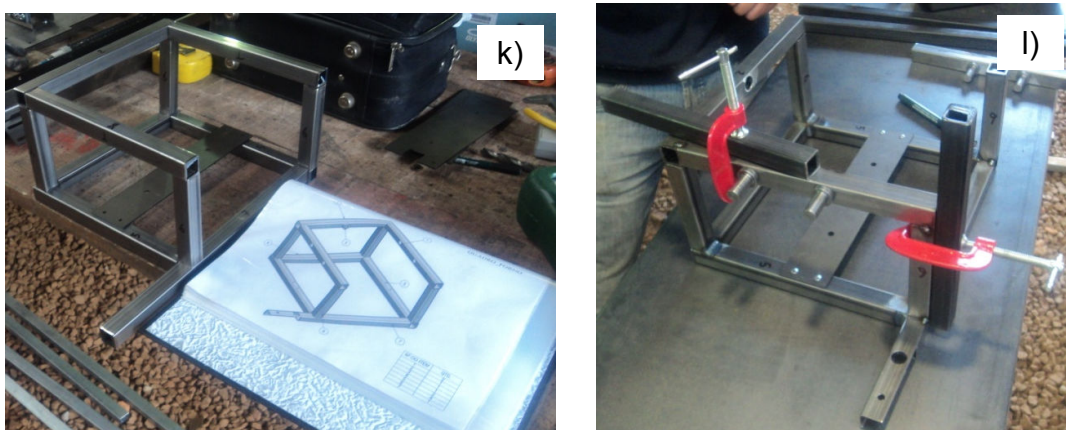
- d) Soldagem da flange no conjunto chassi do forno;
 e) Após a soldagem, a peça permanece na mesma posição que foi posicionada;



- f) Flange de fixação do cilindro do forno, com pinos elástico;
 g) Posicionamento da flange, restringindo 2 graus de liberdade;
 h) Travamento completo com grampo de fixação;



- i) Peças do conjunto quadro, antes da soldagem. Reforços posicionados com a própria geometria da peça.
- j) Reforço do conjunto chassi do quadro, posicionado com pinos elástico.



- k) Detalhamento auxiliando a soldagem do conjunto forno;
- l) Grampos de fixação auxiliando o posicionamento das peças.

Figura 49 – Processo de Soldagem

Fonte: Autoria Própria.

Simultaneamente à soldagem, ocorria o processo de usinagem das peças e fabricação do molde. Após o término desses processos, iniciou-se a primeira etapa da montagem do protótipo, na qual foi realizada uma montagem sem caráter funcional, cujo objetivo era verificar se todas as peças estavam soldadas em suas posições corretas e se não faltava alguma. Essa etapa foi realizada na residência de um dos integrantes da equipe.

Não foram encontrados erros, o protótipo foi desmontado e enviado para a empresa responsável pela pintura. Para encobrir as imperfeições dos processos de fabricação envolvidos, foi escolhida a pintura com acabamento texturizado. A cor

azul foi escolhida para reduzir o prazo de entrega, pois ela estava sendo usada na linha de produção da empresa patrocinadora no período.

A segunda etapa da montagem iniciou-se nas dependências da UTFPR, na sala A-007. Todos os conjuntos foram montados novamente, as válvulas pneumáticas foram fixadas, o painel elétrico foi inserido na estrutura e o roteamento dos tubos e fiação foi feito.

6.8 TESTES E AJUSTES

Nas empresas, os testes são conhecidos como *try-out* ou testes de aceitação. Eles são realizados após a finalização da montagem da máquina e tem como objetivo alinhar a máquina por meio das regulagens na estrutura e do posicionamento dos conjuntos na posição de trabalho, que podem variar conforme o molde do produto que será termoformado e o dimensional da chapa.

Em seguida foi testado o acionamento dos cilindros e foi ajustada a velocidade do seu acionamento por meio das válvulas reguladoras de fluxo. Antes de realizar o ciclo da máquina em automático foram testados todos os sinais de sensores, comandos e acionamentos monitorados via software para garantir que a ligação elétrica e a programação estivessem corretas.

Após o correto funcionamento do ciclo da máquina, iniciou-se o processo de regulagem do tempo de aquecimento para as diferentes espessuras de chapa, assim concluindo a etapa de testes e ajustes.

6.9 CRONOGRAMA

O cronograma foi elaborado conforme a disponibilidade dos integrantes da equipe, visando à melhor divisão de tarefas baseada na facilidade de cada integrante no desenvolvimento das tarefas envolvidas. Os integrantes foram

responsáveis por elaborar a documentação envolvendo sua área de conhecimento e integrá-las no contexto do documento.

Como se pode perceber no cronograma (Figura 50 e 51), após a finalização do desenvolvimento do projeto mecânico, iniciaram-se duas atividades paralelas para o mesmo integrante. Isso só foi possível, pois a atividade de fabricação foi terceirizada parcialmente e somente um *follow-up* foi necessário.

Após a conclusão da fabricação mecânica, foi necessário integrar o protótipo à parte eletrônica. Este período de teste e integração foi previsto na etapa de testes e ajustes. Após todos os testes e ajustes terem sido realizados, iniciou-se a documentação do trabalho. A última etapa do projeto é a defesa, para a qual foram reservados dois meses, pois está incluso o tempo de correção da documentação, agendamento da defesa e uma possível reavaliação. Pretendia-se que ao final do mês de novembro do ano de 2011 os integrantes da equipe conseguissem a aprovação na disciplina de Trabalho de conclusão de curso. No entanto, esse cronograma inicial não foi seguido, acumulando um atraso de sete meses. Os principais causadores desse atraso foram:

- Atraso no desenvolvimento do projeto;
- *Lead-time* alto nos processos de fabricação mecânica;
- Dificuldades encontradas no *try-out*;
- Motivos de ordem pessoal;
- Engajamento dos integrantes em outro curso superior.

	Nome da tarefa	Início	Término	Nomes dos recursos
1	☐ Termoformadora a vácuo	Sex 01/07/11	Qua 30/11/11	
2	☐ Desenvolvimento do Projeto	Sex 01/07/11	Ter 30/08/11	
3	☑ Desenvolvimento do Projeto Mecânico	Sex 01/07/11	Seg 01/08/11	Juliano
4	☑ Desenvolvimento do Projeto Elétrico	Sex 01/07/11	Seg 01/08/11	Gabriel
5	☐ Desenvolvimento do Projeto de Automação	Ter 02/08/11	Ter 30/08/11	
6	☑ Desenvolvimento do Projeto Pneumático	Ter 02/08/11	Ter 30/08/11	Juliano
7	☑ Desenvolvimento do Projeto de Controle e Supervisão	Ter 02/08/11	Ter 30/08/11	Gabriel
8	☑ Fabricação e Montagem	Ter 02/08/11	Ter 30/08/11	Juliano
9	☑ Testes e ajustes	Qua 31/08/11	Qui 15/09/11	Gabriel;Juliano
10	☑ Documentação	Sex 16/09/11	Seg 31/10/11	Gabriel;Juliano
11	☑ Defesa	Ter 01/11/11	Qua 30/11/11	Gabriel;Juliano

Figura 50 - Planejamento do Cronograma
Fonte: Autoria Própria.

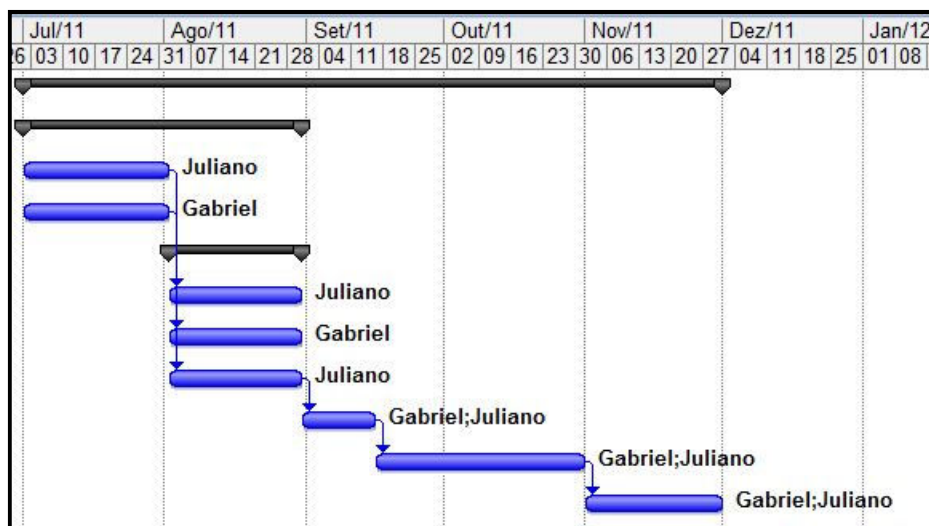


Figura 51 - Gráfico do Cronograma
Fonte: Autoria Própria.

6.10 ORÇAMENTO

O planejamento financeiro do projeto foi iniciado com uma meta. A meta para todos os gastos com os insumos envolvidos foi de R\$ 2.475,00, sendo dividido igualmente entre os dois integrantes. A partir desta meta foram feitos orçamentos em diversos fornecedores (Tabela 4).

Os custos gerais com a mecânica foram previstos em R\$ 1.600,00 e com a elétrica em R\$ 500,00. A automação não teve custo com materiais, somente com a aquisição de um conversor serial no valor de R\$ 30,00 para o cabo de comunicação do CLP. Esses valores representam estimativas dos gastos reais, que foram utilizados para prever qual seria o custo total do projeto. Alguns equipamentos, como o CLP e fonte de alimentação são de propriedade dos integrantes. Foi previsto que alguns itens não inclusos nesta relação poderiam ser necessários ao projeto e esse custo seria absorvido pela diferença entre a meta de gastos e o orçamento atual. Todo o esforço possível foi feito para não se ultrapasse a meta de gastos, incluindo a obtenção de patrocínio.

Os gastos reais ficaram R\$ 544,00 acima do previsto. Esse custo adicional se deu ao fato de ocorrerem alterações durante o desenvolvimento do protótipo. Além dos custos de matéria-prima para o desenvolvimento da máquina, devem ser

atribuídos valores de materiais que foram adquiridos através de patrocinadores e o custo de mão de obra para projetar e montar a mesma (Tabela 5).

Tabela 4 - Custos de matéria-prima

Custos Orçados	
Grupo	Previsto
Equipamentos, Usinagem e Fabricação Mecânica	R\$ 1.000,00
Equipamentos Pneumáticos	R\$ 600,00
Equipamentos Elétricos	R\$ 500,00
Equipamentos para a Automação	R\$ 150,00
Coeficiente de Segurança	10%
TOTAL	R\$ 2.475,00
Custos Reais	
Componentes Mecânicos	R\$ 1.880,00
Componentes Elétricos	R\$ 1.140,00
TOTAL	R\$ 3.020,00

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 5 - Custos Totais do Protótipo

Mão de Obra			
Grupo	Horas	Valor por Hora	Valor Total
Projeto Mecânico	196	R\$ 80,00	R\$ 15.680,00
Projeto Elétrico	74	R\$ 80,00	R\$ 5.920,00
Projeto da Automação	92	R\$ 80,00	R\$ 7.360,00
Fabricação e Montagem	120	R\$ 50,00	R\$ 6.000,00
Testes e Ajustes	30	R\$ 50,00	R\$ 1.500,00
Subtotal de Mão de Obra			R\$ 36.460,00
Matéria-prima Patrocinada			
Item	Valor Total		
Controlador Lógico Programável	R\$ 2.000,00		
Fonte de Alimentação 24 VCC	R\$ 250,00		
Usinagem	R\$ 400,00		
Corte a laser e dobra	R\$ 350,00		
Molde da Peça	R\$ 600,00		
Soldas	R\$ 1.400,00		
Pintura	R\$ 350,00		
Patrocínios			R\$ 5.300,00
Matéria-prima sem patrocínio			R\$ 3.020,00
Subtotal de Matéria-Prima			R\$ 8.320,00
TOTAL			R\$ 44.780,00

Fonte: Autoria Própria.

6.11 EXECUTORES

Os integrantes da equipe no desenvolvimento deste projeto foram: Gabriel Villela Serta, responsável pelo projeto elétrico e pela automação do sistema, e Juliano dos Santos Rocha, responsável pelo projeto mecânico, pneumático e montagem do protótipo. Dentro das grandes áreas do projeto os integrantes da equipe desenvolveram, conhecimento considerável e experiência profissional na área. Nas reuniões quinzenais as tarefas realizadas foram discutidas, definidas e distribuídas. Essa distribuição foi proporcional ao tempo disponível de cada membro e de acordo com o acesso a equipamentos e suprimentos necessários para a realização da tarefa proposta.

7 RESULTADOS

O protótipo (Figura 52) pode operar com tipos de materiais plásticos e espessuras diferentes, conforme as especificações citadas na Tabela 1. Quando ocorre a mudança de material é necessário configurar o tempo de aquecimento. Para efeito de teste do protótipo, a carcaça de um veículo em miniatura foi definida como produto final. Foram utilizadas de chapas do tipo PET com uma espessura de 0,3 mm. Foram produzidos vários exemplares de carcaça para verificar se o molde (Figura 53) atenderia os dimensionais desejados. Os resultados foram positivos, a chapa plástica, quando na temperatura ideal, mostrou ter uma moldagem eficiente quanto aos dimensionais e curvaturas que o molde possui.

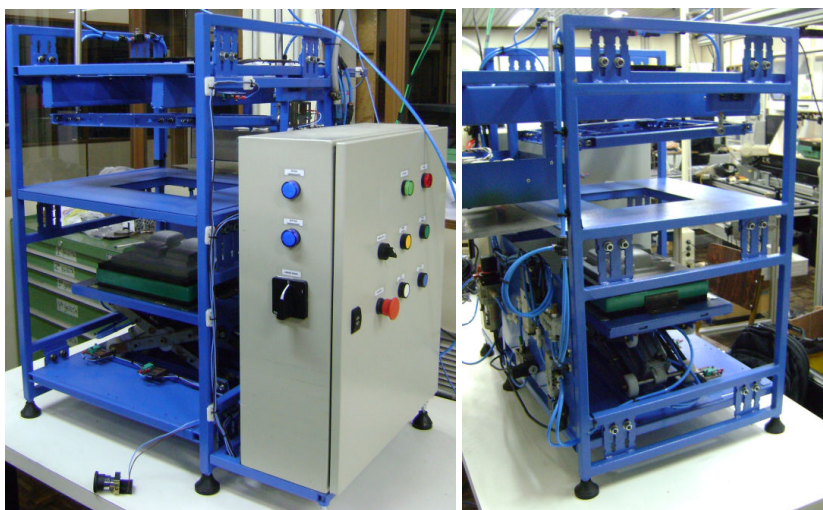


Figura 52 - Protótipo Montado
Fonte: Autoria Própria.

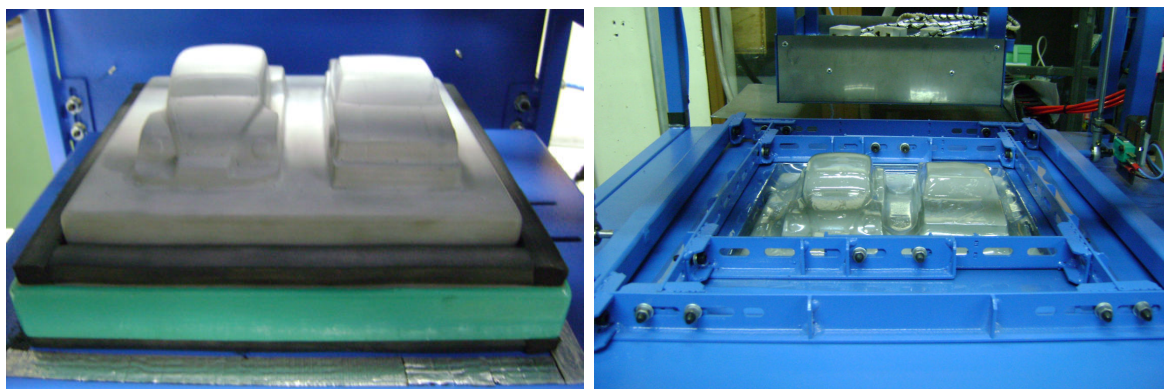


Figura 53 - Molde do Produto
Fonte: Autoria Própria.

Com o aquecimento da chapa, ocorre a formação de uma bolha (Figura 54). A ocorrência do estiramento do plástico era prevista e a sua formação é influenciada pelo tempo de aquecimento para cada tipo de material.

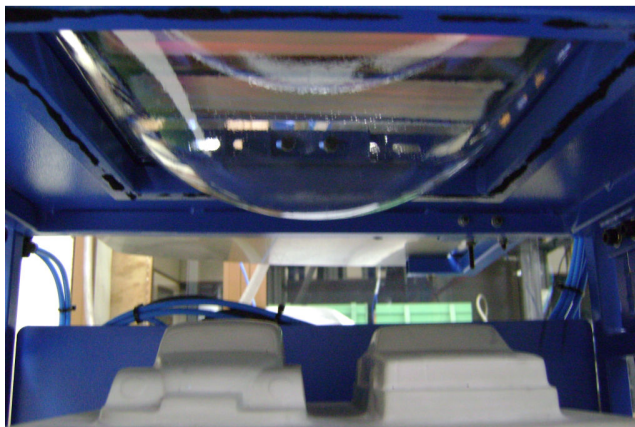


Figura 54 - Aquecimento da Chapa
Fonte: Autorial Própria.

O aquecimento tem forte influência na qualidade do produto final. Nos testes foi observado que a chapa não pode ser superaquecida e nem subaquecida. Quando o aquecimento ultrapassar o ponto ideal a chapa não assenta de uma forma correta no molde devido ao tamanho excessivo da bolha, fazendo com que o produto fique com as marcas dessa bolha. Além disso, o produto não fica com a espessura de material desejada (Figura 55).



Figura 55 - Produto Superaquecido
Fonte: Autorial Própria.

Quando o produto não chega ao ponto ideal de temperatura, a chapa não é totalmente moldada, ou seja, os dimensionais e formato do produto desejado não são atendidos devido o material ainda estar endurecido (Figura 56).



Figura 56 - Produto Subaquecido
Fonte: Autoria Própria.

O tempo de aquecimento ideal para a chapa especificada anteriormente é de nove segundos. Após o processo de termoformagem o produto deve passar por um acabamento, ou seja, é necessário realizar o recorte do material não desejado e a pintura por dentro da peça. A Figura 57 demonstra o produto final.



Figura 57 - Produto Final com Acabamento
Fonte: Autoria Própria.

O tempo para a produção de duas peças é de cerca de 60 s. Se o operador realizar o processo de acabamento durante o ciclo da máquina, esse processo não acarretará em uma perda de tempo de produção. Outro processo que deve ser incluído é o empacotamento do produto. Após essa definição foram feitos cálculos para simular os custos e lucros sobre esse produto (Figura 58). Pelos cálculos, pode-se observar que uma das dificuldades seria conseguir vender quinhentas e quarenta peças por mês.

Matéria-Prima Direta									
Descrição dos Itens	Quantidade	Unidade	ICMS	Preço com ICMS	Preço sem ICMS	Perdas	Preço Total	Quantidade	Preço produto
Chapa Plástica PET (620x1200x0,3 mm)	12	chapa	15%	R\$ 3,00	R\$ 2,55	5%	R\$ 2,68	0,083333333	0,22
Sacola Plástica BR 25 X 35	100	unitário	15%	R\$ 17,00	R\$ 14,45	10%	R\$ 15,90	0,01	0,16
Etiqueta	500	unitário	15%	R\$ 20,50	R\$ 17,43	10%	R\$ 19,17	0,002	0,04
Cartela para Embalagem	100	unitário	15%	R\$ 100,00	R\$ 85,00	10%	R\$ 93,50	0,01	0,94
Grampos	5000	unitário	15%	R\$ 3,60	R\$ 3,06	30%	R\$ 3,98	0,0002	0,00
Preço Total por Produto									R\$ 1,36
Mão-de-Obra Direta									
Jornada de Trabalho						Apontamento de Horas			
Processos de Fabricação	Dias	Jornada Dia	Funcionários	Faltas	Horas no Dia	Horas no Mês	Peça / Hora	Eficiência	Peças
Termoformagem e Acabamento	22	5,5	1	10%	4,95	108,9	120	60%	546
Embalagem		2	1	10%	1,8	39,6	360	70%	540
Hora Total por Mês						148,5	Total de Peças por Mês		540
Salários e Encargos						Custos			
Setores	Horas\mês	Salário\hora	Subtotal	Encargos (113%)		Total	Custo/Hora	Produtivo	Improdutivo
Termoformagem e Acabamento	108,9	7,00	762,30	861,40		R\$ 1.623,70	14,91	R\$ 974,22	R\$ 649,48
Embalagem	39,6	7,00	277,20	313,24		R\$ 590,44	14,91	R\$ 413,31	R\$ 177,13
Custo total de Mão-de-Obra Direta						R\$ 2.214,14	Custo Improdutivo		R\$ 826,61
Custos Indiretos									
Custos Rateados									
Aluguel	R\$ 500,00								
Energia Elétrica	R\$ 350,00								
Telefone/Internet	R\$ 150,00								
Depreciação (Vida útil de 10 anos)	R\$ 40,00								
Gastos Gerais	R\$ 0,00								
Custo Improdutivo	R\$ 826,61								
Despesas Totais R\$ 1.866,61									
Gastos da Empresa									
Descrição dos Gastos	Gastos	Gasto por peça	IPI (12%)	ICMS (15%)	Valor de Venda	Lucro (%)	Lucro		
Despesas	1.866,61	R\$ 8,91	1,07	1,34	R\$ 12,50	18%	R\$ 2,25		
Custo do Produto	2.946,49								
Gastos Totais no mês		Faturamento no Mês		R\$ 6.750,00		Lucro		R\$ 1.214,94	

Figura 58 - Simulação dos Custos e Lucros
Fonte: Autoria Própria.

8 COMENTÁRIOS FINAIS

Pelo estudo de casos de processos de termoformagem em fábricas de artefatos plástico de Curitiba pôde-se observar a necessidade de automatizar esse processo com o intuito de aumentar a eficiência da produção, flexibilidade e qualidade de produtos, segurança e ergonomia para o operador.

Para atingir uma eficiência de produção melhor do que o processo manual, a máquina deve realizar um ciclo automático no qual o operador precise somente inserir a chapa plástica na máquina, enviar um comando para realizar o processo e retirar o produto final. O tempo de ciclo de acionamento e parametrizações automáticas é menor quando comparado a de um processo manual, além disso, há um ganho de tempo, pois enquanto a máquina está processando o produto, o operador pode realizar alguma outra tarefa em paralelo, como por exemplo, inspecionar a peça ou realizar seu acabamento. Para viabilizar o ciclo automático foi necessário utilizar métodos de controle via CLP, realizar o estudo dos fenômenos de aquecimento e definir os parâmetros de tempo e de temperatura do processo.

Foi realizada uma pesquisa sobre os diferentes processos de termoformagem a vácuo, pois cada tipo de produto possui características que influenciam a escolha do processo. Para o tipo de produto escolhido, o processo deveria ter as seguintes características:

- A alimentação feita por chapas plásticas e não por bobinas, visando futuramente processar chapas mais espessas;
- O molde positivo para permitir que o produto tenha diversos contornos garantindo a qualidade de termoformagem do mesmo;
- A fabricação de dois modelos de produtos diferentes no mesmo molde para cada ciclo, aumentando a flexibilidade e diminuindo tempo de setup da máquina;
- O uso de somente um forno acima da chapa plástica, diminuindo a probabilidade de um incêndio, conforme observado nos estudos de caso.

Uma alteração no escopo do processo foi a utilização do sistema de sopro que serviria para destacar e resfriar a chapa. Nos testes foi observado que essa etapa não influenciava o processo, assim ela foi retirada do ciclo da máquina.

Durante os testes da máquina foram encontradas duas principais dificuldades: o sistema de vácuo e o aquecimento dos cabos elétricos do forno. Para o sistema de vácuo, a ideia inicial era a utilização de uma válvula pneumática com um sistema de tubo de Venturi (Furação de 3/8 polegadas), porém a pressão de vácuo ficou muito baixa. A primeira solução encontrada foi melhorar a vedação da máquina e utilizar um sistema de reservatório de vácuo para aumentar a capacidade de pressão negativa do sistema, mas ela não foi bem sucedida. A segunda opção foi aumentar a furação das entradas de ar do molde e trocar a válvula de vácuo por uma mais potente (Furação de 1/2 polegadas). A segunda opção atendeu os requisitos do sistema descartando a necessidade de um reservatório de vácuo.

A dificuldade com o aquecimento dos cabos elétricos era devido ao aquecimento do forno. Durante os testes ocorreu um curto-circuito em um dos cabos demonstrando a necessidade da utilização dos disjuntores que desarmaram na ocorrência da falha. Para solucionar o aquecimento dos cabos foi utilizada uma manta térmica com composição de fibra de vidro em torno do cabeamento, evitando a transmissão de calor das resistências para o cabo.

O produto final e o conceito da máquina automatizada foram obtidos, porém foi observada a necessidade de diversas melhorias. Para atender aos aspectos de segurança, a máquina deveria possuir fechamentos com grade metálica e uma porta de segurança monitorada e travada via CLP. Com isso é possível evitar que o operador tenha acesso à máquina enquanto ela estiver em movimentação. Além disso, deveria ser utilizada uma válvula pneumática para bloquear a alimentação de ar quando fosse apertado o botão de emergência ou aberta a porta de segurança, despressurizando toda a linha pneumática da máquina, evitando possíveis acidentes. Em termos de automação foram identificadas três importantes possibilidades de melhoria o processo:

- Um sistema de alimentação automático de chapas para eliminar a necessidade da intervenção de um operador a cada ciclo. Assim seria necessário somente o abastecimento periódico de um armazém;

- A utilização de um controlador PID para o sistema de aquecimento de forma a possibilitar uma quantidade maior de produtos sem a mudança de parametrizações, e com um ganho nos tempos de setup da máquina;
- A utilização de duas interfaces com display e botão para alterar os parâmetros de temperatura e tempo de aquecimento, devido ao custo de um sistema supervisorio ou IHM para uma máquina de termoformagem desse porte ser inviável.

Foi observado que seria interessante a implementação de um sistema de supervisão, em termos de economia e utilidade, caso houvesse diversas máquinas em uma planta de fábrica, onde com um único computador poderia ser possível observar os estados de operação das máquinas, os dados de produção e até mesmo desenvolver um sistema de controle de produção.

REFERÊNCIAS

BLACK, J. T. **O projeto da fábrica com futuro**, 1ª edição, Porto Alegre: Bookman, 1998.

BOYER, S. A. **SCADA: Supervisory control and data acquisition**. 3ª Edição, Estados Unidos: The Instrumentation, Systems, and Automation Society (ISA), 2004.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**, 5ª Edição, Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2002.

ÇENGEL, Y. A. **Transferência de calor e massa: uma abordagem prática**, 3ª edição, tradução Luiz Felipe Mendes de Moura; Revisão Técnica Kmal A. R. Ismail. São Paulo: McGraw-Hill, 2009.

COREL RESISTÊNCIAS ELÉTRICAS [S.I.]. 1 figura. Disponível em: <www.corel.ind.br>. Acesso em: 23 mai. 2011.

ELETRO-FORMING [S.I.]. 6 figuras. Disponível em: <www.eleto-forming.com.br>. Acesso em: 10 mai. 2011.

ELIPSE SOFTWARE [S.I.]. 1 figura. Disponível em: <www.elipse.com.br>. Acesso em: 17 mai. 2011.

INNOVA PETROQUÍMICA [S.I.]. Manual de Termoformagem. Desenvolvido pela Innova Petroquímica 2009. Apresenta textos sobre os processos de termoformagem. Disponível em: <www.petrobras.com.ar> Acesso em: 17 mai. 2011.

LOYOLA, S. **A Automação da Fábrica: a transformação das relações de trabalho**. Curitiba: Edição do Autor, 1999.

MICHAELI, W. et al. **Tecnologia dos Plásticos**, tradução Eng. Christian Dihlmann. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1995.

MIYAGI, P. E. **Controle Programável: Fundamentos do Controle de Sistemas a Eventos Discretos**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1996.

MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de Automação Industrial**. 2ª Edição, Rio de Janeiro: Editora LTC, 2007.

MLM INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE ARTEFATOS PLÁSTICOS. 4 figuras enviadas no dia: de 30 de abril de 2010, São José dos Pinhais, PR.

NORTON, L. R. **Projeto de máquinas**, 2ª edição, Porto Alegre: Bookman, 2004.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. 3ª Edição. Rio de Janeiro: Editora LTC, 1998.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção**: Além da produção em larga escala. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.

PRUDENTE, F. **Automação Industrial – PLC**: Teoria e Aplicações. São Paulo: LTC, 2007.

SORS, L.; BARDÓCZ, L.; RADNÓTI, I. **Plásticos Moldes e Matrizes**, Curitiba: Hemus, 2002.

SOUZA, A. F.; ULBRICH, C. B. L. **Engenharia integrada por computador e sistemas CAD/CAM/CNC**, 1ª Edição, São Paulo: Artliber, 2009.

THRONE, J. L. **Technology of thermoforming**, 1ª edição, Estados Unidos: Hanser Gardner, 1996.

VAN VLACK, L. H. **Princípios de Ciência dos Materiais**, 11ª edição, tradução Eng. Luiz Paulo Camargo Ferrão. São Paulo: Edgard Blücher, 1970.

ZIBETTI, M. V. W. Notas de aula apresentadas na disciplina de Sistemas Flexíveis de Manufatura no curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial da UTFPR. Curitiba, 2010

APÊNDICE B – Projeto Elétrico



Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Cliente : UTFPR
Setor : Vacuum Forming
Numero do Desenho : Projeto Elétrico TV01
Executado : Gabriel V. Serta e Juliano dos S. Rocha

Produto : **TERMOFORMADORA A VACUO**
Local da Instalacao : Sala A-07
Painel de Controle : TV01
Tensao de Alimentacao : 1~127Vca - 60Hz
Tensao de Potencia : 1~127Vca - 60Hz
Tensao de Comando : 24Vcc - CLP
Corrente Nominal : 24,5 A
Potencia Nominal : 3111 VA
Protecao Recomendada : 40A
Condutores : 6mm²
Normas : -
Ano de Fabricacao : 2011

Criado em : 04/06/2011
Responsavel : Gabriel V. Serta
Modificado em : 06/05/2012 - Rev. 1

Numero de Paginas : 18

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

CONDUTORES DE ALIMENTAÇÃO							
Alimentação de Entrada				Distribuição			
6 mm ² • 750V • 36A							
CORRENTE ALTERNADA							
				PRETO	VERDE/AMARELO	AZUL CLARO	AZUL ESCURO
						BRANCO	VIOLETA
						VERMELHO	MARRON
FASE							
NEUTRO							
TERRA							

CONDUTORES DE COMANDO							
0,75 mm ² • 750V • 10A							
CORRENTE ALTERNADA							
				PRETO	VERDE/AMARELO	AZUL CLARO	AZUL ESCURO
						BRANCO	VIOLETA
						VERMELHO	MARRON
COMANDO 220V							
COMANDO NEUTRO							
TERRA							

CONDUTORES DE COMANDO							
0,75 mm ² • 750V • 10A							
CORRENTE CONTÍNUA							
				PRETO	VERDE/AMARELO	AZUL CLARO	AZUL ESCURO
						BRANCO	AMARELO
						CINZA	MARRON
POSITIVO							
NEGATIVO							
SEGURANÇA							
TERRA							



Data Inicial:
04/06/2011

Data Modificação:
04/06/2011

Cliente:
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Projeto:
Termoformadora a Vácuo

Título:
Dimensionamento de Condutores

Projetista:
Gabriel V. Sertá

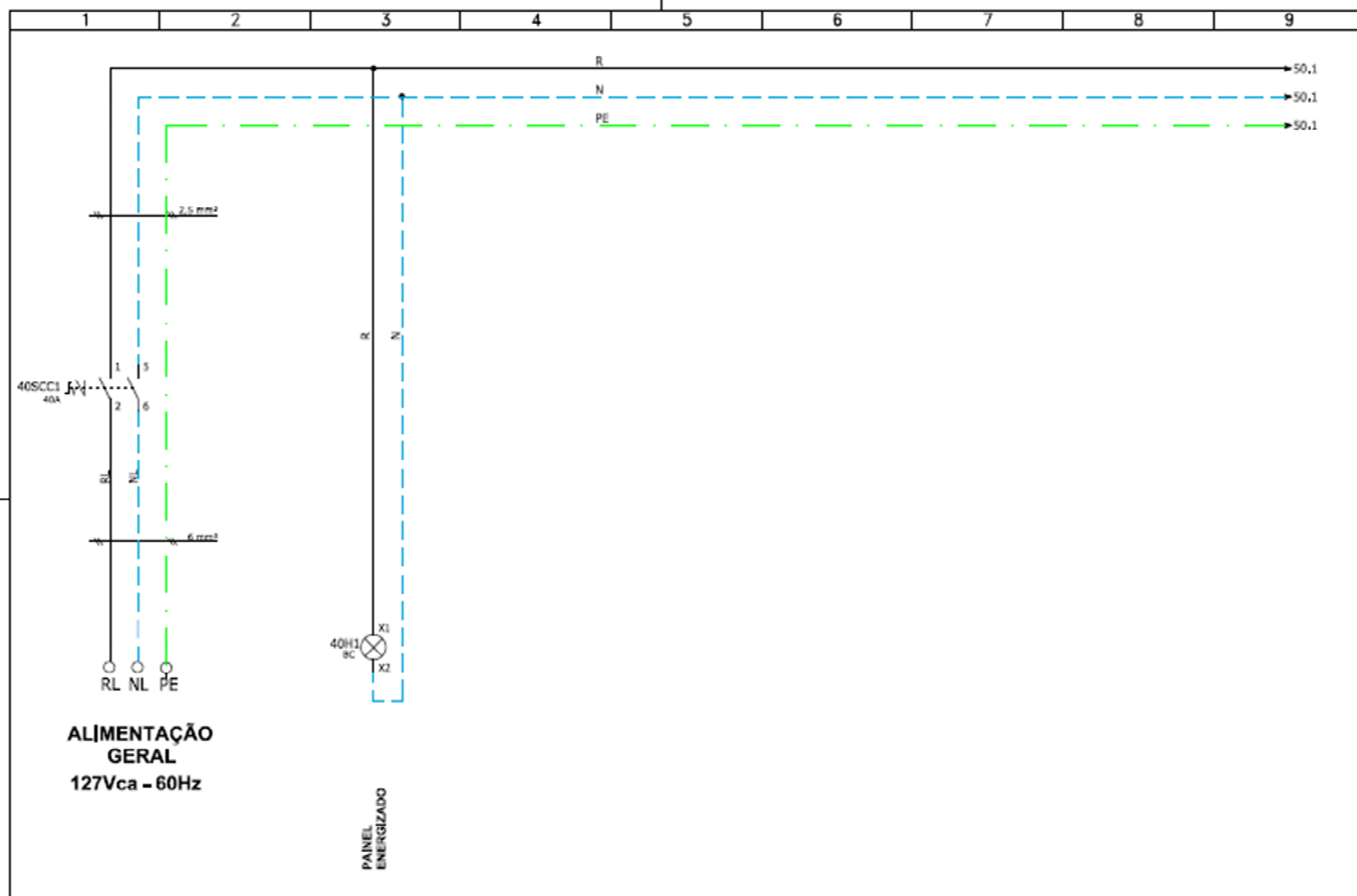
Execução:
Trabalho de Diplomação

Código:
TV01

Página:
10

De:
180

1	2	3	4	5	6	7	8	9
DISJUNTOR TERMOMAGNETICO	CONTATO NA RETAR, DESENER,	CONTADOR DE FORÇA TRIFÁSICO	RELE	RELE	BARREIRA DE SEGURANÇA	RELE BIMETALICO		
FUSIVEL	CONTATO NF RETAR. DESENER.	CHAVE TRIFÁSICA	RELE RETARDO NA ENERG.	RELE RETARDO NA DESENERG.	BIMANUAL OPTICO	DISJUNTOR MOTOR		
BORNE FUSIVEL	BOTAO IMPULSO	CHAVE BIFÁSICA	VALVULA SOLENOIDE	VALVULA SOLENOIDE	ALARME SONORO	INTERRUPTOR DE FUGA		
SINALEIRO LAMPADA	BOTAO IMPULSO ILUMINADO	BORNE	VALVULA SOLENOIDE	VALVULA SOLENOIDE	ALARME AUDIO VISUAL	MOTOR TRIFÁSICO COM FREIO		
CONTATO NA	BOTAO COGUMELO	PLUG TOMADA	SENSOR CAPACITIVO	SENSOR OPTICO	SIRENE	MOTOR TRIFÁSICO		
CONTATO NF	BOTAO EMERGENCIA	TOMADA 2P+T	SENSOR OPTICO	SENSOR INDUTIVO	PRESSOSTATO	MOTOR MONOFÁSICO		
CONTATO TERMICO NA	PEDAL	VENTILADOR EXAUSTOR	SENSOR MAGNETICO		TERMOSTATO			
CONTATO TERMICO NF	COMUTADORA CHAVE C/ TRAVA	TRANSFORMADOR						
CONTATO REVERSIVEL	COMUTADORA CHAVE IMPULSO	TRANSFORMADOR TRIFÁSICO						
CONTATO NA RETARDO ENERG.	COMUTADORA 2 POS.	FONTE DE ALIMENTACAO						
CONTATO NF RETARDO ENERG.	COMUTADORA 3 POS.							



Data Inicial:
04/06/2011

Data Modificação:
04/06/2011

Cliente:
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Projeto:
Termoformadora a Vácuo

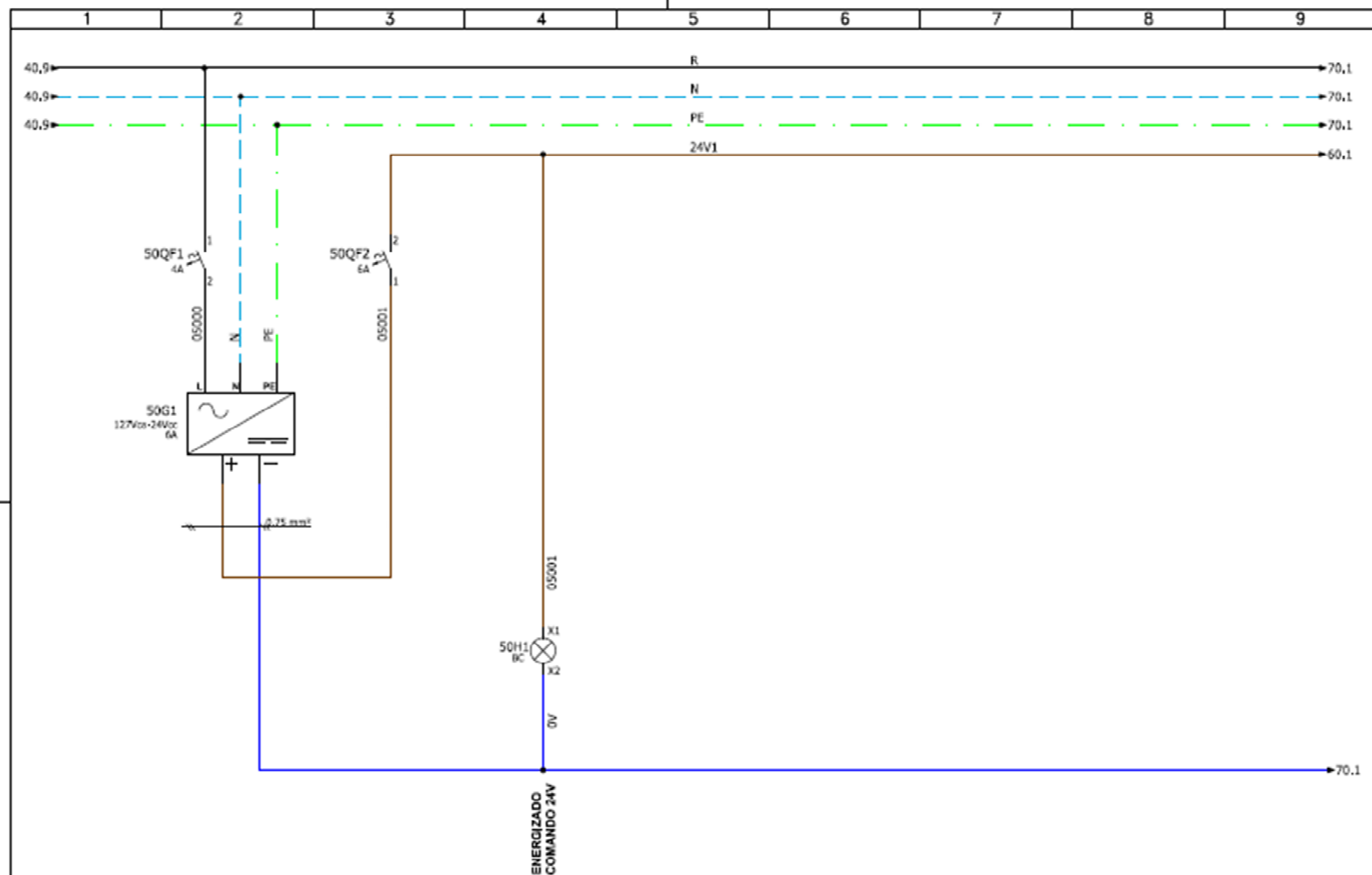
Título:
Alimentação Geral 127Vca

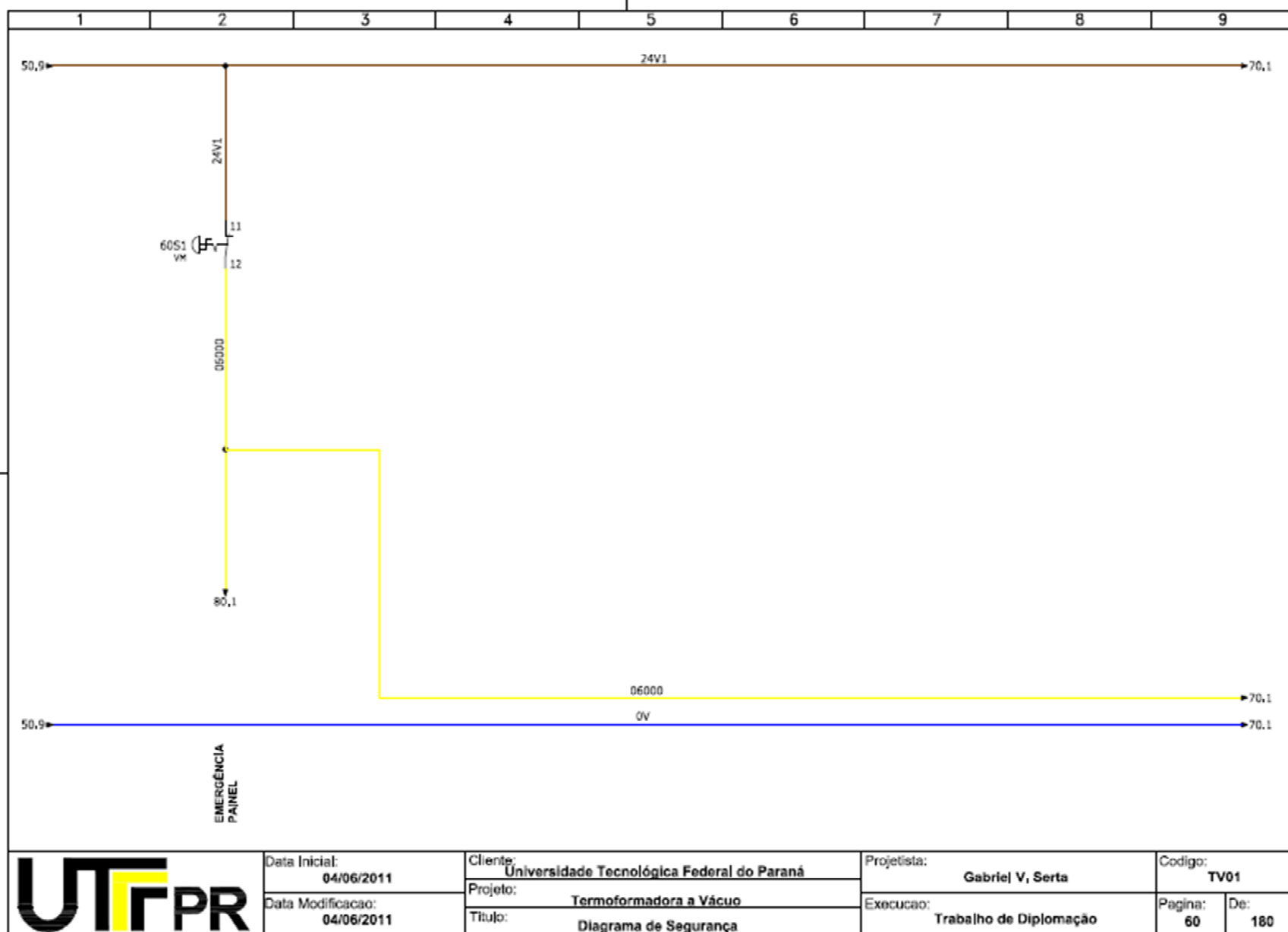
Projetista:
Gabriel V. Sertá

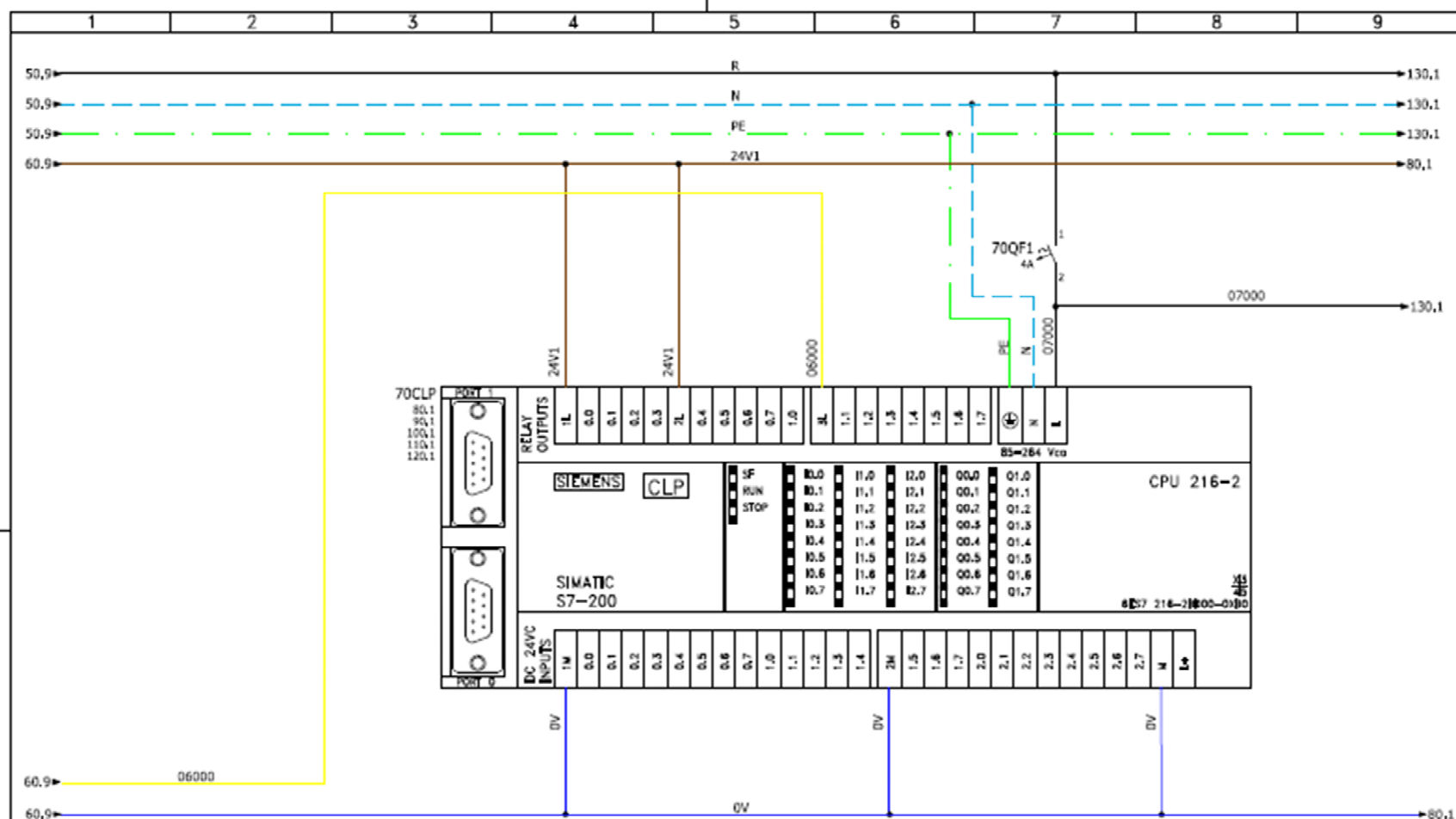
Execução:
Trabalho de Diplomação

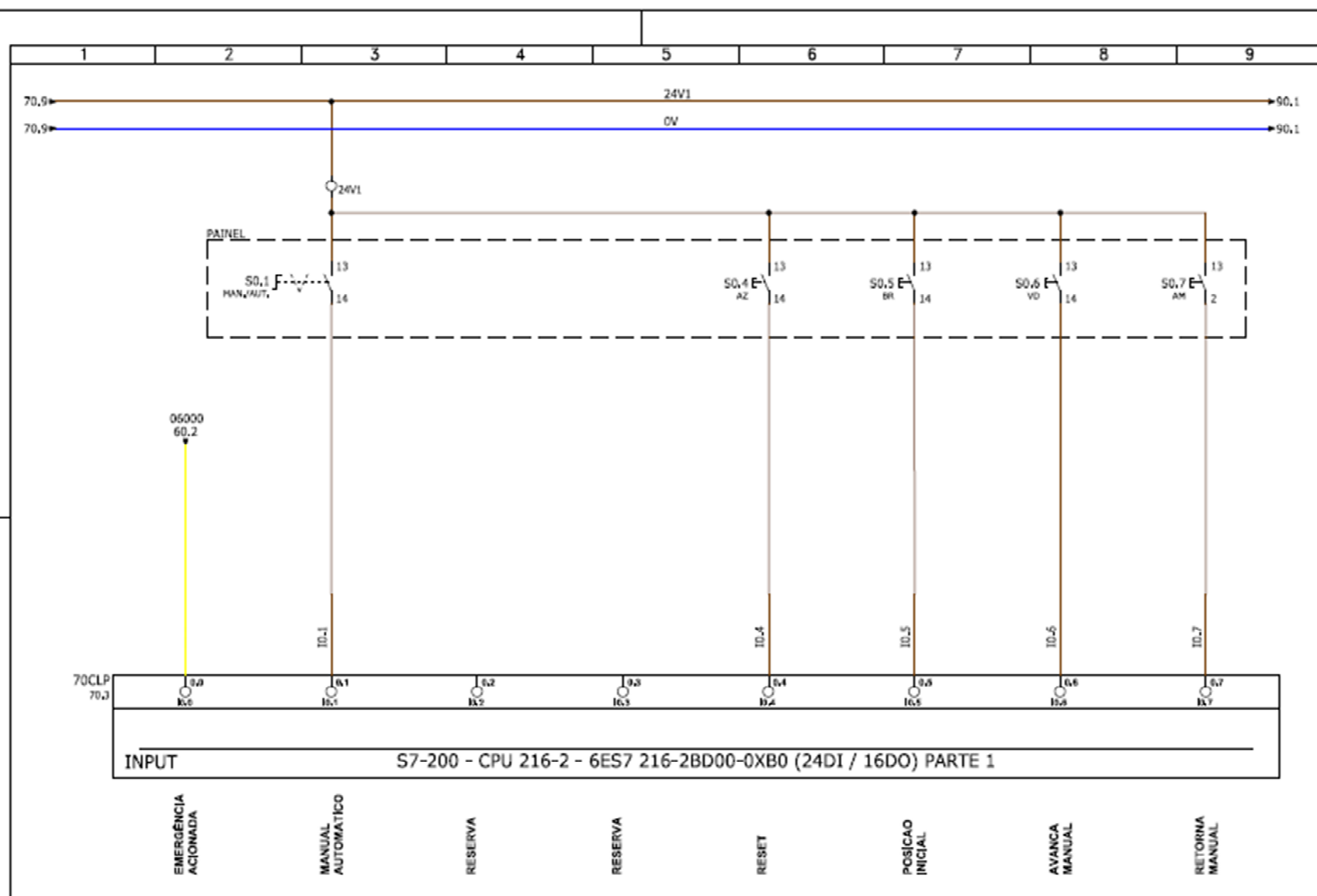
Código:
TV01

Página: 40 De: 180









Data Inicial:
04/06/2011

Data Modificacao:
04/06/2011

Cliente:
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Projeto:
Termoformadora a Vácuo

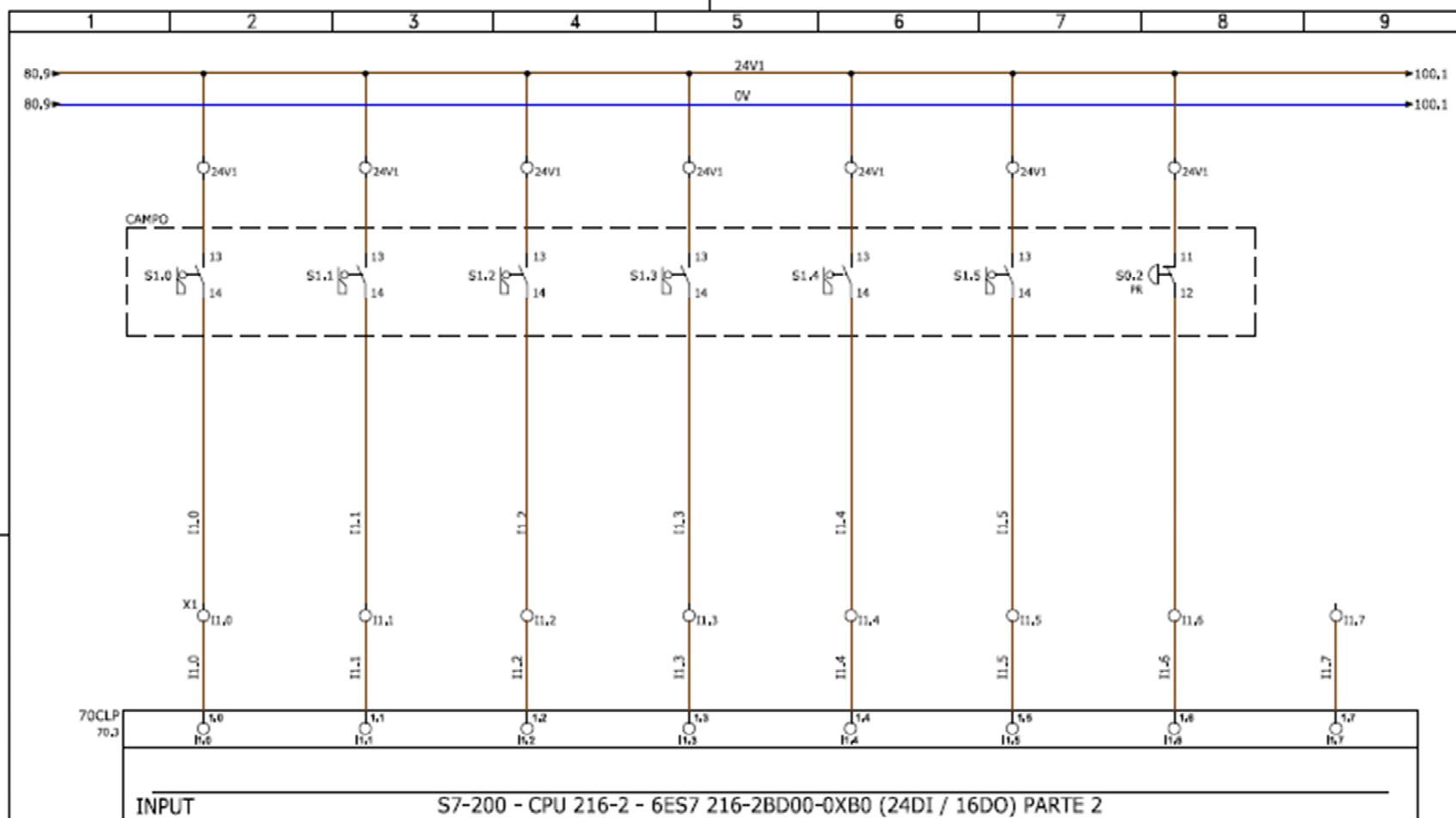
Título:
Entradas Digitais

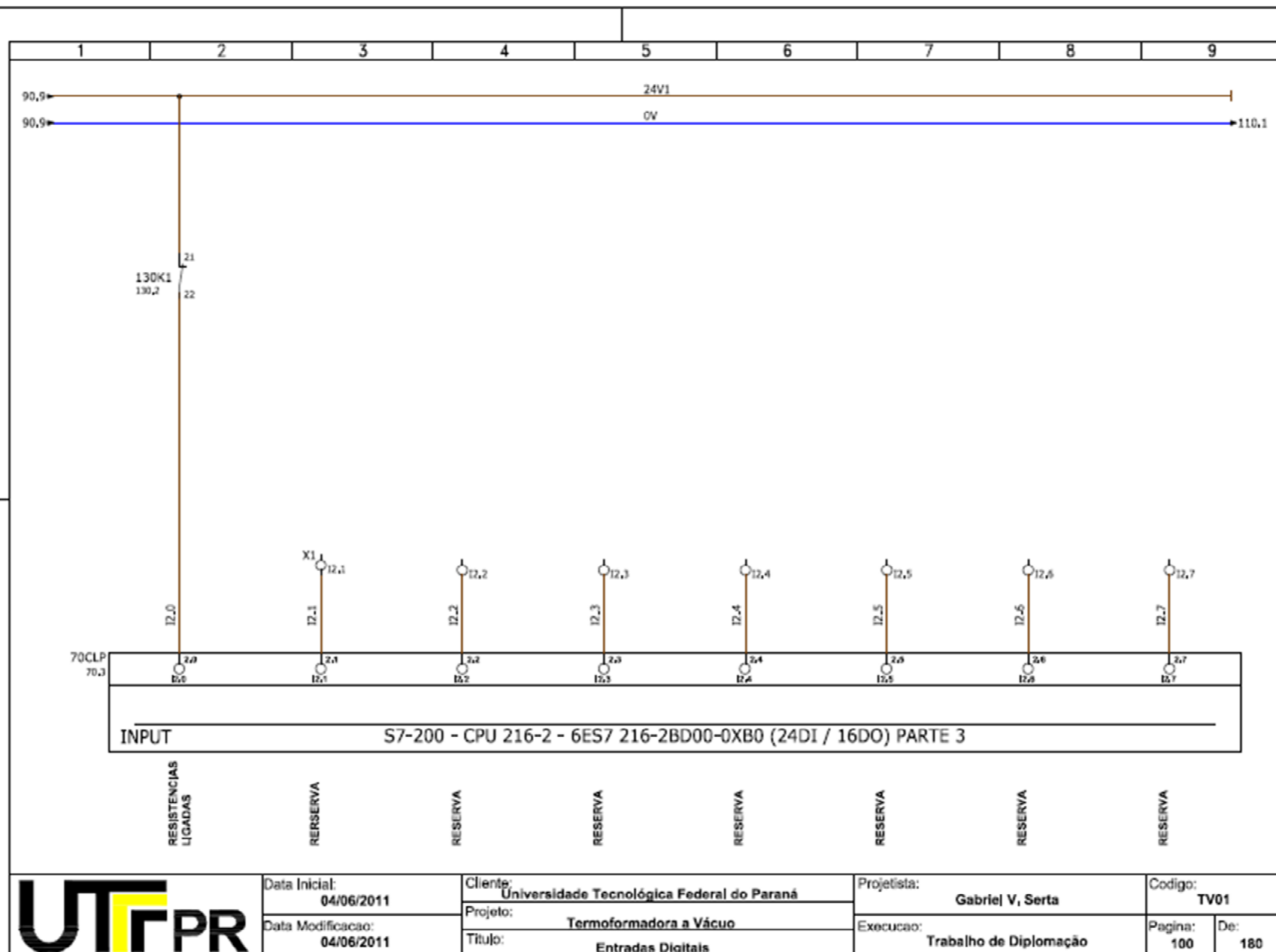
Projetista:
Gabriel V. Serta

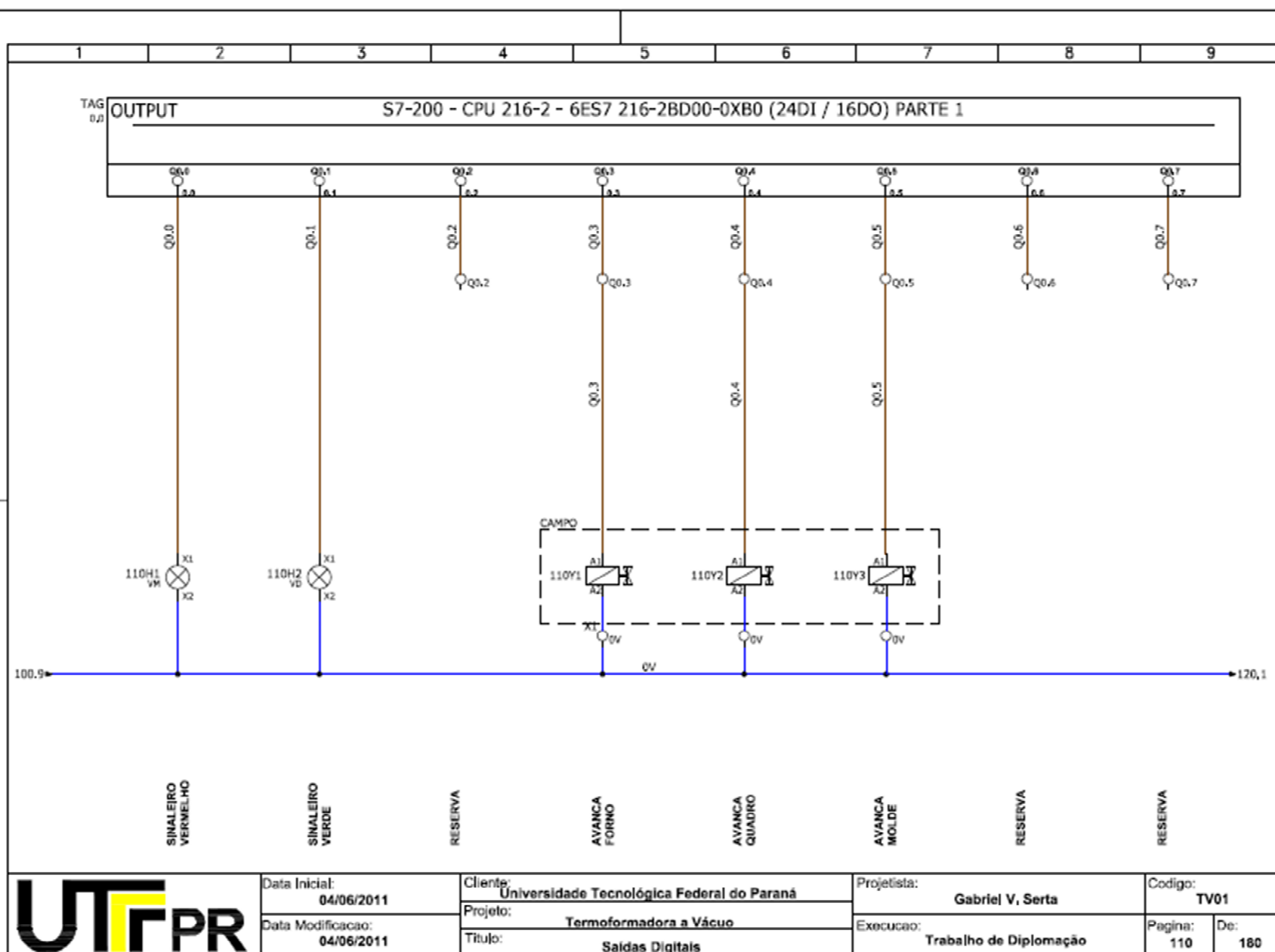
Execucao:
Trabalho de Diplomação

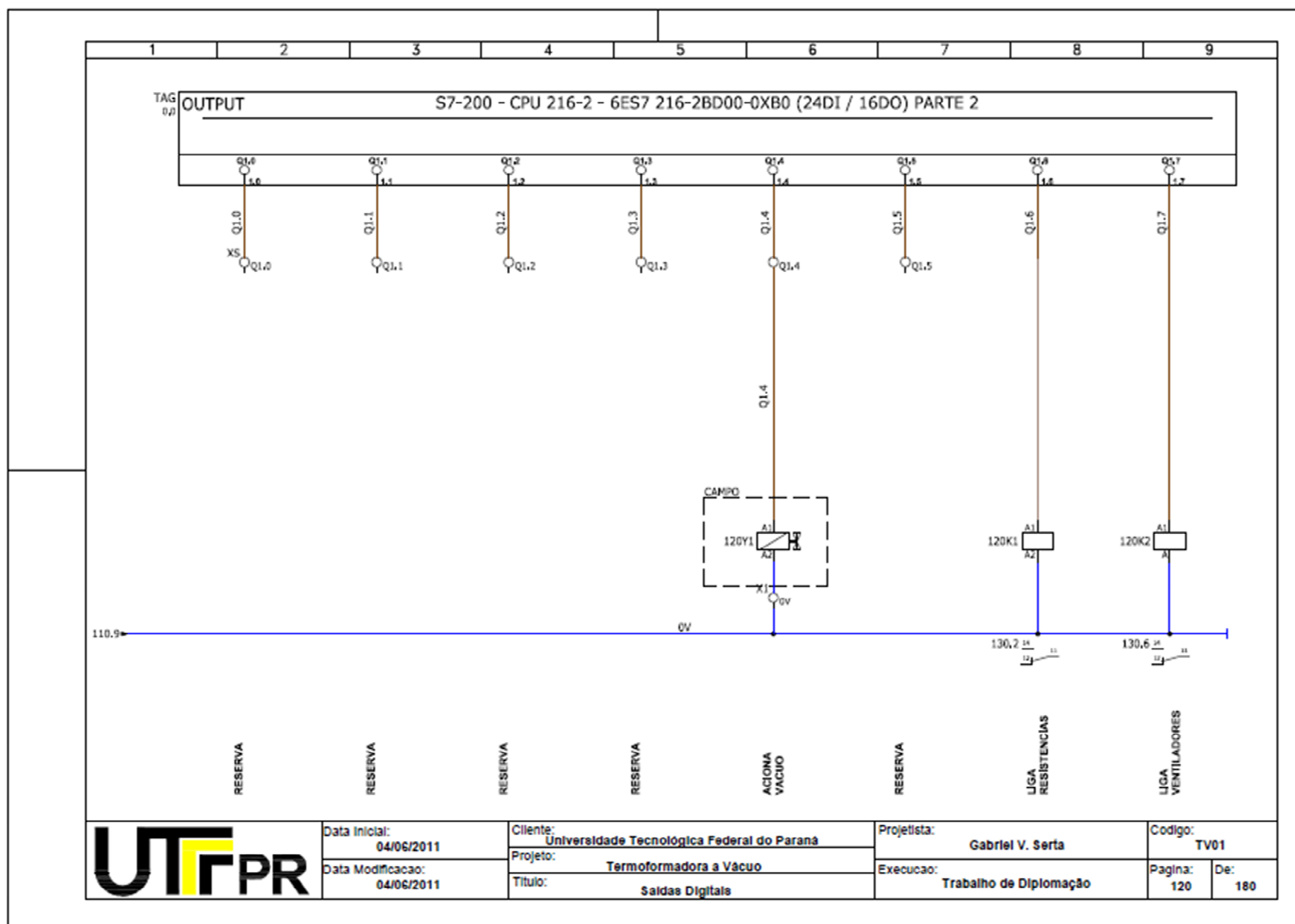
Codigo:
TV01

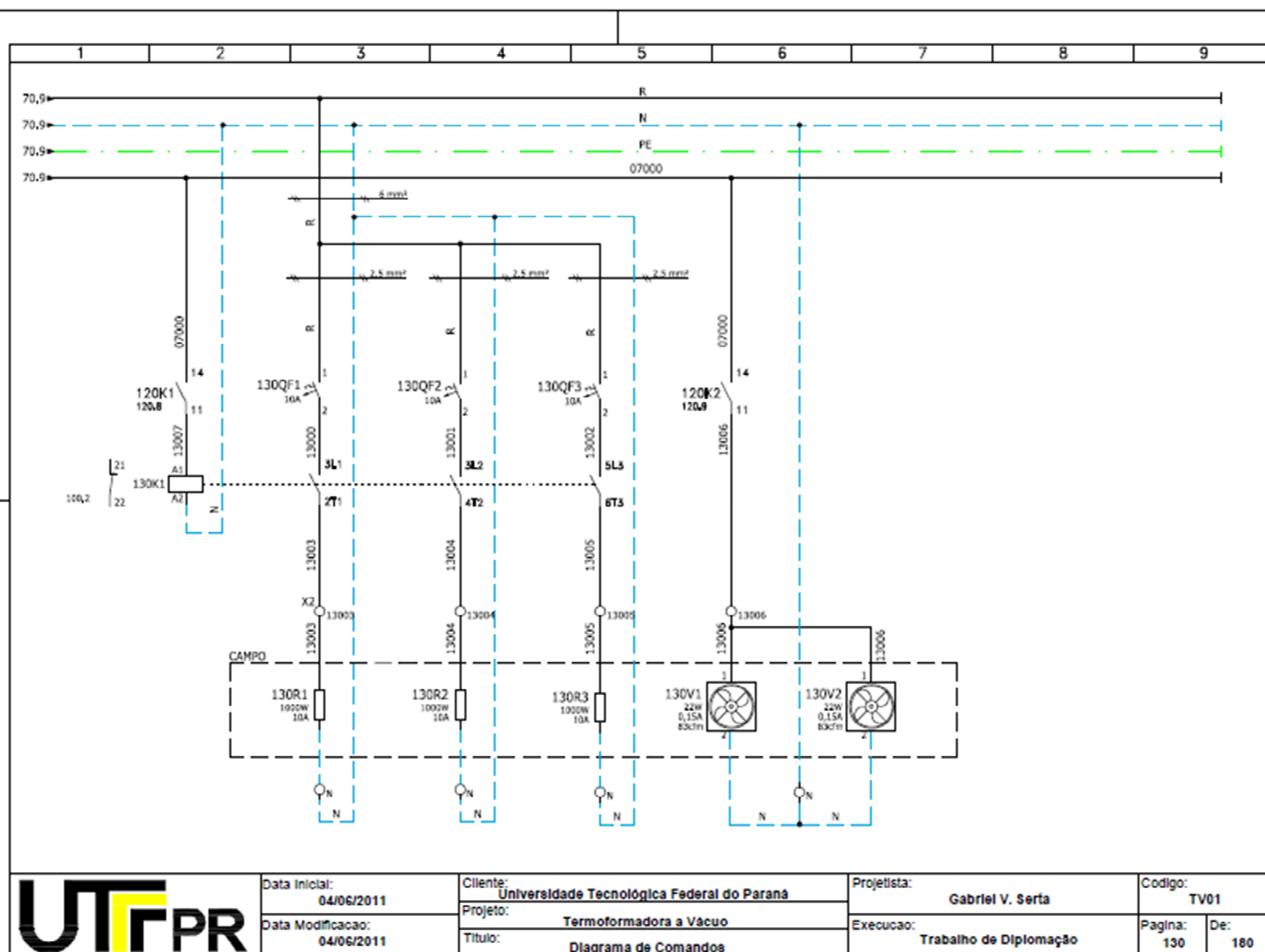
Pagina: 80 De: 180

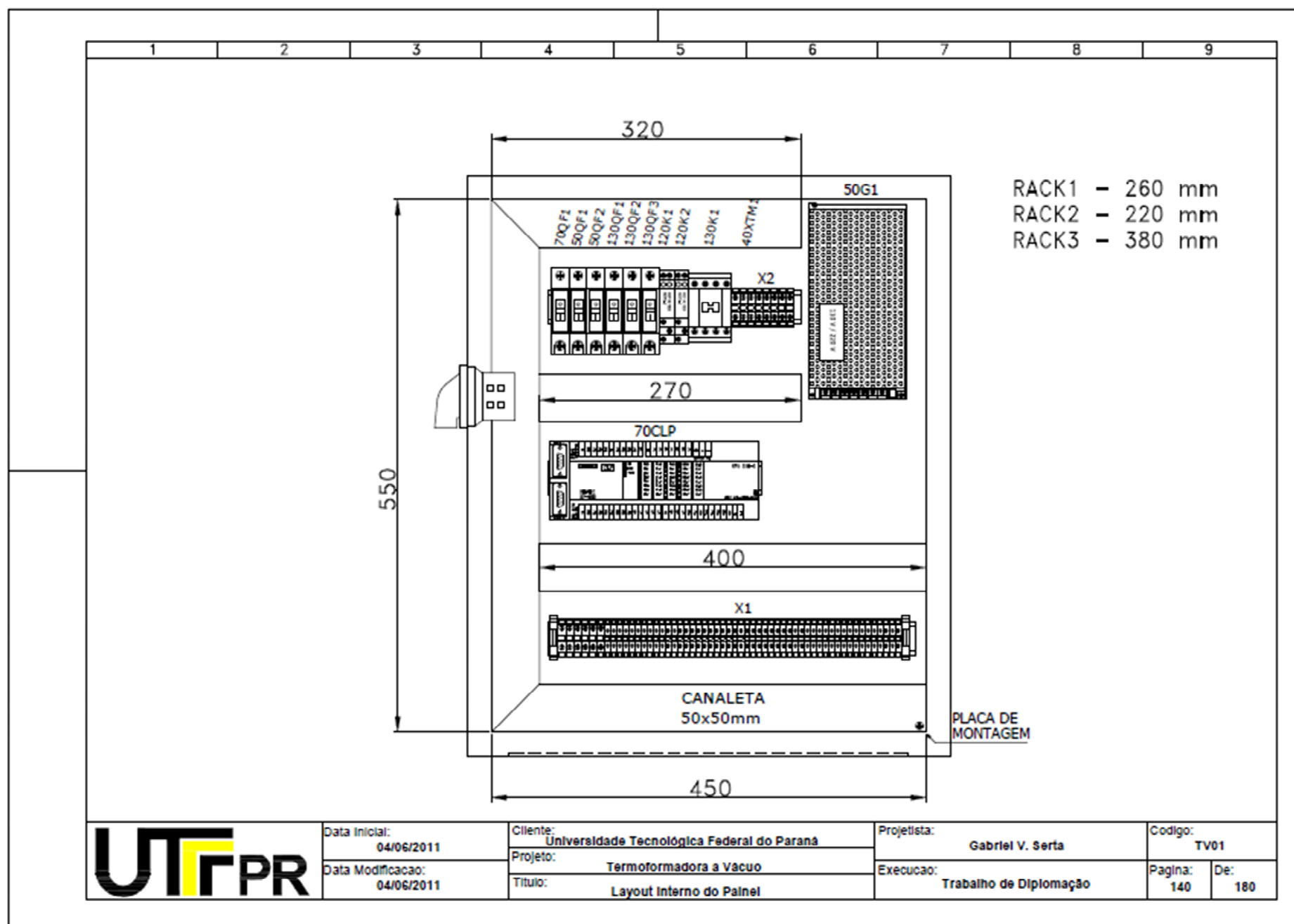


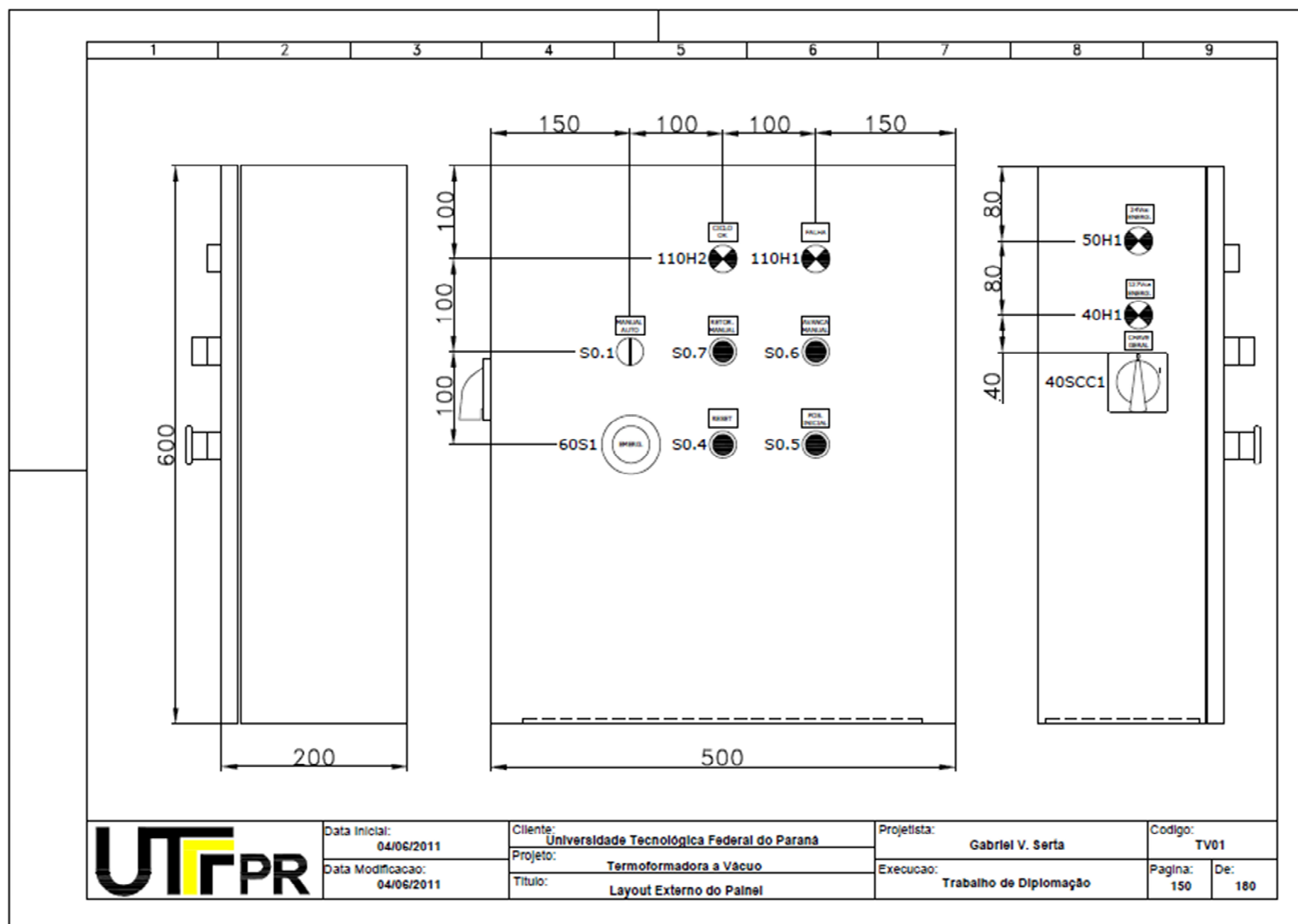












LISTA DE MATERIAIS			
ITEM	DESCRICAO	FORNECEDOR	QTDE.
120K1, 120K2	RELE MINIATURA POTENCIA 1 REV 24Vcc 12A - JXA1RC3	METALTEX	2 (un)
120K1, 120K2	BASE PARA TRILHO PARA RELE 1REV JXA - PRT7-1B	METALTEX	2 (un)
S0.6	BOTAO PULSO VERDE 1NA - P20BFR-G-1A	METALTEX	1 (un)
60S1	BOTAO COGUMELO C/ TRAVA VERM, 1NF - P20BKR-R-1B	METALTEX	1 (un)
S0.1	SELETORA 2 POS, FIXA 90G PR 1NA - P20SSR2-B-1A	METALTEX	1 (un)
S0.7	BOTAO PULSO AMARELO 1NA - P20BFR-Y-1A	METALTEX	1 (un)
S0.4	BOTAO PULSO AZUL 1NA - P20BFR-BL-1A	METALTEX	1 (un)
S0.5	BOTAO PULSO BRANCO 1NA	METALTEX	1 (un)
S0.2	BOTAO COGUMELO PULSO PRETO 1NF - M20BMR-B-1B	METALTEX	1 (un)
50QF2	DISJUNTOR DIN 1P 6A - 5SX1 106-7	SIEMENS	1 (un)
50QF1, 70QF1	DISJUNTOR DIN 1P 4A 5SX1 104-7	SIEMENS	2 (un)
130QF1, 130QF2, 130QF3	DISJUNTOR DIN 1P 10A 5SX1 110-7	SIEMENS	3 (un)
40SCC1	CHAVE SECCIONADORA L/D TRIP 40A - XN5523100	METALTEX	1 (un)



Data Inicial:
04/06/2011

Data Modificacao:
04/06/2011

Cliente:
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Projeto:
Termoformadora a Vácuo

Título:
Lista de Materiais 2/3

Projetista:
Gabriel V. Sertá

Execucao:
Trabalho de Diplomacao

Codigo:
TV01

Pagina:
170

De:
180

Lista de Entradas e Saídas

ENDEREÇO	TAG ENDEREÇO	MEMÓRIA	TAG MEMÓRIA	DESCRIÇÃO
I0.0	60S1	M0.0	Emergência Acionada	I0.0 - Emergência Acionada
I0.1	S 0 1	M0.1	Manual Automático	I0.1 - ManualAutomático
I0.2	I 0 2	M0.2	I 0 2 Reserva	I0.2 - Reserva
I0.3	I 0 3	M0.3	I 0 3 Reserva	I0.3 - Reserva
I0.4	S 0 4	M0.4	Reset	I0.4 - Reset
I0.5	S 0 5	M0.5	Posição Inicial	I0.5 - Posição Inicial
I0.6	S 0 6	M0.6	Avança em Manual	I0.6 - Avança em Manual
I0.7	S 0 7	M0.7	Recua em Manual	I0.7 - Retorna em manual
I1.0	S 1 0	M1.0	Quadro Avançado	I1.0 - Quadro Avançado
I1.1	S 1 1	M1.1	Quadro Recuado	I1.1 - Quadro Recuado
I1.2	S 1 2	M1.2	Forno Avançado	I1.2 - Forno Avançado
I1.3	S 1 3	M1.3	Forno Recuado	I1.3 - Forno Recuado
I1.4	S 1 4	M1.4	Molde Avançado	I1.4 - Molde Avançado
I1.5	S 1 5	M1.5	Molde Recuado	I1.5 - Molde Recuado
I1.6	S 1 6	M1.6	Start	I1.6 - Start
I1.7	I 1 7	M1.7	I 1 7 Reserva	I1.7 - Reserva
I2.0	I 2 0	M2.0	Resistências Ligadas	I2.0 - Resistências Ligadas
I2.1	I 2 1	M2.1	I 2 1 Reserva	I2.1 - Reserva
I2.2	I 2 2	M2.2	I 2 2 Reserva	I2.2 - Reserva
I2.3	I 2 3	M2.3	I 2 3 Reserva	I2.3 - Reserva
I2.4	I 2 4	M2.4	I 2 4 Reserva	I2.4 - Reserva
I2.5	I 2 5	M2.5	I 2 5 Reserva	I2.5 - Reserva
I2.6	I 2 6	M2.6	I 2 6 Reserva	I2.6 - Reserva
I2.7	I 2 7	M2.7	I 2 7 Reserva	I2.7 - Reserva
Q0.0	H1 110	M10.0	Sinaleiro Vermelho	Q0.0 - Sinaleiro Vermelho (Falha)
Q0.1	H2 110	M10.1	Sinaleiro Verde	Q0.1 - Sinaleiro Verde (Ciclo OK)
Q0.2	Q 0 2	M10.2	Q 0 2 Reserva	Q0.2 - Reserva
Q0.3	Y1 110	M10.3	Avança Forno	Q0.3 - Avança Forno
Q0.4	Y2 110	M10.4	Avança Quadro	Q0.4 - Avança Quadro
Q0.5	Y3 110	M10.5	Avança Molde	Q0.5 - Avança Molde
Q0.6	Q 0 6	M10.6	Q 0 6 Reserva	Q0.6 - Reserva
Q0.7	Q 0 7	M10.7	Q 0 7 Reserva	Q0.7 - Reserva
Q1.0	Q 1 0	M11.0	Q 1 0 Reserva	Q1.0 - Reserva
Q1.1	Q 1 1	M11.1	Q 1 1 Reserva	Q1.1 - Reserva
Q1.2	Q 1 2	M11.2	Q 1 2 Reserva	Q1.2 - Reserva
Q1.3	Q 1 3	M11.3	Q 1 3 Reserva	Q1.3 - Reserva
Q1.4	Y1 120	M11.4	Aciona Vácuo	Q1.4 - Aciona Vácuo
Q1.5	Q 1 5	M11.5	Q 1 5 Reserva	Q1.5 - Reserva
Q1.6	K1 120	M11.6	Liga Resistência	Q1.6 - Liga Resistências
Q1.7	K2 120	M11.7	Liga Ventiladores	Q1.7 - Liga Ventiladores

Lista de Alarmes

VARIÁVEL	TAG	DESCRIÇÃO
V20.0	Alarme_Av_Forno	Alarme - Timeout Avanço Forno
V20.1	Alarme_Re_Forno	Alarme - Timeout Recuo Forno
V20.2	Alarme_Sen_Forno	Alarme - Falha nos Sensores do Forno
V20.3	Alarme_Av_Quadro	Alarme - Timeout Avanço Quadro
V20.4	Alarme_Re_Quadro	Alarme - Timeout Recuo Quadro
V20.5	Alarme_Sen_Quadro	Alarme - Falha nos Sensores do Quadro
V20.6	Alarme_Av_Molde	Alarme - Timeout Avanço Molde
V20.7	Alarme_Re_Molde	Alarme - Timeout Recuo Molde
V21.0	Alarme_Sen_Molde	Alarme - Falha nos Sensores do Molde
V21.1	Alarme_Resistência	Alarme - Falha no Acionamento das Resistências
V21.2	Alarme_Emergência	Alarme - Emergência Acionada
V21.3	Alarme_Reserva_V21_3	Alarme - Reserva
V21.4	Alarme_Reserva_V21_4	Alarme - Reserva
V21.5	Alarme_Reserva_V21_5	Alarme - Reserva
V21.6	Alarme_Reserva_V21_6	Alarme - Reserva
V21.7	Alarme_Reserva_V21_7	Alarme - Reserva

Lista de Estados

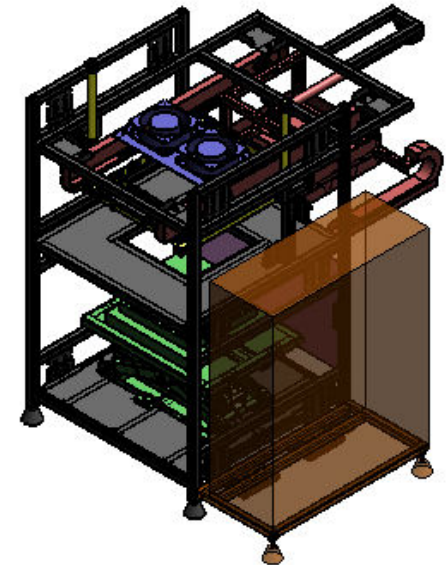
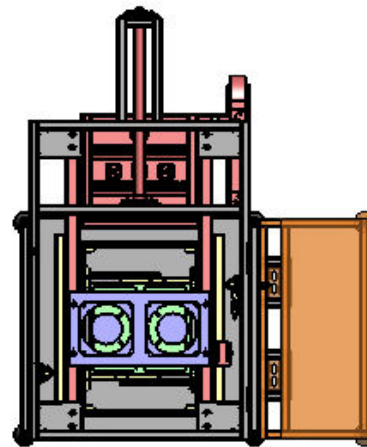
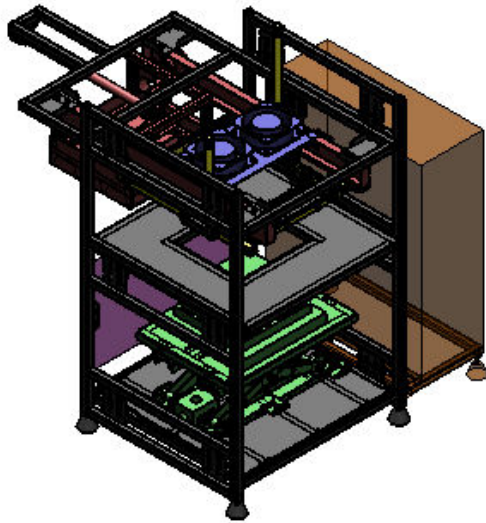
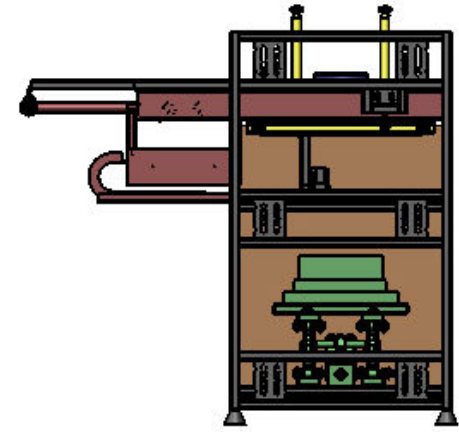
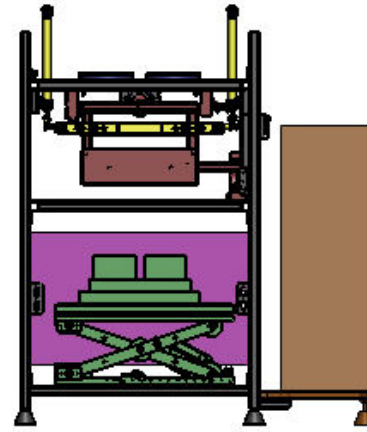
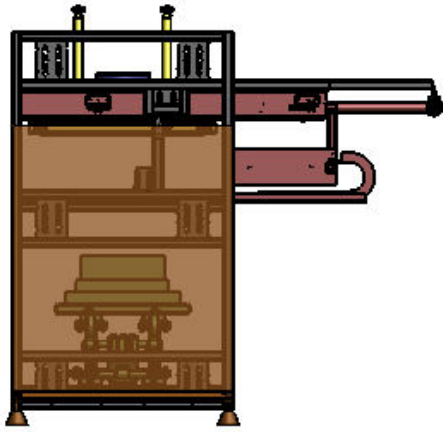
VARIÁVEL	TAG	DESCRIÇÃO
V0.0	Passo_00	Passo 00 - Estado Inicial (Liga Resistência)
V0.1	Passo_10	Passo 10 - Avança Quadro
V0.2	Passo_20	Passo 20 - Avança Forno
V0.3	Passo_30	Passo 30 - Recua Forno (Aguarda Aquec. e Avança Molde)
V0.4	Passo_40	Passo 40 - Aciona Vácuo
V0.5	Passo_50	Passo 50 - Desliga Vácuo e Liga Ventiladores
V0.6	Passo_60	Passo 60 - Desliga Ventilador
V0.7	Passo_70	Passo 70 - Recua Quadro e Molde
V1.0	Passo_80	Passo 80 - Fim do Ciclo
V5.0	Passo_21	Passo 21 - Retorna para o Passo 10 em Manual
V5.1	Passo_31	Passo 31 - Retorna para o Passo 20 em Manual
V5.2	Passo_41	Passo 41 - Retorna para o Passo 30 em Manual
V5.3	Passo_51	Passo 51 - Retorna para o Passo 40 em Manual
V5.3	Passo_61	Passo 61 - Retorna para o Passo 50 em Manual
V5.4	Passo_71	Passo 71 - Retorna para o Passo 60 em Manual

APÊNDICE D – Tabela para fabricação

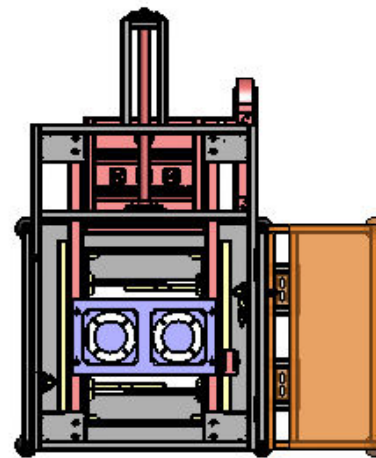
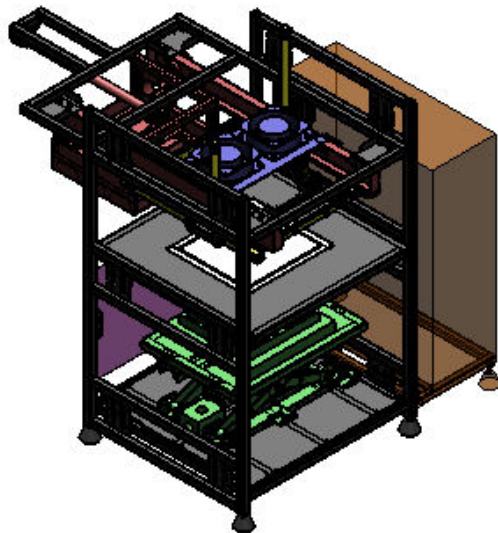
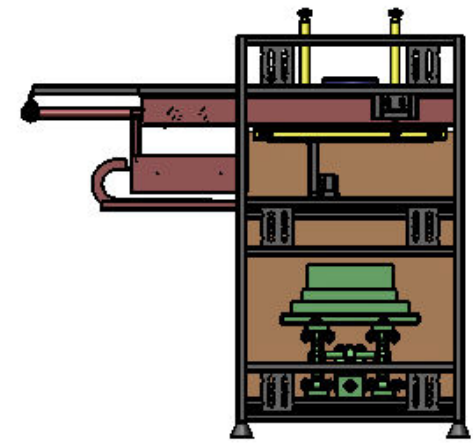
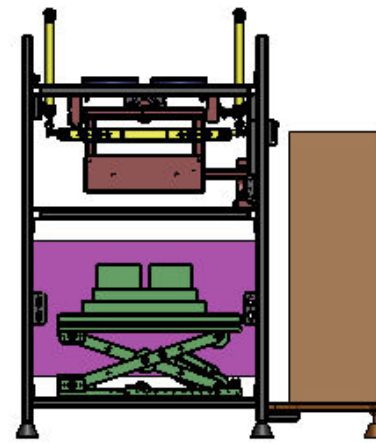
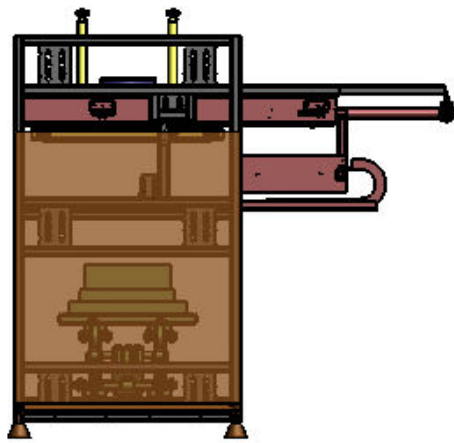
Nª	Nome da Peça	Qtde	Aplicação	Material	Processo de Fabricação	Matéria Prima
1	REFORCO_FLANGE_CHASSI	32	CHASSI	AÇO 1020	CORTE LASER	CHAPA #2
2	FLANGE_CHASSI_FIX_FORNO	4	CHASSI	AÇO 1020	CORTE LASER	CHAPA #2
3	REFORCO_FLANGE_CHASSI_FIX_FORNO	8	CHASSI	AÇO 1020	CORTE LASER	CHAPA #2
4	CHAPA_FIX_MOV.MOLDE	1	CHASSI	AÇO 1020	CORTE LASER	CHAPA #2
5	CHAPA_APOIO_QUADRO	1	CHASSI	AÇO 1020	CORTE LASER	CHAPA #2
6	FLANGE_CHASSI_V	12	CHASSI	AÇO 1020	CORTE LASER	CHAPA #4.25
7	FLANGE_CHASSI_H	18	CHASSI	AÇO 1020	CORTE LASER	CHAPA #4.25
8	FIX_CIL_FORNO_CHASSI	2	CHASSI	AÇO 1020	CORTE LASER	CHAPA #4.25
9	FIX_VIBRA_STOP	6	CHASSI	AÇO 1020	USINAGEM (T)	TARUGO ø3/4"
11	TAMPA_FORNO_EST_1	1	FORNO	AÇO 1020	CORTE LASER	CHAPA #2
12	TAMPA_FORNO_EST_2	1	FORNO	AÇO 1020	CORTE LASER	CHAPA #2
13	FLANGE_ATUADOR_FORNO	2	FORNO	AÇO 1020	CORTE LASER	CHAPA #4.25
14	TAMPA_ESTUDO_GUIA_SEM_GUIA	2	FORNO	AÇO 1020	CORTE LASER	CHAPA #2
15	TAMPA_ESTUDO_GUIA	2	FORNO	AÇO 1020	CORTE LASER	CHAPA #2
16	ESTUDO_GUIA_FORNO	1	FORNO	AÇO 1020	CORTE LASER E DOBRA	CHAPA #2
17	ESTUDO_GUIA_FORNO_SEM_GUIA	1	FORNO	AÇO 1020	CORTE LASER E DOBRA	CHAPA #2
18	CALHA_3RES	1	FORNO	AÇO 1020	CORTE LASER E DOBRA	CHAPA #2
19	FIX_CONECTOR_FORNO	1	FORNO	AÇO 1020	CORTE LASER	CHAPA #2
22	ESPASSADOR_CIL_FORNO	1	FORNO	TECHNYL	USINAGEM (T)	TARUGO ø1 1/2"
23	ESTUDO_EIXO_DES_FORNO	4	FORNO	AÇO 1020	USINAGEM (T)	TARUGO ø3/4"
21	ESTUDO_ROLDANA_COM_GUIA_FORNO	2	FORNO	TECHNYL	USINAGEM (T)	TARUGO ø1 1/2"
20	ESTUDO_ROLDANA_FORNO	2	FORNO	TECHNYL	USINAGEM (T)	TARUGO ø1 1/2"
24	FIX_HASTE_CIL_QUADRO	1	FORNO	AÇO 1020	USINAGEM (T)	TARUGO ø3/4"
10	GUIA_FORNO	1	FORNO	AÇO 1020	USINAGEM (F)	BARRA QUADRADA 3/8"
32	ARTICULACAO_HASTE_50_COMPACTO	1	MOV. MOLDE	AÇO 1045	USINAGEM (F)(T)	TARUGO ø1"
43	BUCHA_BRACO_MOV_MOLDE	6	MOV. MOLDE	LATÃO	USINAGEM (T)	TARUGO ø3/4"
44	BUCHA_BRACO_MOV_MOLDE_ART	2	MOV. MOLDE	LATÃO	USINAGEM (T)	TARUGO ø3/4"
42	BUCHA_BRACO_MOV_MOLDE_MENOR	4	MOV. MOLDE	LATÃO	USINAGEM (T)	TARUGO ø3/4"

45	BUCHA_MANCAL_MOV_MOLDE	8	MOV. MOLDE	TECHNYL	USINAGEM (T)	TARUGO ø3/4"
33	EIXO_10_FIX_HASTE_CIL	1	MOV. MOLDE	AÇO 1045	USINAGEM (T)	EIXO RETIFICADO ø12
36	EIXO_8_MAIOR	4	MOV. MOLDE	AÇO 1045	USINAGEM (T)	EIXO RETIFICADO ø8
25	BRACO_TESOURA_COM_ROT	4	MOV. MOLDE	AÇO 1020	CORTE LASER	CHAPA #2
26	BRACO_TESOURA_SEM_ROT	4	MOV. MOLDE	AÇO 1020	CORTE LASER	CHAPA #2
27	REFORCO_U_DOBRADO	8	MOV. MOLDE	AÇO 1020	CORTE LASER	CHAPA #2
28	U_DOBRADO_MOLDE_FIX_SEN	1	MOV. MOLDE	AÇO 1020	CORTE LASER E DOBRA	CHAPA #2
29	U_DOBRADO_MOLDE	3	MOV. MOLDE	AÇO 1020	CORTE LASER E DOBRA	CHAPA #2
30	APOIO_MOLDE	1	MOV. MOLDE	AÇO 1020	CORTE LASER E DOBRA	CHAPA #2
35	EIXO_8_MENOR	4	MOV. MOLDE	AÇO 1045	USINAGEM (T)	EIXO RETIFICADO ø8
34	EIXO_8_MENOR_MEIO	1	MOV. MOLDE	AÇO 1045	USINAGEM (T)	EIXO RETIFICADO ø12
39	ESPASSADOR_MOV_MOLDE	4	MOV. MOLDE	TECHNYL	USINAGEM (T)	TARUGO ø2"
31	MANCAL_MOV_MOLDE_PADRAO	8	MOV. MOLDE	AÇO 1020	USINAGEM (F)	BARRA CHATA 1"x2"
38	REFORCO_BRACO	4	MOV. MOLDE	AÇO 1020	USINAGEM (T)	TARUGO ø1/2"
37	REFORCO_BRACO_MENOR	4	MOV. MOLDE	AÇO 1020	USINAGEM (T)	TARUGO ø1/2"
41	ROLDANA_MOV_MOLDE	2	MOV. MOLDE	TECHNYL	USINAGEM (T)	TARUGO ø2"
40	ROLDANA_MOV_MOLDE_MENOR	2	MOV. MOLDE	TECHNYL	USINAGEM (T)	TARUGO ø2"
46	SUP_FDC_METALTEX	6	PADRÃO	AÇO 1020	CORTE LASER E DOBRA	CHAPA #2
47	FIX_VALVULAS	1	PNEUMÁTICA	AÇO 1020	CORTE LASER	CHAPA #2
57	FIX_HASTE_CIL_QUADRO_1	1	QUADRO	AÇO 1020	USINAGEM (T)	-
58	FIX_HASTE_CIL_QUADRO_2	1	QUADRO	AÇO 1020	USINAGEM (F)(T)	-
48	ESTUDO_REFORCO_AJUSTE_FIX_CHAPA	90	QUADRO	AÇO 1020	CORTE LASER	CHAPA #2
49	ESTUDO_FLANGE_AJUSTE_FIX_CHAPA	14	QUADRO	AÇO 1020	CORTE LASER	CHAPA #2
50	BATENTE_SENSOR_QUADRO_2	1	QUADRO	AÇO 1020	CORTE LASER	CHAPA #2
51	CHAPA_ACIONAMENTO_FD_QUADRO	1	QUADRO	AÇO 1020	CORTE LASER	CHAPA #2
52	FLANGE_QUADRO	2	QUADRO	AÇO 1020	CORTE LASER	CHAPA #2
53	ESTUDO_AJUSTE_FIX_QUADRO_2	2	QUADRO	AÇO 1020	CORTE LASER E DOBRA	CHAPA #2
54	ESTUDO_AJUSTE_FIX_QUADRO_EXT	2	QUADRO	AÇO 1020	CORTE LASER E DOBRA	CHAPA #2
55	ESTUDO_AJUSTE_FIX_QUADRO	4	QUADRO	AÇO 1020	CORTE LASER E DOBRA	CHAPA #2
56	FIX_COOLER	1	REFRIGERAÇÃO	AÇO 1020	CORTE LASER	CHAPA #2

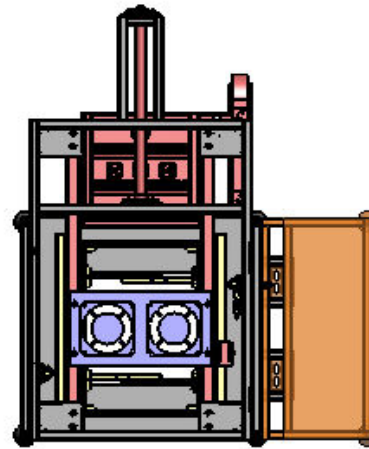
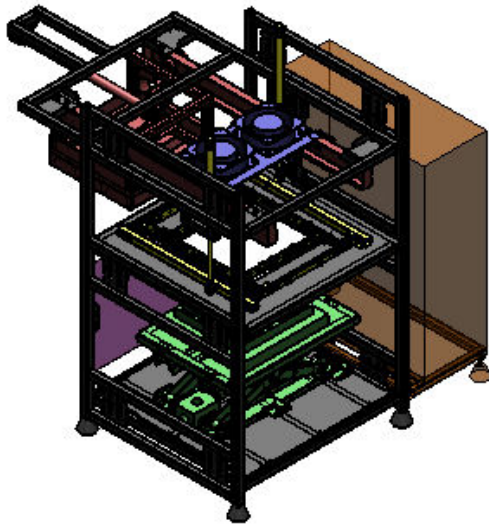
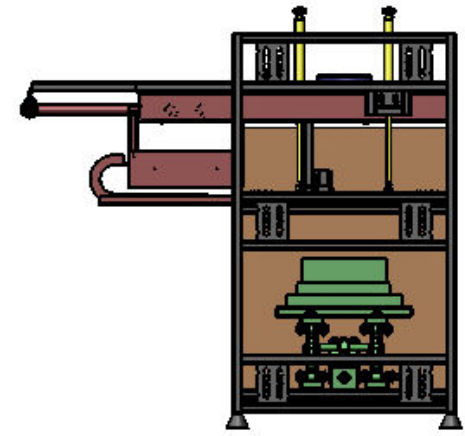
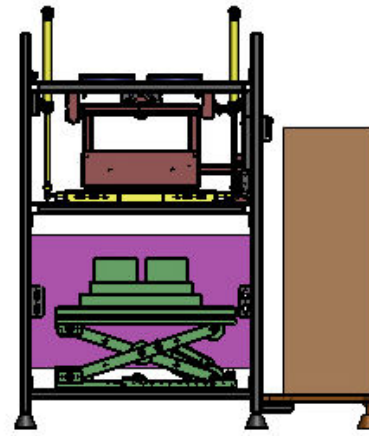
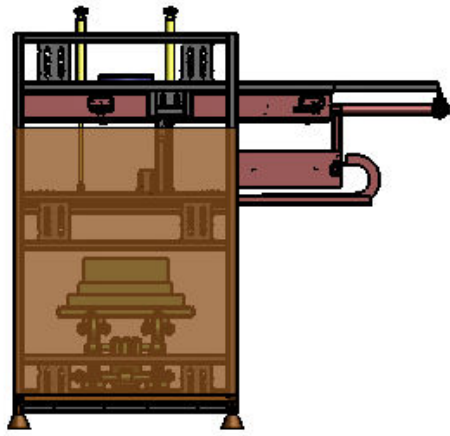
APÊNDICE E – Ciclo de funcionamento da máquina



Repouso.

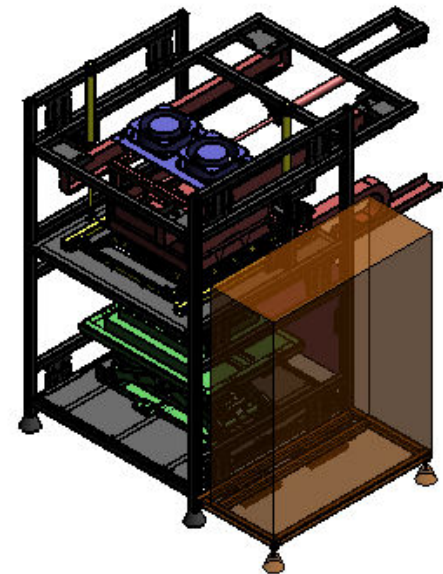
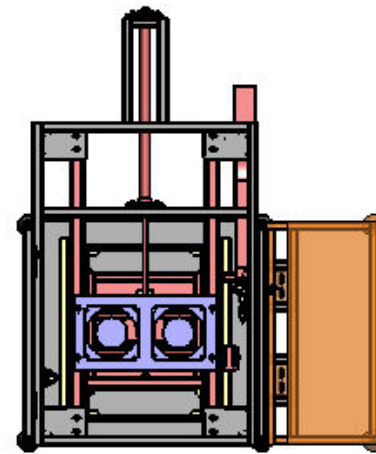
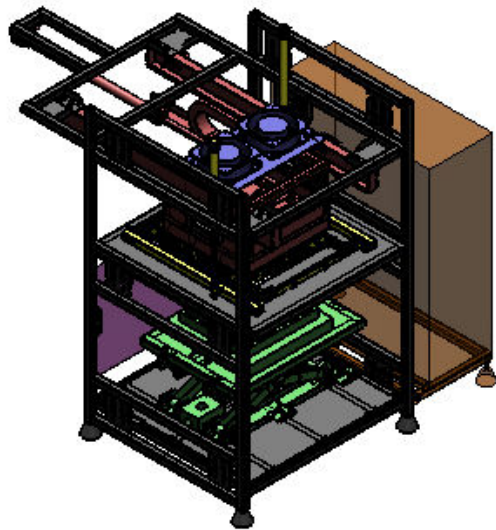
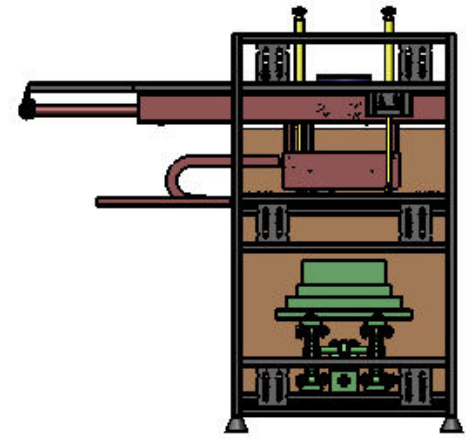
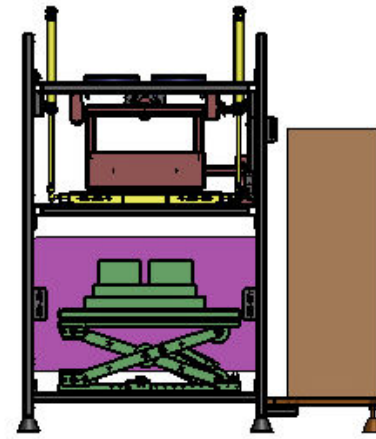
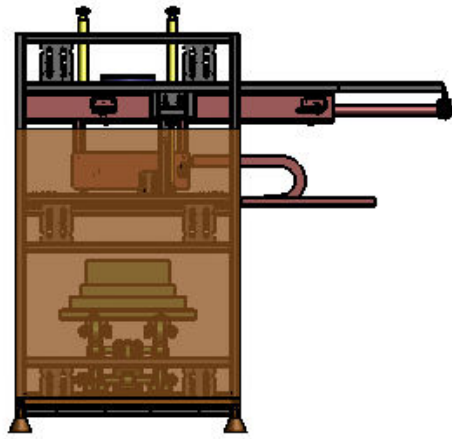


Alimentação da chapa.

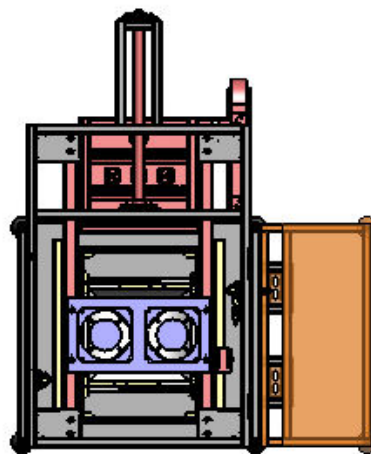
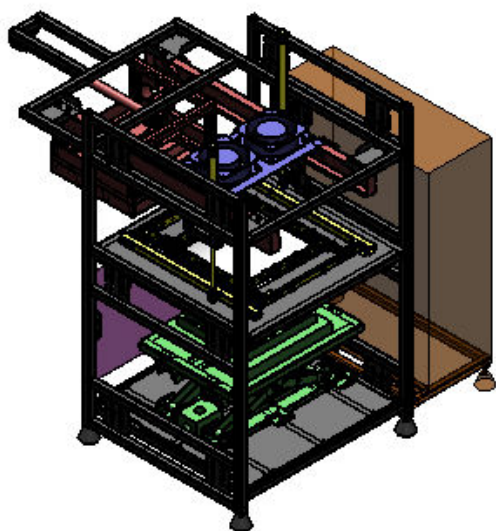
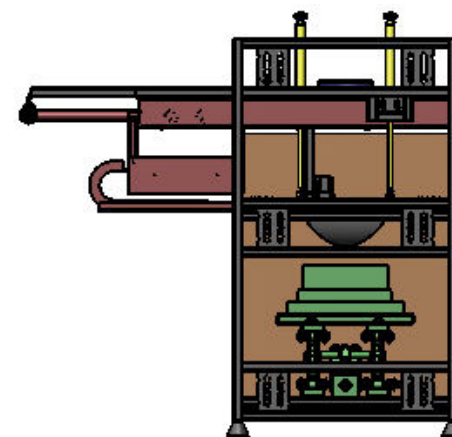
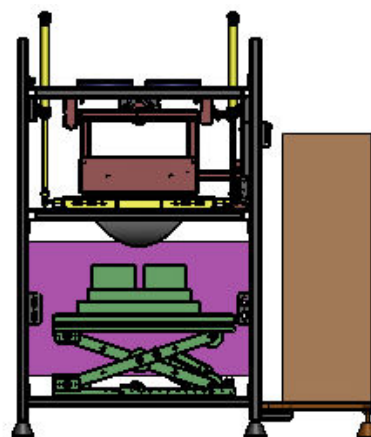
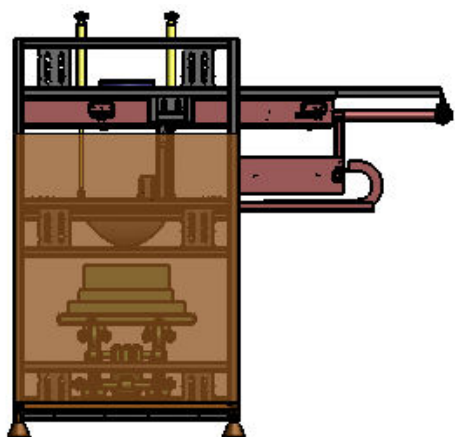


Avanço do conjunto quadro.

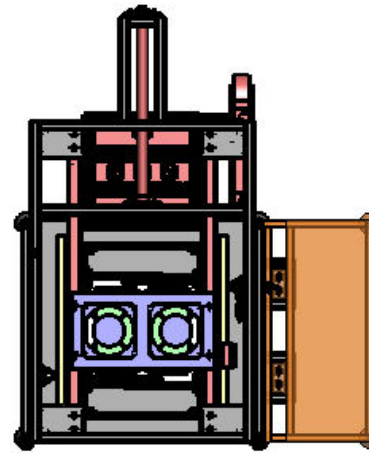
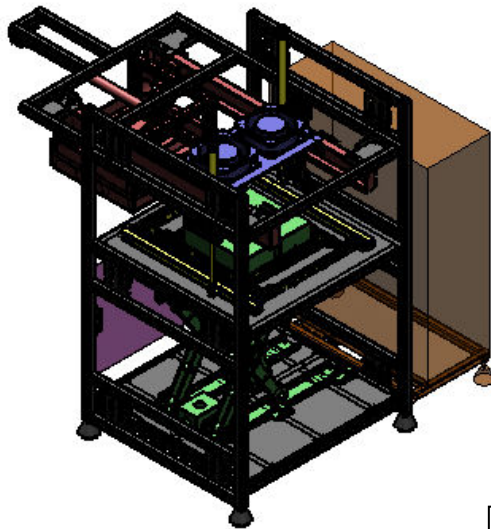
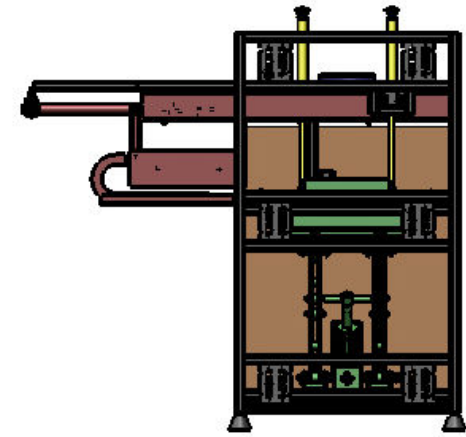
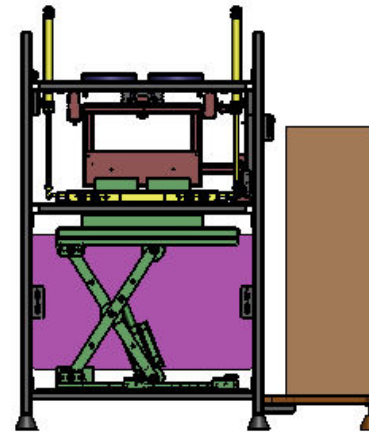
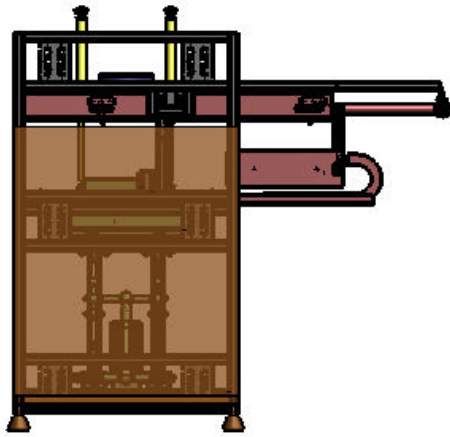




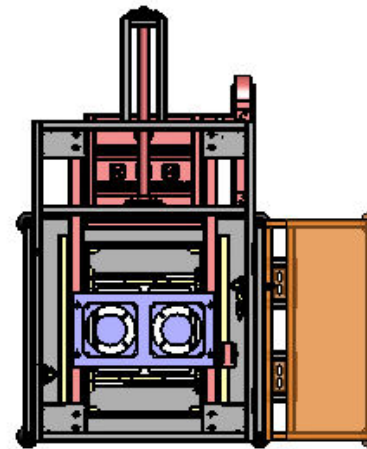
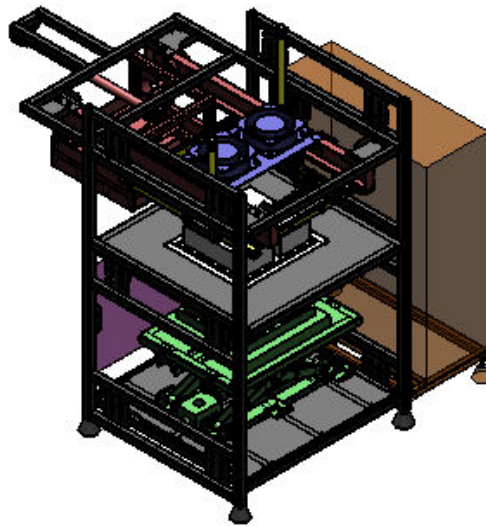
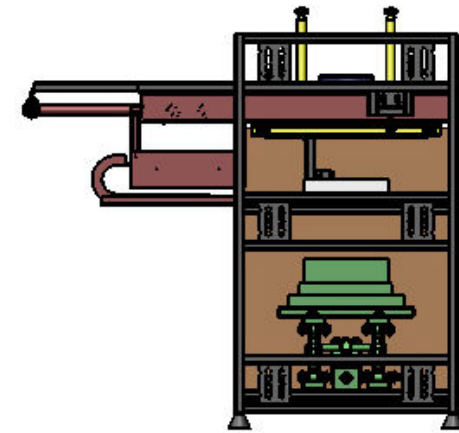
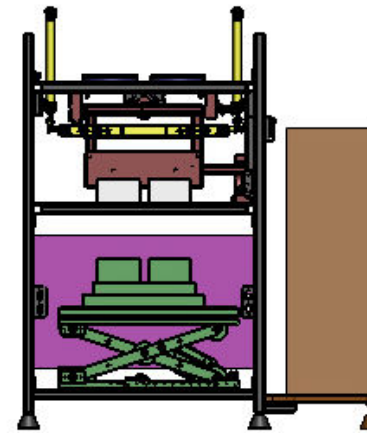
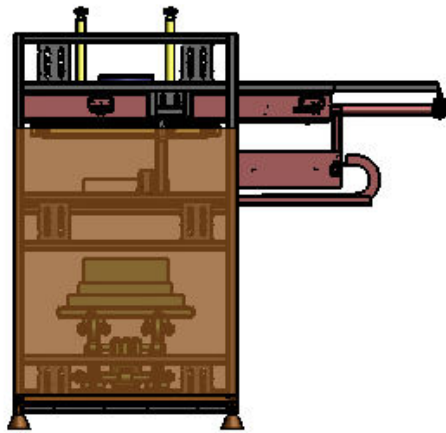
Avanço do conjunto forno.



Retorno do conjunto forno e estiramento da chapa.

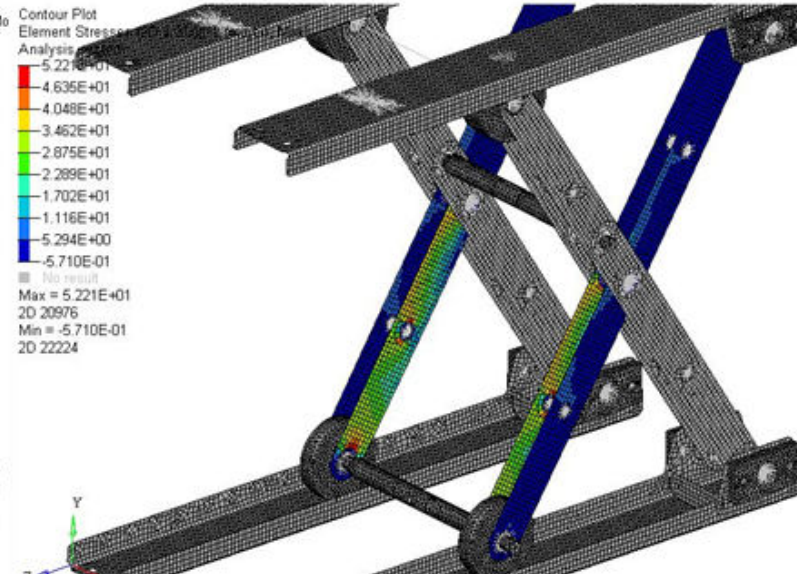
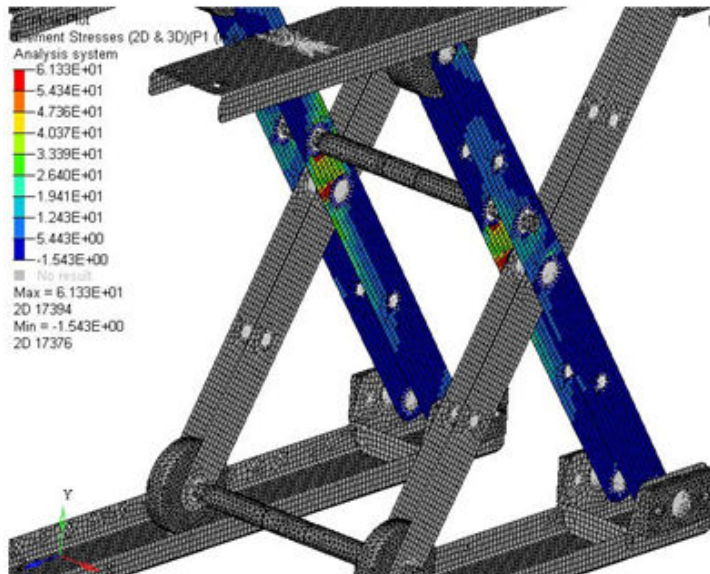
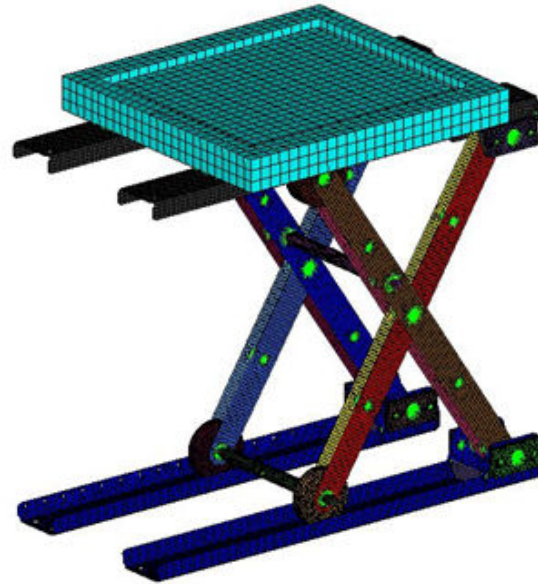


Avanço do conjunto movimenta molde, posteriormente acionamento do vácuo e por último acionamento do conjunto resfriamento.



Desligamento do conjunto resfriamento e vácuo, retorno do conjunto movimenta molde e conjunto quadro.
Peça termoformada.

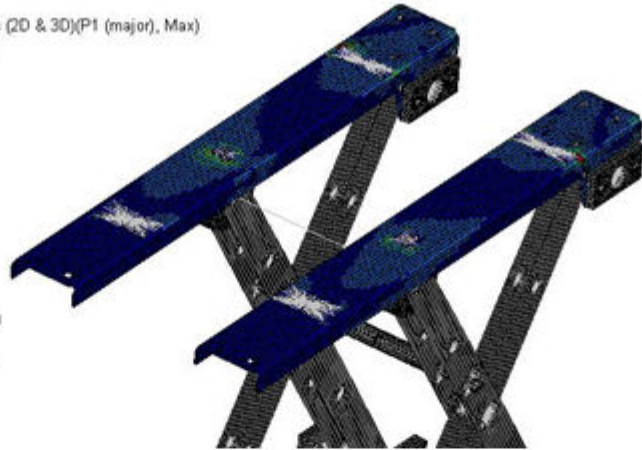
APÊNDICE F – Análise de elementos finitos



Contour Plot
 Element Stresses (2D & 3D)(P1 (major), Max)
 Analysis system

5.074E+00
4.471E+00
3.867E+00
3.263E+00
2.659E+00
2.055E+00
1.451E+00
8.477E-01
2.439E-01
-3.599E-01

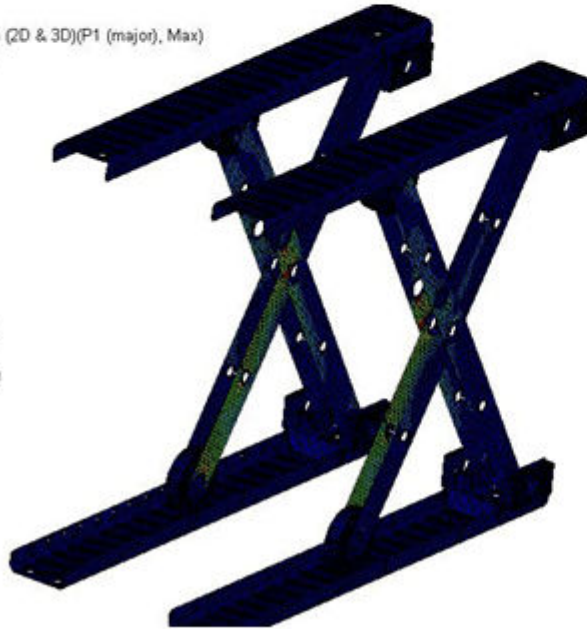
■ No result
 Max = 5.074E+00
 2D 9331
 Min = -3.599E-01
 2D 8498



Contour Plot
 Element Stresses (2D & 3D)(P1 (major), Max)
 Analysis system

6.133E+01
5.434E+01
4.736E+01
4.037E+01
3.339E+01
2.640E+01
1.941E+01
1.243E+01
5.443E+00
-1.543E+00

■ No result
 Max = 6.133E+01
 2D 17394
 Min = -1.543E+00
 2D 17376



DISPLACEMENT

Contour Plot
 Displacement(Mag)
 Analysis system

1.904E-01
1.693E-01
1.481E-01
1.270E-01
1.058E-01
8.464E-02
6.348E-02
4.232E-02
2.116E-02
0.000E+00

■ No result
 Max = 1.904E-01
 Grids 13607
 Min = 0.000E+00
 Grids 628

