

# Automação em máquina gráfica para processamento de chapas de pré-impressão

*Title: Automation of graphic machine for processing of pre-printing plates*

**Augusto César Moura de Castilho**  
Escola Politécnica de Pernambuco  
Universidade de Pernambuco  
50.720-001 - Recife, Brasil  
mouracastilho@bol.com.br

**Sérgio Campello de Oliveira**  
Escola Politécnica de Pernambuco  
Universidade de Pernambuco  
50.720-001 - Recife, Brasil  
scampello@ecom.poli.br

**Resumo** *O presente trabalho detalha os passos para o desenvolvimento do projeto de Automação Industrial da máquina gráfica PBM (Punch Bender Machine), responsável pelo processamento de chapas de Impressão. Em atividade desde 1999 o Parque Gráfico do Diário de PE tem atualmente seu maquinário obsoleto. A dificuldade na aquisição de peças levou à necessidade de um estudo para substituição do sistema de controle da máquina PBM, que apresenta problemas de ordem técnica. A base do projeto foi a interação entre uma plataforma em Sistema Embarcado e um CLP (Controlador Lógico Programável), que viabilizou a resolução do principal problema da máquina, que é fazer o correto posicionamento das chapas para que possam ser Dobradas e Perfuradas com precisão. Finalmente, com a união destas duas tecnologias conseguimos transformar um processo de alta complexidade em um processo mais simples, possibilitando, desta forma, alcançar o objetivo maior da pesquisa: manter a máquina em pleno funcionamento, garantindo a continuidade do processo, com o mesmo nível de qualidade e precisão que o processo necessita a um custo bastante reduzido.*

**Palavras-Chave:** *Automação Industrial, Máquina de Furar e Dobrar, Sistema Embarcado*

**Abstract** *The Present Work details the steps for Industrial Automation Project Development graphic machine PBM (Punch Bender Machine), responsible for processing Printing Plate. In activity since 1999 the Diário de Pernambuco Graphic currently has its obsolete machinery. The difficulty in Parts Acquisition took the need to a Study for replacement Control System PBM machine, that presents technical problems. The basic design was the Interaction Between a platform for Embedded System and a PLC (Programmable Logic Control), that made possible the principal resolution Machine Problem, Make Correct positioning of the plate for what can be folded and perforated with precision. Finally with the Union of these two technologies could transform a Process High Complexity a process but simple, enabling this way to achieve the goal Largest Search to keep a machine in full operation, ensuring the continuity of the process, keeping the same level of Quality and precision that the Process need the one Cost Very Low.*

**Keywords:** *Industrial Automation, Punching and Bending Machines, Embedded Systems*

## 1 Introdução

Uma das principais metas de um Parque Gráfico de um Jornal manter seu maquinário em pleno funcionamento. Alcançar esta meta quando se tem seus equipamentos obsoletos, não é uma tarefa muito simples, pois, são necessários investimentos em pesquisa para renovação de equipamentos. O projeto proposto surgiu da necessidade da empresa de manter a máquina PBM (*Punch Bender Machine*) em funcionamento. Ela é muito importante no processo de impressão do Jornal, sendo responsável pelas etapas de Dobra e Furo das chapas de Impressão. A máquina apresenta problemas de ordem técnica e devido ao seu estado de obsolescência é impossível a aquisição de peças.

O objetivo desta pesquisa é desenvolver a Automação do sistema de controle da máquina em substituição ao projeto original. Um Sistema Embarcado foi integrado ao CLP (Controlador Lógico Programável) responsável pelo controle principal da máquina. Ele controla todos os dispositivos pneumáticos [1] e as esteiras de transportes. Um microcontrolador PIC (*Peripheral Interface Controller*) é responsável pela seção da máquina que faz o posicionamento das chapas de Impressão, com a função de movimentar uma Mesa Cartesiana com os eixos acoplados a Motores de Passo.

A solução para o problema de inoperância da máquina justifica todo o esforço que deverá ser tomado. É imprescindível para o processo de Impressão do jornal manter esta máquina em pleno funcionamento, pois dela depende o correto processamento da Chapa de Impressão para dar continuidade ao processo. A falta desta etapa do processo acarreta na quebra da linha de produção, gerando um impacto incalculável para a empresa, trazendo prejuízos Econômicos e Sociais.

Finalmente, com a integração de duas diferentes tecnologias, o CLP que é uma plataforma já bastante difundida no meio Industrial, e o Sistema Embarcado com plataforma PIC que vem ganhando espaço nas Indústrias, obtivemos resultados satisfatórios. Fazendo uma comunicação direta através de I/Os digitais e analógicos entre as duas plataformas e empregando ideias simples, como: posicionar mecanicamente os sensores de registros em um esquadro perfeito sobre a mesa cartesiana, chegamos ao nosso objetivo principal de manter a máquina operante com o mesmo nível de precisão e confiabilidade, e com a qualidade necessária que o processo exige.

O desenvolvimento deste trabalho está organizado em Seções da seguinte forma: a Seção 2 apresenta as etapas Fundamentais do Processo. A Seção 3 apresenta uma revisão bibliográfica do trabalho. Na Seção 4 mostra os testes e resultados obtidos e a 5 a conclusão do trabalho.

## 2 Fundamento do Processo

### 2.1 Automação Industrial

O termo Automação Industrial está relacionado com qualquer tipo de equipamento que possua uma mecanização avançada. Os equipamentos automatizados são compostos por um grupo de dispositivos de áreas distintas, trabalhando sempre em total sincronismo, dispositivos eletroeletrônicos, eletropneumático, mecânico, hidráulicos e computacionais, dividem suas tarefas para alcançar bons resultados, cujo objetivo é proporcionar estabilidade, precisão e velocidade no processo produtivo, visando sempre à redução de custos [2].

O desenvolvimento constante dos circuitos integrados eletrônicos e a possibilidade de integração com as ferramentas de Software levaram ao desenvolvimento de diversas plataformas destinadas para o controle de processo de máquinas, sendo possível, desta forma, satisfazer qualquer seguimento Industrial. O CLP e as diversas plataformas desenvolvidas para o Sistema Embarcado são dois destes controladores de processo Automatizados utilizados neste projeto.

### 2.2 A Chapa de Impressão

A chapa de Impressão é Feita em Alumínio, suas dimensões são: Largura = 317 mm, Comprimento = 594 mm e Espessura = 0,4 mm. A chapa passa por dois processos. No primeiro processo, ocorre a queima da chapa, onde a imagem que representa uma página do Jornal é transferida para chapa por um scanner a Laser.

O segundo processo, que é o foco do nosso projeto, é a etapa de Furo e Dobra que será realizado pela máquina PBM, onde ocorre o preparo da chapa para posterior fixação no cilindro de impressão da máquina principal a Impressora Rotativa. A chapa será perfurada no centro das bordas superior e inferior. Esses furos devem ser perfeitamente casados, com tolerância de erro de aproximadamente 2 mm. Os furos serão encaixados em pinos fixos no cilindro de impressão e tem a função de alinhamento mantendo uma chapa sempre paralela.

Após a execução dos furos, a chapa será dobrada em ambas as extremidades, 18 mm em cada borda, sendo a borda superior com uma angulação de 120° e a borda inferior com angulação de 60° em relação à face sem imagem da chapa. A função das dobras é permitir o encaixe da chapa na fenda do cilindro de Impressão. Depois de fixada e alinhada com a Impressora em funcionamento, a tinta é transferida para a chapa através de rolarias de Borracha. As imagens gravadas nas chapas serão agora transferidas para o papel Impresso (Jornal). Na Figura 1 apresentamos uma chapa processada.

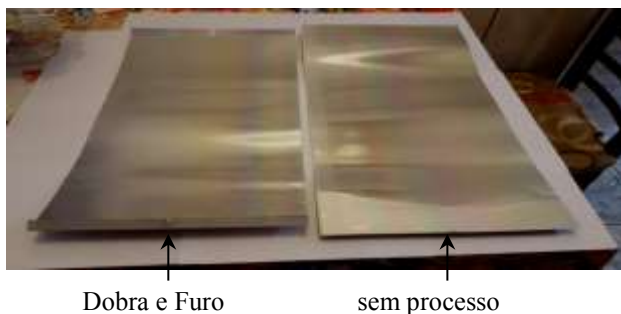


Figura 1. Chapa de Impressão com e sem Processo.

### 2.3 Máquina PBM

A máquina PBM, faz parte de um conjunto de equipamentos periféricos fundamentais ao processo de Impressão do Jornal. Totalmente automatizada, e sem intervenção humana a máquina PBM é responsável pela Furação e Dobra das chapas de Impressão [3]. A seção 2.2 detalha a chapa de Impressão que é o insumo deste processo. A chapa para ter o processo finalizado passa através das 4 seções bem definidas da máquina PBM:

A 1ª seção (Cross-Conveyor); temos uma esteira dupla que é responsável por encaminhar as chapas até a borda de entrada da área de registro, neste ponto elas ficam paradas aguardando um sinal de prioridade para evitar a entrada de múltiplas chapas para próxima seção, podendo receber e acumular até 4 chapas por vez.

A 2ª seção (Conveyor); temos a esteira principal com a função de transportar a chapa para a área de registro, até ocorrer o 1º toque nos pinos de registro Y, que habilita a descida e a parada da esteira. Neste estágio, a esteira tem a velocidade controlada pelo Inversor de Frequência, para aumentar a precisão na posição de parada.

A 3ª seção (Bender); é a área mais crítica. Nela é feito o controle de movimento dos eixos X e Y. Aqui ocorre o posicionamento da chapa sobre a Mesa de Registro para que ela possa ser Perfurada e Dobrada com precisão [4].

A 4ª seção (Stacker); é a etapa final do processo onde é feito o empilhamento das chapas após serem processadas. O empilhamento é feito com a máquina em funcionamento.

Um CLP de fabricação Allen\_bradley, CPU 1769-35E, faz todo o controle de leitura dos sensores, bem como o acionamento dos dispositivos Pneumáticos e motores via cartões de I/O digital. Integra-se com uma plataforma PIC 18F4520A através de comunicação discreta via I/O's digital para executar o controle da Mesa de Registro. O Rack principal do CLP se comunica com o Rack remoto através de uma rede DeviceNet via cartão scanner 1769-SDN para acionar os pinos de registro e controlar a válvula Proporcional responsável pela fixação da chapa sobre a Mesa. Faz também o controle de velo-

cidade da esteira principal responsável por transportar a chapa até a área de registro para o posicionamento.

### 2.4 A Mesa Cartesiana X-Y

É considerada a etapa mais importante do processo, e o foco de nosso trabalho. O nível de precisão alcançado nesta seção vai determinar o desempenho da máquina e, por consequência, a continuidade do processo, pois, chapas mal posicionadas vão gerar imperfeição nas Dobras e defasagem nos Furos produzindo chapas deficientes que serão rejeitadas no processo. A Figura 2 mostra os blocos do controle de Registro.

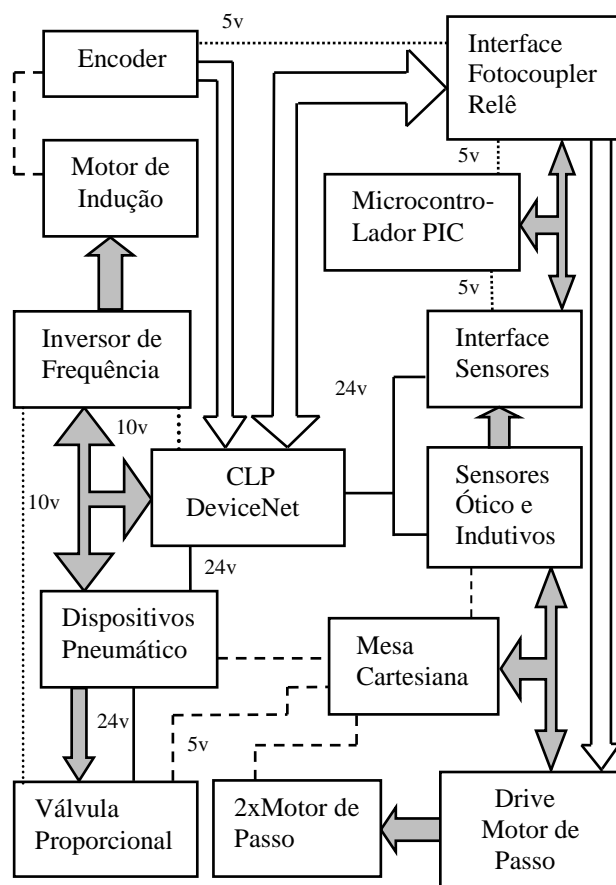


Figura 2. Diagrama Eletrônico do Registro em Blocos

#### 2.4.1 O Hardware da Mesa

Localizada na 3ª Seção (Bender) da máquina PBM, a Mesa X-Y tem em sua parte superior uma placa metálica perfurada para fixação das chapas através da aplicação do vácuo no instante em que os Motores de Passo estão em movimento. No momento de Furar e Dobrar a chapa, o sistema de vácuo garante estabilidade ao processo evitando o deslocamento da chapa. Dois Motores de Passo Bipolares são utilizados para realizar o movimento dos eixos X e Y da Mesa [5]. Cada eixo é monitorado por um conjunto de três sensores Indutivos, dois deles determi-

nam os finais de curso inferior e superior (S1, S3 no sentido Y e S4, S6 no sentido X) e o 3º determina a posição inicial da mesa (S2 sentido Y e S5 sentido X). Existe também um sensor óptico difuso que detecta a presença de chapa sobre a Mesa para iniciar os movimentos. Três Cilindros Pneumáticos estão distribuídos na área de Registro, cujas posições formam um esquadro perfeito. A função destes cilindros é enviar um sinal elétrico ao PIC confirmando que a chapa está na posição correta de alinhamento. Dois deles detectam o movimento no sentido vertical do eixo Y e o terceiro detecta o movimento horizontal do eixo X.

A Mesa é constituída de guias lineares, que fornece baixo atrito e alta precisão. Este tipo de mecanismo retira todas as folgas possíveis nos eixos, a força inicial de 2,5 kg para tirar a Mesa do estado de inércia, aliado ao Torque Estático no eixo do motor de passo de 5,99 kg-cm, produz uma alta estabilidade mecânica reduzindo erros no posicionamento. Na Figura 3 temos o desenho do Hardware da Mesa.

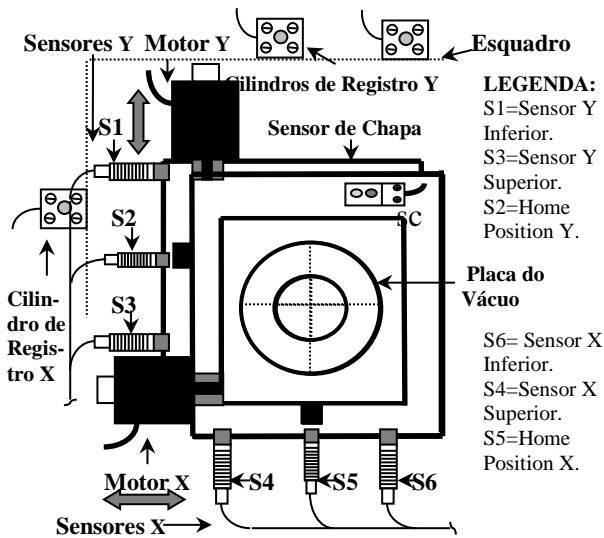


Figura 3. Componentes da Mesa de Registro

### 2.4.2 Funcionamento da Mesa

A Mesa controla o posicionamento da chapa através do PIC18F4520A, que se comunica diretamente com o CLP enviando e recebendo sinais digitais para executar seus movimentos. Funcionamento da Mesa em Passos:

**1º Passo.** A Entrada da Chapa na área de registro: O movimento inicial de entrada da chapa na área de Registro é feito pela esteira principal e finaliza ao tocar nos pinos de registro Y, controlado pelo Rack remoto do CLP via rede DeviceNet. A chapa entra no Bender com uma velocidade inicial de 600 RPM com o propósito de ganho

de produção. Após ser detectada pelo SC (sensor de chapa) localizado sobre a mesa, o sensor aciona a entrada A4 do PIC que envia um sinal ao CLP para reduzir a velocidade da esteira e acionar os cilindros de Registro. A velocidade cai no final do percurso para 400 RPM. A finalidade é reduzir a força de impacto da chapa contra os Cilindros de Registro Y, assim, aumenta a probabilidade de a chapa permanecer encostada em ambos os pinos de registro Vertical Y, o que reduz o índice de falhas.

**2º Passo.** Estabilização da chapa sobre a Mesa: Uma lógica AND feita entre o SC, juntamente com a ativação simultânea dos pinos de Registro Y executados no 1º Passo, informam ao PIC que ocorreu o registro do eixo Y. O PIC então envia um sinal para o CLP desligar o motor e retrair o Cilindro da esteira principal, desta forma, a esteira é abaixada e a chapa fica livre sobre a mesa sem a ação da esteira. Após receber o sinal proveniente desta lógica AND o PIC irá adicionar um atraso de 100 ms para estabilização da chapa sobre a mesa. Após este tempo o PIC irá acionar o Sistema de Vácuo.

**3º Passo.** Fixação da chapa sobre a mesa: Ao término dos 100 ms, a saída B6 do PIC aciona a entrada IN6 do CLP, que gera um sinal analógico de 5 Vcc acionando o 1º estágio da válvula Proporcional com o volume de ar reduzido em 50%. O Venturi gera uma pequena força de sucção sobre a chapa, cuja intenção é permitir que o motor de passo do movimento Y consiga deslocar facilmente a chapa sem causar danos e sem sobrecarregar o Motor.

**4º Passo.** Movimento do Eixo Y: Após acionar o 1º estágio do vácuo, o Motor Y poderá ser acionado ou permanecerá em repouso dependendo do resultado do teste dos pinos de Registro Y.

**Resultado 1. Pinos não acionados:** O registro Y não está acionado após a parada da esteira. Neste caso, o PIC vai acionar o motor de passo do eixo Y, forçando o movimento da chapa contra os pinos de registro até fechar o circuito elétrico e enviar este sinal ao PIC que imediatamente vai parar o motor Y. A saída B6 agora aciona a entrada IN6 do CLP para desligar os 50% do vácuo, imediatamente a saída C7 vai acionar a entrada IN5 do CLP para gerar um valor de 10 Vcc analógico acionando o 2º estágio da válvula Proporcional. Agora com 100% do valor máximo da linha de ar, o Venturi aplica uma forte sucção na chapa que fixada fortemente fica livre de deslocamentos. A chapa está devidamente alinhada em relação ao eixo Y e vai iniciar o movimento do eixo X.

**Resultado 2. Pinos acionados:** O registro Y está acionado significa que a chapa não saiu da posição com a parada da esteira, mantendo o contato elétrico no registro Y com a chapa alinhada. Não será necessário o acionamento do eixo Y, o PIC simplesmente vai acionar o vácuo em 100% como mencionado acima e irá iniciar o movimento horizontal do eixo X.

**5º Passo.** Movimento do Eixo X: com a chapa alinhada no sentido vertical registro Y, estando o vácuo acionado em 100% do passo anterior, o PIC agora vai comandar o movimento correspondente ao motor de passo do eixo X, que vai deslocar a chapa horizontalmente no sentido do pino de registro X. Ao tocar o eixo X será fechado o circuito elétrico com o pino Y, a chapa neste momento está alinhada e finaliza o ciclo.

**6º Passo.** Finalizando o ciclo: Com os pinos de registro X e Y acionados, o PIC entende que a chapa está devidamente posicionada. Mantendo agora somente o vácuo acionado em 100%, o PIC vai retrain os pinos de registro e transferir o controle do sistema para o CLP que vai iniciar o processo de Furo e Dobra. Após este processo, dá-se o desligamento do vácuo e o acionamento do cilindro de elevação da esteira juntamente ao acionamento do motor da esteira para retirada da chapa já processada da área de registro, permitindo reiniciar o processo. Na Figura 4 temos o Fluxograma do Código para o PIC.

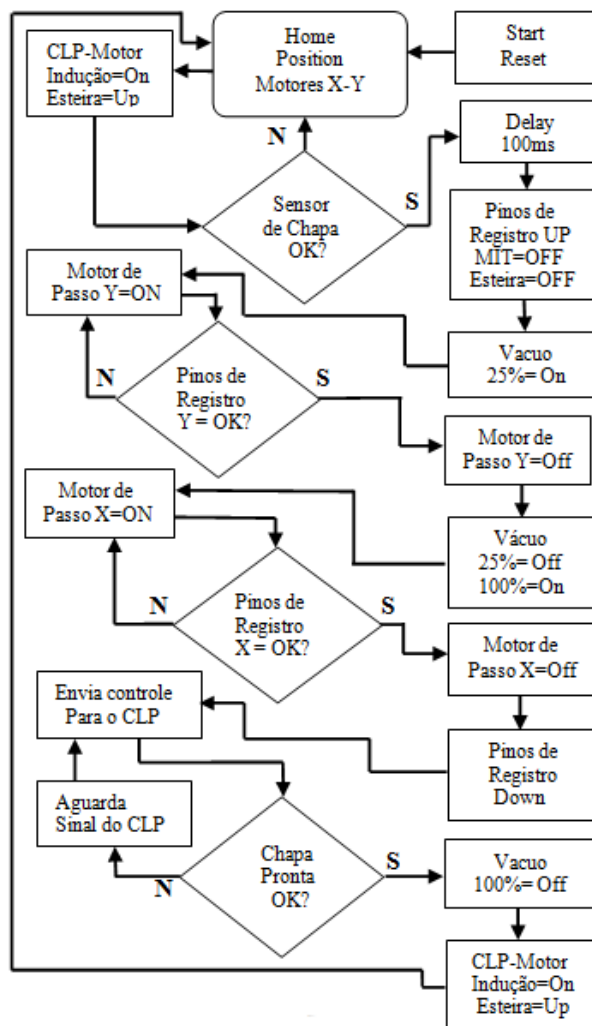


Figura 4. Fluxograma: Código do PIC

## 2.5 O Sistema de Vácuo

O Vácuo é responsável por manter a chapa fixa sobre a mesa e evitar oscilações durante o movimento dos eixos. Será acionado com valores diferentes em estágios específicos do processo. Inicialmente, será aplicado um vácuo suave com 50% que permite que o motor do eixo Y desloque a chapa sem danos a ela e sem sobrecarga ao motor até tocar no pino de registro Y. No segundo estágio, aplica-se 100% de vácuo para conseguir uma maior fixação para deslocar a chapa até o pino de registro X sem oscilação. Esta etapa foi possível com a adaptação de uma válvula Pneumática Proporcional interfaceando o acionamento de um dispositivo de Venturi, responsável por gerar o Vácuo para o sistema. A válvula funciona recebendo um sinal analógico do CLP, o PIC controla o instante de acionamento de cada um dos estágios. Dependendo da posição da chapa sobre a mesa e da condição dos sensores de registro, o PIC aciona os pinos programados como saída B6 para 50% e a saída C7 para 100% do vácuo.

## 2.6 Controle de Velocidade da Esteira

Este controle reduz a velocidade da esteira, melhorando a precisão do sistema, pois, a redução do impacto da chapa contra os pinos de registro Y no final do movimento da esteira garante que a chapa finalize seu movimento muito próximo aos pinos de registro Y.

Os sinais de partida, parada e sentido de rotação são recebidos no CLP e enviados ao Inversor de Frequência para controlar o Motor (MIT). O PIC também solicita a parada do Motor no início do movimento da Mesa. Um cartão de entrada Analógico recebe de um potenciômetro um sinal de referência de velocidade (0 a 10 Vcc). Este sinal será processado e entregue a um cartão de saída Analógico que envia o resultado ao Inversor de Frequência para acionar o Motor. A velocidade é medida em função da Frequência e do número de polos do Motor. Matematicamente: A Velocidade síncrona ( $N_s$ ) em RPM é o produto de 120 vezes a frequência em Hz ( $f$ ) dividido pelo número de polos do Motor ( $p$ ).

$$N_s = \frac{120 \times f \text{ (Hz)}}{P} \text{ RPM}$$

Um Encoder acoplado ao eixo do Motor envia os pulsos para o cartão 1769-HSC, que é um contador rápido, responsável por lê e enviar os sinais gerados pelo Encoder para o CLP. Este possui uma função integrada na qual se pode escalar o valor lido do Encoder e convertê-lo diretamente em números de rotação por minuto (rpm). Ao plugar o cartão em um dos slots do rack remoto da rede Devicenet, o Software de programação Rslogix 5000 automaticamente reconhece o cartão e cria as variáveis que serão usadas no programa do usuário. A variável gerada "CtrlCurrentRate" fornece uma taxa contínua



representando a quantidade de pulsos do encoder em um período de tempo pré-fixado pela variável “CyclicRateUpdateTimer”, dados suficiente para calcular a velocidade do Motor, utilizando a instrução matemática CPT (computer) obteremos o valor de RPM desejado.

Para fazer o cálculo do RPM utiliza-se a variável “Local:2:I.Ctr1CurrentRate”. ‘Local:2:I’ identifica o cartão HSC no Slot 2 do rack definido como Bit de entrada. “Ctr1” seleciona o canal 1 do encoder e ‘CurrentRate’ é a taxa contínua de pulsos lido, basta dividir esta expressão pelo número de Pulsos/Revolução do encoder (256) e multiplicar por 60 para converter o valor em RPM. Na tabela de TAG atribuiremos também um valor de 10 ms para a variável definida como, “CyclicRateUpdateTimer”, que representa o período de tempo fixo na qual o Encoder será lido. Na Figura 5 a instrução do programa que faz o cálculo do RPM.

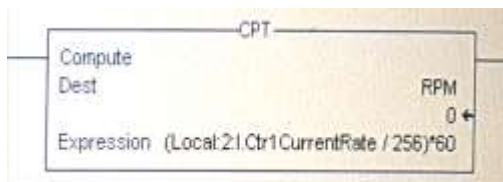


Figura 5. Fórmula para cálculo do RPM

## 2.7 Home Position

Assim que o sistema é energizado ou inicializado, os motores de Passo dos eixos X e Y vão se deslocar para uma posição central denominada Home Position ‘HP’. Para cada sentido de movimento dos eixos X e Y existem 3 sensores dispostos em linha. Dois são para as extremidades inferior e superior que vão determinar o final de curso da mesa e o terceiro sensor fica localizado entre os 2 das extremidades e define a posição inicial da mesa. Na inicialização, os motores farão uma varredura até encontrar um dos sensores das extremidades e fazer a reversão de sentido até encontrar o sensor HP e finalizar sempre nesta posição central. Esta posição inicial é também uma condição de partida para o registro das chapas.

## 2.8 Sensoriamento do Sistema

Os sensores utilizados são dispositivos construídos para detectar a presença ou passagem de materiais metálicos ou não metálicos, por proximidade ou aproximação, sem contato físico. Para cada eixo existem 3 sensores Indutivos dispostos em linha. O sensor do centro vai detectar a posição de início (home position), que envia um sinal quando se energiza a máquina ou se aplica um Reset. Os outros 2 sensores indicarão os limites de final de curso e serão responsáveis pela detecção das posições de final de curso da mesa e informarão ao sistema quando qualquer um dos eixos estiver no seu limite máximo superior ou limite máximo inferior.

Um Sensor Ótico Difusos será responsável por informar ao sistema que existe chapa na secção de alinhamento e que o sistema poderá iniciar o movimento dos motores de Passo.

## 3 Descrição dos Equipamentos

### 3.1 O CLP

O CLP tem seu funcionamento baseado num sistema de microcomputador onde se tem uma estrutura definida de software que realiza continuamente ciclos de varredura. As memórias e registradores agregados em seu hardware são capazes de armazenar toda a lógica do programa e dados do sistema através do monitoramento das variáveis de campo ele cria tabelas de status para armazenar o status dos dispositivos de entrada e saída. O CLP é capaz de trabalhar com sinais tanto Digitais quanto Analógicos [6]. Funciona processando o programa armazenado em sua memória e, fazendo o constante monitoramento do status do sistema via coleta de dados enviados por dispositivos de entrada, executa a lógica implementada no programa (conhecida por lógica ladder). A partir destes resultados, o CLP determina quais serão as ações necessárias a serem tomadas com relação ao acionamento dos dispositivos de saídas os atuadores. Com Hardware especial é possível realizar contagens superior ao seu ciclo de varredura, controlar Drives de Motores, gerar altas frequências de saída etc. Possui também alta capacidade de processamento e comunicação com dispositivos seriais ou via redes industriais de comunicação, como Profibus e Devicenet.

### 3.2 A Rede Devicenet

Os sinais analógicos envolvidos no controle de velocidade da esteira e o acionamento dos cilindros de registros e da válvula proporcional da mesa são controlados pelo Rack remoto conectado ao CLP via rede Devicenet.

Algumas características desta rede: comunicação com apenas três fios, pode atingir uma distância de até (500m) com velocidade de 125 kbps, pacotes de dados de 8 byte, comunicação com equipamentos discretos e analógicos e alto poder de diagnóstico dos dispositivos da rede. A tecnologia Devicenet é um padrão aberto de automação com objetivo de transportar dados cíclicos para sensores e atuadores, dados de configuração e diagnóstico. Uma rede Devicenet pode conter até 64 dispositivos, onde cada dispositivo ocupa um nó na rede, endereçados de 0 a 63 [7].

### 3.3 O Microcontrolador PIC

Dotado de uma inteligência totalmente programável e usado para controle de processo um microcontrolador é um sistema computacional completo, no qual estão inclu-

idos uma CPU (Central Processor Unit), memória de dados e programa, um sistema de clock, portas de I/O (Input/Output), além de outros possíveis periféricos, tais como, módulos de temporização e conversores A/D, todos integrados em um mesmo component. Diversas características como alta velocidade de processamento, baixo consumo de energia, integração total de seus periféricos e custo muito baixo, fazem do microcontrolador um produto com um grande índice de aceitabilidade no mercado. A facilidade de programação em linguagem de alto nível faz do PIC uma ótima opção para projetos Industriais [8]. O PIC18F4520 possui os componentes necessários para ser utilizado como interface neste projeto. Desenvolvido em arquitetura Harvard, ele possui o conjunto de instruções do tipo RISC ( Conjunto reduzido de instruções ). Este microcontrolador utiliza a tecnologia Nanowatt desenvolvida pela Microchip, permitindo menor consumo de energia. A Tabela 1 mostra algumas características deste PIC.

Características	Valores
Frequência de Operação	40 MHz
Memória Flash	32 KB
Canais Analógicos	13 CH de 10 Bits
Temporizadores	4 x de 8,16 Bits
Comparação e Captura	PWM , CCP
Portas de Comunicação	SPI, I2C, USART, USB
Fontes de Interrupção	20 Fontes

Tabela 1: Algumas características do PIC

### 3.4 Motores de Passo (MP)

Os Motores da Vexta PH266L foram usados no projeto. Eles controlam os eixos da mesa. Os MP são dispositivos eletromecânicos de precisão que convertem pulsos elétricos em movimentos mecânicos, cuja velocidade depende da frequência aplicada. O número de pulsos determina deslocamento angular.

Funcionam recebendo pulsos DC nas bobinas que, quando energizadas, atraem o rotor fazendo-o se alinhar com o eixo determinado pelas bobinas, causando assim uma pequena variação de ângulo denominada passo [9]. A energização das bobinas cria um campo magnético intenso que atua no sentido de alinhar os dentes do eixo com os do estator. Pode-se movimentar o rotor entre as bobinas (meio passo ou “half-step”) ou alinhadas com as mesmas (passo completo ou “full-step”).

Devido à carga inicial de 2,5 kg para deslocar a mesa,

foi necessário o uso de motores Híbridos que possuem alto rendimento. Usamos também a configuração no modo bipolar para alcançar torque estático e dinâmico mais elevados, isto é possível devido ao melhor aproveitadas das bobinas nesta configuração. Como o modo Bipolar requer a inversão de fase das bobinas, necessita-se de circuitos elétricos em ponte H. Neste caso, usamos o Drive TB6560. Para o cálculo da velocidade, basta dividir a frequência dos pulsos pelo número de pulsos por revolução o resultado multiplicado por 60 temos a velocidade em RPM. Para saber o deslocamento linear do eixo, basta multiplicar o valor em RPM pelo deslocamento por volta do fuso [10]. Na Tabela 2 algumas características do Motor dimensionado estão listadas.

$$Vel = \frac{PPS (Hz) \times 60}{PPR} \text{ RPM}$$

$$1 \text{ volta do fuso} = 14 \text{ mm}$$

$$\text{Deslocamento do eixo} = 1 \text{ volta do fuso} \times Vel \text{ RPM}$$

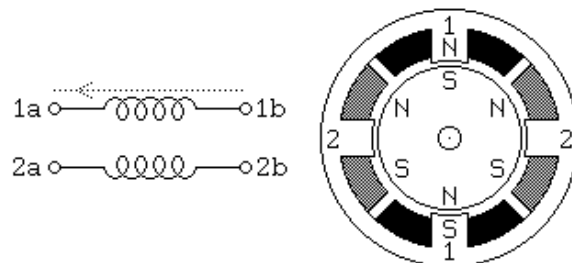


Figura 6. Fases de um Motor de Passo Bipolar

Dados de Placa	Valores
Step	1.8° \ 200 PPR
Tensão	6 Vdc
Static Torque	5.99 KG-cm
Dinamic Torque	3.6 Kg-cm \ 500 Hz
Current per Fase	1.2 A

Tabela 2: Dados de Placa do Motor

### 3.5 Encoder Incremental

O Encoder 845H de Fabricação Alen-Bradley, necessita de 5 Vcc para gerar 256 pulsos por revolução. Encoder é um transdutor Óptico Eletrônico que, acoplado ao eixo do motor, converte o movimento angular numa quantidade fixa de pulsos Digitais de acordo com o número de revolução do seu eixo (trem de pulsos). Estes pulsos servirão de base de cálculo para diversos processos. Baseado em um disco, formado por janelas radiais iluminadas perpendicularmente por uma fonte de luz

infravermelha, que será projetada num receptor, convertendo essas janelas de luz em pulsos elétricos [11]. O encoder fornece normalmente dois pulsos quadrados defasados de 90° que são chamados usualmente de canal A e canal B. A Figura 7 mostra o Encoder Incremental.

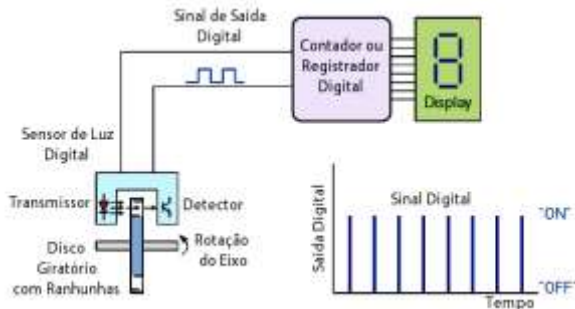


Figura 7. Diagrama funcional do Encoder

### 3.6 Motores de Indução (MIT)

Usamos um Motor de Indução WEG de 4 polos, 1800 RPM, ligado em 220 Vac/1.4 A. Motores são peças fundamentais e indispensáveis em qualquer processo Industrial, são capazes de transformar energia elétrica em energia mecânica para realização de diversas formas de movimento. Apesar de altamente eficientes seu princípio de funcionamento é simples, baseado no campo magnético girante, que surge quando um sistema de alimentação de corrente alternada é aplicado em um Motor com seus polos defasados entre si de 120°, ou seja, a tensão da rede alternada em ciclos por segundo (Hz) é aplicada nas bobinas do Motor fazendo aparecer um campo magnético girante. A velocidade de rotação de um Motor trifásico está ligada a velocidade proporcionada pelo campo magnético girante. Esta velocidade é chamada de velocidade síncrona, em função do número de polos do Motor e de sua característica construtiva; e também em função da frequência da rede à qual está ligado, ou ainda do dispositivo de controle. Portanto, podemos concluir que a velocidade do Motor elétrico trifásico é diretamente proporcional à frequência a ele aplicada [12]. A Figura 8 apresenta o MIT.

### 3.7 Inversor de Frequência

O controle de velocidade da esteira principal tem influência direta na precisão do processo, para esta finalidade usamos um Inversor de Frequência da Allen-Bradly 160S, dispositivo eletrônico capaz de variar a velocidade de giro no eixo de um motor de indução trifásico. Este dispositivo transforma corrente elétrica alternada fixa em corrente elétrica alternada variável, controlando a potência consumida pela carga através da variação da frequência entregue pela rede. Basicamente o Inversor de Frequência é constituído por três Blocos eletrônicos responsáveis pelos processos de conversão realizados pelo In-

versor, pois primeiro se transforma o sinal AC senoidal da rede em DC contínuo para posteriormente transformar o sinal DC contínuo em DC pulsante muito próximo a um sinal senoidal variável na saída do inversor [13], assim variando a frequência de trabalho podemos variar a velocidade do Motor. Tabela 3 fornece alguns parâmetros do Inversor de Frequência.

INPUT	OUTPUT
220 Vac (Mono)	220 Vac (trifásico)
4.8 A	2.3 A
50/60 Hz	0 - 240 Hz
1 Hp	15 KHz (chaveamento)

Tabela 3: Parâmetros do Inversor de Frequência

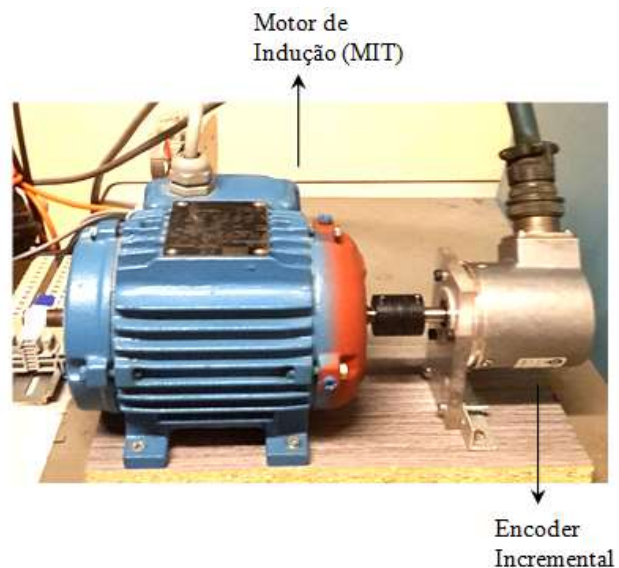


Figura 8. Dispositivo de Controle de Velocidade da Esteira

### 3.8 Válvula proporcional (Norgren)

A Válvula de Controle Digital Proporcional VP-51 é bastante usadas em diversas aplicações Pneumáticas Industriais. Sua seção Pneumática é controlada por um Diafragma de alta precisão, a pressão piloto é gerada e controlada eletronicamente e define a pressão de saída da unidade. Um sinal de Feedback (realimentação) da porta de saída é comparado com o sinal Set-point (valor ajustado) e assegura uma pressão de saída estável de alta precisão. A relação entre a tensão elétrica e a pressão de ar é de 0 - 10 VCC e 0 - 100 PSI respectivamente (sendo 1 V/bar). A Tabela 4 apresenta algumas características da Válvula Proporcional e a Figura 9 apresenta a Válvula.



Descrição	Valores
Marca/Modelo	Norgren\VP-51
Fluid	Compressed air
Flow Capacity	1300 L/min
Max Pressure	Up to 14 Bar (Max)
Control Signal	0-10V, 4-20mA
Supply	24V DC - 20%

Tabela 4: Características da Válvula Proporcional

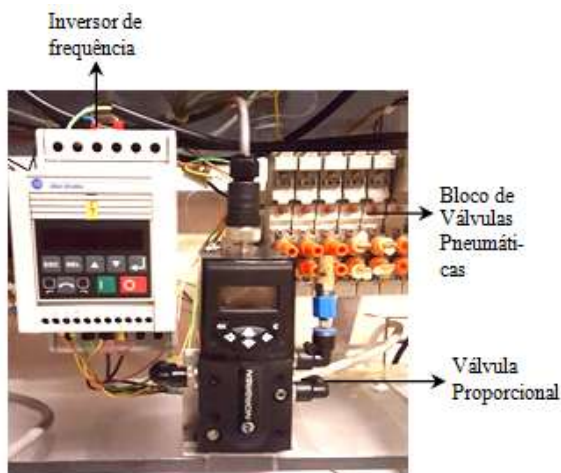


Figura 9. Dispositivos de Controle do Vácuo, Cilindros de Registro e Velocidade

### 3.9 Drive do Motor de Passo (Toshiba)

O Circuito Integrado TB6560HQ usado no projeto é um controlador de Motor de passo bipolar que usa tecnologia PWM e circuitos de controle em ponte 'H', possui uma frequência máxima dos pulsos de entrada (CLK) de até 15KHZ, ele pode controlar Motores com excitação em passo completo, meio passo e micropassos, podemos controlar a velocidade através da frequência de entrada, partida e parada e também o sentido de giro. Os parâmetros são ajustados através de chaves Dip-Switch, estamos com S3 e S4 na condição OFF significa modo de passo completo, para o valor da corrente temos SW1, SW2, SW3 e S1 respectivamente nas condições ON, OFF, ON, OFF que resulta em um valor de corrente de 2.0 A [14]. A Tabela 5 mostra algumas características do Drive. A Figura 10 apresenta o drive TB6560.

Descrição	Valores
Alimentação	12 - 36 Vdc
Corrente Max.	3.5 A
Número de Fase	2 fases e 4 fases
Nº. terminais	4,6 e 8 fios.
Micropassos	1,2,1/8 e 1/16 step
Motores Nema	17 , 23 e 34.

Tabela 5: Características do Drive



Figura 10. Módulo do Drive TB6560HG

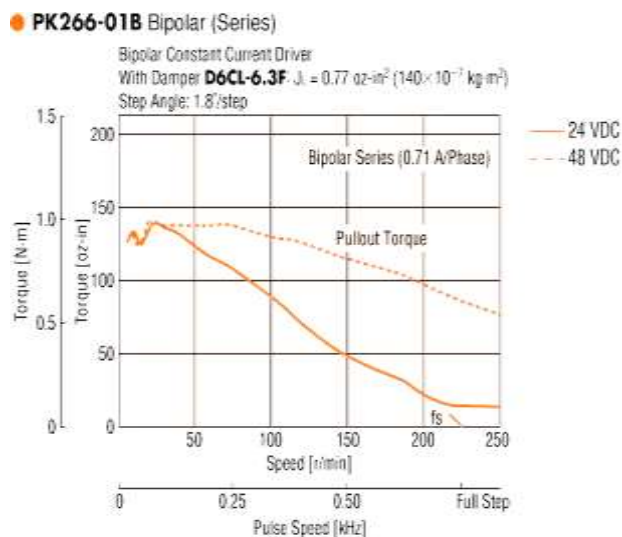


Figura 11. Torque dos Motores de Passo

**OBS:** Observando a Figura 10 podemos concluir que para um valor de 500 Hz temos um torque dinâmico de 50 Oz-in que equivale a 3.6 kg-cm, valor suficiente para o tracionamento dos eixos da mesa de 2.5 kg.

### 3.10 Sensor Óptico Difuso

Para detectar a presença da chapa na mesa, devido a alta distância de atuação, foi usado um sensor Óptico

Difuso, que se baseia, na transmissão e recepção de luz infravermelha, o acionamento da saída ocorre quando o objeto a ser detectado entra na região de sensibilidade e reflete para o receptor o feixe de luz emitido pelo transmissor. A Tabela 6 mostra algumas características do sensor Ótico.

Descrição	Valores
Marca\Modelo	Sick\WT42P330
Corrente Out	100 mA
Dist. Atuação	200 mm
Alimentação	10 Vcc à 30 Vcc
Saída Out	NPN

Tabela 6: Características do Sensor Ótico

### 3.11 Sensor Indutivo

Para detectar o deslocamento dos eixos da mesa, sendo esta constituída em sua totalidade por material metálico, foram utilizados, seis sensores indutivos de proximidade. Os sensores indutivos geram um campo eletromagnético de alta frequência que em resposta a presença de material metálico em sua face gera um sinal elétrico que será tratado e devidamente processado, então disponibilizado em sua saída em formato digital, sendo largamente usados em controle de processo. A Tabela 7 mostra algumas funções do sensor Indutivo. A Figura 12 apresenta o sensor Indutivo e o Sensor Óptico utilizados no projeto.

Descrição	Valores
Marca\Modelo	AllenBradley\871TMDH2
Corrente Out	200 mA
Dist. Atuação	8 mm
Alimentação	10 Vcc à 30 Vcc
Saída Out	NPN

Tabela 7: Características do Sensor Indutivo



Figura 12. Sensores utilizados

### 3.12 Placa do PIC com a Interface

O protótipo abaixo faz uma interface entre o PIC e o CLP, a necessidade do uso desta placa é devido a incompatibilidade nos níveis de tensão, visto que o PIC trabalha em nível TTL (5 VCC) e o CLP trabalha com 24 VCC. Optamos por transistores chaveando relês de contatos duplos, um será usado para a interface dos sinais e o outro acionará lâmpadas de sinalização da máquina em 110Vca. Foi usado também Ópto-acopladores para transmitir os pulsos de velocidade ao Drive dos Motores de Passo.

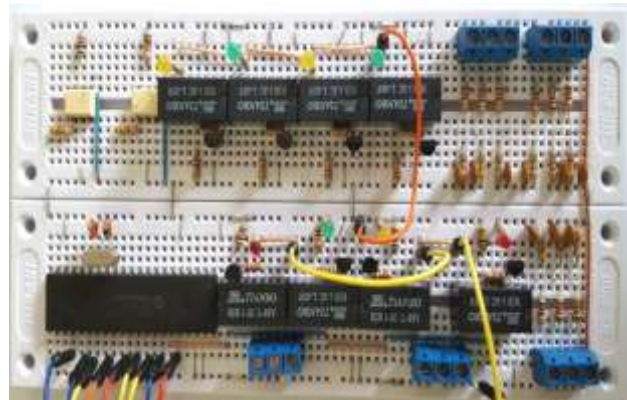


Figura 13. Placa do PIC com a Interface.

### 3.13 Diagramas Elétricos da Interface

A grande quantidade de sinais interfaceados no projeto torna o diagrama elétrico muito extenso, assim estamos apresentando blocos individuais do diagrama com a intenção de simplificação de desenhos, visto que os blocos se repetem em sua maioria.

Figura 14. Temos a interface entre o pino do PIC (RA0) programado como saída acionando o relê que envia 5 Vcc referente a Direção do Motor X na Placa do Drive.

Figura 15. A Saída do PIC (RC7) liga um relê que envia 24 VCC para acionar a entrada IN6 do CLP.

Figura 16. O Pino do PIC (RA2) envia pulsos para o Foto-acoplador alimentar a entrada de Frequência da placa do Drive promovendo a velocidade do Motor de Passo.

Figura 17. Mostra como o sinal do Sensor de Chapa (SC), chega até o Pino do PIC (RA4) programado como entrada, o mesmo diagrama é válido para todos os sensores.

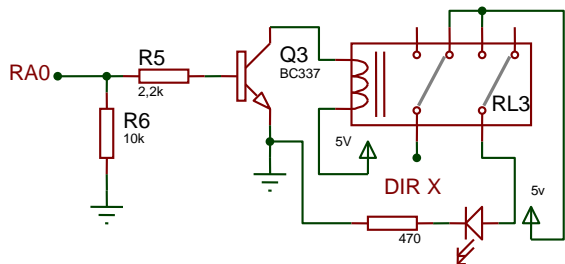


Figura 14. Interface do PIC com a Placa do Drive MP  
Sinal de direção do Motor X.

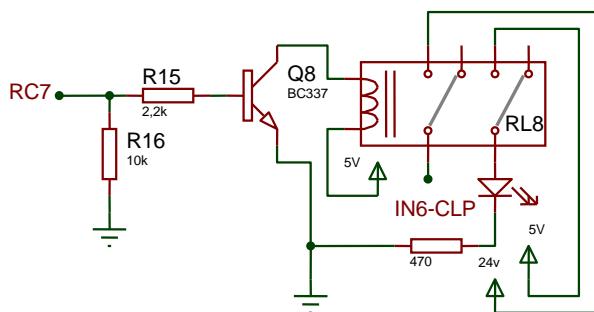


Figura 15. Interface PIC com a entrada Digital IN6 do CLP.

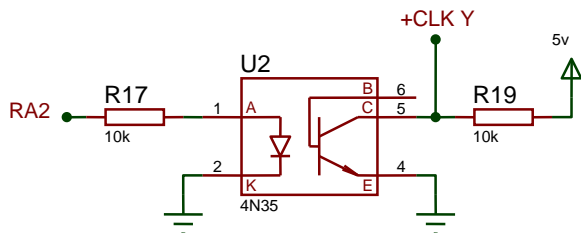


Figura 16. Interface do PIC com a Placa do Drive MP  
Sinal de clock da velocidade.

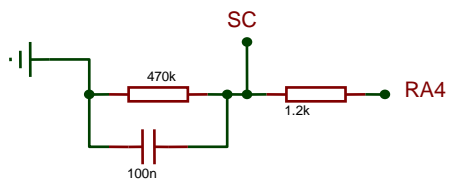


Figura 17. Ligação do sensor na entrada do PIC.

### 3.14 Ferramenta de Software do PIC

O programa foi desenvolvido em linguagem 'C', por questões de conhecimento prévio usamos o compilador (CCS PCWHD V5.008) em conjunto com o gravador e depurador PICKIT2 da Microchip.

A execução dos movimentos da Mesa se dá através de um programa sequencial simples onde as decisões são condicionadas pela estrutura 'IF'. O programa está dividido em 5 sub-rotinas que torna mais fácil o entendimento das etapas, as sub-rotinas de movimento dos Motores e

de retorno a posição de início (Home Position), encontram-se dentro de um loop 'While' que acionam os pinos de saída do PIC em função dos sinais dos sensores recebidos em suas entradas. O uso de instruções 'Break' dentro do programa foi muito importante nas ocasiões em que se fez necessário abandonar o loop quando a conclusão de um evento foi alcançada. Um Fluxograma do Código encontra-se no Tópico 2.4.2, Figura 3.

### 3.15 Ferramenta de Software do CLP

O CLP (Compact Logix) de fabricação Alen-Bradley, usado no projeto utiliza um Software de Programação denominado Rslogix 5000, com uma nova tecnologia de programação que apresenta inovações e vem se tornando tendência entre os fabricantes de CLP's, as várias ferramentas de programação que antes eram adquiridas separadamente hoje são completamente integradas, isto significa que podemos controlar toda uma arquitetura contendo CLP, Rede Industrial, IHM e Controladores de Motores entre outros dispositivos com um único Software. Neste projeto já fazemos uso desta tecnologia, toda a programação do CLP é feita em linguagem Ladder para controlar todos os Motores e dispositivos Pneumáticos da máquina, o CLP também se comunica com o Rack Remoto em rede Devicenet responsável por controlar a velocidade da esteira principal da máquina.

## 4 Testes de Funcionamento

A necessidade de desenvolver um sistema com alto nível de confiabilidade levou a realização de testes práticos com a finalidade de mensurar o rendimento da máquina, através de testes de Repetibilidade.

Para realizar os testes foram feitas mudanças no programa do PIC de forma que a Mesa passe a funcionar em modo contínuo realizando um ciclo após o outro. Por questões de visualização de valores, implementamos no programa do CLP 2 contadores que, recebendo sinais dos pinos de registro, irão contar as chapas posicionadas corretamente e o número total de chapas testadas. A partir dos dados obtidos poderemos subtrair os resultados dos contadores e saber o número de erros de posicionamento.

Na falta de dados que nos informem qual deveria ser a porcentagem de falhas aceitáveis, criamos a Tabela 8 que nos apresenta o resultado de um ciclo produtivo semanal para termos um valor de referência e usá-lo em nossos testes. Estes números variam a cada dia em função do tipo e da quantidade de cadernos a ser editado no dia específico da semana.

Dias da Semana	Número de Chapas Processadas	Número de Chapas Rejeitadas
2ªFeira	121	5
3ªFeira	126	8
4ªFeira	142	7
5ªFeira	240	12
6ªFeira	136	5
Sábado	142	6
Domingo	230	14
TOTAL DA SEMANA	1137	57

Tabela 8. Valores de Produção durante três Semanas.

**OBS:** A tabela foi montada intencionalmente utilizando a máquina que hoje apresenta problemas técnicos e tornou-se alvo de nosso projeto. Como esperado encontramos um alto valor de rejeito de aproximadamente 5%, em comparação a máquina que não apresenta problemas em seu funcionamento. A redução desta porcentagem de rejeito será o objetivo que deveremos alcançar na realização de nossos testes

#### 4.1 Variáveis utilizadas nos Testes

Os valores de partida escolhidos para os testes, foram obviamente tomados em comparativo aos valores da máquina em funcionamento, com o uso de equipamentos de medição industrial como Torquímetro, Tacômetro e Manômetros Digitais etc. Foi feita uma pesquisa das principais variáveis que têm influência direta na precisão do processo que são: O Vácuo, e as Velocidades dos Motores de Passo e da Esteira de Transporte de Chapas. Então para os valores medidos das variáveis de Velocidade atribuímos diferentes valores. No caso da velocidade da esteira sabemos que deveremos ter velocidades menores para reduzir o impacto contra os pinos de registro Y. Já no caso dos Motores de Passo atribuímos um valor Superior e um valor Inferior em relação ao valor medido. Os valores das variáveis usados no projeto serão aqueles que apresentarem os menores índices de rejeito apresentados.

Montamos a Tabela 9 da seguinte forma. Fixamos três valores para o sistema do Vácuo em seu primeiro estágio de funcionamento que corresponde ao movimento do eixo Y, devido ao fato do Vácuo ter um valor original fixo em 100% fracionamos os valores em 1/4, o valor do Vácuo é alterado enviando valores analógico para a válvula proporcional.

Para cada valor do Vácuo iremos definir três valores para as velocidades da Esteira e dos Motores de Passo segundo o critério exposto acima. Manualmente através do potenciômetro a velocidade da Esteira é facilmente ajustada, já para os motores de passo será necessário alterar o valor da frequência enviada ao Drive do Motor de Passo via o programa do PIC.

Variáveis Medidas no Processo	Valores Ajustados	Total Rejeitado		
		Valor do Vácuo (%)		
	Nº Repetições 1137 Ciclos	25%	50%	75%
Velocidade Dos Eixos Motores de Passo	300Hz\1260 mm\min	12	8	17
	500Hz\2100 mm\min	11	5	15
	700Hz\2940 mm\min	14	10	18
Velocidade da Esteira Motor de Indução		200 RPM	400 RPM	600 RPM

Tabela 9. Variáveis do Processo

#### 4.2 Resultado dos Testes

Através dos dados da Tabela 9 verificamos que os melhores resultados foram alcançados com o valor do Vácuo fixado em 50%, a velocidade dos Motores de Passo em 500 Hz que corresponde a 2100 mm\min de deslocamento Linear, com uma baixa velocidade da Esteira de 400 RPM.

Estes resultados alcançaram um percentual de falhas de 0,45%, que caracteriza um índice de falha aceitável para o processo, pois diminui bastante o desperdício de insumo. Sendo assim estes serão os valores adotados no projeto, pois estes são os que estão gerando os resultados que apresentaram os menores índices de rejeição de chapas. Desta forma estaremos garantindo um processo com um elevado índice de confiabilidade.

### 5 Conclusões e Melhorias

A proposta deste artigo é Automatizar o sistema de controle de uma máquina do ramo Gráfico em função do seu estado de obsolescência. A pesquisa teve como foco principal a implementação de um sistema Embarcado usando uma plataforma PIC totalmente sincronizada com um CLP, tornando possível a substituição da etapa de posicionamento de chapas de Impressão da máquina PBM com a finalidade de evitar a inoperância da mesma.

Observamos com os resultados obtidos, que a integração de duas plataformas com diferentes tecnologias, pode servir de referência para conduzir a resolução de diversos problemas em máquinas na área Industriais. Como foi o caso do projeto em questão que solucionou um problema específico em uma determinada seção da máquina. Características como redução de espaço físico, facilidade de programação e redução de custos encontrados nos PIC's, foram atrativos suficientes para aprovar e dar continuidade a este projeto.

O trabalho terá continuidade com implementações futuras, visando a melhoria de suas funcionalidades, uma destas será a inclusão de um Painel de operação IHM para permitir a comunicação com o sistema através da ferramenta de programação Rslogix 5000 já incluída no processo. Uma IHM tornará o sistema bastante flexível proporcionando ajustes em parâmetros de operação, diagnósticos de falhas e funções de manutenção essas funcionalidades completam o processo de Automação da Máquina.

## Referências

- [1] F. Prudente. Automação Industrial Pneumática: Teoria e Aplicação, Editora GEN LTC, Rio de Janeiro, 2013.
- [2] A. Capelli. Automação Industrial: Controle de Movimento e processos contínuos, Editora Érica, São Paulo, 2013.
- [3] Powers, John W., and Kelly T. McMasters. "Method of and apparatus for punching and bending a lithographic plate." U.S. Patent No. 5,502,993. 2 Apr. 1996.
- [4] TAKEUCHI, Hideo ET al. System and plate bending machine for registering in an offset printing press. U.S. Patent n. 4,594,868, 17 jun. 1986
- [5] C. A. Silveira. Integração de um sistema de Impressão 3D em uma arquitetura modular de posicionamento Cartesiano (X, Y), Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.
- [6] F. D. Petruzella. Controladores Lógicos Programáveis, Editora AMGH, Porto Alegre, 2014.
- [7] A. Baratella. Sistema Fieldbus para Automação Industrial : Devicenet, Canopen, SDS e Ethernet, Editora Érica, São Paulo, 2009.
- [8] W. S. Zanco. Microcontroladores PIC 18F com Linguagem C baseado no PIC 18F4520, Editora Érica, São Paulo, 2010.
- [9] C. G. Ferreira. Motor de Passo Técnicas de Acionamento, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Julho, 1994.
- [10] Cálculo Velocidade Motor Passo. Disponível em: <<http://www.guiacnc.com.br/motores-em-geral-144/duvida-em-calcular-rpm-de-motor-de-passo/>>. Acesso em: 2 Julho 2016
- [11] Encoder Incremental. Disponível em:<<http://www.ab.com/em/epub/catalogs/12772/6543185/82395/39578/11966023/Product-Selection.html>>. Acesso Em: 5 maio 2016.
- [12] G.Carvalho. Máquinas Elétricas: Teoria e Ensaios, Editora Érica, São Paulo, 2011.
- [13] C. M Franchi. Inversores de Frequência: Teoria e Aplicação, Editora Érica, São Paulo, 2009.
- [14] Controlador de Motor de passo TB6560. Disponível em:<<http://hetprostore.com/TUTORIALE/tb6560-controlador-motor-pasos/>>. Acesso em 28 Junho 2016.