

## PROCESSO DE AUTOMAÇÃO DE MÁQUINA INDUSTRIAL

Douglas Tiago Dario (CUCR) <sup>1</sup>  
Isabelle Cordova Gomes (CUCR) <sup>2</sup>

### RESUMO

Diante da necessidade de aumentar a produtividade visando a qualidade dos produtos e menor custo, as empresas têm buscado diferentes alternativas. Uma estratégia promissora é a automatização de processos, a qual é abordada no presente estudo e que teve como objetivo desenvolver um processo de automatização do sistema para redução do tempo de indisponibilidade de máquina. O processo de automatização foi aplicado nos seguintes equipamentos: rolo de tensionamento de papel e sistema de barra de controle. Para o desenvolvimento deste estudo foi utilizada a teoria da álgebra booleana, visando reduzir as variáveis de entrada e apresentar a solução para o problema de forma rápida e eficaz. Os equipamentos utilizados para geração de sinais foram o sensor de infravermelho e os sensores indutivos. No sistema de cálculo foi utilizado controlador lógico programável para análise de entradas e alteração dos níveis de saída para controle dos equipamentos. Com a instalação do sistema de automação, foi possível aumentar o tempo de disponibilidade da máquina depois de situações de ruptura de papel. Além disso, o sistema proporcionou melhor ambiente de trabalho para os operadores, reduzindo o tempo de exposição a equipamentos com partes girantes, redução da mão de obra de limpeza dos equipamentos e mitigação do risco de acidente. Outros benefícios puderam ser verificados, como melhorias no sistema de controle de qualidade, geração de padrões para o sistema de aplicação, melhorias nos tempos de *startup* do equipamento e diminuição do tempo de ruptura de folha.

**Palavras-chave:** *Automação. Industrial. Lógica Booleana. Produtividade.*

### ABSTRACT

Faced with the need to increase productivity aiming at the quality of products and lower cost, companies have sought different alternatives. The promising strategy is process automation, which is addressed in this study and aimed to develop a system automation process to reduce machine downtime. A automation process was applied to the following equipment: paper tensioning roller and control bar system. For the development of this study was used the theory of Boolean algebra, aiming to reduce the input variables and present the solution to the problem quickly and effectively. The equipment used for signal generation was the infrared sensor and the inductive sensors. In the calculation system, the programmable logic controller was used to analyze inputs and change the output levels for equipment control. With the installation of the automation system, it was possible to increase the time of availability of the machine after paper breakage situations. In addition, the system provided better working environment for operators, reducing the time of exposure to equipment with rotating parts, reduction of the cleaning manpower of the equipment and mitigation of the

---

<sup>1</sup> eng-douglasdario@camporeal.edu.br – Discente de Engenharia Elétrica - Centro Universitário Campo Real

<sup>2</sup> prof\_isabellecordova@camporeal.edu.br – Engenheira de Computação - Centro Universitário Campo Real

risk of accident. Other benefits could be verified, such as improvements in the quality control system, generation of standards for the application system, improvements in equipment start up times and decreased leaf break time.

**Keywords:** Automation. Industry. Boolean Logic. Productivity.

## 1 INTRODUÇÃO

Desde a consolidação da revolução industrial, as empresas entraram em um processo de competição pelo mercado consumidor, forçando-as a buscarem por alternativas mais atrativas dia após dia. As premissas para manter as empresas competitivas são: aumento da produtividade com um menor custo, melhoria da qualidade de vida, aumento da qualidade dos produtos e tecnologia inovadora (MARAFON *et al.*, 2018).

Dentre as estratégias que podem ser adotadas para aumentar a produtividade, reduzir o tempo de trabalho e o custo da produção, pode-se citar a automatização de processos. Com a aplicação desse sistema é possível obter uma melhor padronização dos produtos, identificação de possíveis falhas, redução do índice de acidentes de trabalho, sistema de confiabilidade em divisão de produtos em embalagem, confiabilidade nos controles, controle de matéria prima, maior ritmo de produção, maior qualidade do produto, menor interação do ser humano no equipamento, aumento da vida útil dos equipamentos, entre outros processos (MARAFON *et al.*, 2018; PRUDENTE, 2015; RIBEIRO, 1999).

Os principais processos para se utilizar automação são os controles de temperatura, pressão, nível e vazão, os quais influenciam no processo de fabricação de determinados produtos. Essas variáveis podem ser utilizadas como controle de produção ou consumo para determinar o valor final do produto. Outros processos que podem ser automatizados são os controles de velocidade de máquina, umidade, condutividade, comprimento, espessura, entre outros (RODRIGUES, 2016; SILVEIRA E SANTOS, 1998).

O processo de automação se torna mais importante dentro de uma indústria porque consegue juntar várias leituras de instrumentos, processar e realizar diversas interações nas saídas de modo a implementar os dados pré-programados nos controladores lógicos programáveis (CLP) em questão de milésimos de segundos. Esses CLP's interagem com os seguintes tipos de instrumentos: instrumentos cegos, indicadores, registradores, elementos primários, transmissores, registradores, conversores, controladores e atuadores (RODRIGUES, 2016).

Automação significa a substituição do trabalho humano ou animal por máquina, ou seja, é a operação de máquinas ou controles com a menor interferência humana para a produção parcial ou final de um determinado produto. A automação não resulta em menor campo de atuação do operador, mas diminuição da exposição ao perigo e interferência com a linha

de produção. A implementação de automação proporciona em muitos casos o aumento do ganho da empresa que conseqüentemente investe em novas tecnologias e novos cargos de fiscalização e gerenciamento de equipamentos (RIBEIRO, 1999).

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver um processo de automatização do sistema de aplicação de uma máquina industrial para redução do tempo de indisponibilidade de máquina. O qual trata-se de um sistema automático para momento de ruptura de papel e interrupção da linha de produção. O processo de automatização foi aplicado nos seguintes equipamentos: rolo de tensionamento de papel e sistema de barra de controle de espessura de produto aplicado.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Costuma-se datar a Revolução Industrial pela invenção da máquina a vapor por James Watt, em 1769. Além de estudar profundamente a eficiência da máquina de Newcomen e conseguir aumentá-la em 75%. Watt inventou o pistão de dupla ação (1782) e, sob sugestão de seu sócio Boulton, adaptou o regulador centrífugo para a máquina a vapor (1788) (MORAES E CASTRUCCI, 2007).

O regulador de Watt garante a regularidade da marcha da máquina em torno de um ponto de operação escolhido arbitrariamente pelo operador, e pode ser considerado o primeiro exemplo efetivo de um servomecanismo: uma parcela desprezível de energia gerada pela máquina é desviada por um sensor ou aparelho de medida, transportando informações que, usada sobre um atuador leva a imposição do comportamento desejado (AGUIRRE *et al.*, 2007).

James Watt criou o primeiro controle automático de velocidade de uma máquina a vapor, foi o primeiro trabalho significativo na área de automação do século XVIII. A partir da década de 40, engenheiros conseguiram projetar sistemas de controle linear de malha fechada através do método de resposta em frequência. Utilizando os métodos de raízes e frequência os quais constituíram o coração da teoria clássica de controle (OGATA, 2003).

Sistema de controle com realimentação é um sistema que estabelece uma relação de comparação entre a saída e a entrada de referência, utilizando a diferença como meio de controle, também são chamados de sistema de controle de malha fechada. Em um sistema de controle de malha fechada, o sinal resultante realimenta o controlador, de modo que minimize o erro e acerte a saída do sistema ao valor desejado (GOLNARAGHI E BENJAMIN, 2012).

Um determinado sistema pode ser considerado automatizado ao executar diversas funções através da entrada de sinais de várias naturezas, podendo controlar o mesmo sistema ou implementar ações de outros processos da indústria. Os sinais de entrada são

determinados conforme os níveis de controle que o processo exige durante a produção. Em poucas palavras, o sistema age sem intervenção humana.

Entende-se por automação qualquer sistema que é controlado por computadores lógicos e que não tenha interação do ser humano em tomada de decisão, ou seja, substitua o trabalho humano ou animal em favor da segurança, qualidade, rapidez e produção, aperfeiçoando os complexos objetivos da indústria em atender as demandas do mercado consumidor (MORAES E CASTRUCCI, 2007).

As técnicas de controle moderno, baseadas em conceitos de espaço de estado, tentam atingir esses objetivos fornecendo ferramentas analíticas, normalmente implementadas em pacotes computacionais, que facilitam a elaboração do projeto de controle. O controle ótimo é uma das técnicas do controle moderno que se sobressai por possuir uma característica particularmente importante. O sistema realimentado não só satisfaz requisitos de estabilidade e restrições associadas com o controle clássico, mas também é a melhor solução possível dentro de uma certa classe considerada justificando assim a designação de “ótimo” (AGUIRRE *et al.*, 2007).

Dentre o grande número de dispositivos utilizados na automação industrial, um grupo que possui grande destaque são os controladores lógicos programáveis, mais conhecido como CLP'S. O controlador lógico programável trata-se de um computador ou sistema eletrônico operando digitalmente, projetado para interação em ambiente industrial entre instrumentos e operadores. O CLP executa inúmeras linhas de comando em milésimos de segundo, implementando funções específicas, lógicas sequenciais, contagens, controle de instrumentos e vários tipos de máquinas ou processos. O maior diferencial do uso de CLP é devido a sua grande capacidade de resistência ao ambiente industrial, em que muitas vezes é exposto a condições extremas de temperatura, umidade, vibrações, distúrbios elétricos, entre outros (RIBEIRO, 1999).

Um sistema de controle ou controle de processo, são equipamentos instalados em campos que interagem com o CLP, trocando informações sobre as variáveis de estado, as quais servirão de combinações para tomada de decisão e controle de variável de saída, em que o sistema é a combinação de componentes que agem em conjunto para atingir determinados objetivos.

## 2.1 ÁLGEBRA BOOLEANA

Para o desenvolvimento deste estudo foi utilizada a teoria da álgebra booleana, a qual pode ser definida como um conjunto de operadores e um conjunto de axiomas, que são assumidos verdadeiros sem necessidade de prova. Em 1854, George Boole introduziu o formalismo que até hoje se usa para o tratamento sistemático da lógica, que é chamada Álgebra Booleana (LOURENÇO *et al.*, 2007; GÜNTZEL E NASCIMENTO, 2001).

Lourenço e colaboradores (2007, p.11) evidenciam que:

A eletrônica pode ser classificada em duas grandes áreas: analógica e digital, a eletrônica analógica é aquela que trabalha com sinais elétricos de infinitos valores de tensão e corrente. Já a eletrônica digital trabalha apenas com dois níveis de sinais elétricos: alto e baixo, cujo valores dependem do tipo de tecnologia empregada.

O sistema binário utiliza o número 2 como base e os únicos dígitos permitidos são 0 e 1. Com circuitos digitais, é fácil distinguir entre dois níveis de tensão (isto é, + 5 V e 0 V), que podem ser relacionados com os dígitos binários 1 e 0. Portanto, este sistema pode ser facilmente aplicado para os CLP`S e sistema de computador (PRUDENTE, 2013).

Considerando que o CLP utilize apenas dois dígitos, cada posição de um número binário pode passar por apenas duas trocas, e então um 1 é transportado para a posição imediatamente à esquerda. A tabela 1 mostra uma comparação entre quatro sistemas de numeração comuns: decimal (base 10), octal (base 8) hexadecimal (base 16) e binário (base 2). É importante notar que todos os sistemas de numeração começam com zero (PETRUZELLA, 2014).

Tabela 1 - Comparação de sistemas de numeração

DECIMAL	OCTAL	HEXADECIMAL	BINÁRIO
0	0	0	0
1	1	1	1
2	2	2	10
3	3	3	11
4	4	4	100
5	5	5	101
6	6	6	110
7	7	7	111
8	10	8	1000
9	11	9	1001
10	12	A	1010
11	13	B	1011
12	14	C	1100
13	15	D	1101
14	16	E	1110
15	17	F	1111
16	20	10	10000
17	21	11	10001
18	22	12	10010
19	23	13	10011
20	24	14	10100

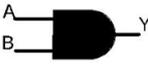
Fonte: PETRUZELLA, 2014

O CLP, como todo equipamento digital, funciona com base nos princípios digitais, termo que remete a ideia de que muitas coisas podem ser concebidas como tendo existência de apenas dois estados: 1 e 0, que podem representar ligado ou desligado, aberto ou fechado, verdadeiro ou falso, alto ou baixo, ou quaisquer outras condições.

Uma porta lógica é um circuito com várias entradas, mas apenas uma saída é ativada por uma determinada combinação de condições das entradas. O conceito de dois estados binários, aplicado as portas lógicas, pode ser a base para uma tomada de decisão (PETRUZELLA, 2014).

As operações executadas pelo equipamento digital são baseadas em três funções lógicas: AND, OR e NOT. Cada função tem uma regra que determinará o resultado e um símbolo que representa a operação. Como as portas lógicas são circuitos integrados digitais (CIs), seus sinais de entradas e saída só podem ter dois estados digitais possíveis, isto é, lógica 0 ou lógica 1. Portanto, o estado lógico da saída de uma porta lógica depende dos estados lógicos de cada uma de suas entradas. Abaixo é apresentada a simbologia das portas AND, NOT e OR e sua tabela verdade (LOURENÇO *et al.*, 1996).

Tabela 2 – Tabela de expressão de porta lógicas

TABELA DE EXPRESSÃO DE PORTA LÓGICAS				
NOME	SÍMBOLO	TABELA VERDADE		
		ENTRADAS		SAÍDA
		A	B	Y
AND		0	0	0
		0	1	0
		1	0	0
		1	1	1
NOT		0	-	1
		1	-	0
OR		0	0	0
		0	1	1
		1	0	1
		1	1	1

Fonte: Adaptado de PETRUZELLA, 2014

Analisando a tabela verdade da porta AND, pode-se observar que se todas as entradas forem 1, a saída será 1, caso contrário se em qualquer uma das entradas for de sinal oposto, sinal 0, a saída será 0. A porta AND funciona de modo similar aos dispositivos de controle conectados em série, ou seja, duas chaves de acionamento conectadas em série e o sinal de saída somente será igual ao de entrada se as duas chaves estiverem na mesma posição.

Analisando a tabela verdade da porta OR, pode-se observar que se uma ou mais entradas forem 1, a saída será 1 e somente teremos uma saída 0 se todas as entradas forem 0. Assim como a porta AND, o funcionamento é similar aos dispositivos conectados em paralelo, ou seja, duas chaves de acionamento conectadas em paralelo e o sinal de saída somente será 0 se as duas chaves forem 0.

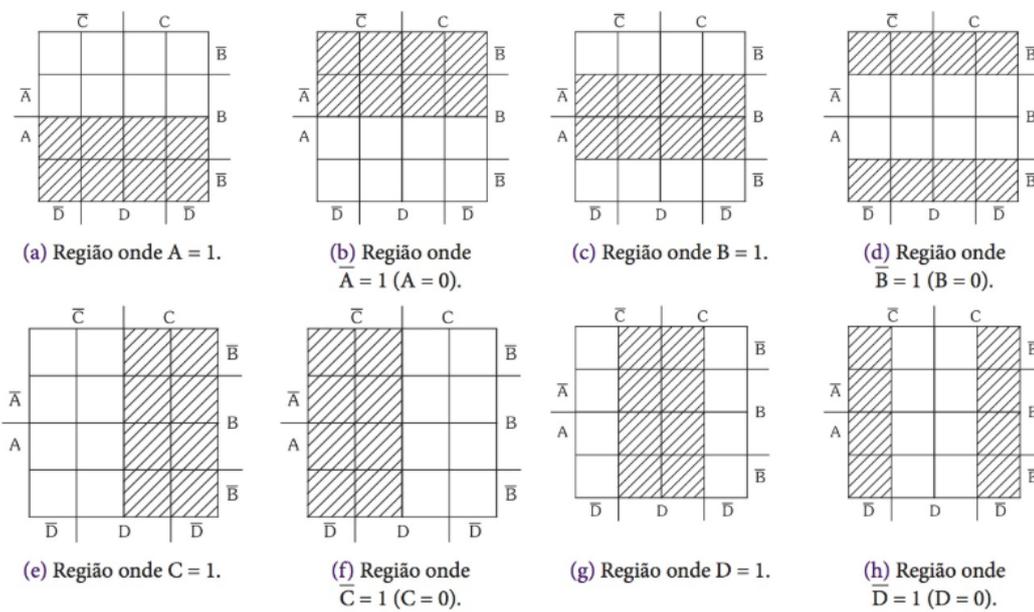
Diferentemente das funções AND e OR, a porta NOT só pode ter apenas uma entrada. A saída NOT será 1 se a entrada for 0, e será 0 se a entrada for 1. O resultado da operação NOT é sempre o inverso da entrada, por isso essa função é chamada de inversor, ela é representada por uma barra acima da letra, indicando uma saída invertida. O pequeno círculo na saída do inversor é denominado indicador de estado, denotando a ocorrência de uma inversão da função lógica. A função lógica NOT pode ser executada por um contato simples, usando normalmente fechado, em vez de um contato normalmente aberto.

O símbolo NOT colocado na saída de uma porta AND deve inverter o resultado normal na saída, e essa porta com uma saída invertida é chamada de porta NAND, que é frequentemente usada em matrizes de circuitos integrados lógicos e pode ser utilizada nos controladores programáveis para resolver lógicas complexas (LOURENÇO *et al.*, 1996).

A mesma regra sobre inversão de resultado normal na saída se aplica se um símbolo NOT for colocado na saída da porta OR. A saída normal é invertida e a função referida como uma porta NOR (LOURENÇO *et al.*, 1996).

A simplificação de expressões utilizando mapas de Karnaugh permitem a simplificação de maneira mais rápida dos casos extraídos de tabelas verdade, obtidas de situações quaisquer, no mapa encontramos todas as possibilidades assumidas entre as variáveis de entrada o mapa para quatro variáveis é apresentado abaixo.

Figura 1 - Regiões do mapa de karnaugh para quatro variáveis



Fonte: LOURENÇO *et al.*, 1996

Figura 2 - Localização dos casos da tabela verdade no mapa de karnaugh

Casos	A	B	C	D
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
10	1	0	1	0
11	1	0	1	1
12	1	1	0	0
13	1	1	0	1
14	1	1	1	0
15	1	1	1	1

		$\bar{C}$		C		
		Caso 0	Caso 1	Caso 3	Caso 2	
		0 0 0 0	0 0 0 1	0 0 1 1	0 0 1 0	
		$\bar{A} \bar{B} \bar{C} \bar{D}$	$\bar{A} \bar{B} \bar{C} D$	$\bar{A} \bar{B} C D$	$\bar{A} \bar{B} C \bar{D}$	$\bar{B}$
$\bar{A}$		Caso 4	Caso 5	Caso 7	Caso 6	
		0 1 0 0	0 1 0 1	0 1 1 1	0 1 1 0	
		$\bar{A} B \bar{C} \bar{D}$	$\bar{A} B \bar{C} D$	$\bar{A} B C D$	$\bar{A} B C \bar{D}$	$B$
		Caso 12	Caso 13	Caso 15	Caso 14	
		1 1 0 0	1 1 0 1	1 1 1 1	1 1 1 0	
		$A B \bar{C} \bar{D}$	$A B \bar{C} D$	$A B C D$	$A B C \bar{D}$	
$A$		Caso 8	Caso 9	Caso 11	Caso 10	
		1 0 0 0	1 0 0 1	1 0 1 1	1 0 1 0	$\bar{B}$
		$A \bar{B} \bar{C} \bar{D}$	$A \bar{B} \bar{C} D$	$A \bar{B} C D$	$A \bar{B} C \bar{D}$	
		$\bar{D}$	D	$\bar{D}$		

Fonte: LOURENÇO *et al.*, 1996

Para obtenção da expressão reduzida deve-se agrupar todos os 1 de forma que sempre respeite a lógica de  $2^n$ , ou seja, agrupar de forma que fiquem 1, 2, 4, 8, 16. Através do agrupamento obtém-se a expressão reduzida para o sistema. Pode-se utilizar o método de variáveis indeterminadas para melhorar os agrupamentos ou de forma a reduzir a quantidade de operações para realizar.

Embora a comparação de tabela verdade funcione bem quando uma função tem apenas 2 entradas, o que acontece se a função tiver 5 entradas, ou 10 ou 32. A criação de tabelas verdades torna-se cada vez mais trabalhosa, ficando em muitos casos totalmente fora da realidade, porque o número de linhas de uma tabela verdade é igual a  $2^n$  cresce muito rapidamente (LOURENÇO *et al.*, 1996).

A chave da questão está em criar uma representação padrão que descreve apenas as situações em que a saída da função é 1, assumindo-se que nas demais situações ela é 0. A equação (1), é na realidade uma representação que descreve apenas as situações em que G é 1, mas essa representação não é padrão. Portanto, queremos definir a forma padrão de equação booleana que é conhecida como forma canônica (VAHID, 2008).

$$G = ABCD + \overline{ABCD\bar{E}} \quad (1)$$

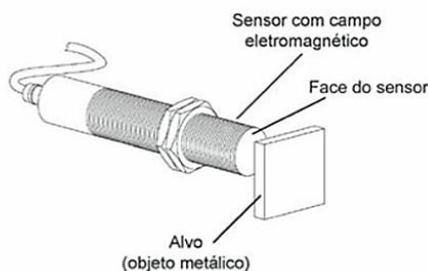
Uma das formas canônicas para uma função booleana é conhecida como soma de mintermos. Um mintermo de uma função é um termo de produto que contém todas as literais da função exatamente uma vez, seja na forma afirmada ou na complementada. Uma

equação estará na forma de soma de mintermos se a equação estiver na forma de uma soma de produtos e se cada produto for um mintermo (VAHID, 2008).

## 2.2 SENSOR INDUTIVO

Os sensores indutivos usam correntes induzidas por campos magnéticos com o objetivo de detectar objetos metálicos por perto. Os sensores indutivos utilizam uma bobina (indutância) para gerar um campo magnético de alta frequência, como mostrado nas figuras 3 e 4 abaixo.

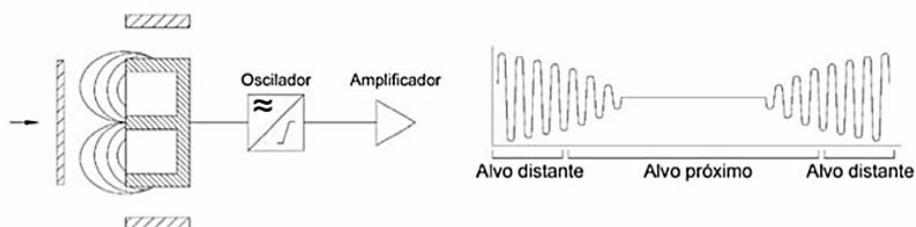
Figura 3 - Sensor indutivo



Fonte: MORAES E CASTRUCCI, 2007

Se existe um objeto metálico perto do campo magnético do sensor uma corrente flui nesse objeto, devido a indução de correntes parasitas. Essa corrente resultante gera um novo campo magnético que se opõe ao campo magnético original. Esses sensores detectam vários tipos de metais e podem detectar objeto a vários centímetros de distância.

Figura 4 - Diagrama de bloco do sensor indutivo



Fonte: MORAES E CASTRUCCI, 2007

Os sensores indutivos podem ter seu campo magnético blindado, assim, o campo magnético diminui e fica mais direcionado, contribuindo para a melhoria da precisão, da direcionalidade e da distância de operação do sensor (MORAES E CASTRUCCI, 2007).

Para elaboração do processo de automatização foi realizado o levantamento de informações do sistema onde seria aplicado, realizado análise através da metodologia de lógica booleana para instalação de sensores indutivos, elaboração da lógica para CLP,

testes da lógica no sistema de diagrama de blocos, instalação e configuração de todo o sistema de automatização.

### **3 METODOLOGIA APLICADA**

O presente trabalho, de caráter original e quantitativo, pretende, a partir de levantamento de dados através de verificação de desenhos, informações e questionários, desenvolver uma lógica para o processo de automatização do sistema de aplicação de uma máquina industrial para redução do tempo de indisponibilidade de máquina. O qual trata-se de um sistema automático para momento de ruptura de papel e interrupção da linha de produção, esta pesquisa de campo levantou dados e desenvolveu solução para um problema e aplicou uma ação para solução do problema, que será apresentada em forma de tabelas e fotos de simulações de programas.

A empresa Santa Maria Cia Papel e Celulose trabalha com metodologia de análise de oportunidade e gerenciamento de desenvolvimento de atividades, umas das metodologias adotadas é o gerenciamento de portfólio do setor de engenharia a qual tem como início de processo a Solicitação de Abertura de Projeto (SAP).

A SAP trata-se da solicitação aberta pelo responsável da área descrevendo a situação atual do local/equipamento, descrição da solicitação e objetivo da modificação, objetivo específico e estimativa de investimento.

O processo de análise da SAP é realizado primeiramente pelos gerentes de cada área (produção, manutenção, engenharia e diretoria), em caso de aprovação a mesma é apresentado em reunião gerencial para o setor de engenharia e projetos onde será realizado o processo de análise de informações para elaborar o projeto final.

O presente trabalho teve origem em uma SAP aberta pela área de produção e aprovado pelos gerentes e encaminhada para o setor de engenharia e projetos, para análise de projeto foi indicado como coordenador de projeto o colaborador Douglas Tiago Dario para desenvolvimento do projeto de automatização do sistema de aplicação. Em seguida é apresentado as informações contidas na SAP.

#### **3.1 DESCRIÇÃO DAS INFORMAÇÕES DA SAP**

Atualmente o processo de aplicação de resina é totalmente manual, implicando em demora no restabelecimento do equipamento após quebra de papel. Em momento de quebra de papel a folha que está no sistema de aplicação acaba por se depositar em cima do rolo de aplicação e na barra de controle de espessura de aplicação de resina,

provocando agarramento da folha nos sistemas mecânicos ocorrendo indisponibilidade do sistema para produção.

Para resolução do problema de indisponibilidade de máquina, necessita-se de elaboração de processo de automação de sistema para afastamento da barra de controle de espessura da aplicação de resina e recuo de rolo tensionador de folha. O sistema deve proporcionar maior agilidade para os operadores em momento de ruptura de folha diminuindo o tempo para restabelecimento do processo produtivo. O levantamento de custo inicial pela equipe de colaboradores, estimou-se um investimento no valor de cinquenta mil reais (R\$ 50.000,00).

#### **4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

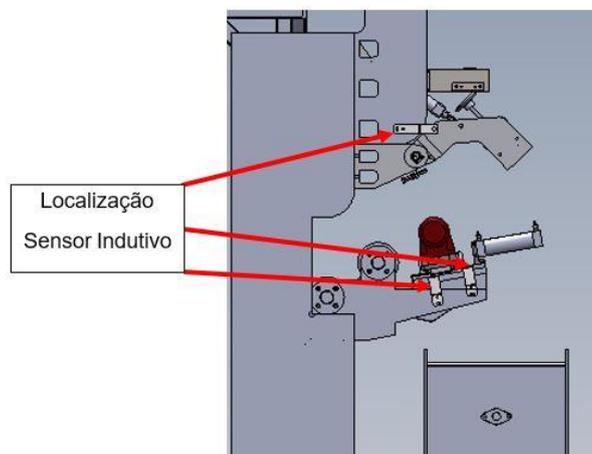
Foi realizado levantamento de informações sobre o sistema de aplicação de resina, conversado com os responsáveis da abertura da SAP, coletado informações sobre os procedimentos de operação do equipamento e sobre os procedimentos realizados durante momentos de ruptura de folha que ocasionaram interrupção do processo produtivo do equipamento.

Através do desenvolvimento do estudo das alternativas que poderiam ser implementadas no sistema de aplicação de resina, foi possível realizar a indicação da melhor solução para o sistema de aplicação deste. Esse sistema deverá contemplar a implementação de sistema de automatização e intertravamento de sensores indutivos instalados em máquina de forma a proporcionar ação de prevenção ao agarramento da folha nos sistemas mecânicos do processo de aplicação de resina.

Para o sistema de automatização foi efetuada análise de sistema de posicionamento através de sensores indutivos instalados em máquina. Através dos sensores indutivos foi possível realizar análise da tabela verdade constituída de níveis lógicos que indicam a posição atual do sistema. Ao todo foram previamente indicados a instalação de 6 (seis) sensores indutivos.

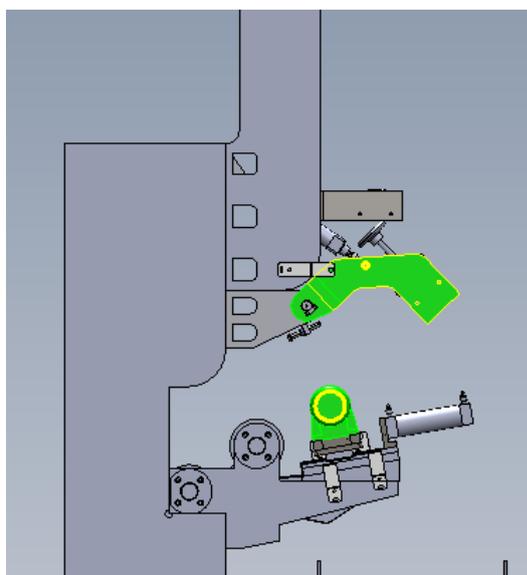
Os sensores indutivos foram instalados conforme figura 5 em ambos os lados da máquina, sendo lado comando (L.C.) com três sensores e lado acionamento (L.A.) com mais três sensores, totalizando 6 sensores indutivos, os sensores foram instalados na posição de recuo do braço e na posição de barra avançada e barra recuada.

Figura 5 - Posicionamento dos sensores indutivos



Fonte: Santa Maria Cia Papel e Celulose

Figura 6 - Sistemas que devem ser automatizados

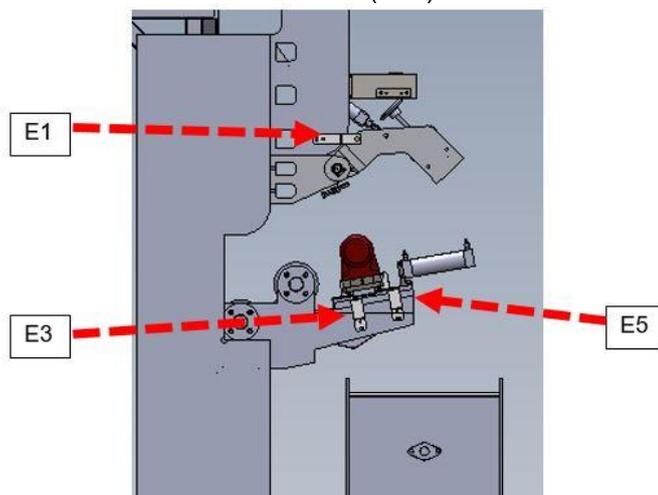


Fonte: Santa Maria Cia Papel e Celulose

Os dois itens destacados na figura 6 devem receber o sistema de automação, sendo necessário a instalação de sistema pneumático e sensores indutivos para localização de posição dos sistemas.

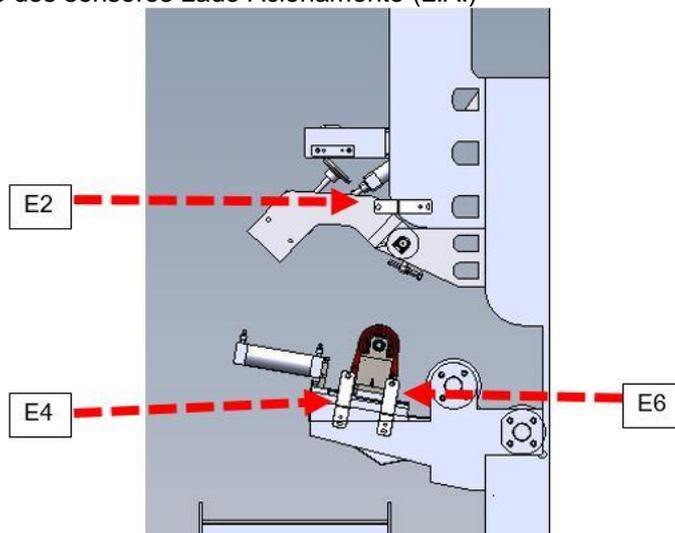
Sendo assim, os sensores foram posicionados conforme sequência das figuras 7 e 8. Para melhor entendimento os sensores que pertencem ao mesmo equipamento ou posição do equipamento devem funcionar de forma idêntica, ou seja, somente ativará a lógica se os dois sensores possuírem o mesmo valor. Para isso foi realizada a comparação dos dois sensores utilizando porta lógica do tipo AND, garantindo que obtivesse o mesmo nível lógico para o sistema de sensores.

Figura 7 - Disposição dos sensores Lado Comando (L.C.)



Fonte: Santa Maria Cia Papel e Celulose

Figura 8 - Disposição dos sensores Lado Acionamento (L.A.)



Fonte: Santa Maria Cia Papel e Celulose

A pré-disposição dos sensores ficou configurada da seguinte maneira:

$$E1 = E2 \rightarrow S1 \quad (2)$$

$$E3 = E4 \rightarrow S2 \quad (3)$$

$$E5 = E6 \rightarrow S3 \quad (4)$$

S1 – Sensor de posição de rolo tensionador recuado;

S2 – Sensor de barra de controle de espessura em atividade;

S3 – Sensor de barra de controle de espessura fora de atividade;

SQ = Sensor de Quebra

SQ = 0 Sistema temporariamente indisponível, ou seja, sistema está com ruptura de folha.

SQ = 1 Sistema está funcionando normalmente, ou seja, sistema está sem ruptura de folha.

Através do pré-posicionamento do sistema de sensores indutivos foi possível analisá-lo obtendo a tabela verdade para sistema booleano (Tabela 3).

Tabela 3 - Tabela verdade

ENTRADAS				SAÍDAS	
SQ	S1	S2	S3	BRAÇO	BARRA
0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0
0	0	1	0	1	0
0	0	1	1	0	0
0	1	0	0	0	0
0	1	0	1	0	0
0	1	1	0	0	1
0	1	1	1	0	0
1	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0
1	0	1	0	0	0
1	0	1	1	0	0
1	1	0	0	0	0
1	1	0	1	0	1
1	1	1	0	1	0
1	1	1	1	0	0

Fonte: Dados de pesquisa

Após construir a tabela verdade e obter os sinais de saída foi aplicado o método de Mintermo (Tabela 4) para análise de expressão da lógica booleana, sendo também utilizado o método de Mapa de Karnaugh para simplificação da expressão.

Tabela 4 - Tabela de mintermo

ENTRADAS				SAÍDAS		MINTERMO	
SQ	S1	S2	S3	Braço	Barra	Braço	Barra
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	$\overline{SQ} + \overline{S1} + S2 + \overline{S3}$	0
0	0	1	1	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	1	0	0	0	0
0	1	1	0	0	1	0	$\overline{SQ} + S1 + S2 + \overline{S3}$
0	1	1	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0
1	0	1	1	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0
1	1	0	1	0	1	0	$SQ + S1 + \overline{S2} + S3$
1	1	1	0	1	0	$SQ + S1 + S2 + \overline{S3}$	0
1	1	1	1	0	0	0	0

Fonte: Dados de pesquisa

A partir da obtenção da expressão final da lógica booleana foram executados testes utilizando o software NI Multisim® 13.0 versão acadêmica. As figuras 9 e 10 apresentam o Mapa de Karnaugh obtido a partir da tabela 4.

Figura 9 - Mapa de karnaugh para sistema do braço



Fonte: Dados de pesquisa

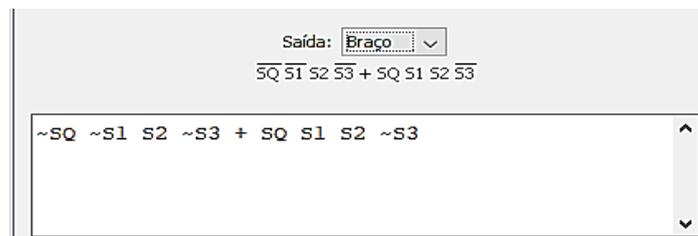
Figura 10 - Mapa de karnaugh para sistema da barra



Fonte: Dados de pesquisa

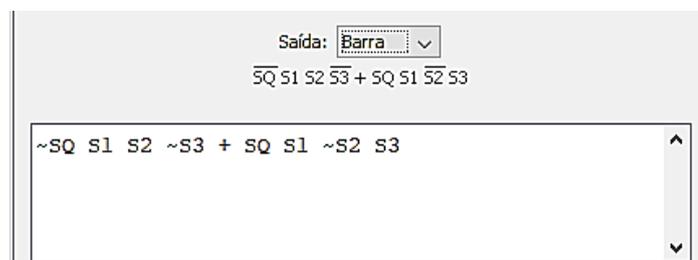
Para construção das tabelas 3 e 4 e as figuras 9 e 10 foi utilizado o software LOGISIM® 2.7.1 versão gratuita. A figura 11 apresenta a expressão reduzida para o sistema da lógica do braço e a figura 12 apresenta a expressão reduzida para o sistema da lógica da barra.

Figura 11 - Expressão final para sistema do braço



Fonte: Dados de pesquisa

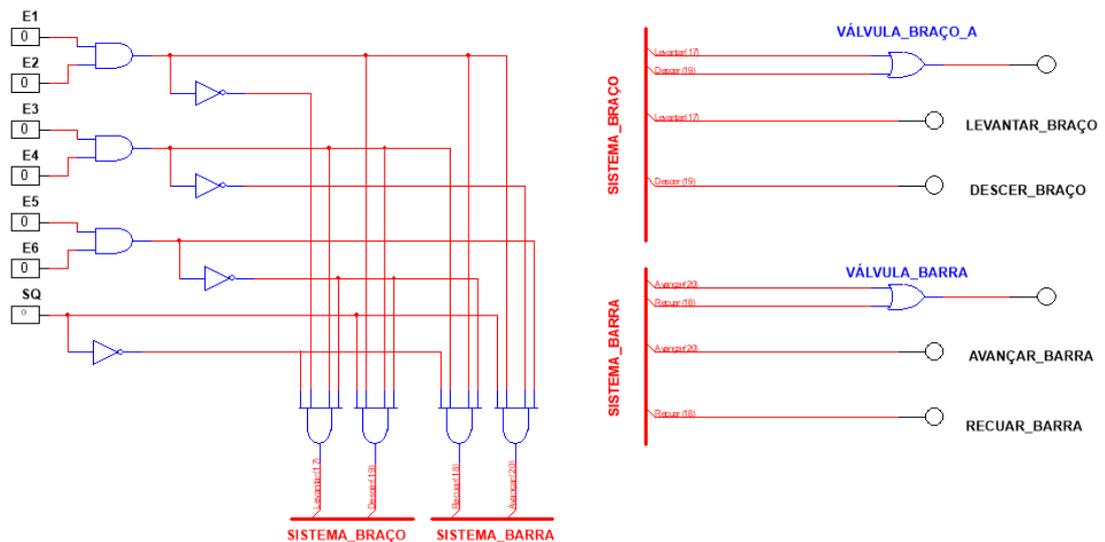
Figura 12 - Expressão final para sistema da barra



Fonte: Dados de pesquisa

Os testes de simulação do sistema de automação foram realizados utilizando o software NI Multisim® 13.0.0 versão acadêmica.

Figura 13 - Análise da lógica de automação do sistema de aplicação



Fonte: Dados de pesquisa

Conforme a figura 13, pode-se notar que há seis sensores separados em duplas, cada dupla é formada pela mesma posição do sensor no L.A. e L.C., através dessa configuração é realizado o teste para comparação de posição entre os dois sensores.

Durante a configuração no CLP, foi desenvolvido lógica de controle para caso de os sensores estarem em posição divergente. Nesse caso, realiza-se o comando de voltar o sistema para o modo de repouso, ou seja, o sistema volta para a posição fora de funcionamento e desta forma garante que não trabalhe fora das posições recomendadas para perfeito funcionamento do mesmo.

Abaixo é apresentada a sequência de estados (Tabelas 5 e 6) que o sistema deve seguir a partir do start up da máquina.

Tabela 5 - Sequência de estados para sistema em ruptura de folha/sem folha

Sistema sem folha					
ESTADOS DOS SENSORES	SQ = 0	ESTADO FUTURO	SQ = 0	ESTADO FUTURO	SQ = 0
	S1 = 0		S1 = 1		S1 = 1
	S2 = 1		S2 = 1		S2 = 0
	S3 = 0		S3 = 0		S3 = 1
	Levantar Braço		Recuar Barra		Posição Final

Fonte: Dados de pesquisa

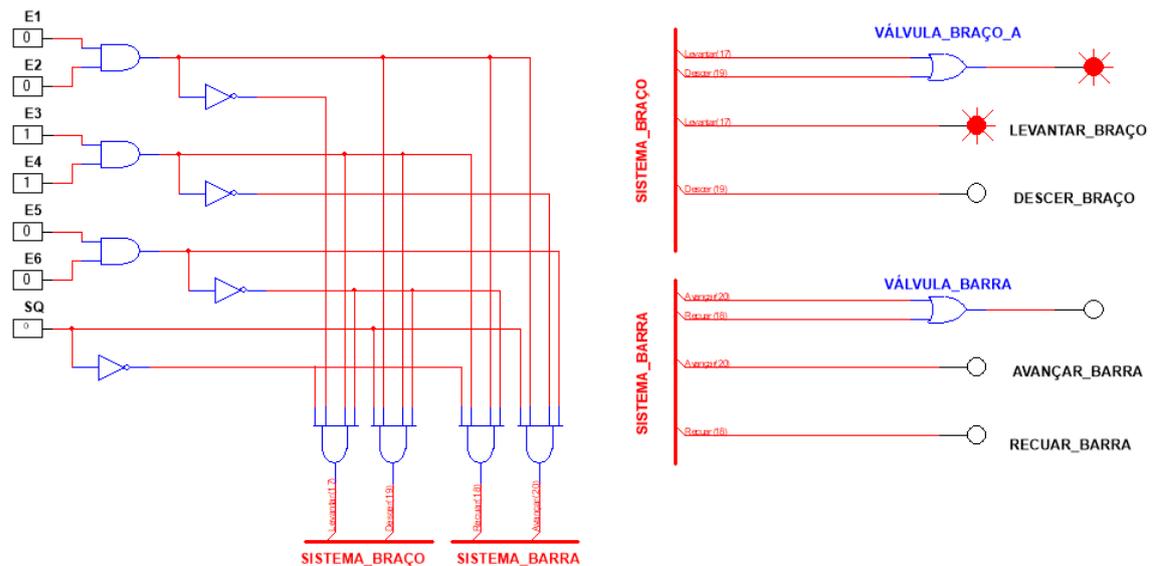
Tabela 6 - Sequência de estados para sistema com folha

Sistema com folha					
ESTADOS DOS SENSORES	SQ = 1	 <b>ESTADO FUTURO</b>	SQ = 1	 <b>ESTADO FUTURO</b>	SQ = 1
	S1 = 1		S1 = 1		S1 = 0
	S2 = 0		S2 = 1		S2 = 1
	S3 = 1		S3 = 0		S3 = 0
	<b>Avançar Barra</b>		<b>Baixar Braço</b>		<b>Posição Final</b>

Fonte: Dados de pesquisa

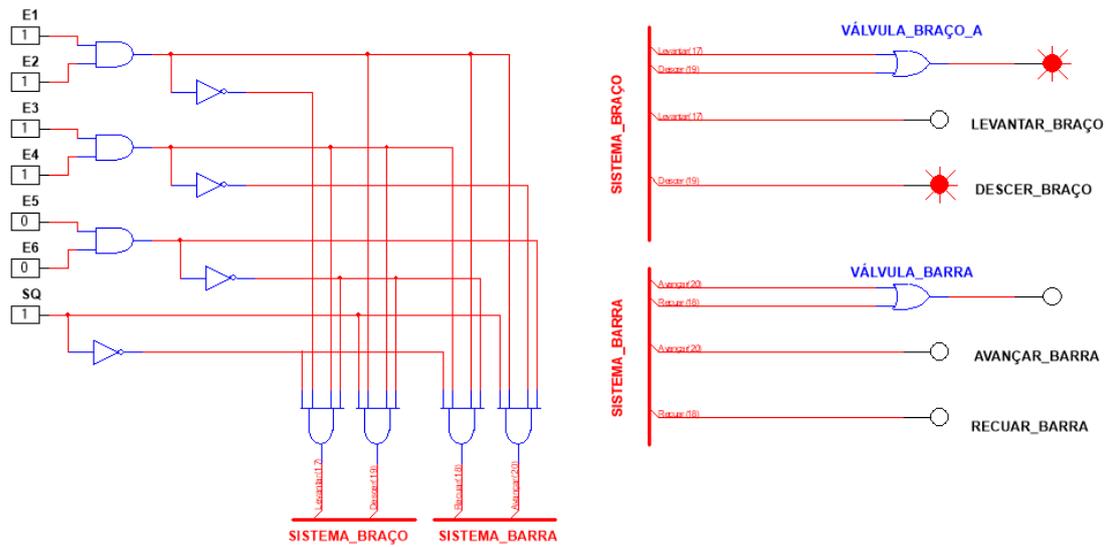
Nas figuras a seguir (Figuras 14, 15, 16 e 17) são apresentados os testes realizados no programa NI Multisim® 13.0 para o sistema de automação da barra e braço de aplicação de resina.

Figura 14 - Lógica ativada para levantar o braço - sistema fora de funcionamento



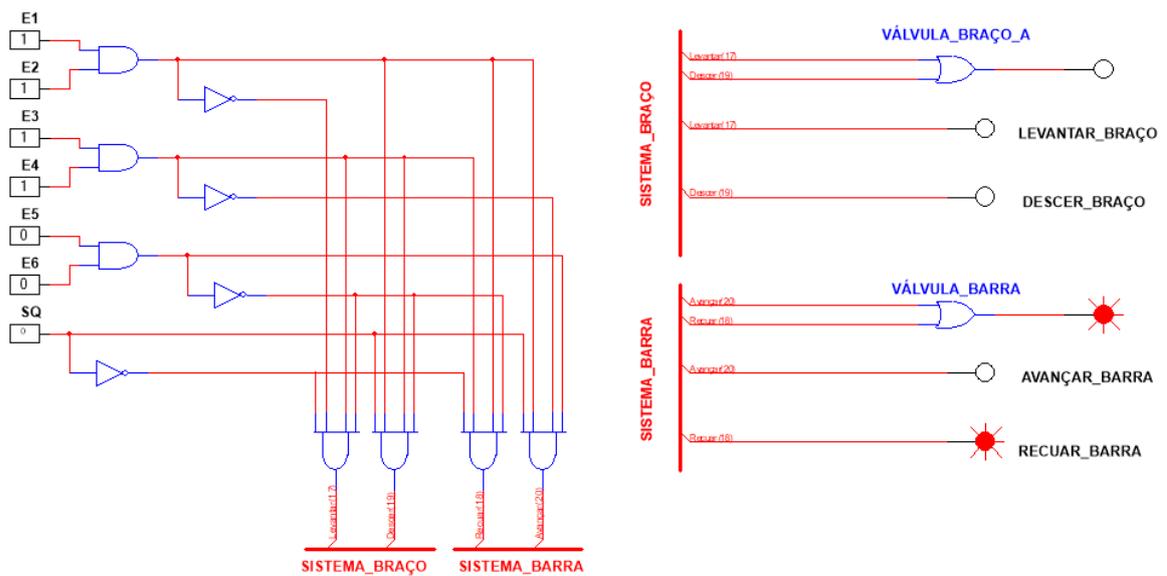
Fonte: Dados de pesquisa

Figura 15 - Lógica ativada para descer o braço - sistema em funcionamento



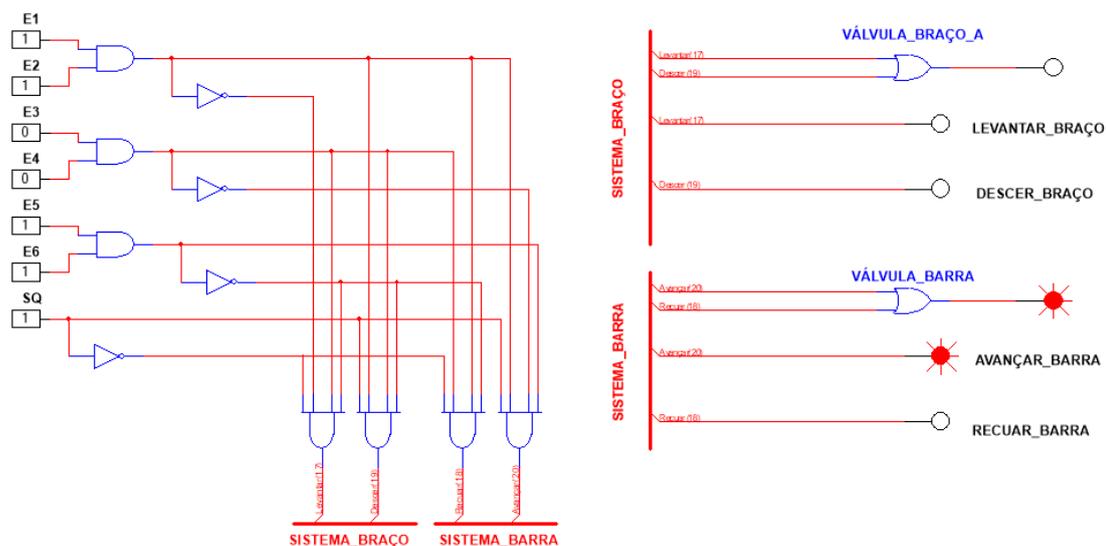
Fonte: Dados de pesquisa

Figura 16 - Lógica ativada para recuar a barra - sistema fora de funcionamento



Fonte: Dados de pesquisa

Figura 17 - Lógica ativada para avançar a barra - sistema em funcionamento



Fonte: Dados de pesquisa

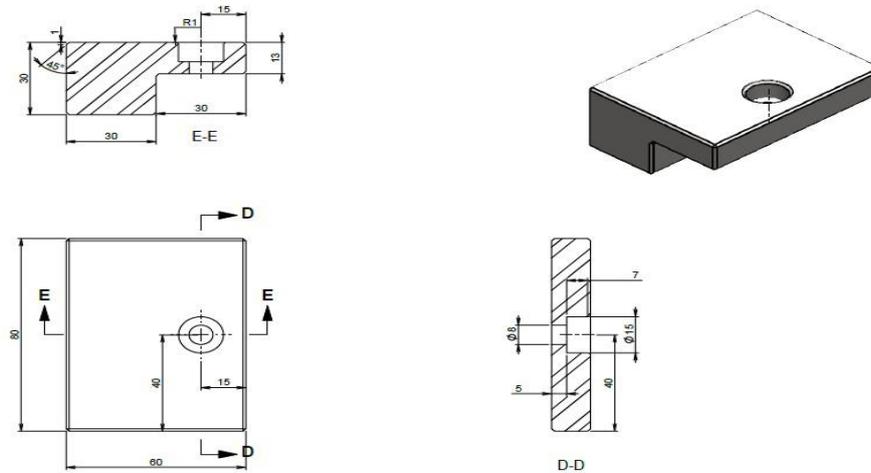
A partir dos testes de simulação utilizando o software NI Multisim 13.0 foi realizado o levantamento dos materiais e foram abertas as ordens de serviço para instalação do sistema em máquina.

Para implementação do sistema de automação foi necessário cento e oitenta metros de cabo PP 2x1mm<sup>2</sup> (cabo de par trançado duas vias por um milímetro) para interligação dos sensores indutivos com o CLP Siemens modelo S7. Precisou-se de aproximadamente 6 horas de serviço de mão de obra de dois eletricitistas para passagem de cabos e fixação dos sensores e montagem de estrutura para acomodação dos cabos.

Houve necessidade da instalação de quatro pistões pneumáticos para acionamento dos sistemas, dois pistões pneumáticos no rolo de tensionamento da folha e mais dois pistões pneumáticos na barra de controle de espessura. Para que o sistema funcionasse sem produzir movimentos bruscos foram instaladas quatro válvulas de retenção na saída dos pistões pneumáticos proporcionando assim um sistema de amortecimento e deslizamento constante.

Para cada pistão foi realizado cálculo de esforço levando em consideração a tensão da folha exercida sobre os rolos e peso do rolo, através desses cálculos foi possível verificar qual o esforço que o pistão deverá exercer sobre o sistema para realizar o movimento esperado. Esse cálculo foi executado pelo engenheiro responsável pelo setor de engenharia mecânica. A figura 18 apresenta um dos limitadores instalados no sistema como modo de prevenção.

Figura 18 - Dispositivo de limitação de percurso

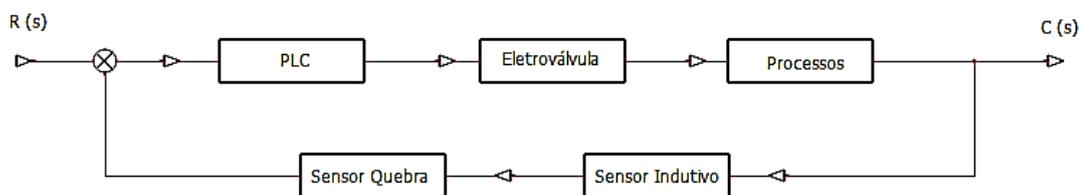


Fonte: Dados de pesquisa

Para implementação do sistema foi construída a lógica de programação para funcionamento em CLP SIEMENS S7. Para isso foi realizada toda a programação dos sensores e sinal de saída para os equipamentos através da programação em blocos. Devido algumas restrições da empresa, será possível apresentar apenas a configuração do sistema de automação do braço conforme anexo A.

O sistema de automatização da barra de aplicação e do braço de controle de tensão pode ser classificado como um sistema de controle com realimentação, o qual usa o sinal de saída para verificação de posição e status do sistema da máquina, a figura 19 apresenta o sistema de controle com realimentação ou sistema de malha fechada.

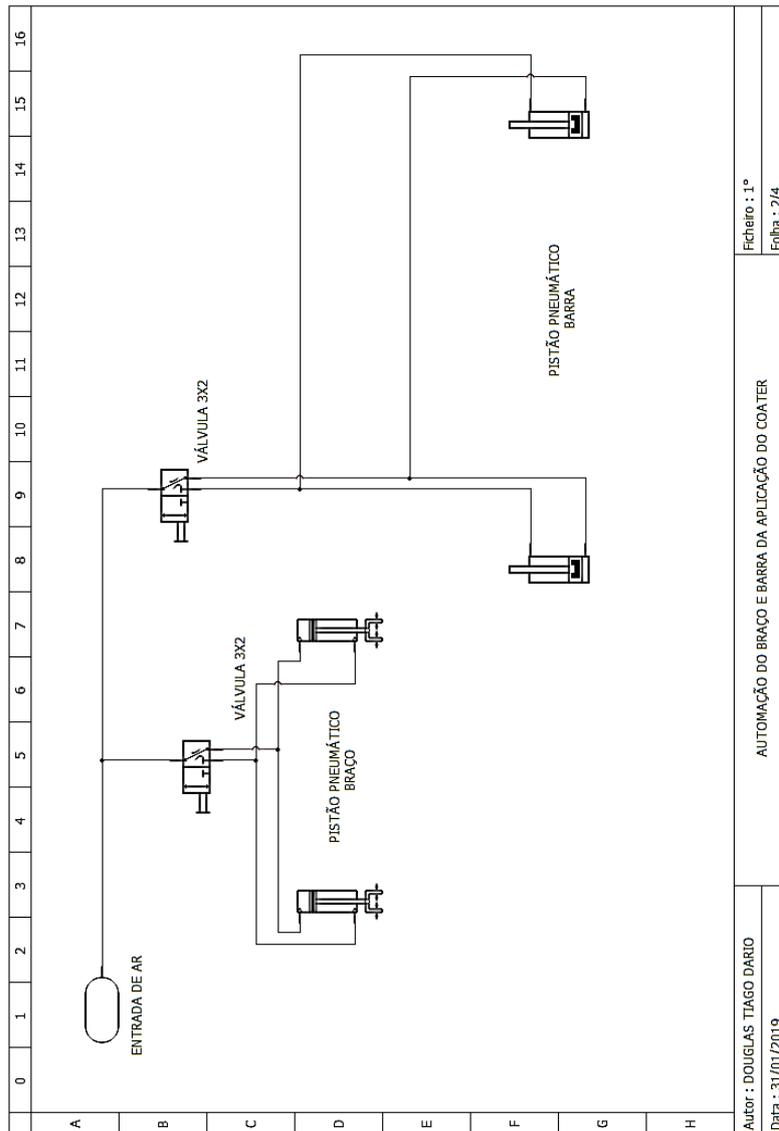
Figura 19 - Sistema de controle com realimentação ou sistema de malha fechada



Fonte: Dados de pesquisa

A figura 20 apresenta o diagrama pneumático de ligação do sistema de pistão pneumático, que foi elaborado para acionamento da barra e do braço do sistema de automação de aplicação e controle de qualidade.

Figura 20 - Esquema pneumático - sistema de automação



Ficheiro : 1°  
Folha : 2/4

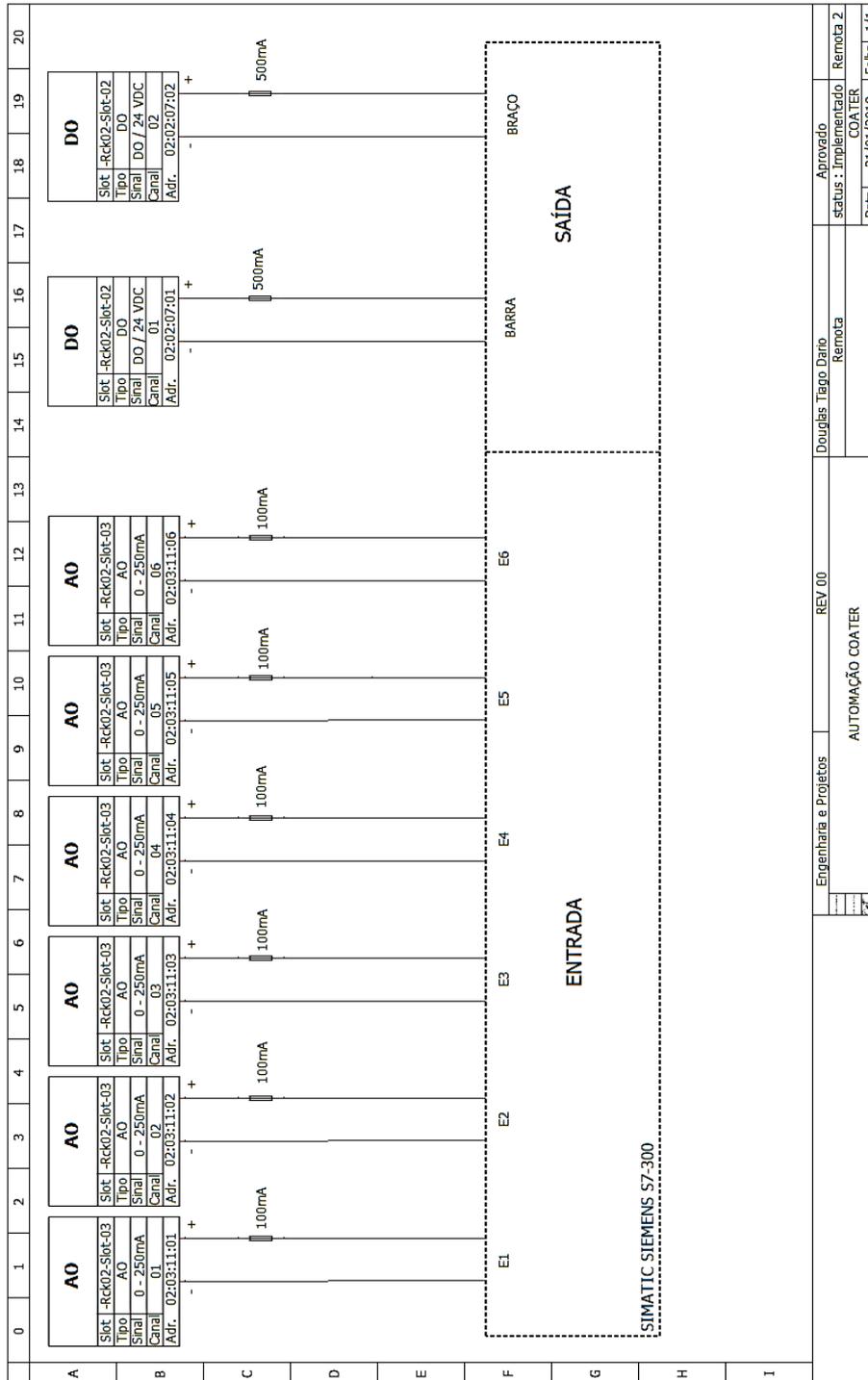
AUTOMAÇÃO DO BRAÇO E BARRA DA APLICAÇÃO DO COATER

Autor : DOUGLAS TIAGO DARIO  
Data : 31/01/2019

Fonte: Dados de pesquisa

Na figura 21 está representada a confecção do diagrama elétrico para acionamento das válvulas solenoides do sistema pneumático e acionamento dos sensores através do CLP SIEMENS S7.

Figura 21 - Diagrama elétrico de acionamento



Fonte: Dados de pesquisa

O projeto foi disponibilizado ao setor de produção em um intervalo de noventa dias após abertura da solicitação (SAP). No qual foi entregue o sistema de automação completo, composto por: intertravamento com o sistema de quebra, sistema de controle de qualidade, ajuste das posições com os limitadores e treinamento para produção sobre o funcionamento do sistema.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a instalação do sistema de automação da barra e do braço, foi possível aumentar o tempo de disponibilidade da máquina depois de situações de ruptura de papel. Além disso, o sistema proporcionou melhor ambiente de trabalho para os operadores, reduzindo o tempo de exposição a equipamentos com partes girantes, redução da mão de obra de limpeza dos equipamentos que fazem o processo de aplicação do produto sobre a superfície da folha e mitigação do risco de acidente.

O projeto tinha um orçamento aprovado de R\$50.000,00 (Cinquenta mil reais) com variação de no máximo 10% no valor final. O desenvolvimento do presente projeto contou com a utilização de aproximadamente R\$15.000,00 (Quinze mil reais) para implementação do processo de automação nos respectivos equipamentos citados anteriormente. Portanto foi utilizado somente 15% do orçamento aprovado inicialmente, com previsão de *Payback* em até 6 meses após início das atividades.

Outros benefícios puderam ser verificados, como melhorias no sistema de controle de qualidade, geração de padrões para o sistema de aplicação, melhorias nos tempos de *startup* do equipamento e diminuição do tempo de ruptura de folha.

Através desse projeto, pode-se observar que são as pequenas atividades que fazem o processo de automação de uma máquina obter maior rendimento e disponibilidade possibilitando maior segurança e rentabilidade do produto.

Sendo assim, o presente projeto permitiu uma reflexão sobre os métodos de solução do sistema de automação e a importância da multidisciplinaridade para solução do processo de melhoria do sistema, nos quais foram utilizados métodos simples de lógica, circuitos digitais, programação de lógica para CLP, cálculo de esforço e resistência de materiais, sistema elétricos e análise de circuitos.

## REFERÊNCIAS

AGUIRRE, Luis Antonio; editores Associados: BRUCIAPAGLIA, Augusto Humberto; MIYAGI, Paulo Eigi; TAKAHASHI, Ricardo Hiroshi Caldeira. **Enciclopédia de automática: controle e automação, Volume I**. 1 ed. São Paulo: Blucher, 2007. Bibliografia. (ISBN 978-85-212-0771-9). Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521207719/cfi/4!/4/4@0.00:36.4>. Acesso em 06/02/2020.

GOLNARAGHI, Farid; BENJAMIN, Kuo C. **Sistemas de controle automático**. 9 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. (ISBN 978-85-216-0672-7).

LOURENÇO, Antonio, C.; CRUZ, Eduardo Alvez; FERREIRA, Sabrina; JÚNIOR, Salomão. **Circuitos digitais**. 9 ed. São Paulo: Érica, 1996. (ISBN 978-85-719-4320-9).

MORAES, Cícero Couto; CASTRUCCI, Plínio de Lauro. **Engenharia de automação industrial**. 2 ed. Rio de Janeiro: Editora GEN, 2007. Bibliografia (ISBN 978-85-216-1532-3). Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-1976-5/cfi/4!/4/4@0.00:55.6>>. Acesso em: 06/02/2020.

MARAFON, Carine; SERVELIN, Thaísa; ANSCHAU, Cleusa Terezinha; SCHNEIDER, Andressa; PAULA, Ronise de; **Benefícios do investimento em automação no processo de empacotamento de farinha de trigo**. Anais de Engenharia de Produção – UCEFF (ISSN-2594-4657), V.2, n.1, 2018.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de controle moderno**. 4 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2003. Bibliografia. (ISBN 978-85-87918-23-9).

PETRUZELLA, Frank. **Controladores lógicos programáveis**. 4 ed. Porto Alegre: AMGH, 2014. (ISBN 978-85-8055-282-9). Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580552836/cfi/0!/4/4@0.00:0.00>. Acesso em: 06/02/2020.

PRUDENTE, Francisco. **Automação industrial PLC: Teorias e aplicações**. Rio de Janeiro: Editora GEN, 2015.

PRUDENTE, Francisco. **Automação industrial PLC: Programação e instalação**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2013. Bibliografia. (ISBN 978-85-216-1703-7). Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2440-0/cfi/5!/4/4@0.00:54.7>. Acesso em: 06/02/2020.

RIBEIRO, Marco Antônio. **Automação Industrial**. 3 ed. Salvador: Tek Treinamento & Consultoria Ltda, 1999.

RODRIGO, Rodrigues. **Controle e automação da produção**. Porto Alegre: SAGAH, 2016.

SILVEIRA, Paulo Rogério da; SANTOS, Winderson E. **Automação e controle discreto**. 9 ed. São Paulo: Érica, 1998. Bibliografia. (ISBN 978-85-365-1814-5). Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518145/pageid/0>. Acesso em: 26/12/2019.

VAHID, Frank. **Sistemas digitais: projeto, otimização e HDLs**. Porto Alegre: Bookman, 2008. (ISBN 978-85-7780-237-1). Disponível em:

<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788577802371/cfi/1!/4/4@0.00:59.4>.

Acesso em: 03/02/2020.

LOGISIM: ferramenta educacional para a concepção e a simulação digital de circuitos lógicos. Versão 2.7.1, 2011. Disponível em: <http://www.cburch.com/logisim/pt/index.html>.

Acesso em: 04/04/2019.

MULTISIM: ferramenta para criação e simulação de circuitos lógicos. Versão 13.0.0 acadêmica, 2019. Disponível em: <https://www.multisim.com>. Acesso em: 20/05/2019.

Qelectrotech: software para criar diagramas elétricos. Versão 0.70, 2019. Disponível em: <https://qelectrotech.org/index.html>. Acesso em: 25/05/2019.

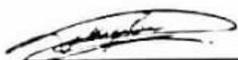
**Ata Nº 08 da Reunião da Comissão Examinadora de Defesa do Trabalho de Conclusão De Curso (TCC) em Eng Elétrica N**

Aos 8 dias do mês de Dezembro do ano de 2020, nas dependências do(a) Centro Universitário Campo Real, em Guarapuava, Paraná, no Bloco II - Sala 14, às 21 00 horas, em sessão pública, reuniu-se a Comissão Examinadora, composta pelo(a) Professor(a) Orientador(a) Isabelle Cordova Gomes, na qualidade de Presidente da Comissão Examinadora e os Professores Carlos Roberto Borsato e Julio César Cabral, integrantes da banca examinadora, para análise do TCC intitulado "PROCESSO DE AUTOMAÇÃO DE MÁQUINA INDUSTRIAL", elaborado na forma escrita e apresentado na forma ORAL pelo(a) acadêmico(a) Douglas Tiago Dario, como um dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Eng Elétrica N desta instituição. Aberta a reunião, o(a) senhor(a) Presidente concedeu a palavra ao(a) acadêmico(a) para que no prazo de até 20 minutos expusesse seu trabalho. Aos professores componentes da comissão Examinadora foi concedido tempo de até 10 minutos para suas considerações e debate com o(a) autor(a) do trabalho. Uma vez esgotado o prazo concedido aos professores e ao(a) acadêmico(a), o(a) senhor(a) Presidente convocou a participação dos professores componentes da Comissão Examinadora para avaliação final do Trabalho de Conclusão de Curso, tendo o seguinte parecer:


- Aprovado com nota:  
 Aprovado mediante alterações propostas pela comissão  
 Reprovado


10,0

O(A) acadêmico(a) deverá apresentar ao(a) Professor(a) Orientador(a), durante o prazo máximo de trinta dias, a contar da data de apresentação oral do trabalho as reformulações sugeridas. Agradecendo a presença de todos, o(a) Senhor(a) Presidente encerrou a reunião. Do que para constar, lavrou-se a presente ata que vai assinada pelos senhores membros da Comissão Examinadora e por mim, presidente da banca. Guarapuava-Paraná, 8 de Dezembro de 2020.


  
\_\_\_\_\_  
Douglas Tiago Dario  
Acadêmico(a)

  
\_\_\_\_\_  
Carlos Roberto Borsato  
Professor Membro

  
\_\_\_\_\_  
Isabelle Cordova Gomes  
Professor Orientador

  
\_\_\_\_\_  
Julio César Cabral  
Professor Membro

# ANEXO A - DIAGRAMA DE AUTOMAÇÃO



## ANEXO B - AUTORIZAÇÃO



### TERMO DE AUTORIZAÇÃO DA EMPRESA

A Santa Maria cia de Papel e Celulose pessoa jurídica devidamente inscrita no CNPJ nº 77.887.917/0001-84, com endereço BR 277 km 364, na cidade de Guarapuava, Estado PR, telefone para contato 42 3621-4196; neste ato representada por seu responsável legal Flavio Augusto Bizerra, profissão Gerente de DHO, portador da R.G no 6.342.178-2 e inscrito no CPF/MF 005.127.669-08, por intermédio da presente autoriza a realização, em suas dependências e fora delas, do Projeto de Pesquisa do trabalho de conclusão de curso intitulado: Processo de Automação de Máquina Industrial que tem por objetivo o desenvolvimento de lógica para o processo de automação de um equipamento em uma linha de produção contínua. Autoriza expressamente a divulgação da pesquisa, do nome da empresa e do resultado. Declara que tem conhecimento e que concorda plenamente que a participação da empresa que representa se dá à título gratuito, não recebendo, portanto nenhum honorário ou gratificação referente ao projeto de pesquisa. Concorda com a possibilidade de as informações relacionadas ao estudo serem inspecionadas pelo orientador da pesquisa.

Guarapuava, 08 de julho de 2020

Empresa: Santa Maria Cia e Papel e Celulose  
Nome completo do responsável legal: Flavio Augusto Bizerra  
CPF/MF: 005.127.669-08

Flavio Augusto Bizerra  
Gerente de Desenvolvimento  
Humano Organizacional

Assinatura do Representante Legal

Assinatura Pesquisadora: