



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS  
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA  
ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

**Isabelle Stoco Fabio**

**SISTEMA SCADA PARA CÁLCULO DE  
INDICADORES DE DESEMPENHO  
EMPREGANDO FERRAMENTAS DE  
CONFIABILIDADE EM UM SISTEMA  
MODULAR DE PRODUÇÃO**

Manaus  
2015

Isabelle Stoco Fabio

**SISTEMA SCADA PARA CÁLCULO DE  
INDICADORES DE DESEMPENHO  
EMPREGANDO FERRAMENTAS DE  
CONFIABILIDADE EM UM SISTEMA  
MODULAR DE PRODUÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade do Estado do Amazonas como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheira. em conformidade com as normas ABNT.

Orientador MSc. Charles Luiz Silva de Melo  
Coorientador: Dr. Israel Francisco Benítez Pina

Manaus  
2015

Isabelle Stoco Fabio

**SISTEMA SCADA PARA CÁLCULO DE  
INDICADORES DE DESEMPENHO EMPREGANDO  
FERRAMENTAS DE CONFIABILIDADE EM UM  
SISTEMA MODULAR DE PRODUÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade do Estado do Amazonas como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheira. em conformidade com as normas ABNT.

---

**MSc. Charles Luiz Silva de Melo**  
Orientador

---

**Dr. Walter Andres Vermehren  
Valenzuela**  
Professor

---

**MSc. Marcelo Albuquerque de  
Oliveira**  
Convidado 1

---

**MSc. Cleto Cavalcante de Souza Leal**  
Convidado 2

Manaus  
2015

## Agradecimentos

Gostaria de agradecer a minha família pelo apoio. À minha mãe Marcela, por estar presente em todos os momentos da minha vida e me incentivar a perseguir os meus sonhos, sem nunca permitir que as maneiras diferentes de pensar ficassem entre esse amor incondicional que existe entre nós. Ao meu pai Vlademir, que por sua vontade de vencer deu a mim e minhas irmãs uma vida muito melhor do que aquela que ele teve. À minha irmã Gabrielle, que com o passar dos anos se mostrou uma aliada que eu tenho certeza que vai estar presente quando eu precisar. À minha irmã caçulinha Beatriz, que mesmo tão pequena mostra-se interessada pelas maluquices que eu tenho a dizer.

Gostaria de agradecer também ao Rafael Goulart, meu parceiro e meu companheiro, que mesmo com meu jeito temperamental de ser, não me abandonou dentro dessa nossa jornada de oito anos. Muito obrigada por acreditar em mim mesmo quando eu não conseguia mais, e por dizer as palavras que eu preciso ouvir mesmo que eu não queira.

Gostaria de agradecer também aos meus companheiros de graduação: Dianny Pontes, Filipe Máximo, Izoneide Leite, Eiji Maeda, Nilteomar Gabay, Daniel Castro e Talita Timbó porque nas maiores dificuldades sempre nos unimos para enfrentá-las juntos e seguir em frente, mesmo que em caminhos um pouco afastados.

Gostaria de agradecer de maneira especial Dilermando Ferreira, Lucas Bonetti, Rodrigo Santa Rita e Guilherme Pires, que tiveram papel fundamental na elaboração e execução deste projeto, como também no apoio moral.

Gostaria de agradecer aos docentes do curso de Engenharia de Controle e Automação da UEA, Almir Kimura Jr., Israel Mazaira, Daniel Gúzman, Marlene Faria, que cada um a sua maneira fez de mim a pessoa que eu sou hoje. Muito obrigada pelo carinho e pelos conselhos. Ao professor Moisés Bastos, agradeço à ajuda na parte de comunicação deste sistema e sessão extra de tira-dúvidas nas aulas de Redes Industriais. Ao professor Marcelo Albuquerque, agradeço ao empréstimo dos livros utilizados para compreensão da confiabilidade e trazer esse assunto na realidade deste projeto.

Em especial, gostaria de agradecer meu orientador Charles Melo, que mesmo nas turbulências da vida dedicou-se para me ajudar a atingir meus resultados, tornou-se meu mentor e principalmente meu amigo.

Não poderia esquecer de agradecer o meu coorientador Israel Benítez, que para minha surpresa tornou-se um segundo orientador, presente e atuante na cobrança dos resultados, mas principalmente em disponibilizar-se para atender minhas solicitações sempre.

Gostaria de agradecer também a Coordenação do curso de Engenharia de Controle e Automação pela disponibilidade do laboratório e dos módulos para execução do projeto. Também agradeço a Universidade do Estado do Amazonas pela oportunidade de participar desta graduação e a contribuição para minha carreira profissional.

*“Terei a eternidade inteira para descansar“*  
*(Ernauton Nogueira da Silva)*

## Resumo

No cenário industrial atual, dentre vários fatores que tem influência direta na competitividade dos negócios, a confiabilidade é um dos mais estudados por estar relacionado com os custos de produção, o que conseqüentemente tem impactos na receita arrecadada com a produção de um determinado produto. Outra realidade muito comum dentro do ambiente industrial é a presença de sistemas supervisórios capazes de controlar e realizar aquisição de dados para analisar os resultados de produção gerados que servem como base para realizar as modificações de aumento de produtividade do processo. Dessa forma, unindo conhecimentos de áreas que normalmente são estudadas de maneira separada é possível projetar e desenvolver um sistema supervisório capaz de incluir em sua análise dos resultados de produção o cálculo dos índices de desempenho.

**Palavras-chaves:** Sistema Supervisório. ScadaBR. Engenharia de Confiabilidade.

## Abstract

At the current industrial scenario, among several factors which have a direct influence at business competitiveness, reliability is the most studied factor due to being related with production costs, which has impacts in the obtained income with the production for a product. Another reality very common inside industrial environment is supervisory systems presence that are capable of controlling and acquiring data to analyze the production results generated which can be used as base to perform changes for process productivity improvements. Thereby, combining knowledge areas that usually are studied in a separative way it is possible to design and develop a supervisory system capable of include in its results analysis both production and performance index calculation.

**Key-words:** Supervisory System. ScadaBR. Reliability Engineering.

## Lista de ilustrações

Figura 1 – Diferentes tipos de arranjos físicos nos sistemas . . . . .	21
Figura 2 – Exemplo de Rede de Petri . . . . .	27
Figura 3 – Arquitetura de Hardware Típica . . . . .	29
Figura 4 – Arquitetura Software Genérica . . . . .	30
Figura 5 – Módulo <i>Distributing</i> . . . . .	33
Figura 6 – Módulo <i>Testing</i> . . . . .	34
Figura 7 – Módulo <i>Sorting</i> . . . . .	36
Figura 8 – Modelagem em Rede de Petri - Módulo de Distribuição . . . . .	40
Figura 9 – Modelagem em Rede de Petri - Módulo de Teste . . . . .	41
Figura 10 – Modelagem em Rede de Petri - Módulo de Ordenação . . . . .	42
Figura 11 – Exemplo de FTA - Falha no Motor . . . . .	44
Figura 13 – <i>Metadata</i> - Índices de Confiabilidade . . . . .	48
Figura 12 – <i>Data Sources</i> registradas no ScadaBR© . . . . .	48
Figura 14 – <i>Data Points</i> - Módulo de Distribuição . . . . .	49
Figura 15 – <i>Data Points</i> - Módulo de Teste . . . . .	50
Figura 16 – <i>Data Points</i> - Módulo de Ordenação . . . . .	51
Figura 17 – Estrutura da Automação . . . . .	53
Figura 18 – Temporizadores de <i>RunningTime</i> e <i>DownTime</i> - Módulo Distribuição . . . . .	56
Figura 19 – Contadores de Falhas e Paradas - Módulo Distribuição (Trecho) . . . . .	58
Figura 20 – Contador e Temporizador para Lógica de <i>Minor Stops</i> . . . . .	59
Figura 21 – Falha de transporte da peça para o módulo de teste . . . . .	62
Figura 22 – Falha na detecção de peça do módulo de teste . . . . .	63
Figura 23 – Tela de Monitoramento - MPS® FESTO . . . . .	64
Figura 24 – Tela de Controle - Módulo de Distribuição . . . . .	65
Figura 25 – Tela de Controle - Módulo de Teste . . . . .	66
Figura 26 – Tela de Controle - Módulo de Ordenação . . . . .	66
Figura 27 – Modelagem Final - MPS® FESTO . . . . .	75
Figura 28 – Detalhes da <i>Meta Data</i> - Disponibilidade . . . . .	76
Figura 29 – Detalhes do <i>Meta Data</i> - <i>Minor Stops</i> . . . . .	77
Figura 30 – Detalhes do <i>Meta Data</i> - MTBF . . . . .	78
Figura 31 – Detalhes do <i>Data Point</i> - MTTR . . . . .	79
Figura 32 – Programa <i>LADDER</i> - Operação Automática - <i>Distributing</i> . . . . .	80
Figura 33 – Programa - Contagem de Falhas - <i>Distributing</i> . . . . .	81
Figura 34 – Programa <i>LADDER</i> - Operação Automática - <i>Testing</i> . . . . .	82
Figura 35 – Programa - Contagem de Falhas - <i>Testing</i> . . . . .	83
Figura 36 – Programa <i>LADDER</i> - Operação Automática - <i>Sorting</i> . . . . .	84

Figura 37 – Programa - Contagem de Falhas - *Sorting* . . . . . 85

## Lista de tabelas

Tabela 1 – Entradas e Saídas vs Sensores e Atuadores - <i>Distributing</i> . . . . .	33
Tabela 2 – Entradas e Saídas vs Sensores e Atuadores - <i>Testing</i> . . . . .	35
Tabela 3 – Entradas e Saídas vs Sensores e Atuadores - <i>Sorting</i> . . . . .	37
Tabela 4 – Lógica para Acionamento dos Desvios . . . . .	38
Tabela 5 – Estados e Falhas - Módulo de Distribuição . . . . .	45
Tabela 6 – Estados e Falhas - Módulo de Teste . . . . .	45
Tabela 7 – Estados e Falhas - Módulo de Ordenação . . . . .	46
Tabela 8 – Lista de Tipos de Alarmes - Por Módulo . . . . .	47
Tabela 9 – FMECA - MPS® FESTO . . . . .	60
Tabela 10 – Avaliação de Eficiência das Ações Corretivas - FMECA . . . . .	61
Tabela 11 – Relatório de Engenharia de Confiabilidade - Teste 1 . . . . .	68
Tabela 12 – Relatório de Engenharia de Confiabilidade e Dados de Produção - Teste 2	69
Tabela 13 – Avaliação do Risco baseado no Índice de Criticidade da falha - Adaptada	86
Tabela 14 – Avaliação do Índice da Ocorrência da Falha - Adaptada . . . . .	86
Tabela 15 – Avaliação do Índice da Gravidade da Falha - Adaptada . . . . .	87
Tabela 16 – Avaliação do Índice de Detecção da Falha - Adaptada . . . . .	88

# Sumário

1	INTRODUÇÃO . . . . .	13
1.1	Problemática . . . . .	13
1.2	Motivação . . . . .	13
1.3	Justificativa . . . . .	14
1.4	Objetivo . . . . .	14
1.4.1	Objetivos específicos . . . . .	14
1.5	Metodologia . . . . .	15
1.6	Organização do Trabalho . . . . .	15
2	TRABALHOS RELACIONADOS . . . . .	17
2.1	Modelagem e Análise de Performance de Sistemas Flexíveis de Manufatura baseado em Redes de Petri Temporizadas: Estudo de Caso na Indústria Automobilística . . . . .	17
2.2	Técnicas de Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos e Análise da Árvore de Falhas no Desenvolvimento e na Avaliação de Produtos . . . . .	18
2.3	Avaliação do Desempenho de uma Manufatura de Equipamen- tos Eletrônicos segundo Critérios de Competição . . . . .	18
2.4	<i>A Model-Driven Approach for Runtime Reliability Analysis</i> . .	19
2.5	<i>An Application of SCADA System on a MT Educational MPS Unit</i> . . . . .	19
3	REFERENCIAL TEÓRICO . . . . .	20
3.1	Engenharia de confiabilidade . . . . .	20
3.1.1	Conceitos básicos de confiabilidade de sistemas . . . . .	21
3.1.2	Tempo Médio entre Falhas (MTBF) . . . . .	22
3.1.3	Tempo Médio de Reparos (MTTR) . . . . .	22
3.1.4	Disponibilidade (Availability A) . . . . .	22
3.1.5	Perdas mais Significativas (Major Losses) . . . . .	23
3.1.5.1	Sem demanda de manufatura . . . . .	23
3.1.5.2	Perdas de máquina parada . . . . .	23
3.1.5.3	Perda de eficiência . . . . .	23
3.1.5.4	Perdas de qualidade . . . . .	24
3.1.6	Métodos de análise de falhas . . . . .	24
3.1.6.1	FMECA - Análise de Modo, Efeito e Criticidade de Falhas . . . . .	25
3.1.6.2	FTA - Análise de Árvore de Falhas . . . . .	25

3.2	Sistemas flexíveis de manufatura . . . . .	26
3.3	Modelagem em Rede de Petri . . . . .	26
3.4	Sistema supervisor SCADA . . . . .	28
3.4.1	Arquitetura hardware . . . . .	28
3.4.2	Arquitetura software . . . . .	29
3.4.3	Comunicação . . . . .	30
3.4.4	Interface Humano Máquina (IHM) . . . . .	30
3.4.5	Controlador Lógico Programável (CLP) . . . . .	31
4	MATERIAIS E MÉTODOS . . . . .	32
4.1	MPS® FESTO . . . . .	32
4.1.1	Módulo de distribuição . . . . .	32
4.1.2	Módulo de teste . . . . .	34
4.1.3	Módulo de ordenação . . . . .	36
4.2	CLP CPX-CEC FESTO . . . . .	38
4.2.1	CoDeSys© FESTO . . . . .	38
4.3	Modelagem Rede de Petri . . . . .	39
4.4	Métodos de análise de falhas . . . . .	42
4.4.1	FMECA . . . . .	42
4.4.2	Análise da árvore de falhas . . . . .	43
4.4.3	Método de cálculo dos índices de confiabilidade . . . . .	44
4.5	Sistema SCADA . . . . .	46
4.5.1	Requerimentos funcionais . . . . .	46
4.5.1.1	Controle de Acesso . . . . .	46
4.5.1.2	Atenção à falhas no sistema automático . . . . .	47
4.5.1.3	Avaliação de tendências no tempo . . . . .	47
4.5.1.4	Estatística das variáveis fundamentais do processo . . . . .	52
4.5.1.5	Relatórios de estatísticas de produção . . . . .	52
4.5.2	Estrutura da rede industrial . . . . .	52
4.5.3	Servidor OPC . . . . .	53
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS . . . . .	55
5.1	Programação em LADDER . . . . .	55
5.1.1	Temporizadores (Tempos de Máquina) . . . . .	55
5.1.2	Contadores de Falhas e Paradas . . . . .	57
5.1.3	Minor Stops . . . . .	59
5.2	FMECA . . . . .	59
5.3	FTA . . . . .	62
5.4	ScadaBR© . . . . .	63
5.4.1	Testes - Relatórios dos Índices de Confiabilidade . . . . .	67

6	CONCLUSÕES . . . . .	70
6.1	Dificuldades encontradas . . . . .	71
6.2	Trabalhos Futuros . . . . .	71
	REFERÊNCIAS . . . . .	72
	APÊNDICE A – RESULTADOS OBTIDOS PARA ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE . . . . .	75
A.1	Modelagem em rede de Petri . . . . .	75
A.2	Métodos de cálculo dos índices de confiabilidade . . . . .	76
A.2.1	Disponibilidade . . . . .	76
A.2.2	Minor Stops . . . . .	77
A.2.3	MTBF . . . . .	78
A.2.4	MTTR . . . . .	79
A.3	Programa LADDER . . . . .	79
A.3.1	Módulo de Distribuição . . . . .	80
A.3.2	Módulo de Teste . . . . .	82
A.3.3	Módulo de Ordenação . . . . .	84
	ANEXO A – TABELAS DOS ÍNDICES PARA CÁLCULO DO NPR . . . . .	86
A.1	Índice de criticidade ( $I_C$ ou NPR) . . . . .	86
A.2	Índice de ocorrência ( $I_O$ ) . . . . .	86
A.3	Índice de gravidade ( $I_G$ ) . . . . .	87
A.4	Índice de detecção ( $I_D$ ) . . . . .	88

# 1 INTRODUÇÃO

Quando se fala em produção em escala industrial, uma das principais preocupações daqueles que projetam os produtos para as linhas são os custos relacionados a fabricação. Com a chegada da globalização, a competitividade entre as empresas aumentou significativamente.

Esta mudança forçou as empresas a aumentar a quantidade de variáveis estudadas durante análise de viabilidade de produção para manter o preço de seus produtos competitivos. Os consumidores por sua vez continuam exigentes quanto ao nível de qualidade e garantia que as empresas entregam seus produtos. Dessa forma, como manter o preço mais justo e competitivo aos consumidores com um mercado tão exigente, sem perder a qualidade e participação significativa nas divisões do mercado?

Uma das respostas para esta pergunta é aplicar engenharia de confiabilidade em seus processos. A confiabilidade de processos é diretamente relacionada à redução de falhas, uma vez que estas só aumentam os custos diretos de produção, e em um cenário mais crítico, a segurança dos próprios colaboradores. O conhecimento dessas falhas permite diminuir a ocorrência dessas falhas, reduzindo também os custos relacionados à elas.

O presente trabalho tem como objetivo planejar e implementar um sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) que forneça os índices de desempenho do sistema utilizando as ferramentas de engenharia de confiabilidade necessárias para conhecimento das falhas presentes em um sistema didático de manufatura, que é o Sistema Modular de Produção (MPS®) FESTO.

## 1.1 Problemática

Ausência de um sistema SCADA integrado com as ferramentas de Engenharia de Confiabilidade para o MPS® FESTO.

## 1.2 Motivação

De acordo com Sellitto e Walter (2006), a manufatura (de maneira geral) vem sido influenciada pela expansão da competitividade global de modo a obter mudanças em suas tecnologias para assim acompanhar o complexo e incerto ambiente competitivo em que esse negócio se encontram atualmente. Além de existir uma preocupação com o custo e confiabilidade de seus produtos, essas marcas também devem se preocupar com a entrega e a capacidade de inovação, pois estes são fatores essenciais para manter a competitividade do negócio, e dessa forma, sua rentabilidade.

Tendo este cenário competitivo sendo resultado de diversas variáveis controladas e manipuladas por diversas áreas de conhecimento diferentes (operação, pesquisa e desenvolvimento, finanças, vendas e recursos humanos), qualquer negócio que queira manter-se em um longo período de tempo deve ter times de pessoas engajadas trabalhando para manter o controle destas e assim, garantir a sua competitividade.

A proposta de uma solução que parte do estudo da confiabilidade e forneça os índices de desempenho por meio de sistemas supervisórios de manufatura é um ponto de partida para garantir o controle da área de operação, que dentro do ambiente acadêmico proposto, simula justamente parte da preocupação citada anteriormente, e assim soluciona parte do problema de competitividade.

### 1.3 Justificativa

Para a implantação de um sistema SCADA que forneça os índices de desempenho para acompanhamento da produção do MPS® FESTO serão utilizados vários conceitos estudados nas disciplinas do curso de Engenharia de Controle e Automação, tais como: Modelagem e Simulação de Sistemas Discretos; Probabilidade e Estatística; Circuitos Elétricos I; Instrumentação Industrial; Comandos Eletropneumáticos; Confiabilidade de Sistemas e Produtos, Automação e Supervisão de Processos; Redes de Computadores I; Redes Industriais de Comunicação; e Sistemas Supervisórios.

Os ganhos futuros do presente projeto de pesquisa estão relacionados com conhecimento dos modos e efeitos de falha, diminuindo assim a reocorrência dos problemas ao atuar diretamente nas causas verificadas durante as observações e estudos do sistema. Os estudos relacionados aos cálculos dos índices de desempenho podem ser utilizados por outros estudantes que estão aprendendo como determiná-los de maneira teórica nas aulas de Confiabilidade de Sistemas e Produtos. Além disso, é possível interdisciplinar conhecimentos adquiridos com estudos de confiabilidade e implementação de outros tipos de sistemas supervisórios.

### 1.4 Objetivo

Implementar um sistema SCADA para o MPS® FESTO que calcule os índices de desempenho do sistema empregando ferramentas de engenharia de confiabilidade no laboratório de robótica da EST/UEA utilizando interface humano-máquina.

#### 1.4.1 Objetivos específicos

- Estabelecer comunicação entre CLPs por meio de uma rede industrial descentralizada;

- Estudar e desenvolver o programa em Ladder para os controladores do MPS® FESTO, assim como definir as variáveis que serão controladas/manipuladas e monitoradas pelo sistema SCADA;
- Implementar um sistema SCADA capaz de controlar o MPS® FESTO utilizando interface humano-máquina (IHM) e coletar as informações das variáveis necessárias do sistema (por meio de TAGs) para cálculo dos índices de desempenho;
- Desenvolver estudos utilizando as ferramentas de engenharia de confiabilidade que podem ser aplicadas ao sistema modular de produção e criar telas para consulta dos índices de desempenho utilizando interface humano-máquina (gerando relatórios).

## 1.5 Metodologia

Primeiramente realizar as pesquisas bibliográficas nas áreas de projeto e desenvolvimento de sistema supervisório SCADA, sistemas de controle para eventos discretos, comunicação e configuração de rede industrial e implementação de ferramentas de engenharia de confiabilidade para processos de manufatura.

Referente à execução, o primeiro passo será implementar a comunicação dos CLPs da FESTO para rede industrial Ethernet utilizando um roteador wireless. Em paralelo, será realizada modelagem do MPS® FESTO e de suas especificações. Além de conhecer como deve ser o funcionamento do sistema, serão mapeadas também as variáveis (entradas ou saídas) que serão controladas e mapeadas pelo sistema SCADA.

Uma vez estabelecida comunicação entre os CLPs e conhecimento do processo de manufatura que será adotado para MPS®, será desenvolvido o programa em Ladder para cada módulo que será controlado por um CLP CPX-CEC da FESTO.

Depois de testado e implementado o programa no sistema, será realizada a instalação e desenvolvimento o sistema SCADA, utilizando software livre ScadaBR©. Testes para verificar o controle do funcionamento do sistema serão realizados neste passo também.

Depois de estabelecido controle e aquisição dos dados mapeados do MPS®, telas para visualização dos indicadores de confiabilidade serão criadas e disponibilizadas no IHM presente no sistema. Os formatos dos relatórios que podem ser acessados por meio do sistema SCADA também serão desenvolvidos nesta fase final. Testes para verificar o cálculo dos indicadores realizados conforme as telas forem sendo criadas. O teste do relatório será realizado após teste das telas do IHM.

## 1.6 Organização do Trabalho

Este trabalho está dividido em seis capítulos para tornar mais fácil o entendimento ao leitor. O Capítulo 1 contém uma breve introdução sobre o assunto a ser explanado no

trabalho, sua motivação, justificativa para estudar as áreas mencionadas e um resumo da metodologia empregada no desenvolvimento do projeto,

O Capítulo 2 relaciona os trabalhos desenvolvidos no meio acadêmico que tem relação com o projeto implementado, destacando suas semelhanças e diferenças.

O Capítulo 3 contém as principais áreas de conhecimento e suas teorias para que o leitor tenha pleno entendimento das técnicas e abordagens adotadas no detalhamento de execução do projeto e até estar apto a analisar os resultados conforme descritos pela autora.

O Capítulo 4 detalha os materiais e técnicas empregados na execução do projeto de modo que seja possível para o leitor replicá-los para obter resultados similares aos da autora.

O Capítulo 5 contém a análise dos resultados obtidos após execução da metodologia e os comenta de maneira detalhada, para melhor entendimento do leitor.

O Capítulo 6 contém as conclusões que podem ser afirmadas após execução do projeto, fazendo análise de qualidade dos resultados obtidos e os confronta com os objetivos propostos pelo projeto.

Ao final do trabalho estão incluídos o Apêndice (A) e Anexo (A) que são necessários para que se tenha o entendimento da origem dos dados comentados anteriormente pela autora.

## 2 TRABALHOS RELACIONADOS

Os trabalhos mencionados nesta seção são exemplos de modelagem e técnicas na análise da engenharia de confiabilidade empregados atualmente para sistemas flexíveis de manufatura, que entre outros atributos são de extrema preocupação das empresas devido ao seu potencial de melhorar a receita e até competitividade do negócio.

### 2.1 Modelagem e Análise de Performance de Sistemas Flexíveis de Manufatura baseado em Redes de Petri Temporizadas: Estudo de Caso na Indústria Automobilística

Santos (2008) aproveita-se da volatilidade de utilizar Redes de Petri para representar modelos tanto para análise das propriedades comportamentais quanto para performance. Mesmo mencionando outros tipos de ferramentas utilizadas na análise de sistemas discretos (como programas de simulação embasados na teoria de Rede de Filas), o autor comenta que essas ferramentas possuem restrições relacionadas à conversão dos modelos em especificações das estratégias de controle visto que necessitam de uma abstração de conceitos e decisões que não podem ser diretamente implementados.

Após diferenciar com detalhes os diversos tipos de Redes de Petri e suas propriedades, o autor conceitua o significado de um Rede de Petri Temporizada, que é um tipo de rede estendida que introduz novos elementos e abordagens sem alterar a teoria das redes, contribuindo para aumentar o poder de representação das redes sem perder o poder de análise.

Sendo assim, após explicar com detalhes quais as opções de softwares utilizados para ferramentas de simulação de Redes de Petri Temporizadas, menciona-se que para a dissertação irá abordar a representação dos estados e ações dos Sistemas Flexíveis de Manufatura representados através da modelagem em Rede de Petri Temporizada. A análise de performance do modelo é realizada através da simulação do sistema utilizando as equações de estado, e feita através da quantidade de itens dos buffers, disponibilidade de equipamentos, e quantidade de itens da saída do sistema.

Para esta dissertação, são incorporados conceitos de confiabilidade no que se diz respeito aos equipamentos e processos por meio da ocorrência de falhas no chão-de-fábrica. É de interesse também demonstrar a influência da confiabilidade na performance dos sistemas.

Contudo, não de interesse do autor demonstrar esses dados utilizando qualquer tipo de interface com usuário (como sistemas supervisórios, por exemplo) mas empregar fluxogramas e a própria Rede de Petri Temporizada.

## **2.2 Técnicas de Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos e Análise da Árvore de Falhas no Desenvolvimento e na Avaliação de Produtos**

Mesmo sendo direcionado à área de confiabilidade de produtos, a relação estabelecida entre FMEA (Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos) e FTA (Análise da Árvore de Falhas) por Sakurada et al. (2001) é muito importante, tanto por serem as ferramentas mais utilizadas pelos engenheiros de confiabilidade quanto por facilitar a compreensão da sua utilização nas fases do ciclo de vida do produto (projeto e uso).

O autor realiza dois estudos de caso, um aplicando o FMEA (aplicação sobre um projeto de uma transplantadora de mudas na fase de projeto detalhado) e no outro a FTA (aplicação sobre uma bomba de engrenagens) de modo a exemplificar para o leitor da melhor maneira possível como devem ser aplicadas essas ferramentas afim de obter o pleno funcionamento do produto.

Contudo, os objetivos desta dissertação não estão relacionados a disponibilizar dados para usuários (engenheiros, técnicos, operadores, etc) quanto aos dados de confiabilidade do processo através das ferramentas exploradas por Santos (2008) no exemplo anterior.

## **2.3 Avaliação do Desempenho de uma Manufatura de Equipamentos Eletrônicos segundo Critérios de Competição**

Neste artigo, Sellitto e Walter (2006) ressalva que dentro da estratégia de competição de negócios (Finanças, Pesquisa & Desenvolvimento, Vendas, Recursos Humanos, etc) a estratégia de Operações é extremamente importante para manter a competitividade do negócio. Por este motivo que o artigo se propõe e testa um método para avaliar o desempenho da manufatura do estudo de caso gerando ferramentas interessantes ao longo do processo de estudo e reconhecimento da aplicação.

Antes de iniciar o estudo de caso, o autor deixa bem claro que o desempenho em manufatura seja uma grandeza multivariável dinâmica, ou seja, torna-se bastante difícil de obter uma modelagem permanente, comparável e transportável, adequada a todas as indústrias. Dessa forma, é necessário uma metodologia flexivelmente estruturada, replicável no tempo e na indústria e que possa gerar e ponderar um conjunto de variáveis de medição.

O método aplicado neste artigo difere completamente da proposta deste projeto, visto que o seu objetivo é de fazer uma aplicação específica aos MPS® FESTO (estudando suas peculiaridades e especificidades), enquanto que o artigo desenvolve um método genérico que pode ser aplicado à qualquer aplicação de manufatura flexível.

## 2.4 A Model-Driven Approach for Runtime Reliability Analysis

Traduzindo para a língua portuguesa, Abordagem orientada a modelo para Análise de Confiabilidade de Tempo de Execução.

Nas explicações presentes no artigo é possível compreender que Sojer et al. (2013) se propõe a realizar uma abordagem mais simples e menos propensa a erros de programação. Ao final, o autor provém um metamodelo compacto que pode ser utilizado para descrever todas as informações necessárias para análise de confiabilidade de tempo de execução. Além disso, o artigo provém análise de algoritmos que podem ser parametrizados automaticamente por meio da geração do código.

Apesar de ser uma aplicação bem diferente da proposta deste projeto, os métodos aplicados para análise de confiabilidade (FMEA, FTA) foram os mesmos para garantir que os objetivos propostos fossem alcançados.

## 2.5 An Application of SCADA System on a MT Educational MPS Unit

Traduzindo para a língua portuguesa, Aplicação de um Sistema SCADA em uma Unidade Educacional SMP (Sistema Modular de Produção).

Conforme descrito por Yenitepe (2004) em seu artigo, foi feito projeto e implantação de um sistema educacional (Multi-tarefas) modular de produção e, assim como o sistema SCADA (Supervisório de Controle e Aquisição de Dados). O objetivo do artigo é simular condições reais em um sistema de produção educacional. O sistema modular educacional mencionada no estudo é bem similar aos módulos explorados nesse projeto (módulo de teste para tipo metálico ou plástico das peças, e módulo de ordenação de peças conforme seu material), sendo que o módulo diferente é uma mesa giratória que executa a função de distribuição, enquanto que na proposta desse projeto, corresponde a um transportador (*pick-up*) pneumático.

## 3 REFERENCIAL TEÓRICO

Para desenvolvimento desse projeto foi necessário realizar uma pesquisa bibliográfica sobre as teorias relacionadas ao conceito e estudo de engenharia de confiabilidade, métodos de análise de falhas, processos de manufatura, modelagem em redes de Petri e projeto e implantação de sistemas supervisórios SCADA, que serviram de base para execução dos passos mencionados no Capítulo 1.

### 3.1 Engenharia de confiabilidade

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2011), confiabilidade e qualidade só se diferem no quesito tempo, uma vez que a confiabilidade de um processo pode ser observada dentro de um período de tempo, enquanto que a qualidade se refere a uma descrição estática de um determinado item. Ainda segundo este autor é possível verificar as diversas fontes de variabilidade que tem relação direta com os aspectos de qualidade do produto, que podem ser classificadas como: variabilidade nos processos de manufatura, variabilidade no ambiente de operação e deterioração do produto.

Dessa forma, ações de melhoria que reduzam a variabilidade do processo, aumentam a qualidade do produto, conseqüentemente aumentando assim a confiabilidade do mesmo.

Quando se fala exclusivamente de confiabilidade, Fogliatto e Ribeiro (2011) utiliza conceitos mencionados na própria NBR ISO-8402 e 5462, como:

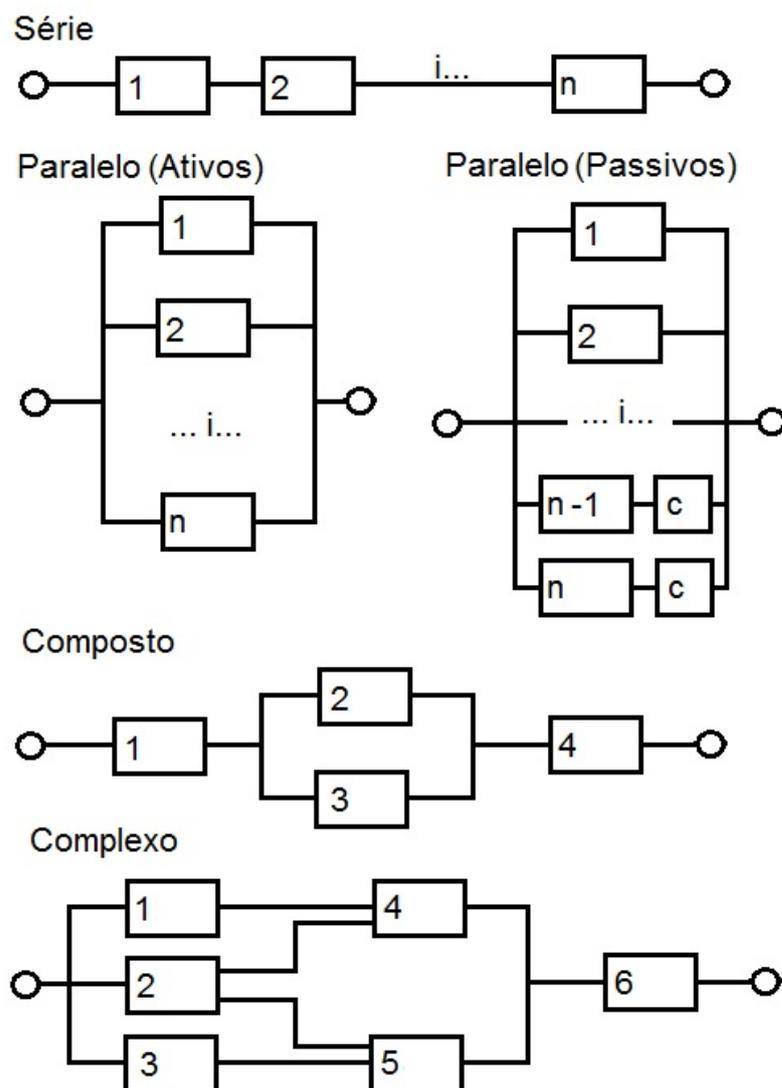
- Qualidade que são todas as características e aspectos do produto relacionadas a satisfação das necessidades dos clientes propostas pelo fabricante.
- Disponibilidade que é a capacidade de bom funcionamento do equipamento dentro de um período específico de tempo, mediante manutenção apropriada.
- Manutenibilidade que é a capacidade de manter ou recolocar o equipamento em condições de produção por meio de procedimentos de manutenção e frequência conhecidos. Este conceito tem relação direta com a disponibilidade mencionada anteriormente.
- Segurança que manter dentro de padrões de aceitação as condições que possam impactar a saúde e desempenho de colaboradores engajados nas atividades produtivas, uma vez que mesmo tendo um estudo bem abrangente sobre as situações de risco, estas não podem ser completamente eliminadas, somente diminuir sua ocorrência no processo.

- Confiança que relaciona os conceitos de disponibilidade e seus fatores determinantes. Este conceito pode ser facilmente confundido com a confiabilidade, porém é mais abrangente e menos probabilístico.

### 3.1.1 Conceitos básicos de confiabilidade de sistemas

Como definido por Pallerosi (2007), um sistema pode ser dividido em subsistemas e componentes, que quando combinados entre si de uma maneira específica, corresponde a arranjos físicos (conforme Figura 1) para atingir as funções de operação necessárias, adotando custos, performance e confiabilidade que satisfaçam a necessidade do usuário final. Ou seja, o resultado desses arranjos determina o comportamento confiabilístico do sistema (a consideração das confiabilidades de cada item em particular com suas diferentes probabilidades de falha).

Figura 1 – Diferentes tipos de arranjos físicos nos sistemas



Fonte: (PALLEROSI, 2007)

### 3.1.2 Tempo Médio entre Falhas (MTBF)

Conforme relatado por Levin e Kalal (2003), este índice representa o tempo médio que se espera entre as paradas que ocorrem durante o processo produtivo. Não esquecendo que este se trata de um valor calculado usando média, ou seja, trata-se uma aproximação validada para todas as peças produzidas dentro do período analisado.

Tobias e Trindade (2011) provêm a definição matemática para o cálculo deste índice relacionado a produtos reparáveis, conforme mostrado abaixo:

$$MTBF = \frac{T(k)}{k} \quad (3.1)$$

Onde:

$T(k)$  representa o tempo real de máquina produzindo e  $k$  representa a quantidade de falhas ocorridas.

### 3.1.3 Tempo Médio de Reparos (MTTR)

Sua definição é ainda mais simples que as anteriores, correspondendo a média do tempo necessário para retornar o equipamento às condições de operação normais (BENBOW; BROOME, 2012). A maneira mais prática encontrada para o seu cálculo foi aquela determinada pela Reliasoft Corporation (2011), conforme demonstrado abaixo:

$$MTTR = \frac{(CM_{Downtime})}{\#StopsIncidents} \quad (3.2)$$

Onde:

$CM Downtime$  é o tempo de máquina parada considerando apenas as manutenções corretivas (excluindo de seu cálculo os tempos relacionados à: paradas para manutenção preventiva, atrasos de logística, atraso de suprimentos para o processo e atrasos administrativos) e  $\#StopsIncidents$  é a quantidade de paradas ocorridas no sistema dentro do tempo avaliado.

### 3.1.4 Disponibilidade (Availability A)

Este por sua vez é o índice mais significativo calculado porque define a probabilidade do equipamento não sofrer falha durante a operação ou precisar de reparos para produzir a quantidade necessária, ou seja, a porção de tempo em que o equipamento está disponível para produzir (BENBOW; BROOME, 2012).

$$A = \frac{Uptime}{Uptime + Downtime} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (3.3)$$

Onde:

$Uptime$  refere-se ao tempo de máquina produzindo.

### 3.1.5 Perdas mais Significativas (Major Losses)

Dentro do sistema de Manutenção Produtiva Total (TPM) desenvolvido no Japão, o primeiro foco é eliminar as perdas mais significativas (*Major Losses*), classificadas em quatro grandes categorias: sem demanda de manufatura (*planned shutdown losses*), perdas de máquina parada (*downtime losses*), perda de eficiência (*performance efficiency losses*) e perdas de qualidade (*quality losses*) (SMITH; MOBLEY, 2011).

#### 3.1.5.1 Sem demanda de manufatura

Um tempo de operação bem significativo é perdido quando há ausência de demanda para um determinado equipamento. Porém, as razões para a falta de demanda também são objeto de estudo na engenharia de confiabilidade, uma vez que seu papel é deixar o equipamento disponível para produção. Neste caso, segundo Smith e Mobley (2011) as perdas são alocadas em duas subcategorias:

- Produção não prevista para equipamento onde por algum motivo o equipamento se encontra em condições para produzir, porém por motivos administrativos isso não é possível (paradas de refeições ou trocas de turno, turno exclusivo para manutenção, etc).
- Manutenções planejadas: desligamento periódico de equipamentos, processos ou utilidades para manutenções com maior tempo de duração.

#### 3.1.5.2 Perdas de máquina parada

Essa categoria corresponde a segunda mais significativa, incluindo perdas relacionadas a falhas do equipamento ou avarias, setup de máquina ou ferramentas (dependendo do tipo de conversão necessário no processo) e o seu startup (SMITH; MOBLEY, 2011).

#### 3.1.5.3 Perda de eficiência

As perdas relacionadas a esta categoria são aquelas em que o equipamento não está produzindo conforme os parâmetros aos quais ele foi desenvolvido, ou seja, poderia estar produzindo mais. As perdas menores (*minor stops*) são aquelas com duração de 6 minutos (este tempo pode variar dependendo dos critérios da companhia), porém estão sempre relacionadas aquelas paradas que são difíceis de serem analisadas ou rastreadas justamente por terem uma duração curta. Se o equipamento está operando abaixo das condições estabelecidas pelo fabricante (velocidade ou tempo de ciclo), perdas devem ser calculadas e estabelecidas como perda de eficiência (SMITH; MOBLEY, 2011).

#### 3.1.5.4 Perdas de qualidade

Nesta categoria estão alocadas as perdas relacionadas a problemas de qualidade, como: peças produzidas fora das especificações estabelecidas (que independentemente de poderem ser reaproveitadas ou não, resultaram em perda de tempo e material), peças geradas durante ajuste de máquina (normalmente geradas após startup ou warmup do equipamento) (SMITH; MOBLEY, 2011).

#### 3.1.6 Métodos de análise de falhas

Por meio da evolução da manutenção ao longo dos anos, seus conceitos foram modificados para acompanhar a evolução dos ativos e utilização das tecnologias aplicadas, como pode ser entendido por Schmitt (2013).

No tempo conhecido como Primeira Geração (marcada como período até a II Guerra Mundial), devido a maioria dos processos serem mecanizados, as paradas de falhas não eram vistas como fator primordial dentro da gestão, já que os equipamentos eram simples e superdimensionados, o que os tornavam bem confiáveis e fáceis de manter, o que não pedia uma manutenção mais acurada e sistemática.

Porém, para a Segunda Geração, quando houve a revolução industrial pós-guerra, a procura por bens de vários tipos aumentou, o que forçou as indústrias a se modernizarem afim de atenderem as demandas do mercado. Nesse cenário, surge a necessidade de mecanização e aumento do número de equipamentos utilizados na produção de determinados produtos.

Com o aumento da complexidade desses equipamentos, o ser humano acaba tornando-se mais dependente das máquinas para execução de suas atividades, o que muda o foco para estudo de falhas relacionando a como estas poderiam ser evitadas.

Por volta da década de 60, surge o conceito de manutenção preventiva, onde revisões são feitas em intervalos de tempo fixos. A partir desse momento os custos com manutenção começam a aumentar, o que força uma maior atenção ao planejamento das atividades de manutenção e aumentar a vida útil dos equipamentos.

Na Terceira Geração (que vivemos hoje), a mudança se tornou um processo mais rápido nas indústrias. Cada parada de máquina não planejada está associada a um aumento dos custos (que estas se esforçam tanto em reduzir) e acabam afetando também a qualidade dos produtos. Esses efeitos foram agravados com o surgimento do JIT (*Just in Time*), devido a falta de produtos ocorridas pelas falhas inesperadas nos equipamentos, causando um efeitos dominó nos processos subsequentes. Também houve um aumento da automação durante esse período, que aumentou a complexidade dos processos. As falhas agregadas a automação estão diretamente relacionadas a padrões de qualidade dos produtos. Sem esquecer também da tendência mundial às preocupações de segurança e meio ambiente. Com todas essas preocupações (custos, ociosidade, qualidade, segurança e meio ambiente),

surgiram as ferramentas de análise de falhas, que como um apoio para a manutenção, são extremamente importantes para execução de suas funções, o que a tornou um recurso estratégico necessário para melhoria dos resultados operacionais e financeiros.

### 3.1.6.1 FMECA - Análise de Modo, Efeito e Criticidade de Falhas

Segundo Sakurada et al. (2001) emprega-se este método qualitativo para estudar os possíveis efeitos e modos de falhas dos componentes, sistemas, projetos e processos. Sendo que modo de falha é uma definição usada para caracterizar o processo e os mecanismos que a geraram, enquanto que o efeito é a maneira como o modo de falha se manifesta.

A importância de estudar essas informações é que, quando bem controladas, podem ajudar bastante na análise de confiabilidade e nos processos de manutenção. O problema é que estudo dessas informações é um tanto complexo, uma vez que diferentes modos de falha podem se apresentar o mesmo efeito. Sendo assim, o responsável por realizar o estudo deve ter bastante atenção quanto aos conceitos atribuídos para modo de falha e efeito durante os testes, para não cometer erros que comprometam a análise.

### 3.1.6.2 FTA - Análise de Árvore de Falhas

Do inglês, *Fault Tree Analysis* (FTA), esta técnica foi primeiramente desenvolvida em 1962 nos laboratórios da Bell Telephone para facilitar análise do sistema de controle de trajetória para uma empresa fabricante de mísseis. Mais tarde, foi melhorada e amplamente utilizada pela companhia Boeing. Atualmente, é uma das técnicas mais utilizadas para estudos de sistemas de confiabilidade e segurança. FTA é uma técnica analítica, onde um evento indesejado (normalmente é a ocorrência de uma falha em um sistema ou subsistema) é definido, então o sistema é analisado no contexto de seu ambiente e operação para encontrar as combinações de eventos básicos que levam a ocorrência do evento indesejado pré-definido. Os eventos básicos representam causas básicas para o evento indesejado. Pode ainda ocorrer associação de eventos com diversos fatores (falhas de hardware, erros humanos, condições do meio, etc) que possam levar ao evento indesejado. Em outras palavras, é por meio da Árvore de Falhas que é possível obter uma representação gráfica dos relacionamentos lógicos entre os eventos indesejados e os eventos de falha primários (XING; AMARI, 2008).

Ao se elaborar um FTA é necessário conhecer a simbologia, que segundo Pallerosi (2007) podem ser divididas em três tipos: falhas, eventos e portas lógicas.

As falhas podem ser representadas por círculos ou losangos, onde o primeiro símbolo representa a falha básica ou primária (ao qual pode ser admitido um valor para a probabilidade de ocorrência) e o segundo símbolo são falhas não analisadas, ou por falta de informação, ou tempo disponível, ou até eventos omitidos (que foram desconsiderados).

Os eventos podem ser representados por quatro símbolos diferentes (retângulo, pentágono, elipse ou triângulo). O retângulo representa os eventos combinados por portas

lógicas que resultam em outras falhas. O pentágono é um evento esperado de ocorrer em uso normal, mas que deve ser monitorado. A elipse corresponde a um evento condicional, que pode ocorrer devido a Janelas de Inibição. E o triângulo representa um evento em conexão com outro evento.

Por último, as portas lógicas são as mesmas aplicadas nos Sistemas Digitais (NÃO, E, OU, OU EXCLUSIVO, NÃO E, NÃO OU, etc).

## 3.2 Sistemas flexíveis de manufatura

Nas últimas décadas a indústria de manufatura tem progredido no decorrer das fases de industrialização, mecanização e automação. O conceito manufatura flexível forma uma parte da estratégia global da CIM (do inglês, *Computer Integrated Manufacturing*, corresponde a uma integração de indústria autônoma).

Segundo Johnstone e Kurtzhaltz (1984), os Sistemas Flexíveis de Manufatura (do inglês, FMS, *Flexible Manufacturing System*) corresponde a um arranjo de máquinas, interconectadas por um sistema de transporte. O transportador envia o trabalho para as máquinas em *palletes* ou outras unidades de interface de modo que o registro trabalho-máquina seja preciso, veloz e automático. Ou também podem ser definidos como um grupo de estações de processamento interconectados por meio de manuseio automatizado de material e sistema de estoque e controlados por um sistema computadorizado de controle integrado.

Segundo Prakash e Chen (1993), os sistemas flexíveis de manufatura são frequentemente caracterizados por uma mistura de módulos longos, rotas de módulos alternativos, ferramentas de tempo de troca desprezíveis, espaço de armazenamento limitado entre máquinas e tempos de processamento rápidos. Estas características fazem com que esses sistemas sejam capazes de sofrer ajustes rapidamente para produtos misturados e mudanças de design de produto. Desse modo, existe uma segurança do rendimento de um sistema flexível de manufatura. Estes possuem eficiência e benefícios de baixo custo de uma linha de produção balanceada, com a flexibilidade de um *job shop* (pequenos sistemas de produção que cuidam da execução de tarefas específicas).

## 3.3 Modelagem em Rede de Petri

Este modelo foi primeiramente proposto por Carl Petri como resposta da modelagem de autômatos utilizados para representar sistemas discretos.

Antes de mais nada, deve-se conceituar o que são sistemas discretos. De modo geral, um sistema discreto é um sistema no qual as mudanças de estado ocorrem em instantes precisos. Normalmente, os valores das variáveis de estado variam bruscamente a certos instantes. Porém, estes instantes não podem necessariamente ser previstos ou o conhecimento de

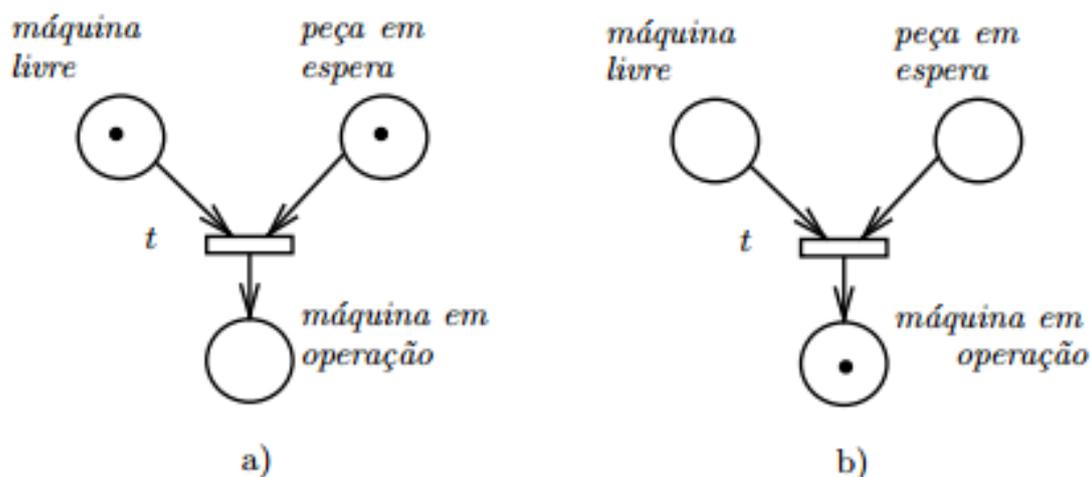
estado em um determinado instante não permite que, sem cálculo, se conheça o estado seguinte (CARDOSO; VALETTE, 1997).

A representação clássica de um sistema a eventos discretos, cujo número de estados é finito, consiste em enumerar todos os estados possíveis e descrever os eventos do tipo mudança de estados, ou seja, descrever o próximo estado a partir de um estado anterior. Neste caso, a preocupação é listar e relacionar os estados e suas transições, para assim prever os estados futuros e quais condições são necessárias para que este ocorram.

Os sistemas de automação normalmente são do tipo a eventos discretos e requerem linguagens e ferramentas de modelagem específicas para o seu tratamento. A vantagem em utilizar rede de Petri se dá por se tratar de um método que utiliza a linguagem gráfica (facilitando seu entendimento), sendo muito adequada para projeto, especificação da simulação e verificação de diversos sistemas a eventos discretos (MARRANGHELLO, 2005).

O modelo máquinas de estado permite compreender os estados e transições, mencionados anteriormente, porém também é possível estabelecer pesos para as transições, que em uma aplicação, podem ser utilizadas para representar contagens (de peças, de falhas, etc). Pode-se ilustrar a seguir, por meio da representação em Rede de Petri, uma situação onde quais são os requisitos para ocorrer uma mudança de estado (de Máquina Livre para Máquina em Operação) um estado adicional (Peça em Espera) deve estar ocorrendo ao mesmo tempo para habilitar a transição (t) e assim fazer a mudança da Figura 2 (a) para (b).

Figura 2 – Exemplo de Rede de Petri



Fonte: (CARDOSO; VALETTE, 1997)

## 3.4 Sistema supervisório SCADA

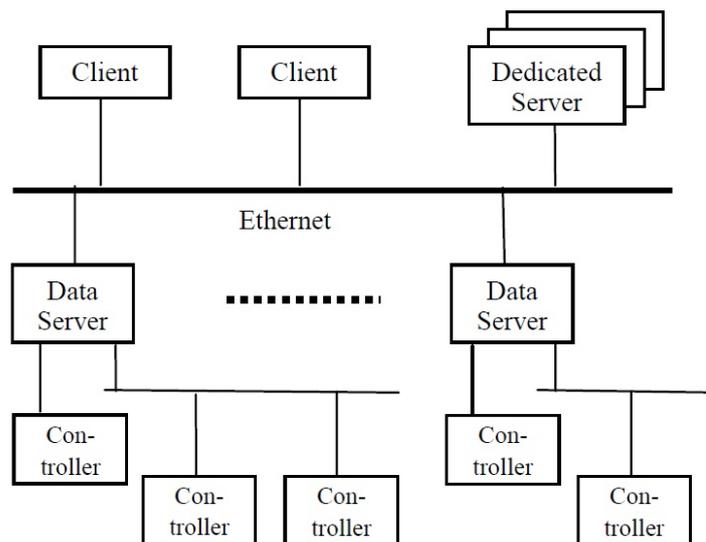
SCADA é uma tecnologia que disponibiliza ao usuário coletar dados de um ou mais facilidades e enviar instruções de controle limitadas para estas facilidades. Este tipo de sistema faz com que não seja mais necessário que o operador tenha a função de ficar visitando ou monitorando locais remotos que estão operando normalmente. SCADA inclui interface de operação e a manipulação para aplicação relacionada aos dados (BOYER, 2009).

Os sistemas SCADA, podem ser definidos como uma tecnologia que permite que seja monitorada e rastreada a informação de um processo produtivo ou instalação física. Tais informações são coletadas por meio de equipamentos de aquisição de dados e, em seguida, manipuladas, analisadas, armazenadas e, posteriormente, apresentadas ao usuário. Estes sistemas são tipicamente compostos por estações terminais mestres (MTU), unidades remotas como: CLP, RTU ou IED, dispositivos de campo como: sensores e atuadores e toda a tecnologia de comunicação envolvida para interconexão desses componentes (SILVA; SALVADOR, 2005).

### 3.4.1 Arquitetura hardware

Existem duas camadas básicas nesse sistema. A camada cliente que é fornece informações para IHM (Interface Humano-Máquina) e a camada de servidor que se comunica com os dispositivos de campo para realizar a coleta e armazenamento de dados do processo. O exemplo da Figura 3 ilustra exatamente a explicação anterior. As camadas estão conectadas via LAN Ethernet. Os controladores estão ligados diretamente aos servidores (DANEELS; SALTER, 1999).

Figura 3 – Arquitetura de Hardware Típica

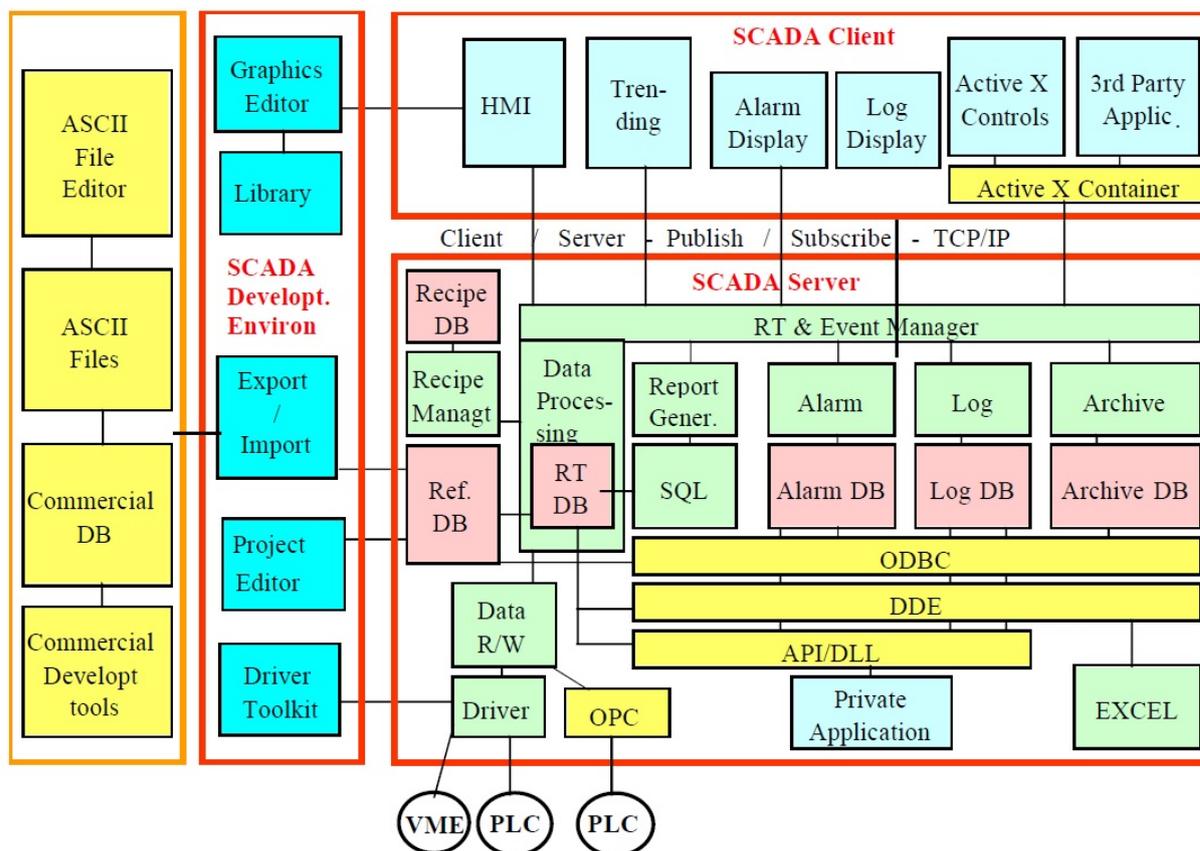


Fonte: (DANEELS; SALTER, 1999)

### 3.4.2 Arquitetura software

Os servidores são responsáveis pela aquisição e tratamento (checagem de alarmes, cálculos, arquivamento, etc) de uma série de parâmetros. Estes servidores podem ser dedicados para atividades específicas (registros de um específico produto ou modo falha produzido pelo equipamento) (DANEELS; SALTER, 1999).

Figura 4 – Arquitetura Software Genérica



Fonte: (DANEELS; SALTER, 1999)

### 3.4.3 Comunicação

As comunicações cliente-servidor ou servidor-servidor geralmente são baseadas em publish-subscribe e orientadas a eventos e utilizam protocolo TCP/IP. Os servidores de dados varrem os controladores no intervalo de tempo de varredura definido pelo usuário, os controladores por sua vez passam os parâmetros solicitados para os controladores. Este tempo de varredura pode ser diferente para diferentes parâmetros. Um único servidor de dados pode suportar múltiplos protocolos de comunicação. Normalmente a quantidade de protocolos suportada é relacionada com os slots de cartões de interface (DANEELS; SALTER, 1999).

### 3.4.4 Interface Humano Máquina (IHM)

A interface humano máquina é entendida por um conjunto de programas e aparelhos materiais que permitem a comunicação entre um sistema informático e seus usuários humanos (LÉVY; COSTA, 1993).

Devido aos problemas relacionados a instintividade para controlar sistemas utilizando telas digitais e botões de controle, uma oportunidade surgiu para as telas digitais de

interface humano máquina. Esta tela permite ao operador controlar e monitorar diversos sistemas de uma única estação. Os últimos avanços na tecnologia IHM utilizam hardware mais baratos, thin-clients, computadores portáteis e até telecomunicações. Contudo, a IHM moderna pode ser dividida em dois caminhos diferentes de desenvolvimento. Um voltado para Sistemas de Controle Distribuído (SDCS) e o outro para mercado de Controladores Lógicos Programáveis (CLP) (LIPTÁK; EREN, 2011).

### **3.4.5 Controlador Lógico Programável (CLP)**

O Controlador Lógico Programável (CLP) é muito utilizado no ambiente fabril devido a sua robustez e tamanho, que são características essenciais para esta aplicação. Este controlador pode ser visto como um computador responsável pelo controle dos processos com vários níveis de complexidade. Outro motivo para a sua implementação é a facilidade para alterar sua implementação caso seja necessário alterar o projeto, ou seja, sua flexibilidade.

Este equipamento eletrônico utiliza uma memória programável para armazenar as instruções que realizam funções específicas (como lógica, sequenciamento, registro, temporização, contadores, operações aritméticas, e etc). Dependendo do modelo do fabricante pode-se aplicar o controle para variáveis analógicas ou digitais, abrangendo diversos tipos de máquinas ou processos (ROQUE, 2014).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste Capítulo serão abordados as especificações e características dos materiais escolhidos para desenvolvimento da metodologia explicada na seção 1.5, assim como quais os métodos utilizados para obtenção dos resultados.

Os tópicos a seguir fazem parte das áreas de conhecimento exploradas no Capítulo 3, sendo porém exemplos mais específicos das informações abordadas anteriormente.

### 4.1 MPS® FESTO

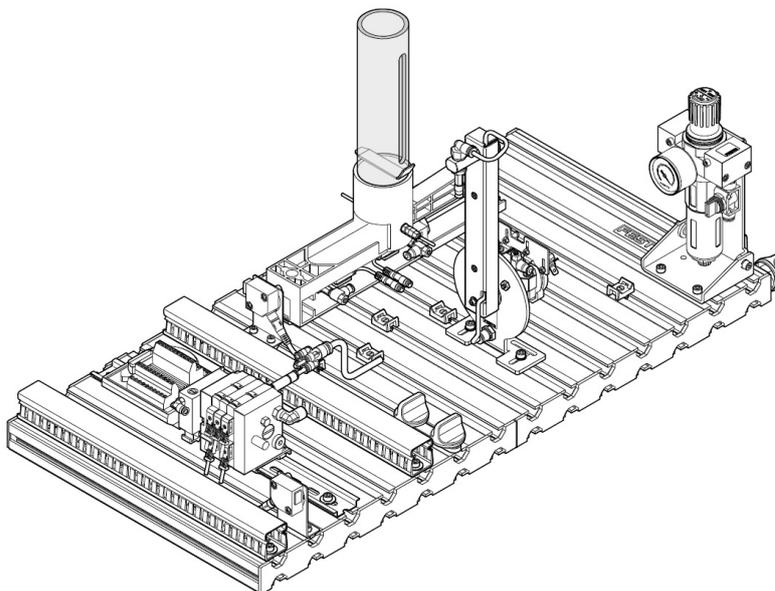
O Sistema Modular de Produção (*Modular Production System* - MPS®) fabricado pela FESTO é utilizado para simular de maneira didática um sistema de manufatura flexível visto que é possível montar o sistema utilizando até 16 módulos com funções diferentes (desde distribuição e separação de peças, até processamento e controle utilizando robôs). No caso deste projeto, foram utilizados três módulos disponíveis no Laboratório de Automação III: Robótica de Processos da Escola Superior de Tecnologia da UEA: Módulo de Distribuição (*Distributing*), Teste (*Testing*) e Ordenação (*Sorting*).

Para um entendimento mais detalhado do modo de operação automático do MPS® FESTO, este foi dividido em três partes que correspondem aos módulos disponíveis e que serão utilizados neste trabalho.

#### 4.1.1 Módulo de distribuição

É o módulo responsável por separar as peças organizadas em um magazine (com capacidade máxima para oito peças) que são dispensadas individualmente por um empurrador pneumático. Em seguida, cada uma das peças dispensadas é transportada para o próximo módulo por meio de um transportador pneumático que utiliza uma ventosa. A Figura 5 é uma representação 3D deste módulo.

Para o controle do módulo são utilizados as entradas e saídas digitais do CLP FESTO para leitura ou atuação nos sensores e atuadores do módulo, conforme ilustrado na tabela 1.

Figura 5 – Módulo *Distributing*

Fonte: (FESTO, 2006a)

Tabela 1 – Entradas e Saídas vs Sensores e Atuadores - *Distributing*

BIT	Cartão	Input	Descrição	Endereço	Output	Descrição	Endereço
0	PAINEL DE CONTROLE	D10	Botão <i>START</i>	%IX2.0	DO0	LED <i>START</i>	%QX0.0
		D11	Botão <i>STOP</i>	%IX2.1	DO1	LED <i>RESET</i>	%QX0.1
		D12	Botão Manual/Autom.	%IX2.2	DO2	Auxiliar Q1	%QX0.2
		D13	Botão <i>RESET</i>	%IX2.3	DO3	Auxiliar Q2	%QX0.3
		D14	Auxiliar Detection T	%IX2.4	DO4	Auxiliar Q4	%QX0.4
		D15	Auxiliar I5	%IX2.5	DO5	Auxiliar Q5	%QX0.5
		D16	Auxiliar I6	%IX2.6	DO6	Auxiliar Q6	%QX0.6
		D17	Auxiliar I7	%IX2.7	DO7	Auxiliar Q7	%QX0.7
1	SENSORES E ATUADORES DO MÓDULO	D10	-	%IX4.0	DO0	OUT - Estender Empurrador	%QX2.0
		D11	IN - Empurrador Retraído	%IX4.1	DO1	OUT - Acionar Vácuo (Ventosa)	%QX2.1
		D12	IN - Empurrador Estendido	%IX4.2	DO2	OUT - Acionar Ar (Ventosa)	%QX2.2
		D13	IN - Ventosa Ligada	%IX4.3	DO3	OUT - Transportador Pos. Inicial	%QX2.3
		D14	IN - Transportador Pos. Inicial	%IX4.4	DO4	OUT - Transportador Pos. Final	%QX2.4
		D15	IN - Transportador Pos. Final	%IX4.5	DO5	-	%QX2.5
		D16	IN - Detector de Peças	%IX4.6	DO6	-	%QX2.6
		D17	IN - Sensor de Barreira - IP-FI	%IX4.7	DO7	OUT - Sensor de Barreira - IP-FI	%QX2.7

Fonte: Autora

O empurrador pneumático possui dois sensores de final de curso (utilizados para leitura de estado retraído ou estendido) e um atuador, que somente ativa o estado do empurrador estendido. O transportador pneumático também possui dois sensores para determinar sua posição, sendo a inicial com transportador posicionado no módulo posterior (*Testing*) e a final posicionado no magazine para pegar a peça disponível. Nesta aplicação, a ventosa está sendo explorada em dois estados, um de sucção do ar (vácuo) e o outro de expiração (ar).

O sensor detector de peças do magazine possui lógica normalmente fechada, ou seja, seu valor lógico é um (1) para ausência de peças disponíveis para executar a operação. Todos os outros sensores tem característica normalmente aberta. Um sinal auxiliar de peça disponível no módulo posterior (*Testing*) está sendo utilizado para identificar a falha de transporte da peça de um módulo para o outro.

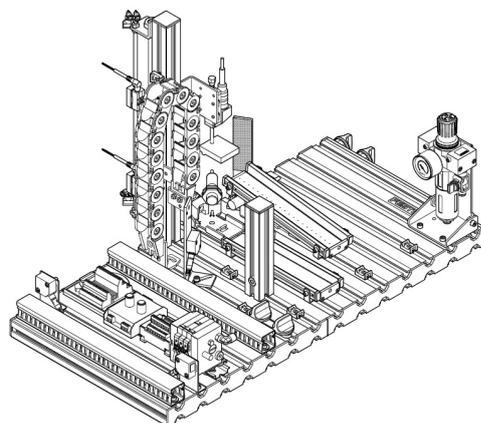
O botão *START* habilita o início do ciclo uma vez que existe peça detectada no magazine. O botão *STOP* tem autonomia para desabilitar todos os atuadores, tendo neste caso a mesma função de um botão de emergência (que não está incluído no MPS®). O botão *RESET* é responsável por retornar o transportador para a posição inicial. E o botão Manual/Automático chaveia entre o modo de operação Manual e Automática.

#### 4.1.2 Módulo de teste

Este módulo é responsável por separar uma em cada cinco peças detectadas pelo módulo na guia inferior, e transportar as demais para o módulo posterior (*Sorting*). Este módulo contém um cilindro pneumático que atua como elevador (separando as peças em superior e inferior), um empurrador pneumático (para dispensar as peças na guia correta) e um *Air Conveyor* (que facilita a descida da peça pela guia superior para que esta passe para o módulo posterior). A Figura 6 é a representação 3D deste módulo.

Da mesma forma como no módulo de distribuição, as entradas e saídas digitais utilizadas são apresentadas na tabela 2.

Figura 6 – Módulo *Testing*



Fonte: (FESTO, 2006c)

Tabela 2 – Entradas e Saídas vs Sensores e Atuadores - *Testing*

BIT	Cartão	Input	Descrição	Endereço	Output	Descrição	Endereço
0	PAINEL DE CONTROLE	DI0	Botão <i>START</i>	%IX4.0	DO0	LED <i>START</i>	%QX2.0
		DI1	Botão <i>STOP</i>	%IX4.1	DO1	LED <i>RESET</i>	%QX2.1
		DI2	Botão Manual/Autom.	%IX4.2	DO2	Auxiliar Q1	%QX2.2
		DI3	Botão <i>RESET</i>	%IX4.3	DO3	Auxiliar Q2	%QX2.3
		DI4	Auxiliar I4	%IX4.4	DO4	Auxiliar Detecção Módulo T	%QX2.4
		DI5	Auxiliar I5	%IX4.5	DO5	Auxiliar Q5	%QX2.5
		DI6	Auxiliar I6	%IX4.6	DO6	Auxiliar Q6	%QX2.6
		DI7	Auxiliar I7	%IX4.7	DO7	Auxiliar Q7	%QX2.7
1	SENSORES E ATUADORES DO MÓDULO	DI0	IN - S. Capacitivo	%IX2.0	DO0	OUT - Descer Elevador	%QX0.0
		DI1	IN - S. Óptico	%IX2.1	DO1	OUT - Subir Elevador	%QX0.1
		DI2	IN - S. Reflexivo	%IX2.2	DO2	OUT - Estender Empurrador	%QX0.2
		DI3	IN - S. Analógico	%IX2.3	DO3	OUT - Acionar <i>Air Conveyor</i>	%QX0.3
		DI4	IN - S. Elevador UP	%IX2.4	DO4	-	%QX0.4
		DI5	IN - S. Elevador DOWN	%IX2.5	DO5	-	%QX0.5
		DI6	IN - Empurrador Retraído	%IX2.6	DO6	-	%QX0.6
		DI7	IN - Sensor de Barreira - IP-FI	%IX2.7	DO7	OUT - Sensor de Barreira - IP-FI	%QX0.7

Fonte: Autora

Assim como visto nos casos anteriores, o cilindro pneumático deste módulo que executa a função de elevador possui dois sensores indicando o estado retraído e estendido do atuador, que neste caso são chamados estado EM CIMA (*UP*) e EMBAIXO (*DOWN*). Neste módulo existe um caso especial do empurrador pneumático, pois este é o único cilindro de todo o MPS® que só possui um sensor, indicando quando o mesmo está retraído. O *Air Conveyor* não possui sensor para indicar que a peça chegou ao final da esteira. Como ambos empurrador e *Air Conveyor* não possuem um sinal importante para indicar os estados de final de curso, será utilizada a função de temporizador para determinar retorno aos estados iniciais (retraído, no caso do empurrador, e desligado, no caso do *Air Conveyor*), ao qual foi obtido empiricamente com processo de redução gradativa do tempo durante os testes, obtendo-se o valor de 0,8s.

O sensor reflexivo é utilizado para garantir a segurança do equipamento, evitando

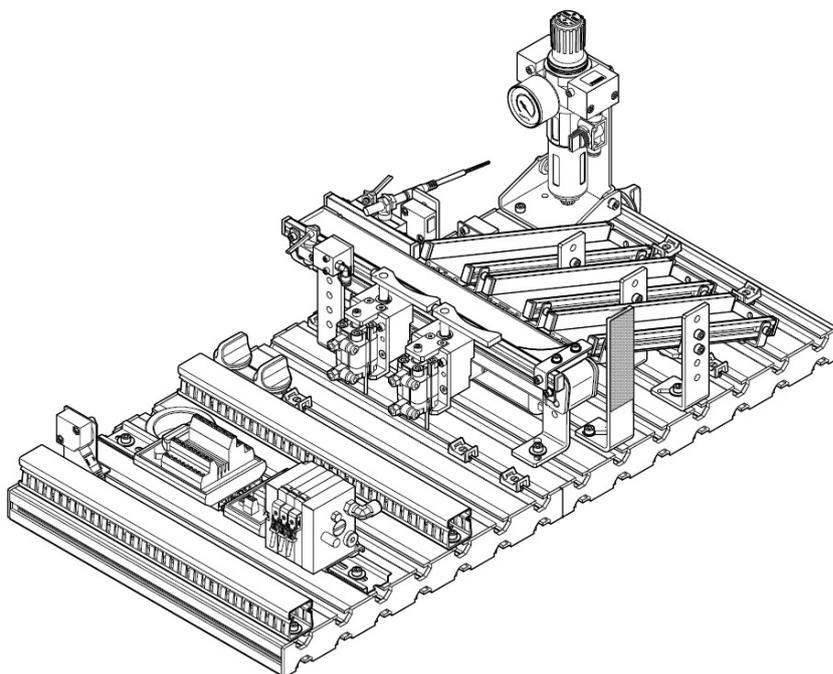
choque entre o elevador e o transportador do módulo anterior. O sensor capacitivo é utilizado para detectar peça disponível no módulo. E os outros sensores, óptico e analógico (leitura da altura) não serão utilizados para esta aplicação.

Por se tratar de um Sistema Modular, não é necessário pressionar o botão *START* deste módulo para que a operação automática ocorra. Somente é necessário que os atuadores estejam na posição inicial (elevador posicionado *EMBAIXO*, empurrador retraído e *Air Conveyor* desligado). Neste caso, o botão *RESET* tem a mesma função explicadas nas subseções anteriores, porém aplicado somente a este módulo (que é retornar os desvios e a trava as suas respectivas posições iniciais).

### 4.1.3 Módulo de ordenação

O último módulo é responsável por ordenar as peças de cores e materiais iguais em guias, onde por modo de chaveamento dos sinais dos sensores, poderão ou não ser acionados os desvios pneumáticos que mudam a trajetória da esteira elétrica do módulo. A Figura 7 é a representação 3D deste módulo.

Figura 7 – Módulo *Sorting*



Fonte: (FESTO, 2006b)

As entradas e saídas digitais utilizadas para controlar este módulo podem ser visualizadas na tabela 3.

Tabela 3 – Entradas e Saídas vs Sensores e Atuadores - *Sorting*

BIT	Cartão	Input	Descrição	Endereço	Output	Descrição	Endereço
0	PAINEL DE CONTROLE	DI0	Botão <i>START</i>	%IX4.0	DO0	LED <i>START</i>	%QX2.0
		DI1	Botão <i>STOP</i>	%IX4.1	DO1	LED <i>RESET</i>	%QX2.1
		DI2	Botão Manual/Autom.	%IX4.2	DO2	Auxiliar Q1	%QX2.2
		DI3	Botão <i>RESET</i>	%IX4.3	DO3	Auxiliar Q2	%QX2.3
		DI4	Auxiliar I4	%IX4.4	DO4	Auxiliar Detecção Módulo T	%QX2.4
		DI5	Auxiliar I5	%IX4.5	DO5	Auxiliar Q5	%QX2.5
		DI6	Auxiliar I6	%IX4.6	DO6	Auxiliar Q6	%QX2.6
		DI7	Auxiliar I7	%IX4.7	DO7	Auxiliar Q7	%QX2.7
1	SENSORES E ATUADORES DO MÓDULO	DI0	IN - S. Óptico Presença	%IX2.0	DO0	OUT - Acionar Esteira	%QX0.0
		DI1	IN - S. Indutivo Material	%IX2.1	DO1	OUT - Acionar Desvio 1	%QX0.1
		DI2	IN - S. Óptico Cor	%IX2.2	DO2	OUT - Acionar Desvio 2	%QX0.2
		DI3	IN - S. Final de Curso	%IX2.3	DO3	OUT - Desacionar Trava	%QX0.3
		DI4	IN - Desvio 1 Recuado	%IX2.4	DO4	-	%QX0.4
		DI5	IN - Desvio 1 Acionado	%IX2.5	DO5	-	%QX0.5
		DI6	IN - Desvio 2 Recuado	%IX2.6	DO6	-	%QX0.6
		DI7	IN - Desvio 2 Acionado	%IX2.7	DO7	OUT - Sensor de Barreira - IP-FI	%QX0.7

Fonte: Autora

A esteira permanece ligada desde quando detectada a primeira peça, e para diminuir os erros relacionados ao desvio das peças nas guias, permanecerá ligada durante toda a operação, sendo desacionada somente pelo botão *STOP* do Painel de Controle. O chaveamento para acionamento dos desvios pode ser compreendido através da Tabela 4, onde valor indicado como um (1) representa nível lógico alto e o zero (0) representa o nível lógico baixo.

Os desvios podem ou não ser acionados (de acordo com a leitura dos sinais) mas nunca ao mesmo tempo. A trava é um atuador normalmente fechado, ou seja, quando o sistema é ligado ela está acionada. Esta característica é muito importante para que seja possível realizar a leitura dos sinais dos sensores e determinar qual desvio deve ou não ser acionado. Sendo assim, após um *delay* (de 0,65s, obtido empiricamente) determinado através de

testes práticos na bancada, é possível obter a leitura de todos os sensores e testar a lógica indicada na Tabela 4.

Tabela 4 – Lógica para Acionamento dos Desvios

S. Presença	S. Indutivo	S. Óptico	Desvio 1	Desvio 2	Peça
1	0	1	1	0	Rosa
1	1	1	0	1	Metálica
1	0	0	0	0	Preta

Fonte: Autora

## 4.2 CLP CPX-CEC FESTO

Os Controladores Lógicos Programáveis (CLP) da família CPX-CEC podem ser programados utilizando o padrão IEC 61131-3. Além disso, esses controladores contam com comunicação via Ethernet (ModBus/TCP, EasyIP, TCP/IP) e estendem a possibilidade a desenvolvimento de telas para IHM utilizando uma unidade FED (*Front End Display*) ou servidor OPC. Também é possível implementar redes FieldBus utilizando esta família de controladores (FESTO, 2010).

Este controlador foi escolhido para esta aplicação devido a facilidade de conexão entre o CLP e os módulos, visto que por serem do mesmo fabricante não necessitam de adaptações nas conexões elétricas no que diz respeito as ligações entre sensores/atuadores e as entradas/saídas digitais empregadas.

O modelo de CLP CPX-CEC disponível no laboratório contém dois cartões de oito entradas e oito saídas digitais cada. Ou seja, dentro desse sistema temos o equivalente a quarenta e oito (48) entradas e quarenta e oito saídas (48) disponíveis para uso, sendo mais que suficiente para implantação do projeto (que necessita de aproximadamente trinta e quatro entradas e catorze saídas no total), como pode ser detalhando nas Tabelas 1,2 e 3.

### 4.2.1 CoDeSys© FESTO

CoDeSys é um ambiente completo para desenvolvimento para o CLP adquirido (CPX-CEC). CoDeSys é sigla para *Controlled Development System*, que em português significa Sistema de Desenvolvimento Controlado. Este sistema consiste em uma abordagem mais simples das linguagens IEC à disposição do programador do CLP. Utilizando editores e funções de *debug* baseia-se nos ambientes de desenvolvimento de programas comprovados de linguagens de programação avançadas (3S - SMART SOFTWARE SOLUTIONS GMBH, 2010).

Este software foi utilizado por ser bastante didático uma vez que é possível encontrar muitos tutoriais na internet sobre a sua utilização, mesmo sendo utilizado para programação

de CLPs de outros fabricantes (WAGO®, FESTO). Além disso, é o software disponível em laboratório (e com licença) para ser utilizado com o CLP CPX-CEC.

### 4.3 Modelagem Rede de Petri

Uma vez estabelecida a sequência da operação automática é possível representar cada módulo por meio de modelagem em Rede de Petri.

É muito importante compreender quais são os sinais de sensores responsáveis por indicar mudanças de estado (neste caso, serão chamadas de transições) e todos os estados possíveis de um atuador (estendido, recuado, avançado, posição X, Y, e etc). Uma das partes mais complicadas ao realizar a modelagem de um sistema discreto é agrupar as transições necessárias para mudança de estados de forma que durante a simulação seja possível constatar que o modelo final obtido realmente funciona como o modelo real. Além disso, uma das vantagens em se realizar a modelagem em Rede de Petri é que se o modelo obtido for similar ao real, pode-se converter os dados da modelagem diretamente para a programação sequencial do sistema discreto, neste caso, será feita em linguagem *LADDER*.

Após estabelecido o modo de operação automática do equipamento, é possível estudar os módulos individualmente e estabelecer as relações explicadas no parágrafo anterior, fazendo a mudança de um estado para outro de acordo com o comportamento dos sinais ou transições. Nos parágrafos seguintes serão explicados com detalhes quais os estados e transições considerados durante a modelagem, porém as figuras 8, 9 e 10 correspondem a fragmentos do resultado final (vide Apêndice A Figura 27) que foram adaptados com o intuito de tornar mais fácil a explicação.

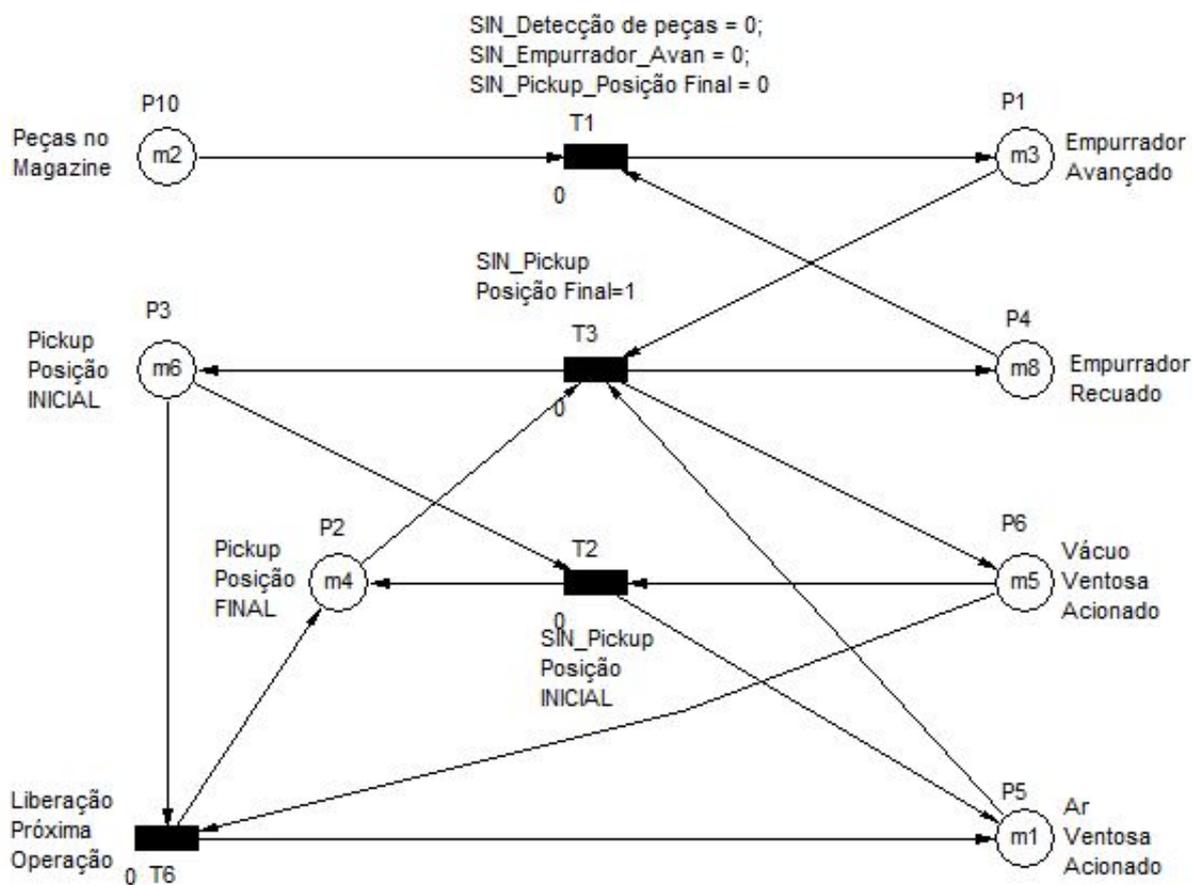
Analisando a Figura 8 é possível compreender que a modelagem pode ser dividida em três subsistemas: um para o empurrador, outro para o transportador (*pickup*) e o último representa os estados da ventosa (que apesar de ter três estados possíveis, foram utilizados apenas dois).

O empurrador pode assumir dois estados diferentes, recuado (posição inicial) e avançado (indicando final do ciclo do subsistema). Porém, tão importante quanto estabelecer os estados também é necessário conhecer suas transições. Sendo assim, para mudar do estado inicial para o final, três sinais devem ser considerados. Os sensores detector de peças, de posição do empurrador (posição avançado) e posição final do transportador devem estar com nível lógico zero (0). Para retornar ao estado anterior, somente é necessário que o transportador chegue a posição final e colete a peça para enviá-la ao próximo módulo.

O transportador, assim como o empurrador, assume dois estados, posição inicial (no módulo *Testing*) e posição final (no magazine). As transições neste caso seriam chaveamentos entre as próprias posições do transportador (para ir de posição inicial para final, ele deve estar na posição inicial, e vice-versa) aguardando *token* do estado Empurrador Recuado.

A ventosa também funciona em dois estados, vácuo ou ar acionado. E as transições, assim como no caso do transportador, são negações de seus estados atuais, porém aguardando permissão do subsistema anterior (neste caso, intercalado com transportador, somente).

Figura 8 – Modelagem em Rede de Petri - Módulo de Distribuição



Fonte: Autora

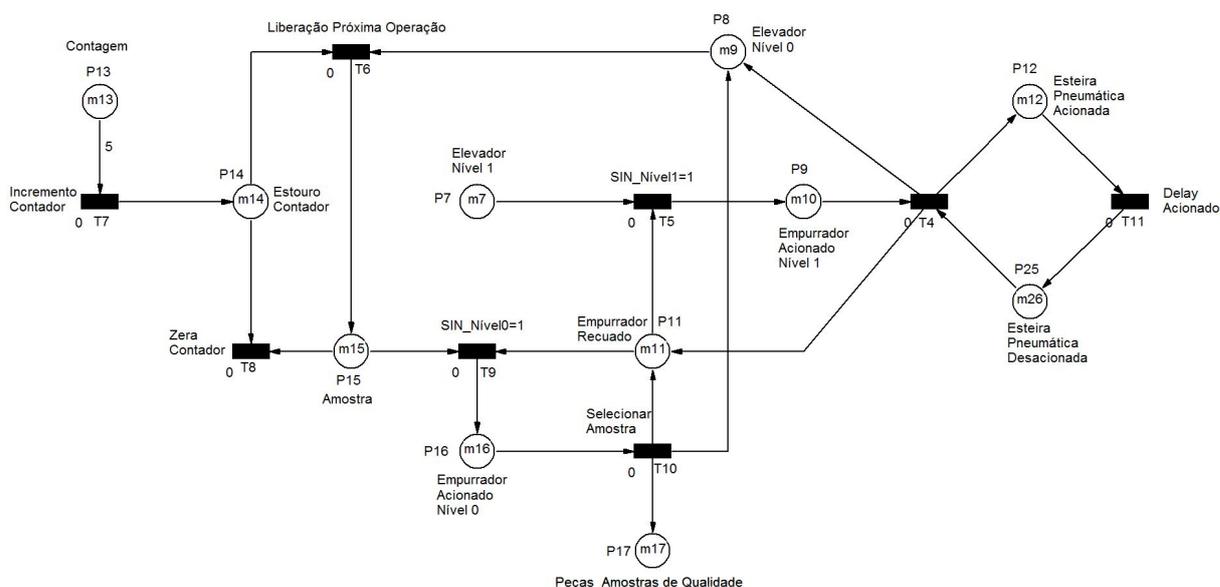
O módulo de teste, por sua vez, também conta com três subsistemas, estando relacionados ao elevador, empurrador e *Air Conveyor*. Contudo, neste caso somente, tem-se a implementação de um contador de peças (amostras de qualidade), que na Figura 9 é representada pelo estado Contagem (P13) e Amostra (P15). Vale mencionar também que na modelagem completa (como pode ser visto no Apêndice A, seção A.1) existe uma ligação entre o estado do Ar da Ventosa com Amostra por meio da transição Liberação Próxima Operação (T6).

No caso do elevador, com dois estados (Nível 1, *Up* e Nível 0, *Down*) foi omitida a ligação deste estado com a transição de transportador na posição inicial, que habilita o elevador a subir e aguarda constatar que o empurrador está recuado para acioná-lo. Em paralelo, ocorre a operação de contagem, que segue o fluxo à direita, sem esquecer das interação com módulo de distribuição (vide Apêndice A).

Embora o empurrador tenha somente dois estados (recuado e acionado), é necessário fazer uma combinação com possibilidade de isto ocorrer no nível 1 ou 0. Sendo que no segundo caso, ocorrerá para separação das amostras de qualidade (P17).

O último subsistema é relacionado ao *Air Conveyor*, que pode assumir dois estados (Acionado e Desacionado). As transições nesse caso são mais simples, sendo um temporizador (retorno para estado inicial) e ausência do sinal do empurrador recuado no nível 1 (T4).

Figura 9 – Modelagem em Rede de Petri - Módulo de Teste



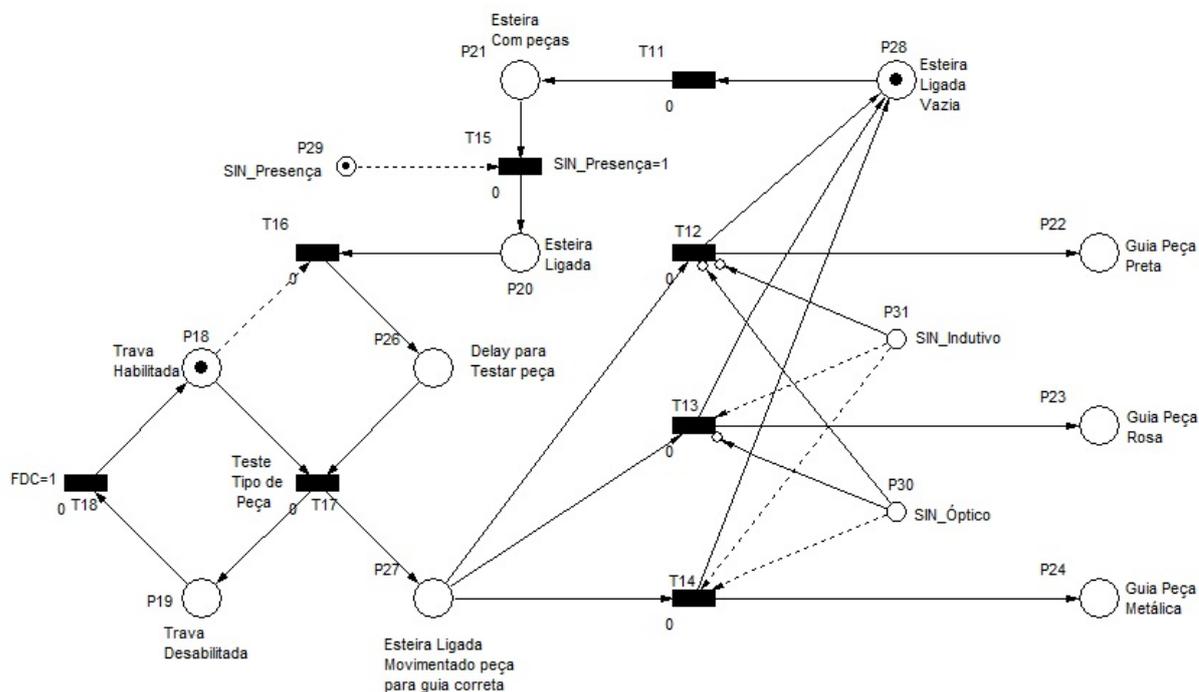
Fonte: Autora

Neste último módulo existem dois subsistemas, um para funcionamento da esteira e outro funcionamento da trava. O chaveamento dos desvios não são considerados como subsistemas, mas estados brutos que culminam na separação das peças em guias de acordo com sua cor e material. Após detectada peça (sensor de presença), a esteira muda de estado desligado para ligado, onde se alterna nos estados ligada vazia e ligada com peça.

A trava também possui dois estados (habilitada e desabilitada), e sofre influência das transições de FDC (sensor de Fim de Curso) e temporizador (Teste Tipo de Peça).

De acordo com a leitura dos sensores, um das três transições (T12, T13 ou T14) serão habilitadas e o estado correspondente receberá o *token* (neste caso, simbolizando a peça).

Figura 10 – Modelagem em Rede de Petri - Módulo de Ordenação



Fonte: Autora

## 4.4 Métodos de análise de falhas

Uma vez estabelecida a sequência de operações do modo automático (que corresponde ao modo de operação do sistema de manufatura), pode-se realizar estudos para conhecimento das falhas, o que naturalmente acarretará no conhecimento dos modos de falha e seus efeitos.

Dentre os diversos métodos utilizados, foram escolhidos FMECA e FTA para aplicação deste projeto.

### 4.4.1 FMECA

Existem diversos modelos de formulários do FMECA que podem ser utilizados ao se realizar os estudos. Contudo, o modelo empregado para este projeto possui os seguintes campos a serem preenchidos:

- Informações acerca do processo e local do teste: setor, sistema, local, empresa, etc;
- Componente/processo: entende-se basicamente pelos atuadores e sensores do processo;
- Função do componente: detalha-se de maneira sintetizada qual a principal função do componente analisado;

- Possíveis falhas: aqui faz-se necessário dividir em três partes para tornar a análise mais completa e facilitar o preenchimento dos campos seguintes. Primeiro, detalha-se os modos de falha, neste caso qual o comportamento fora do projetado que pode ser observado durante o teste. Depois, detalha-se os efeitos dessa falha, que pode ser entendido como a consequência da falha, o que ela acarreta ao acontecer. E por último, a causa da falha, ou seja, qual situação deve ser evitada;
- Controle atual: entende-se como qual o instrumento utilizado para detectar a existência da falha no sistema, que não necessariamente precisa de uma ação de ajuste (*feedback*). Em alguns casos, dependendo da aplicação, é possível assinalar que não existe nenhum tipo de controle;
- Índices: depois do conhecimento dos modos e causas das falhas, essa torna-se a informação mais importante deste método, pois é a partir da atribuição de pontos para cada uma das três subdivisões deste campo em que será feita a priorização de atuação de melhorias e até tomadas de decisão quanto a necessidade de realizar melhorias para uma determinada falha assinalada. Durante os testes realizados deste projeto, foi utilizado como base as tabelas de cálculo para os índices de Ocorrência (frequência), Gravidade e Detecção da falha.
- NPR (Número de Prioridade de Risco) ou Índice de Criticidade de Falha: entende-se pela multiplicação dos três índices mencionados anteriormente e que define a prioridade das ações corretivas que precisam ser tomadas com o objetivo de minimizar as falhas identificadas.

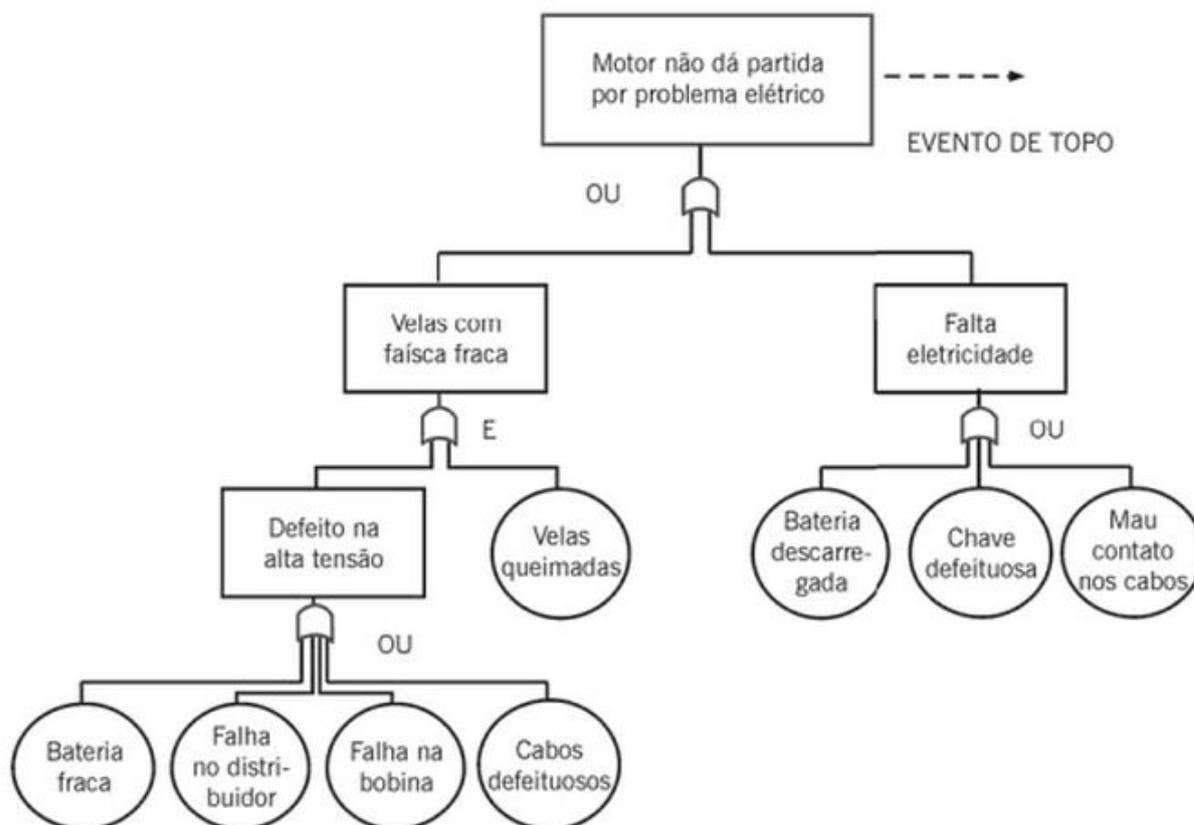
Segundo Pallerosi (2007) foi possível compreender os conceitos para elaboração do FMECA e foram consultadas as Tabelas 14, 15 e 16, que constam como Anexo A na necessidade de mais esclarecimentos.

#### 4.4.2 Análise da árvore de falhas

No caso da aplicação para este projeto, durante os testes para observação do sistema e aplicação do método FMECA foi feita investigação em paralelo das causas dos problemas observados durante o funcionamento automático da operação. Para entender melhor os modos de falha, seus efeitos e sua causa, faz-se uso da FTA para representar as falhas mais frequentes e que necessitam de uma análise mais aprofundada para assim determinar as informações relatadas anteriormente e que ajudar a propor ações corretivas que realmente terão influência sobre as causas das falhas, melhorando assim a sua performance (listadas no próprio FMECA).

Na Figura 11 temos um exemplo de como ficará estruturada a FTA para o processo do MPS® FESTO.

Figura 11 – Exemplo de FTA - Falha no Motor



Fonte: (FILHO; FERREIRA, 2010)

#### 4.4.3 Método de cálculo dos índices de confiabilidade

Considerando os índices explicados no Capítulo 3 e a sequência de operação adotada no modo automático do MPS® FESTO, foi possível definir como se dará os cálculos dos índices de confiabilidade (MTBF, MTTR, etc). Da mesma forma, foi necessário analisar cada um dos módulos, separadamente. Um dos motivos para isso se dá pelo controle dos mesmos pois cada módulo é controlado por um CLP FESTO CPX-CEC, totalizando três controladores para todo o sistema. Além do mais, como será explicado mais a frente, o sistema supervisor também fará a aquisição e coleta de dados individualmente, por CLP, o que força o cálculo por módulo.

Contudo, para se obter o índice do sistema como um todo, é possível considerar cada um dos módulos como processos que estão ordenados em série. Ou seja, para saber o valor do índice de Disponibilidade é necessário fazer a multiplicação dos índices separados. Para o demais índices (Disponibilidade, *Minor Stops*, MTBF e MTTR), os cálculos serão diferentes (para mais detalhes sobre os métodos de cálculo, vide Apêndice A, seções A.2.1, A.2.2, A.2.3 e A.2.4, respectivamente).

Mesmo tendo cálculos diferentes (até porque os sensores e atuadores tem peculiaridades para cada módulo), a lógica adotada no cálculo de MTBF e MTTR serão as mesmas. Primeiramente, de acordo com a sequência de operação, foram escolhidos os estados dos atuadores que devem ser considerados para evidenciar que o processo está produzindo, que mantém o bit de SISTEMA\_ON ligado. Esta memória é muito importante, pois quando estiver em nível lógico baixo (zero), significa que o sistema está parado, ou seja, ocorreu alguma falha. Ou seja, esse mesmo sinal que habilita o contador que falhas.

Para que o sistema possa identificar o tipo de falha e separá-lo para contagem de perdas, um outro contador auxiliar é responsável por fazer essa identificação. Isso é possível uma vez que a sequência esteja definida, os estados específicos para cada módulo habilitam o contador (que tem o número máximo de operações da sequência) e quando a memória que indica que a máquina está em falha (SISTEMA\_ON) estiver em nível lógico baixo, o contador de operações indicará onde ocorreu a falha, pois foi feito um mapeamento dos atuadores e separadas as possíveis falhas.

Conforme pode ser observado a seguir nas Tabelas 5, 6 e 7, foram estabelecidos variáveis que podem ser convertidas em estados, e as falhas estão justamente relacionadas aos seus estados (que será contado no supervisor).

Tabela 5 – Estados e Falhas - Módulo de Distribuição

Variáveis		Estados
Cilindro Pneumático Estendido		Peça disponível para distribuição
Vácuo Ventosa Ligada	Pick Up Posição Final	Pegando peça
Ar Ventosa Ligada	Pick Up Posição Inicial	Deixando peça

Fonte: Autora

Tabela 6 – Estados e Falhas - Módulo de Teste

Variáveis	Estados
Elevador Nível 1	Elevador Subindo
Elevador Nível 0	Elevador Descendo
Cilindro Pneumático Acionado	Peça disponível para ordenação

Fonte: Autora

Tabela 7 – Estados e Falhas - Módulo de Ordenação

Variáveis	Estados
Trava Acionada	Peça retida para ordenação
Desvio 1 Acionado	Ordenando peça
Desvio 2 Acionado	
Sensor Fim de Curso	

Fonte: Autora

## 4.5 Sistema SCADA

O software escolhido para esta aplicação é o ScadaBR©, pois além de ser um software livre, atende as necessidades propostas neste projeto, desde controle e manipulação de TAGs até elaboração de relatórios para os diversos tipos de usuários. É importante destacar também que este software contém opção para criar telas de representação gráfica, que serão utilizadas para as telas da IHM, fora a facilidade de criar e modificar relatórios, de acordo com as necessidades do usuário ou desenvolvedor.

Este sistema supervisório é disponibilizado como software livre e vem sendo utilizado em muitas aplicações nas áreas de automação de processos industriais, redes de distribuição (água e energia), automação predial ou residencial, e aplicações de sensoriamento diversos. Este software é bem versátil e conta com suporte para mais de 20 mil protocolos de comunicação e pode ser integrado com soluções MES, CEP e BI, dependendo da aplicação (SOURCE, 2010).

Este sistema possui diversas funcionalidades muito importantes, como: configuração do menu principal, tipos de dados, data sources (corresponde a localização de onde os dados são recebidos), data points (coleção de valores históricos associados), monitoramento (pode ser feitos por listas dinâmicas ou representações gráficas), controle (determinar quais pontos podem ser acionados do sistema), eventos, ícones de aplicação, alarmes e gráficos (FUNDAÇÃO CENTRO DE REFERÊNCIA EM TECNOLOGIAS INOVADORAS, 2010).

### 4.5.1 Requerimentos funcionais

Nesta subseção serão detalhados os requerimentos funcionais adotados durante o desenvolvimento do supervisório utilizando o ScadaBR©.

#### 4.5.1.1 Controle de Acesso

O controle de acesso será feito basicamente por dois tipos de usuários. O primeiro tipo tem a capacidade de visualizar (ler) e modificar as informações colocadas na interface

gráfica, esse tipo de usuário vai ter o perfil de um técnico de manutenção ou engenheiro responsável pelo equipamento. O segundo tipo de usuário somente tem a capacidade de visualizar as informações da interface gráfica, e o perfil do usuário é do operador da máquina. Lembrando que o operador só pode fazer intervenções na máquina (parar, produzir, etc) utilizando o painel de controle disponível no processo.

O controle de acesso foi escolhido dessa maneira para manter a integridade das informações tratadas no supervisório (relatórios e falhas).

#### 4.5.1.2 Atenção à falhas no sistema automático

As falhas serão tratadas pelo sistema como alarmes críticos, urgentes e de informação conforme indicados na tabela 8:

Tabela 8 – Lista de Tipos de Alarmes - Por Módulo

Tipos de Alarmes	Falhas Associadas	Módulo
Crítico	Falha no transporte da peça posição do magazine	Distribuição
	Falha na subida do elevador	Teste
	Falha na descida do elevador	
Urgente	Peça indisponível Magazine	Teste
Informativo	Falha no transporte da peça posição do módulo de teste	Distribuição
	Falha de acionamento da trava	Ordenação
	Falha de Ordenação	

Fonte: Autora

#### 4.5.1.3 Avaliação de tendências no tempo

Para avaliação de tendências no decorrer do tempo, foram disponibilizados gráficos por módulos dos índices de confiabilidade calculados utilizando *metadatas* das *data sources* registradas.

Nas Figura 12, 14, 15 e 16 é possível visualizar as *data sources* e *data points* utilizados no sistema supervisório que foram usados nas *metadatas* (Figura 13).

Figura 13 – Metadata - Índices de Confiabilidade

Points  			
Name	Data type	Status	
Disponibilidade	Numeric		
Minor Stops	Numeric		
MTBF	Numeric		
MTRR	Numeric		

Fonte: Autora.

Figura 12 – Data Sources registradas no ScadaBR©

Data sources 		BACnet I/P 			
Name ▲	Type	Connection	Status		
[RE] Informative_Fails	Meta Data Source			   	
[RE] Urgent_Fails	Meta Data Source			   	
[RE]Critical_Fails	Meta Data Source			   	
Distributing	Virtual Data Source	500 millisecond(ms)		   	
PRODUCTION DATA	Meta Data Source			   	
Reliability Engineering	Meta Data Source			   	
Sorting	Virtual Data Source	500 millisecond(ms)		   	
Testing	Virtual Data Source	500 millisecond(ms)		   	
Times	Meta Data Source			   	

Fonte: Autora

Figura 14 – *Data Points* - Módulo de Distribuição

Points  			
Name	Data type	Status	
A_DownTime	Numeric		
CounterValue_Estados	Numeric		
CounterValue_PARADAS	Numeric		
CounterValue_STOPS	Numeric		
FALHA1	Numeric		
FALHA2	Numeric		
FALHA3	Numeric		
IN-Ex_DET_Testing	Binary		
IN_Detecção	Binary		
IN_EMP_Estendido	Binary		
IN_EMP_Retraido	Binary		
IN_PKUP_Final	Binary		
IN_PKUP_Inicial	Binary		
IN_Ventosa	Binary		
MinorStops	Numeric		
OUT_EMP_Estendido	Binary		
OUT_PKUP_Final	Binary		
OUT_PKUP_Inicial	Binary		
OUT_VENT_Ar	Binary		
OUT_VENT_Vácuo	Binary		
PB_Manual	Binary		
PB_Reset	Binary		
PB_Start	Binary		
PB_Stop	Binary		
RunningTime	Numeric		

Fonte: Autora

Figura 15 – *Data Points* - Módulo de Teste

Points  			
Name	Data type	Status	
A_DownTime	Numeric		
Counter_Button	Numeric		
Counter_Parts	Numeric		
Counter_Samples	Numeric		
Counter_Stops	Numeric		
CounterStatesM2	Numeric		
FALHA4	Numeric		
FALHA5	Numeric		
FALHA6	Numeric		
IN_ELEV_Down	Binary		
IN_ELEV_Up	Binary		
IN_EMP_Retraído	Binary		
IN_SIN_Analógico	Binary		
IN_SIN_Capacitivo	Binary		
IN_SIN_Reflexivo	Binary		
IN_SIN_Óptico	Binary		
MinorStops	Numeric		
OUT-Ex_DET_Testing	Binary		
OUT_AIRCV_Ligado	Binary		
OUT_ELEV_Down	Binary		
OUT_ELEV_Up	Binary		
OUT_EMP_Estender	Binary		
PB_Manual	Binary		
PB_Reset	Binary		
PB_Start	Binary		
PB_Stop	Binary		
RunningTime	Numeric		

Fonte: Autora

Figura 16 – *Data Points* - Módulo de Ordenação

Points  			
Name	Data type	Status	
A_DownTime	Numeric		
Counter_BLACK	Numeric		
Counter_Fails	Numeric		
Counter_METAL	Numeric		
Counter_ROSA	Numeric		
CounterButton	Numeric		
CounterValue_Estados	Numeric		
FALHA7	Numeric		
FALHA8	Numeric		
IN_D1_Acionado	Binary		
IN_D1_Desacionado	Binary		
IN_D2_Acionado	Binary		
IN_D2_Desacionado	Binary		
IN_SIN_FDC	Binary		
IN_SIN_Indutivo	Binary		
IN_SIN_Presença	Binary		
IN_SIN_Óptico	Binary		
MinorStop	Numeric		
OUT_CNV_Aciona	Binary		
OUT_D1_Aciona	Binary		
OUT_D2_Aciona	Binary		
OUT_TRAVA_Desaciona	Binary		
PB_Manual	Binary		
PB_Reset	Binary		
PB_Start	Binary		
PB_Stop	Binary		
RunningTime	Numeric		

Fonte: Autora

#### 4.5.1.4 Estatística das variáveis fundamentais do processo

Para cálculo dessas estatísticas, foram consideradas as variáveis fundamentais de acompanhamento de produção em um processo produtivo, que neste caso específico são aquelas variáveis que estão diretamente ligadas as quantidades de peças produzidas, amostras separadas de qualidade e quantidade de falhas contadas durante o teste.

#### 4.5.1.5 Relatórios de estatísticas de produção

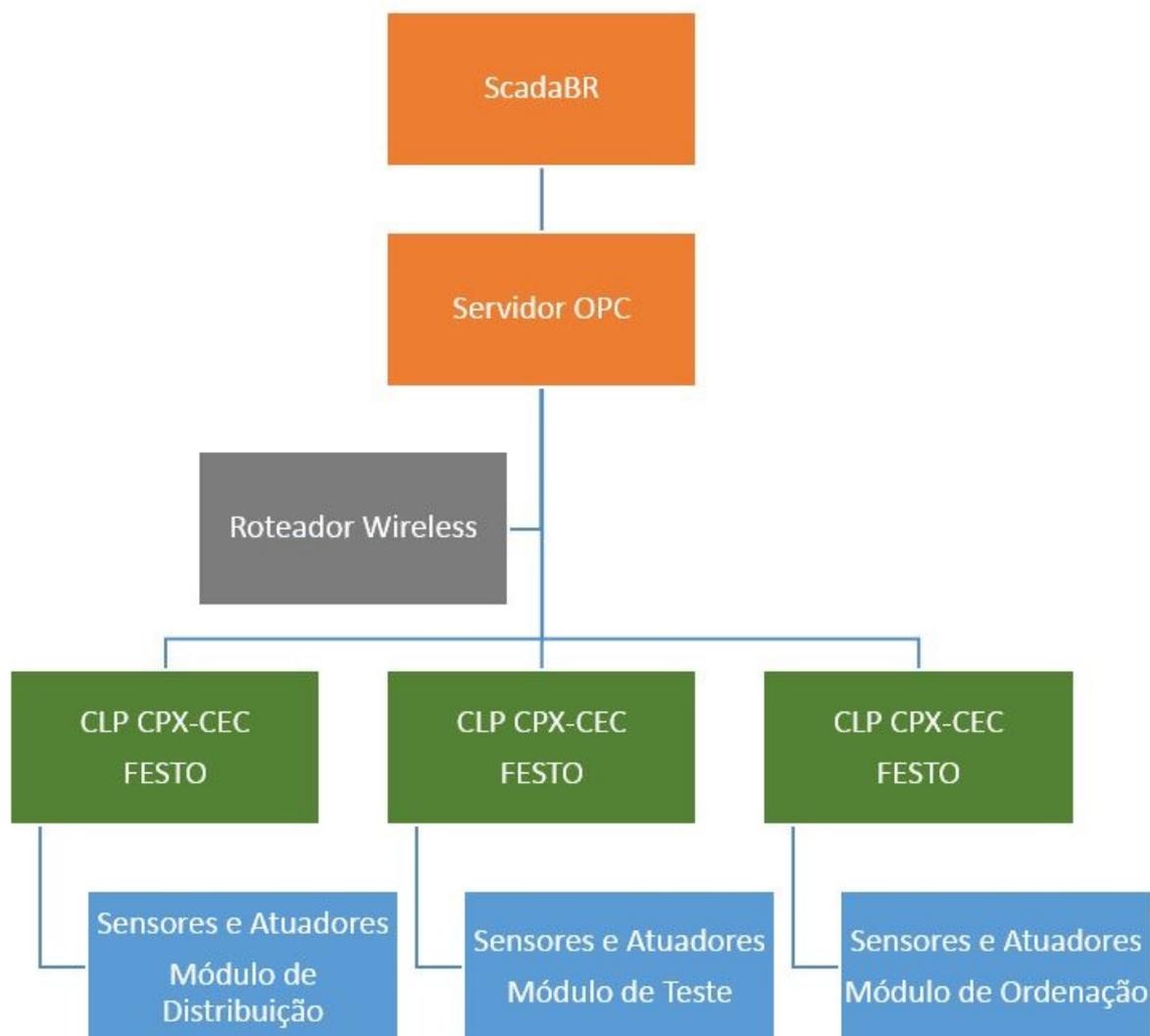
Os relatórios de produção gerados podem ser gerados escolhendo um período de tempo (em dias e horas) e contém as estatísticas das variáveis fundamentais de processo, explicadas anteriormente, e o cálculo dos índices de confiabilidade para os períodos escolhidos.

### 4.5.2 Estrutura da rede industrial

A estrutura de rede utilizada para implantação deste projeto corresponde a uma rede industrial Ethernet padrão, onde cada módulo do MPS® FESTO tem seus sensores e atuadores conectados a um CLP, que desempenha as ações de controle segundo programação sequencial em *LADDER*. Os CLPs então estão conectados a um roteador wireless com configuração de rede Ethernet LAN. A topologia da rede pode ser considerada estrela, uma vez que não se tem dispositivos desempenhando a função de Mestre ou Escravo. Foi escolhido esse tipo de rede pela facilidade de implantação e utilização, tanto na criação da mesma quanto nas ações de controle e aquisição de dados pelo sistema supervisório utilizando servidor.

A Figura 17 ilustra como se encontra a estrutura da automação proposta por este projeto.

Figura 17 – Estrutura da Automação



Fonte: Autora.

### 4.5.3 Servidor OPC

O padrão OPC, estabelecido pela OPC Foundation, institui regras para desenvolvimento de sistemas com interfaces padronizadas para comunicação dos dispositivos de campo (CLPs, sensores, atuadores) com os sistemas de monitoramento, supervisão e gerenciamento (FONSECA, 2002).

No caso do sistema supervisório, o OPC é responsável por coletar as informações do sistema que está sendo controlado e atualizar esta informação no sistema SCADA. Este fluxo de informações só é possível através da definição do nome da data source, o período de atualização, o endereço e informações importantes do servidor (host, domínio, usuário e senha) (FUNDAÇÃO CENTRO DE REFERÊNCIA EM TECNOLOGIAS INOVADORAS, 2010).

Para execução deste projeto foi utilizado o FestoCoDeSysOPC devido a compatibili-

dade com os CLPs que estão sendo utilizados (CPX-CEC) e porque o próprio Codesys© já possui uma biblioteca para configuração deste servidor nos projetos disponíveis. Conforme estabelecido por 3S - Smart Software Solutions GmbH (2006), foram seguidos os passos de instalação e configuração do mesmo. Além de realizar também as configurações necessárias no CoDeSys (Parâmetros de Comunicação e *Symbol Files*).

## 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Seguindo a metodologia detalhada no Capítulo 4 foram gerados os resultados que serão detalhados neste capítulo.

### 5.1 Programação em LADDER

Após estabelecida a modelagem em Rede de Petri (vide Apêndice A, seção A.1), foi possível desenvolver o programa em LADDER obedecendo os critérios estabelecidos por módulo nas subseções 4.1.1, 4.1.2 e 4.1.3. Devido a extensão dos programas, as lógicas adotadas para execução das operações segundo estes critérios podem ser conferidas no Apêndice A, seção A.3, que estão divididos por módulo do MPS® FESTO.

Contudo, as variáveis utilizadas para determinar os índices de confiabilidade seguem a mesma lógica para todos os módulos e serão detalhados nas subseções seguintes.

#### 5.1.1 Temporizadores (Tempos de Máquina)

Para se diferenciar o tempo de máquina produzindo (variável *RunningTime*, onde se realiza as funções estabelecidas para seu módulo) e o tempo de máquina parada (variável *DownTime*, que deve considerar as paradas tanto devido a falhas quanto a solicitadas pelo operador do sistema) foram utilizados dois temporizadores conforme ilustrado na Figura 18.

Devido a limitações da IHM, a maneira de obter o tempo de máquina rodando é por meio da botoeira manual dos sistemas. Quando esta estiver acionada, pode-se considerar que o sistema tem demanda e está apto a produzir. A botoeira aciona um temporizador tipo TON (do inglês, *Timer On Delay*, que significa temporizador em atraso) que está configurado para o tempo máximo de um turno com duração de oito horas (o valor de entrada do temporizador corresponde a este valor convertido para segundos).

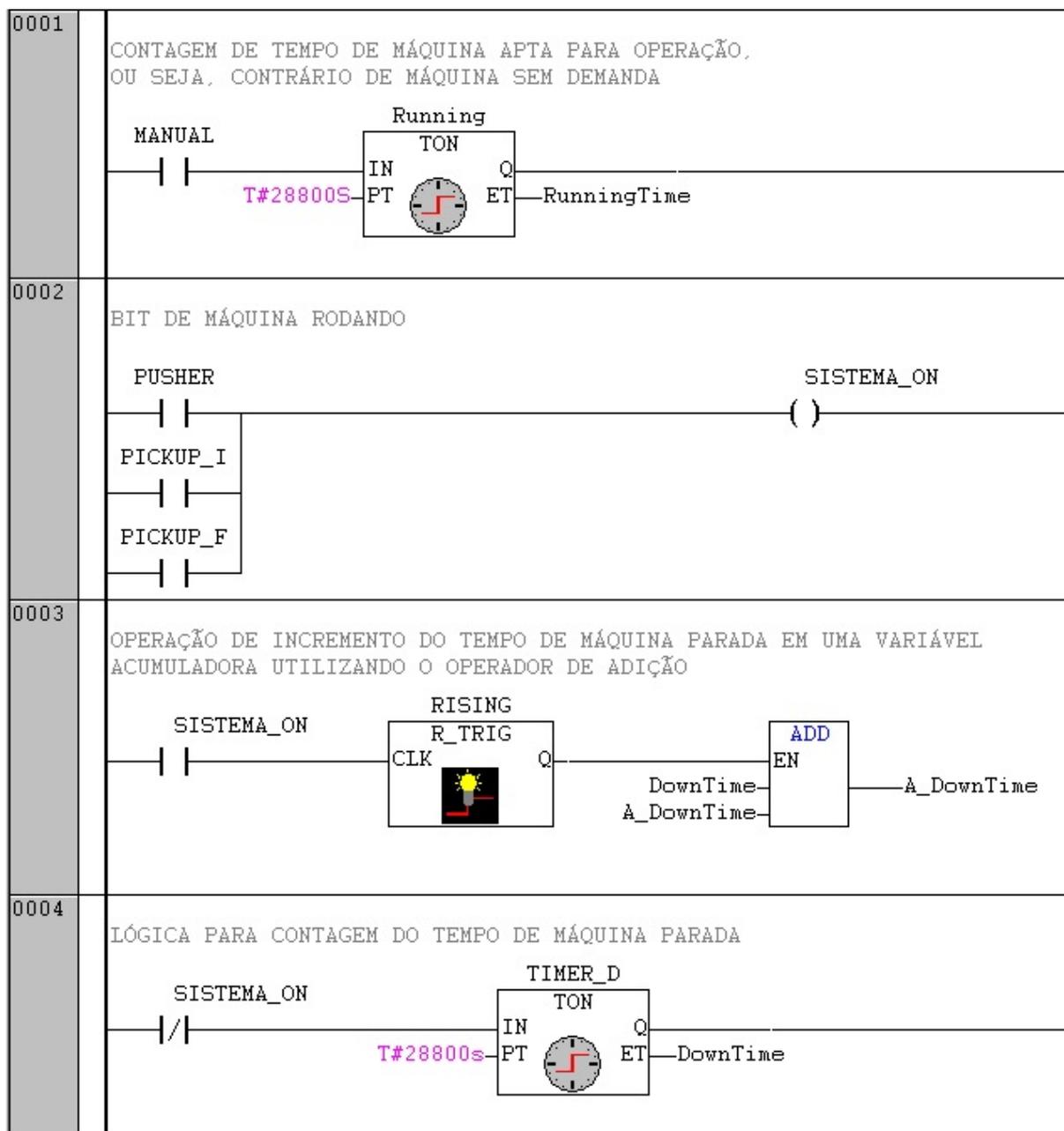
A linha com comentário de BIT DE MÁQUINA RODANDO contém todas as variáveis que durante o funcionamento deste módulo estão em nível alto e sinalizam que o sistema está funcionando e não parado. No exemplo da Figura 18 o módulo utilizado foi o de distribuição, porém esse é o único trecho do programa que deve ser diferente de acordo com os módulos e essa diferença se dá pelas variáveis ilustradas ao lado esquerdo da imagem.

A próxima linha contém a operação de incremento do *DownTime* em uma variável acumuladora que sempre realiza a operação quando o sistema volta a funcionar, que é sinalizado pela detecção de borda de subida do bit de máquina rodando (*SISTEMA\_ON*). Esta instrução deve anteceder a instrução de contagem do *DownTime* para aproveitar o

tempo de ciclo do CLP (leitura das variáveis de entrada, processamento do programa e atualização das saídas) e assim, realizar a operação de adição (realizada pelo bloco ADD).

E por último temos a operação de contagem de tempo do *DownTime* que é feito por um temporizador muito similar ao *RunningTime* (mesmo parâmetro de tempo de duração), contudo a entrada utilizada para acioná-lo é justamente a negação do SISTEMA\_ON, que caracteriza que o sistema esteja parado.

Figura 18 – Temporizadores de *RunningTime* e *DownTime* - Módulo Distribuição



Fonte: Autora

### 5.1.2 Contadores de Falhas e Paradas

Dependendo do número de falhas identificadas para um módulo (vide Tabela 8), a quantidade de contadores empregados pode ser maior ou menor. Contudo, da mesma forma como descrito na subseção 5.1.1, a lógica empregada é a mesma em todos os módulos. Todos os contadores são do mesmo tipo CTU (do inglês, *Counter to Up*, que significa contador ascendente).

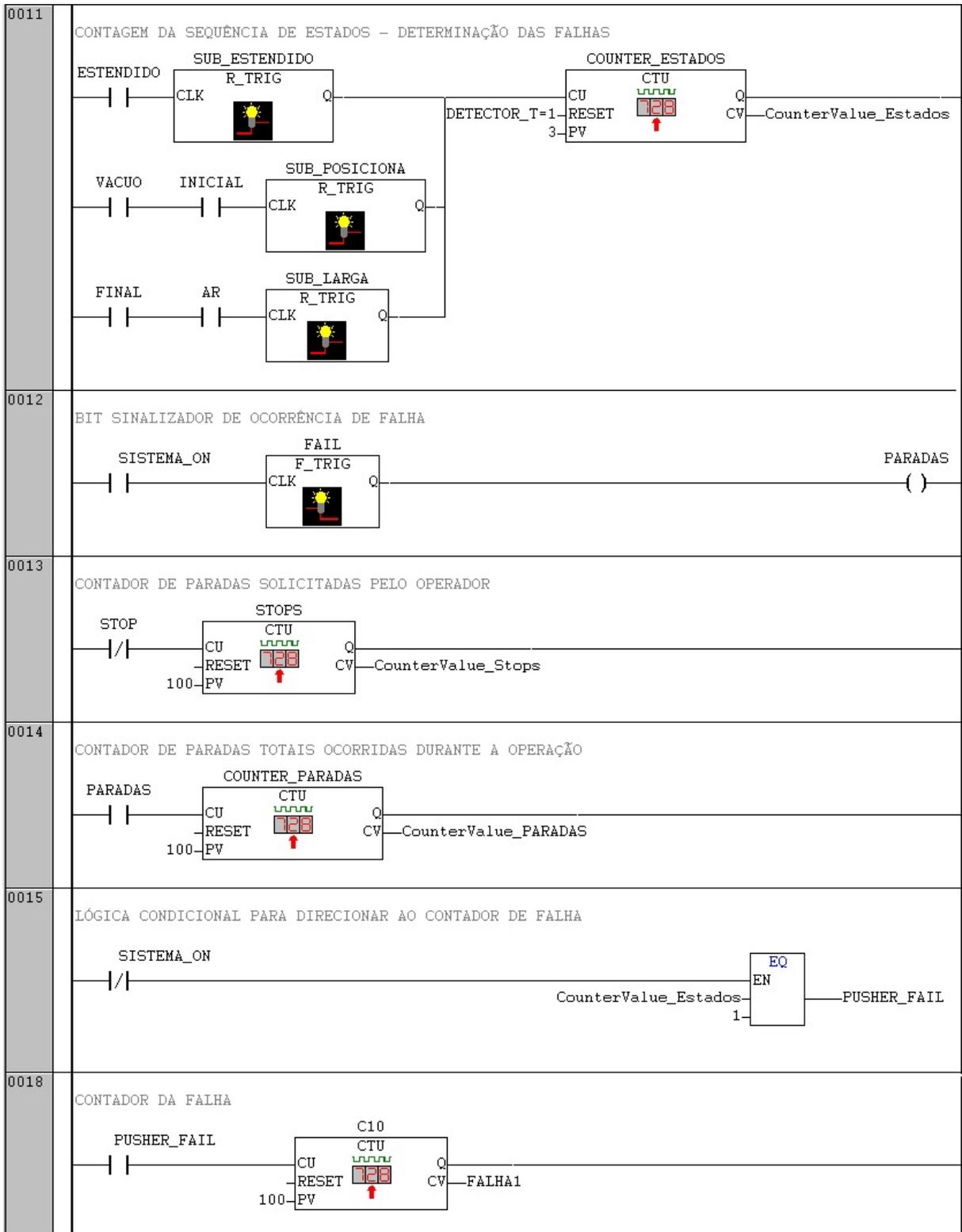
O primeiro contador (visualizado na linha 11 da Figura 19) corresponde a contagem de estados do módulo, o que significa quantas operações aquele módulo produz. O sinal utilizado para zerar cada contador deve ser o bit final que identifica que a última operação foi realizada e assim, reiniciar a contagem, identificando um novo ciclo. O valor de entrada no parâmetro PV corresponde a quantidade de operações do módulo e o parâmetro CV é o sinal parcial de contagens realizadas pelo contador. Os sinais presentes ao lado esquerdo da Figura 19 correspondem aqueles necessários para identificar a mudança de uma operação para a outra.

O segundo contador (linha 13 da Figura 19) corresponde a contador de paradas sinalizadas pelo operador (ao pressionar o botão STOP). Esse contador é importante para obter a contagem total de falhas do sistema.

O terceiro contador (linha 14 da Figura 19) é responsável por contar todas as paradas do sistema (por meio de um bit sinalizador da ocorrência da falha que que é acionado com o sinal de borda de descida do SISTEMA-ON). A maneira de obter a quantidade de falhas ocorrida se dará no sistema supervisorio por meio da subtração dos valores dos índices deste contador com o anterior (contagem de paradas pelo operador).

O último contador (linha 18 da Figura 19) corresponde a quantidade de ocorrência individuais de cada falha, onde por meio de uma lógica condicional (linha 15) onde se conhece as falhas causadas por paradas em determinados pontos do processo, pode-se direcionar essa informação para este contador.

Figura 19 – Contadores de Falhas e Paradas - Módulo Distribuição (Trecho)

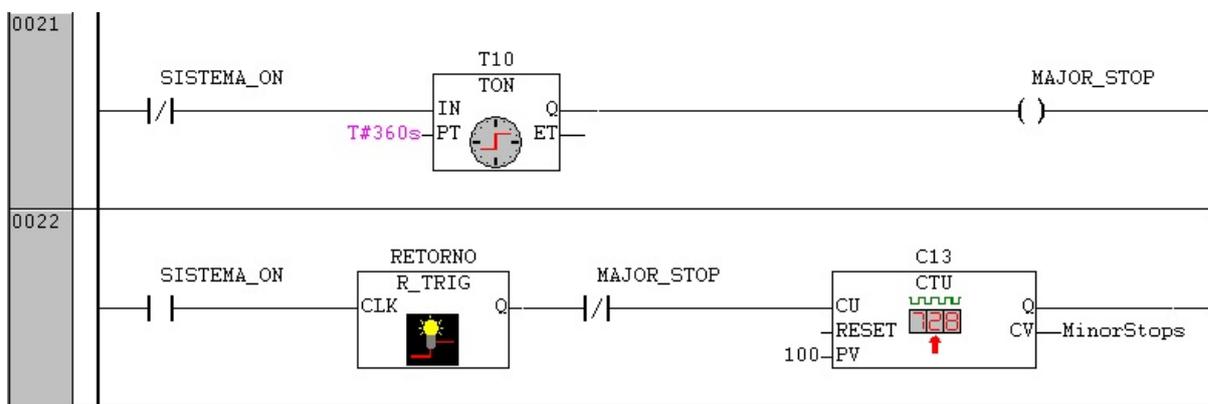


Fonte: Autora.

### 5.1.3 Minor Stops

Para contagem dos Minor Stops (vide Capítulo 3, subseção 3.1.5) foram utilizados um contador e um temporizador, onde o contador foi utilizado para armazenar a quantidade de falhas com essa característica que ocorreram durante o processo e o temporizador é responsável por contar o tempo equivalente a seis minutos (porém quando este tempo for ultrapassado, um bit de *Major Stop* é acionado e não permite que aquela falha seja atualizada no contador, utilizando a mesma técnica empregada para o *DownTime*).

Figura 20 – Contador e Temporizador para Lógica de *Minor Stops*



Fonte: Autora.

## 5.2 FMECA

Considerando-se o tempo de disponibilidade do laboratório e o tempo necessário para deixar o equipamento pronto para realizar os testes, foram realizados quatro testes com tempo de duração de no máximo duas horas. Os dois primeiros testes tiveram o objetivo de atribuir índices (vide Tabelas 13, 14, 15 e 16 no Anexo A) e determinar os efeitos e causas dos modos de falha encontrados. Em seguida, foram realizadas as ações preventivas e os dois últimos testes foram realizados, e seus índices também foram atribuídos.

A Tabela 9 contém os resultados obtidos durante a execução dos testes (antes e depois das ações preventivas) separados por atuador. Os dados dessa tabela podem ser considerados para todo o MPS® FESTO.

Tabela 9 – FMECA - MPS® FESTO

EMPRESA: UEA/EST		FMEA - Análise do Modo, Efeito e Criticidade de Falha												
Local: Manaus		Setor: Laboratório de Manufatura Industrial/EST					Sistema: MPS FESTO							
Comp./ Processo	Função do componente	Possíveis Falhas			Controle Atual	Índices			NPR Inicial	Ações Preventivas Recomendadas	Índices Melhorados			NPR Final
		Modo(s)	Efeito(s)	Causa(s)		F	G	D			F	G	D	
Empurrador Magazine	Empurrar as peças do magazine individualmente para próxima operação	Deslize irregular do empurrador durante a operação	Posicionamento incorreto das peças para próxima operação	Fixação inadequada do cilindro pneumático do empurrador no sistema	Nenhum	3	2	10	60	Realizar ajuste mecânico e marcar posição correta no equipamento	2	2	10	40
				Quantidade insuficiente de ar comprimido no sistema para efetuar operação										
Pick-up	Transportar a peça do magazine (módulo distribut) para elevador (módulo testing)	Posição final de curso não é o suficiente para ventosa pegar a peça	Falha no posicionamento da ventosa para pegar a peça	Tempo de resposta entre comandos do CLP e do sistema pneumático	Nenhum	9	8	5	360	Elevação da base do magazine para diminuir diferença entre ventosa e peça	3	8	5	120
Ventosa	Prover vácuo para transportar peça junto ao pick-up	Falha ao soltar peça no módulo testing	Falha na detecção de peça no módulo testing	Atraso na operação	Sensor de presença (módulo testing)	4	5	5	100	Ajustar posição do pickup que influencia na bom funcionamento da ventosa	2	5	5	50
Empurrador Elevador	Empurrar as peças para a próxima operação (guia com colchão de ar ou guia das amostras de qualidade)	Erro durante seleção de amostras de qualidade (se tiver uma peça posicionada no módulo teste)	O botão de seleção das amostras força o empurrador a realizar sua operação	Empurrador se choca com o pick-up	Visual	4	10	2	80	Solicitar peças de qualidade somente quando não tiver peças posicionadas no módulo testing	2	10	2	40
Desvios pneumáticos	Selecionar as peças em guias diferentes de acordo com os diferentes materiais	Acionamento simultâneo dos desvios	Seleção errada das peças para suas devidas guias	Falha no escoamento da peça após selecionada	Nenhum	4	3	3	36	Limpeza e lubrificação das guias para melhor escoamento das peças	2	3	3	18

Índice de Risco			
Baixo	Médio	Alto	Muito Alto

Fonte: Autora.

Como se pode constatar ao analisar a Tabela 9, todos os NPRs iniciais foram reduzidos

ao se calcular os NPRs finais, o que significa que as ações corretivas realmente tiveram impacto nas causas estabelecidas para as falhas. Também pode-se constatar que as reduções variam entre 33,3 e 66,7 %, conforme mostrado na Tabela 10. Sendo que a eficiência com maior valor está associada a falha com maior índice de risco.

Tabela 10 – Avaliação de Eficiência das Ações Corretivas - FMECA

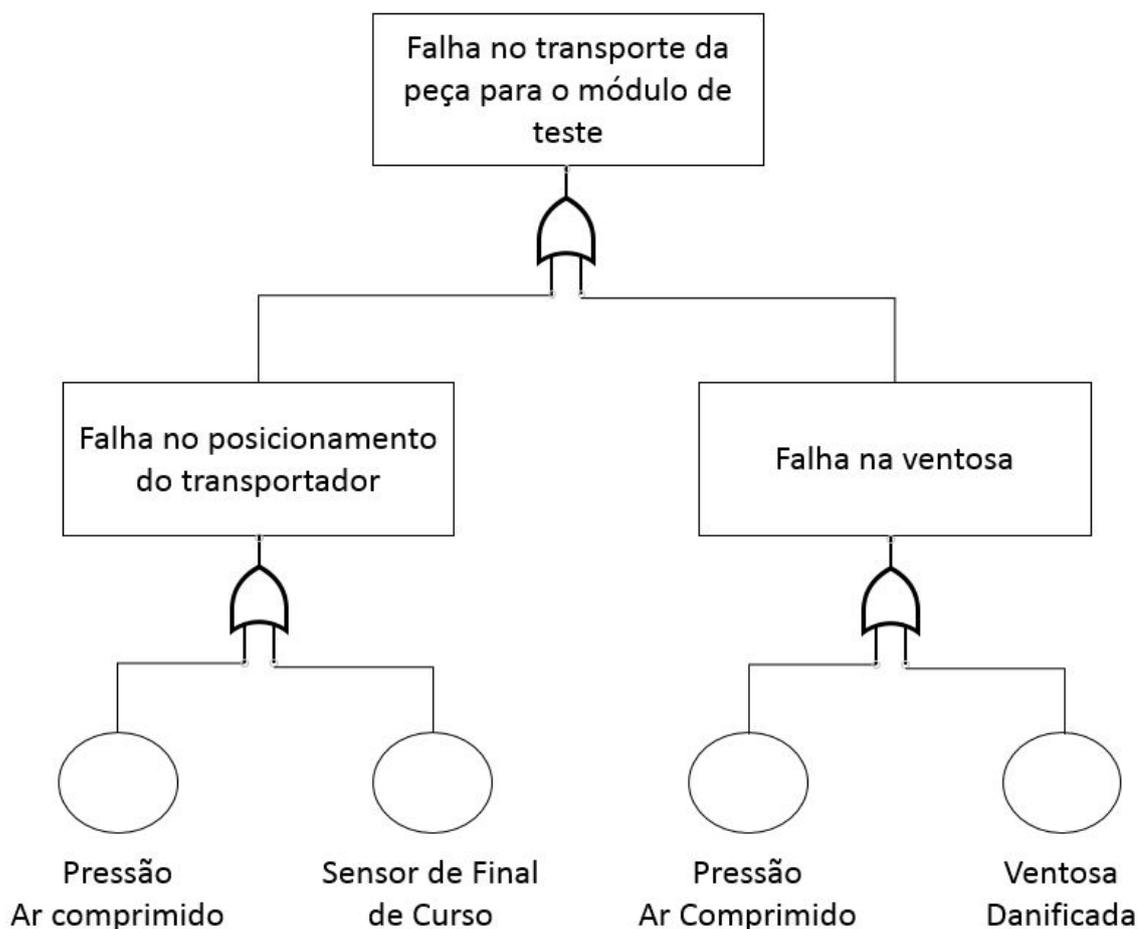
Possíveis Falhas			$\% = \frac{(NPR_{Inicial} - NPR_{Final})}{NPR_{Inicial}}$
Modo(s)	Efeito(s)	Causa(s)	
Deslize irregular do empurrador durante a operação	Posicionamento incorreto das peças para próxima operação	Fixação inadequada do cilindro pneumático do empurrador no sistema	33,3%
		Quantidade insuficiente de ar comprimido no sistema para efetuar operação	50,0%
Posição final de curso não é o suficiente para ventosa pegar a peça	Falha no posicionamento da ventosa para pegar a peça	Tempo de resposta entre comandos do CLP e do sistema pneumático	66,7%
Falha ao soltar peça no módulo testing	Falha na detecção de peça no módulo testing	Atraso na operação	50,0%
Erro durante seleção de amostras de qualidade (se tiver uma peça posicionada no módulo teste)	O botão de seleção das amostras força o empurrador a realizar sua operação	Empurrador se choca com o pick-up	50,0%
Acionamento simultâneo dos desvios	Seleção errada das peças para suas devidas guias	Falha no escoamento da peça após selecionada	50,0%

Fonte: Autora.

### 5.3 FTA

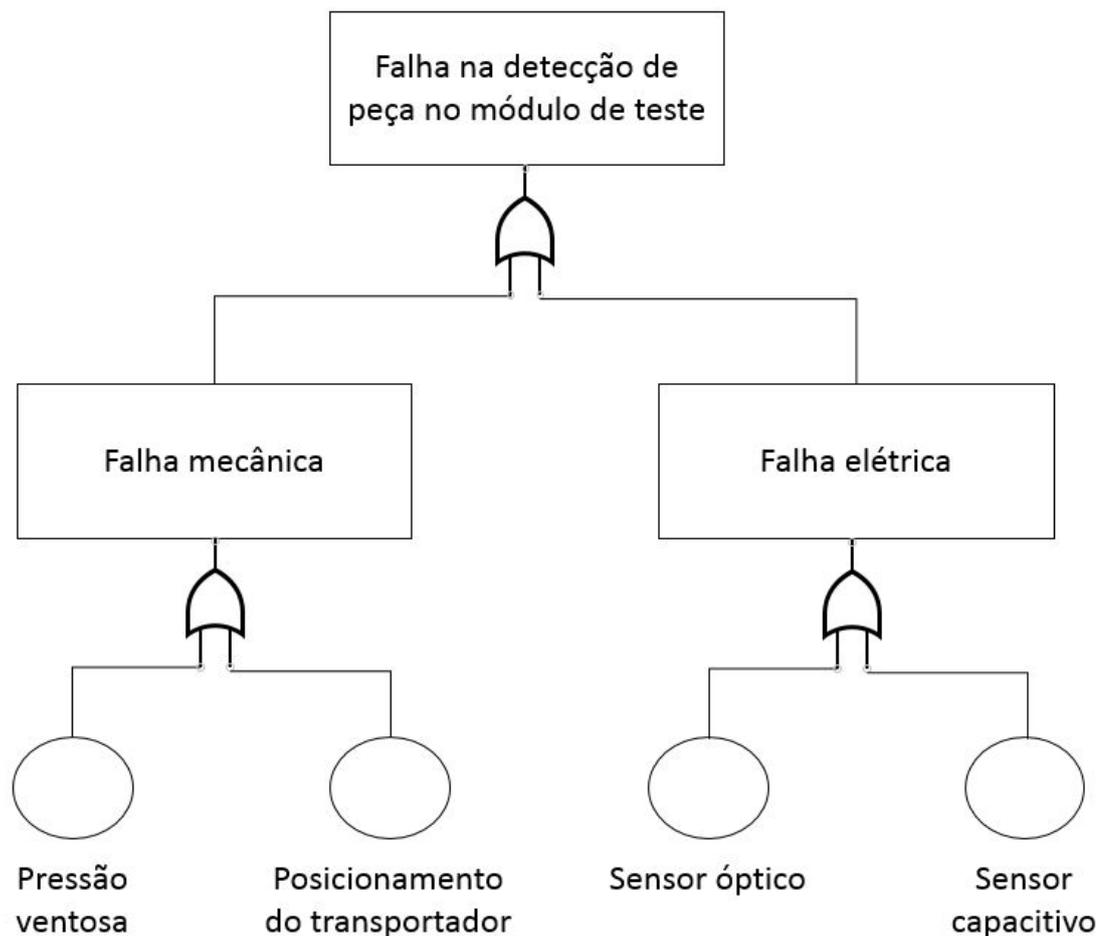
Foi elaborado FTA para duas falhas encontradas durante o teste, após o preenchimento do FMECA, conforme é ilustrado nas Figuras 21 e 22. O motivo para somente estas falhas terem recebido uma atenção especial é que segundo o método do FMECA estas deveriam ser as falhas priorizadas por terem gerados valores de NPR relativamente altos (vide Tabela 9), acima de 600 (vide Anexo A, Tabela 13).

Figura 21 – Falha de transporte da peça para o módulo de teste



Fonte: Autora.

Figura 22 – Falha na detecção de peça do módulo de teste

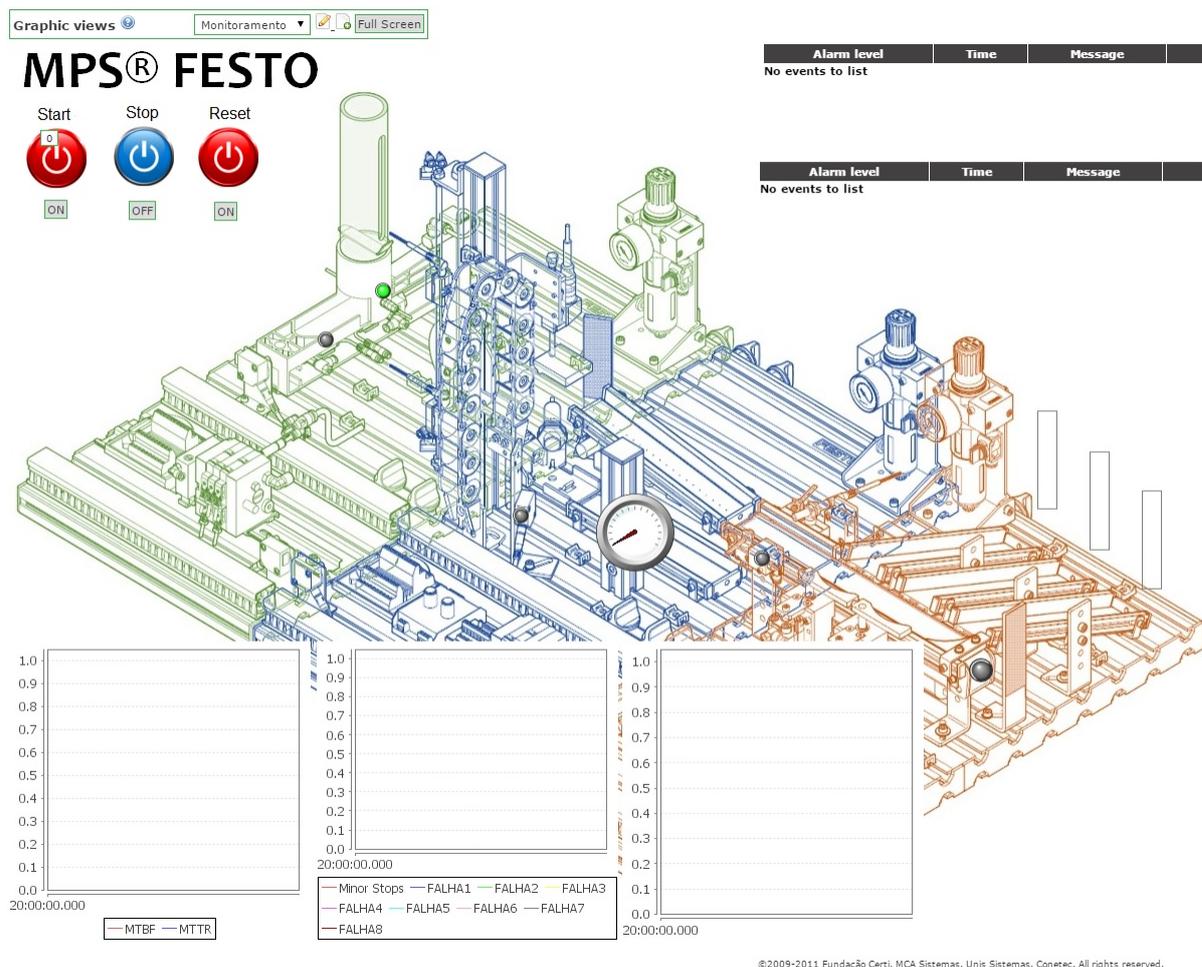


Fonte: Autora.

## 5.4 ScadaBR©

Analisando as necessidades do operador durante a operação do MPS® e considerando quais as variáveis e índices devem estar disponíveis para esta operação foram estabelecidas quatro telas na IHM, sendo uma para monitoramento total do sistema e as outras três para controle e análise mais aprofundada de cada um dos módulos. A tela de monitoramento é representada pela Figura 23, enquanto que as telas de controle estão divididas por módulo nas Figuras 24, 25 e 26.

Figura 23 – Tela de Monitoramento - MPS® FESTO



Fonte: Autora.

A tela de monitoramento contém os gráficos dos índices de confiabilidade (MTBF, MTTR, Minor Stops e Disponibilidade). Também traz em formato de gráfico a quantidade de falhas para cada uma das falhas mencionadas por módulo.

Nesta mesma tela também é possível iniciar, parar e reiniciar (os atuadores para as posições iniciais) por meio dos botões situados no lado esquerdo.

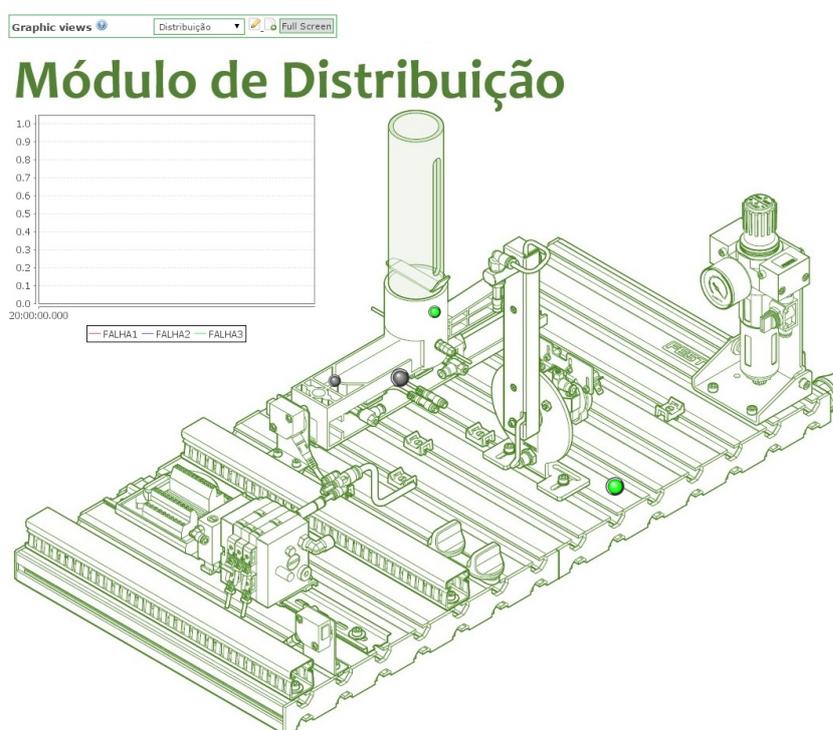
O perfil operador não tem autorização para operar via IHM por questões de segurança (tanto da informação que está sendo manipulada pelo sistema, quanto do próprio operador) visto que não é possível dar privilégios para acionamento de algumas variáveis. No entanto, esta autonomia foi dada ao técnico de manutenção, pois acredita-se que a pessoa que for realizar a atividade de manutenção tem conhecimento do funcionamento do equipamento, então poderá ter acesso à manipulação de todas as variáveis.

No canto superior direito é possível visualizar os alarmes críticos e urgente do sistema e suas descrições, para que o operador possa atuar sobre as falhas o mais rápido possível, diminuindo o tempo de máquina parada. As descrições disponíveis são quanto a localização da falha (módulo) e seu número, ou seja, o operador necessita de um treinamento para operar o equipamento.

E por último, pode-se encontrar as lâmpadas sinalizadoras (verde ou vermelhas) que indicam o estado dos atuadores (como estas representam variáveis binárias, os estados são ligado e desligado) e os indicadores analógicos de quantidade de peças (para amostras de qualidade e as separadas por cor no módulo de ordenação).

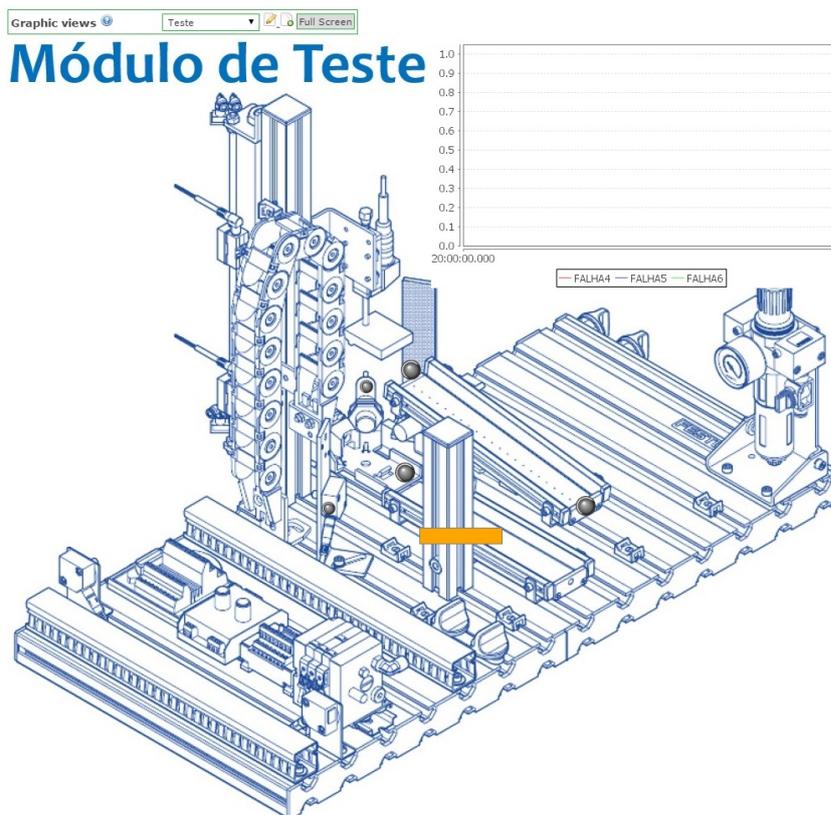
No módulo de distribuição (assim como nos demais) está presente um gráfico que indica a quantidade de falhas em função do tempo (o intervalo escolhido foi de duas horas, devido ao tempo de duração dos testes) e as lâmpadas sinalizadoras também indicam os estados dos atuadores e alguns sensores, porém nesta visão mais específica do módulo é possível ter detalhes sobre o status de mais variáveis.

Figura 24 – Tela de Controle - Módulo de Distribuição



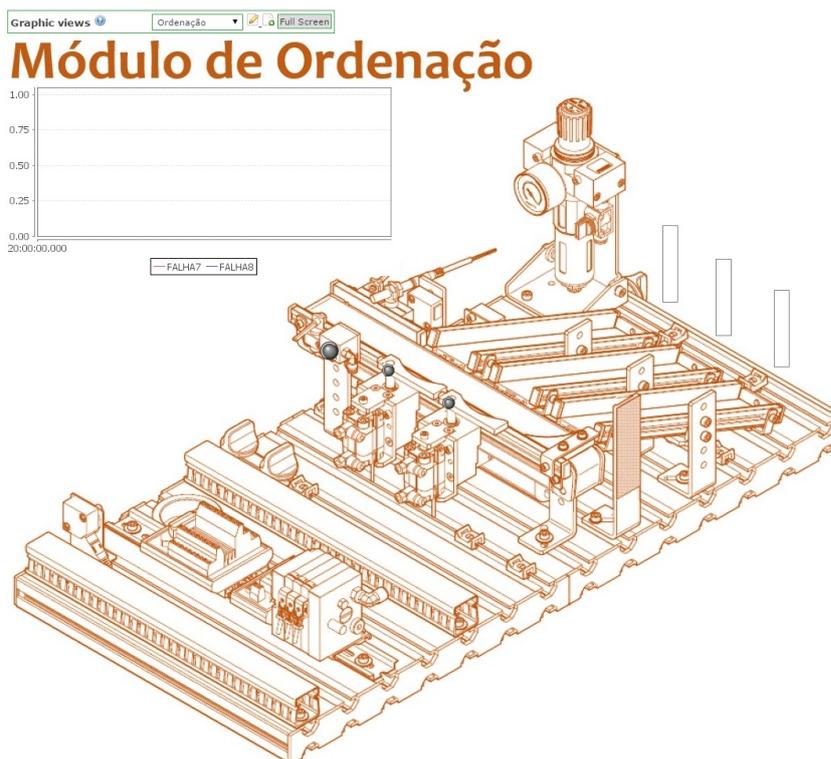
Fonte: Autora.

Figura 25 – Tela de Controle - Módulo de Teste



Fonte: Autora.

Figura 26 – Tela de Controle - Módulo de Ordenação



Fonte: Autora.

### 5.4.1 Testes - Relatórios dos Índices de Confiabilidade

Foram realizados dois testes para avaliar o desempenho do sistema supervisorio, tanto a coleta de seus dados quanto no cálculo dos índices de confiabilidade.

A estrutura do relatório de um teste para o outro foi alterada porque somente após a realização do primeiro é que foi possível visualizar a necessidade de incluir outras variáveis no relatório (como quantidade de falhas críticas e os tempos de produção), que podem ser visualizados na Tabela 12.

De modo a não sobrecarregar o servidor, o tempo de duração da coleta de dados foi menor do que a duração dos testes. Por este motivo, os valores de tempo não correspondem com a duração total da operação que pode ser visualizada nos testes (o objetivo destes testes é diferente daqueles realizados para elaboração do FMECA e FTA).

O ScadaBR© gera seus relatórios em formato *Comma-separated values* (.csv) e pode ser visualizado em qualquer programa capaz de abrir planilhas.

Na Tabela 11 é possível verificar os dados referentes ao primeiro teste. A frequência com que as variáveis foram coletadas também estão contidas na figura, contudo devem ser considerados os valores finais aqueles correspondentes à última leitura (que é determinada pela coluna Tempo).

Tabela 11 – Relatório de Engenharia de Confiabilidade - Teste 1

Nome do data point	Tempo	Valor	Processado
Reliability Engineering - Disponibilidade	22/05/2015 19:37	-1.79769E308	-1.79769E308
Reliability Engineering - Disponibilidade	22/05/2015 19:40	0.102691924	0.102691924
Reliability Engineering - Disponibilidade	22/05/2015 19:40	0.55	0.55
Reliability Engineering - Disponibilidade	22/05/2015 19:40	0.700199867	0.700199867
Reliability Engineering - Minor Stops	22/05/2015 19:45	4	4
Reliability Engineering - MTBF	22/05/2015 19:37	-1.79769E308	-1.79769E308
Reliability Engineering - MTBF	22/05/2015 19:40	1.79769E308	1.79769E308
Reliability Engineering - MTBF	22/05/2015 19:40	350.3333333	350.3333333
Reliability Engineering - MTBF	22/05/2015 19:41	41.21568627	41.21568627
Reliability Engineering - MTBF	22/05/2015 19:41	35.03333333	35.03333333
Reliability Engineering - MTBF	22/05/2015 19:41	33.36507937	33.36507937
Reliability Engineering - MTBF	22/05/2015 19:41	30.46376812	30.46376812
Reliability Engineering - MTBF	22/05/2015 19:42	28.02666667	28.02666667
Reliability Engineering - MTBF	22/05/2015 19:42	26.94871795	26.94871795
Reliability Engineering - MTTR	22/05/2015 19:37	1.79769E308	1.79769E308
Reliability Engineering - MTTR	22/05/2015 19:40	150	150
Reliability Engineering - MTTR	22/05/2015 19:41	17.64705882	17.64705882
Reliability Engineering - MTTR	22/05/2015 19:41	15	15
Reliability Engineering - MTTR	22/05/2015 19:41	14.28571429	14.28571429
Reliability Engineering - MTTR	22/05/2015 19:41	13.04347826	13.04347826
Reliability Engineering - MTTR	22/05/2015 19:42	12	12
Reliability Engineering - MTTR	22/05/2015 19:42	11.53846154	11.53846154

Fonte: Autora.

Tabela 12 – Relatório de Engenharia de Confiabilidade e Dados de Produção - Teste 2

Nome do data point	Tempo	Valor	Processado
Reliability Engineering - Disponibilidade	22/05/2015 20:52	0.73017988	0.73017988
Reliability Engineering - Disponibilidade	22/05/2015 20:52	0.800133245	0.800133245
Reliability Engineering - Disponibilidade	22/05/2015 20:53	0.700199867	0.700199867
Reliability Engineering - Disponibilidade	22/05/2015 20:53	0.901725268	0.901725268
Reliability Engineering - Disponibilidade	22/05/2015 20:53	0.941157241	0.941157241
Reliability Engineering - Disponibilidade	22/05/2015 20:54	0.957963568	0.957963568
Reliability Engineering - MTBF	22/05/2015 20:52	28.1025641	28.1025641
Reliability Engineering - MTBF	22/05/2015 20:52	30.79487179	30.79487179
Reliability Engineering - MTBF	22/05/2015 20:53	26.94871795	26.94871795
Reliability Engineering - MTBF	22/05/2015 20:53	105.8717949	105.8717949
Reliability Engineering - MTBF	22/05/2015 20:53	184.5512821	184.5512821
Reliability Engineering - MTBF	22/05/2015 20:54	262.9487179	262.9487179
Reliability Engineering - MTBF	22/05/2015 20:54	220.5376344	220.5376344
Reliability Engineering - MTBF	22/05/2015 20:54	189.9074074	189.9074074
Reliability Engineering - MTBF	22/05/2015 20:54	175.2991453	175.2991453
Reliability Engineering - MTTR	22/05/2015 20:52	10.38461538	10.38461538
Reliability Engineering - MTTR	22/05/2015 20:52	7.692307692	7.692307692
Reliability Engineering - MTTR	22/05/2015 20:53	11.53846154	11.53846154
Reliability Engineering - MTTR	22/05/2015 20:54	9.677419355	9.677419355
Reliability Engineering - MTTR	22/05/2015 20:54	8.333333333	8.333333333
Reliability Engineering - MTTR	22/05/2015 20:54	7.692307692	7.692307692
[RE]Critical_Fails - Falha extensão empurrador (Testing)	22/05/2015 20:54	5	5
[RE]Critical_Fails - Falha transporte de peças (Distributing)	22/05/2015 20:54	20	20
Times - TOTAL_Running Time	22/05/2015 20:54	7136.666667	7136.666667
Times - TOTAL_DownTime	22/05/2015 20:53	300	300
Times - TOTAL_UpTime	22/05/2015 20:54	6836.666667	6836.666667

Fonte: Autora.

## 6 CONCLUSÕES

O projeto e implantação de um sistema SCADA capaz de calcular os índices de desempenho necessários para disponibilizar ao usuário (que saiba os conceitos básicos para entender as informações expressas por meio dos índices) os dados em formato de relatórios para que este possa realizar tanto o acompanhamento do processo como as intervenções de melhorias necessárias, aumentando assim fatores importantes em um processo de manufatura (confiabilidade, qualidade, produtividade, etc) foi realizado conforme metodologia estabelecida no Capítulo 4.

Para que fosse possível integrar os módulos diferentes presentes no processo de manufatura flexível (MPS® FESTO), foi estabelecida conexão entre os CLPs e o sistema supervisório (que funciona no computador) por meio de uma rede industrial descentralizada Ethernet utilizando um roteador *wireless*. Da parte de comunicação entre os CLPs e o computador (durante o processo de programação em linguagem *LADDER*), o resultado alcançou os objetivos visto que era possível carregar os programas e fazer o controle das entradas/saídas para testes mesmo utilizando diferentes meios físicos (cabo de par trançado e *wireless*), o que atende os critérios necessários para implantação do projeto.

Por meio da modelagem em Redes de Petri foi possível conhecer melhor as opções de sequência a serem adotadas no desenvolvimento do programa em linguagem *LADDER*. Esta sequência sofreu alterações após realizados os estudos de confiabilidade do sistema, com o objetivo de diminuir a ocorrência de falhas que poderiam ser evitadas por simples alterações na lógica de programação. As primeiras versões dos programas tinham o objetivo principal de estabelecer uma sequência de operações (conforme modelagem), mas que não levavam em consideração realizar a sequência com a menor quantidade de falhas possível.

Os testes realizados para identificar as falhas utilizando os métodos de análise FMECA e FTA foram de extrema importância para realizar as melhorias nos programas em *LADDER*. Com o objetivo de ampliar os conhecimentos sobre as falhas que podem ser detectadas no sistema e que devem ser incluídas no sistema supervisório, pode-se considerar que utilizando estes métodos houve uma contribuição no atingimento do desenvolvimento do sistema supervisório. Além disso, houve uma diminuição de pelos menos 33% no fator de risco atribuído a todas as falhas identificadas pelos métodos aplicados, que inicialmente não estava previsto nos objetivos deste trabalho, mas que contribuíram com a criação de telas e relatórios do supervisório.

Utilizando ScadaBR© foi possível construir o sistema SCADA que pudesse prover tanto a parte de controle de variáveis (por meio das telas criadas usando representações gráficas) quanto na criação dos relatórios que deveriam ser disponibilizados para o usuário. Este objetivo também foi atingido, conforme demonstrado anteriormente.

## 6.1 Dificuldades encontradas

Uma das principais dificuldades encontradas durante a execução deste projeto está relacionada a comunicação entre o servidor OPC com os CLPs e o sistema supervisório. Mesmo utilizando equipamentos e componentes de um fabricante mais voltado para parte de aprendizado e estudos acadêmicos é extremamente difícil obter tutoriais confiáveis que possam auxiliar nos problemas de comunicação.

Da mesma forma, o ScadaBR© também não dispõe de muitos acervos acadêmicos para que seja feito estudo prévio de suas funções e os seus modos de uso. Porém, o software é bastante amigável, e depois de se adaptar ao modo de funcionamento do sistema (*Data Sources, Data Points, etc*) torna-se muito fácil sua utilização.

## 6.2 Trabalhos Futuros

O diferencial deste projeto se dá pela combinação em uma mesma aplicação da teoria de engenharia de confiabilidade com sistema supervisório. Tendo em vista esse escopo, é possível propor desenvolvimento de trabalhos complementares do projeto que são:

- Implementar equipamentos eletromecânicos (esteiras, braços robóticos, etc) que permitam a operação funcionar no modo automático com auto-alimentação das peças separadas nas guias;
- Implementar função utilizando o sensor analógico (detector de altura) do módulo de teste;
- Projetar e criar sistemas supervisórios integrados com ferramentas de confiabilidade utilizando outros softwares (por exemplo, CoDeSys) e adicionar diferentes funcionalidades às telas de monitoramento e controle;
- Estudar o comportamento de distribuição de falhas do sistema modular de produção e calcular os índices de desempenho conforme distribuição identificada;
- Calcular confiabilidade do sistema utilizando FTA e estudo de distribuição de falhas.

## Referências

- 3S - SMART SOFTWARE SOLUTIONS GMBH. *CoDeSys OPC-Server V2.0 - Installation and Usage*. 1.7. ed. [S.l.], 2006. 54
- 3S - SMART SOFTWARE SOLUTIONS GMBH. *User Manual for PLC Programming with CoDeSys 2.3*. [S.l.], 2010. 38
- BENBOW, D. W.; BROOME, H. W. *The certified reliability engineer handbook*. [S.l.]: ASQ Quality Press, 2012. 22
- BOYER, S. A. *SCADA: supervisory control and data acquisition*. [S.l.]: International Society of Automation, 2009. 28
- CARDOSO, J.; VALETTE, R. *Redes de Petri*. [S.l.]: Editora da UFSC, 1997. 27
- DANEELS, A.; SALTER, W. What is scada. In: *International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems*. [S.l.: s.n.], 1999. p. 339–343. 28, 29, 30
- FESTO. *Distribution Station: Modular Production System*. Alemanha, 2006. 33
- FESTO. *Sorting Station: Modular Production System*. Alemanha, 2006. 36
- FESTO. *Testing Station: Modular Production System*. Alemanha, 2006. 34
- FESTO. *Control Block CPX-CEC*. [S.l.], 2010. 38
- FILHO, E. R.; FERREIRA, C. V. *Projeto do produto*. [S.l.]: Elsevier, 2010. 44
- FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. *Confiabilidade e manutenção industrial*. [S.l.]: Elsevier, 2011. 20
- FONSECA, M. d. O. Comunicação opc, uma abordagem prática. *VI Seminário de Automação de Processos, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, Vitória-ES, Brasil*, 2002. 53
- FUNDAÇÃO CENTRO DE REFERÊNCIA EM TECNOLOGIAS INOVADORAS. *Manual Software ScadaBR*. Espírito Santo - BR, 2010. 46, 53
- JOHNSTONE, R.; KURTZHALTZ, J. E. *Flexible manufacturing system*. [S.l.]: Google Patents, 1984. US Patent 4,472,783. 26
- LEVIN, M. A.; KALAL, T. T. *Improving product reliability: strategies and implementation*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2003. v. 1. 22
- LÉVY, P.; COSTA, C. I. da. *tecnologias da inteligência, As*. [S.l.]: Editora 34, 1993. 30
- LIPTÁK, B. G.; EREN, H. *Instrument Engineers' Handbook, Volume 3: Process Software and Digital Networks*. [S.l.]: CRC press, 2011. v. 3. 31
- MARRANGHELLO, N. *Redes de petri: Conceitos e aplicações*. São Paulo: DCCE/IBILCE/UNESP, 2005. 27

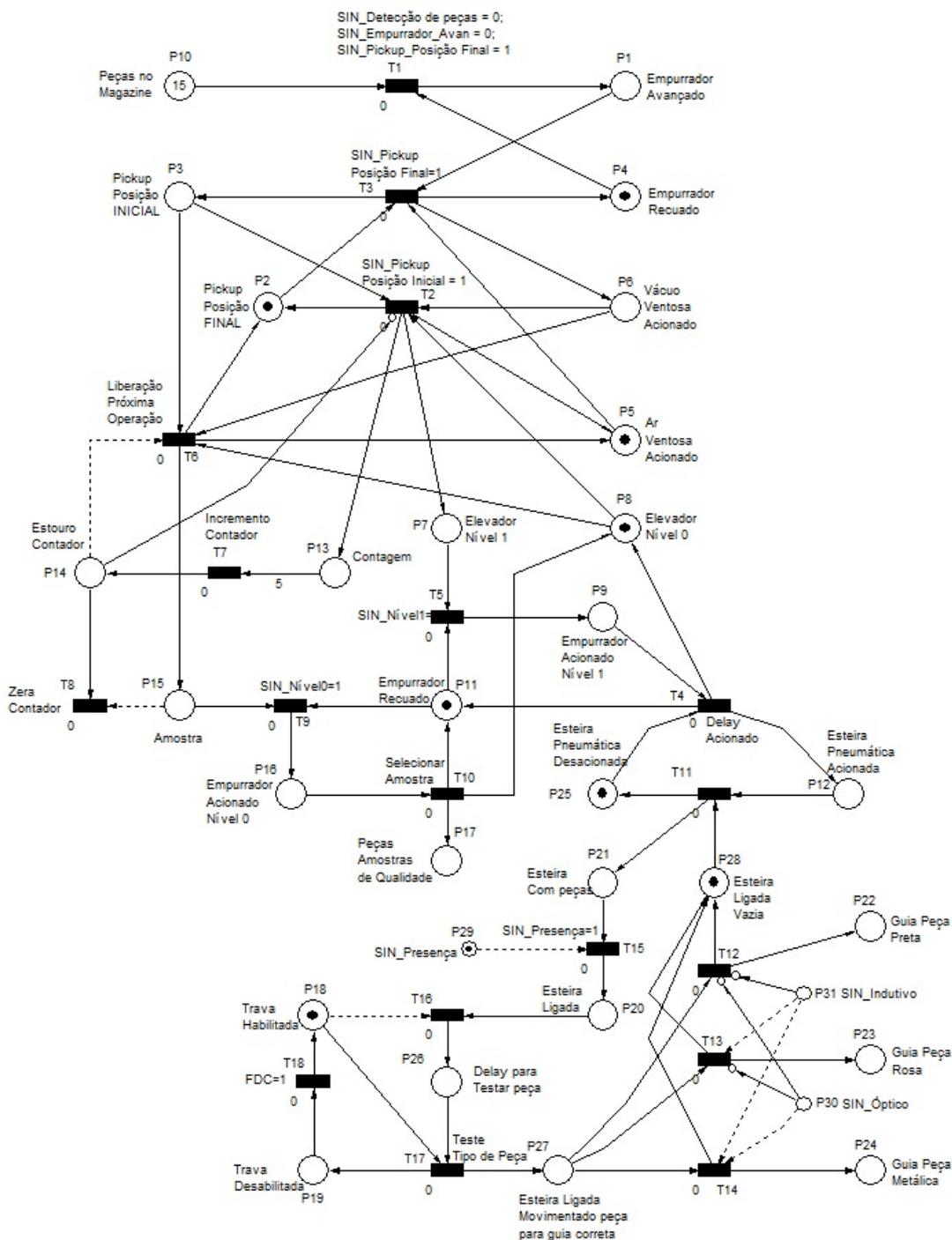
- PALLEROSI, D. C. A. *Confiabilidade, A Quarta Dimensão da Qualidade - Confiabilidade de Sistemas*. [S.l.], 2007. 21, 25, 43, 86, 87, 88
- PRAKASH, A.; CHEN, M. Performance evaluation of flexible manufacturing systems using factorial design techniques. In: . [S.l.: s.n.], 1993. 26
- RELIASOFT CORPORATION. *Availability and the different ways to calculate it*. 2011. Disponível em: <<http://www.weibull.com/hotwire/issue79/relbasics79.htm>>. 22
- ROQUE, L. A. O. L. *Automação de Processos com Linguagem Ladder e Sistemas Supervisórios*. Rio de Janeiro - BR: LTC, 2014. 31
- SAKURADA, E. Y. et al. As técnicas de análise dos modos de falhas e seus efeitos e análise da árvore de falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos. Florianópolis, SC, 2001. 18, 25
- SANTOS, R. S. B. dos. *Modelagem e Análise de Performance de Sistemas Flexíveis de Manufatura Baseado em Redes de Petri Temporizadas: Estudo de Caso da Indústria Automobilística*. Dissertação (Mestrado) — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2008. 17, 18
- SCHMITT, J. C. *Método de análise de falha utilizando a integração das ferramentas DMAIC, RCA, FTA E FMEA*. Dissertação (Mestrado), 2013. 24
- SELLITTO, M. A.; WALTER, C. Avaliação do desempenho de uma manufatura de equipamentos eletrônicos segundo critérios de competição. *Produção*, SciELO Brasil, v. 16, n. 1, 2006. 13, 18
- SILVA, A. P. G. da; SALVADOR, M. O que são sistemas supervisórios? *Este artigo descreve o que é e quais as funcionalidades de um sistema supervisório*, 2005. 28
- SMITH, R.; MOBLEY, R. K. *Rules of thumb for maintenance and reliability engineers*. [S.l.]: Butterworth-Heinemann, 2011. 23, 24
- SOJER, D. et al. A model-driven approach for runtime reliability analysis. In: IEEE. *Dependable Computing (LADC), 2013 Sixth Latin-American Symposium on*. [S.l.], 2013. p. 21–30. 19
- SOURCE, S. A. O. Você já conhece o scadabr? 2010. Disponível em: <<http://www.scadabr.com.br/?q=node/154>>. 46
- TOBIAS, P. A.; TRINDADE, D. *Applied reliability*. [S.l.]: CRC Press, 2011. 22
- XING, L.; AMARI, S. V. Fault tree analysis. In: *Handbook of performability engineering*. [S.l.]: Springer, 2008. p. 595–620. 25
- YENITEPE, R. An application of scada system on a mt educational mps unit. In: IEEE. *Mechatronics, 2004. ICM'04. Proceedings of the IEEE International Conference on*. [S.l.], 2004. p. 487–491. 19



## APÊNDICE A – RESULTADOS OBTIDOS PARA ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE

### A.1 Modelagem em rede de Petri

Figura 27 – Modelagem Final - MPS® FESTO



Fonte: Autora.

## A.2 Métodos de cálculo dos índices de confiabilidade

### A.2.1 Disponibilidade

Figura 28 – Detalhes da *Meta Data* - Disponibilidade

**Point details**

Name:

Export ID (XID):

Data type:

Settable:

Script context:

Point name	Data type	Var	
Times - TOTAL_UpTime	Numeric	<input type="text" value="p85"/>	<input type="checkbox"/>
Times - TOTAL_DownTime	Numeric	<input type="text" value="p84"/>	<input type="checkbox"/>

Script: 

```
A = p85.value/(p85.value+p84.value);  
return A;
```

Update event:

Execution delay (seconds):

Fonte: Autora.

### A.2.2 Minor Stops

Figura 29 – Detalhes do *Meta Data - Minor Stops*

**Point details** 📄 ⌵

**Name**

**Export ID (XID)**

**Data type**

**Settable**

**Script context**  +

Point name	Data type	Var	
Distributing - MinorStops	Numeric	p66	⊖
Sorting - MinorStop	Numeric	p74	⊖
Testing - MinorStops	Numeric	p60	⊖

**Script** ✔

```
MinorStops = p66.value+p74.value+p60.value;
return MinorStops;
```

**Update event**

**Execution delay (seconds)**

Fonte: Autora.

### A.2.3 MTBF

Figura 30 – Detalhes do *Meta Data* - MTBF

**Point details** 🔍 ⌵

Name

Export ID (XID)

Data type

Settable

Script context

Point name	Data type	Var	
Times - TOTAL_UpTime	Numeric	p85	⊖
Distributing - FALHA1	Numeric	p63	⊖
Distributing - FALHA2	Numeric	p64	⊖
Distributing - FALHA3	Numeric	p65	⊖
Testing - FALHA4	Numeric	p57	⊖
Testing - FALHA5	Numeric	p58	⊖
Testing - FALHA6	Numeric	p59	⊖
Sorting - FALHA7	Numeric	p72	⊖
Sorting - FALHA8	Numeric	p73	⊖

Script ✔

```
TOTAL_FAILS =
p63.value+p64.value+p65.value+p57.value+p58.value+p59.value+
p72.value+p73.value;
MTBF = p85.value/TOTAL_FAILS;
return MTBF;
```

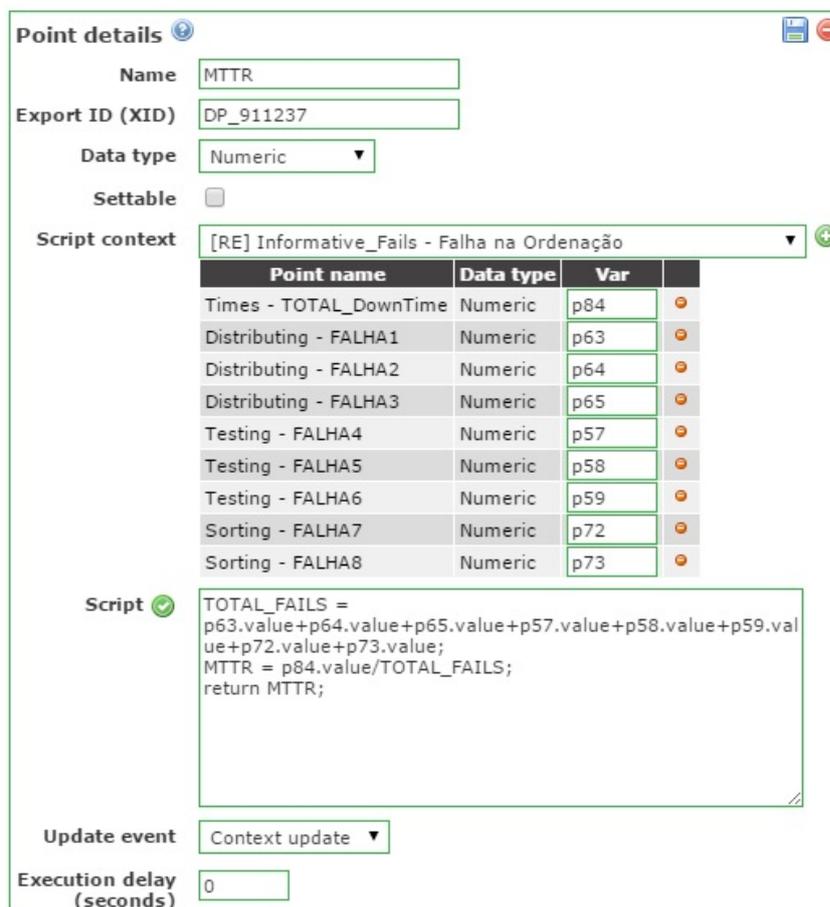
Update event

Execution delay (seconds)

Fonte: Autora.

## A.2.4 MTTR

Figura 31 – Detalhes do *Data Point* - MTTR



**Point details**

Name: MTTR

Export ID (XID): DP\_911237

Data type: Numeric

Settable:

Script context: [RE] Informativo\_Fails - Falha na Ordenação

Point name	Data type	Var
Times - TOTAL_DownTime	Numeric	p84
Distributing - FALHA1	Numeric	p63
Distributing - FALHA2	Numeric	p64
Distributing - FALHA3	Numeric	p65
Testing - FALHA4	Numeric	p57
Testing - FALHA5	Numeric	p58
Testing - FALHA6	Numeric	p59
Sorting - FALHA7	Numeric	p72
Sorting - FALHA8	Numeric	p73

Script:

```
TOTAL_FAILS =  
p63.value+p64.value+p65.value+p57.value+p58.value+p59.val  
ue+p72.value+p73.value;  
MTTR = p84.value/TOTAL_FAILS;  
return MTTR;
```

Update event: Context update

Execution delay (seconds): 0

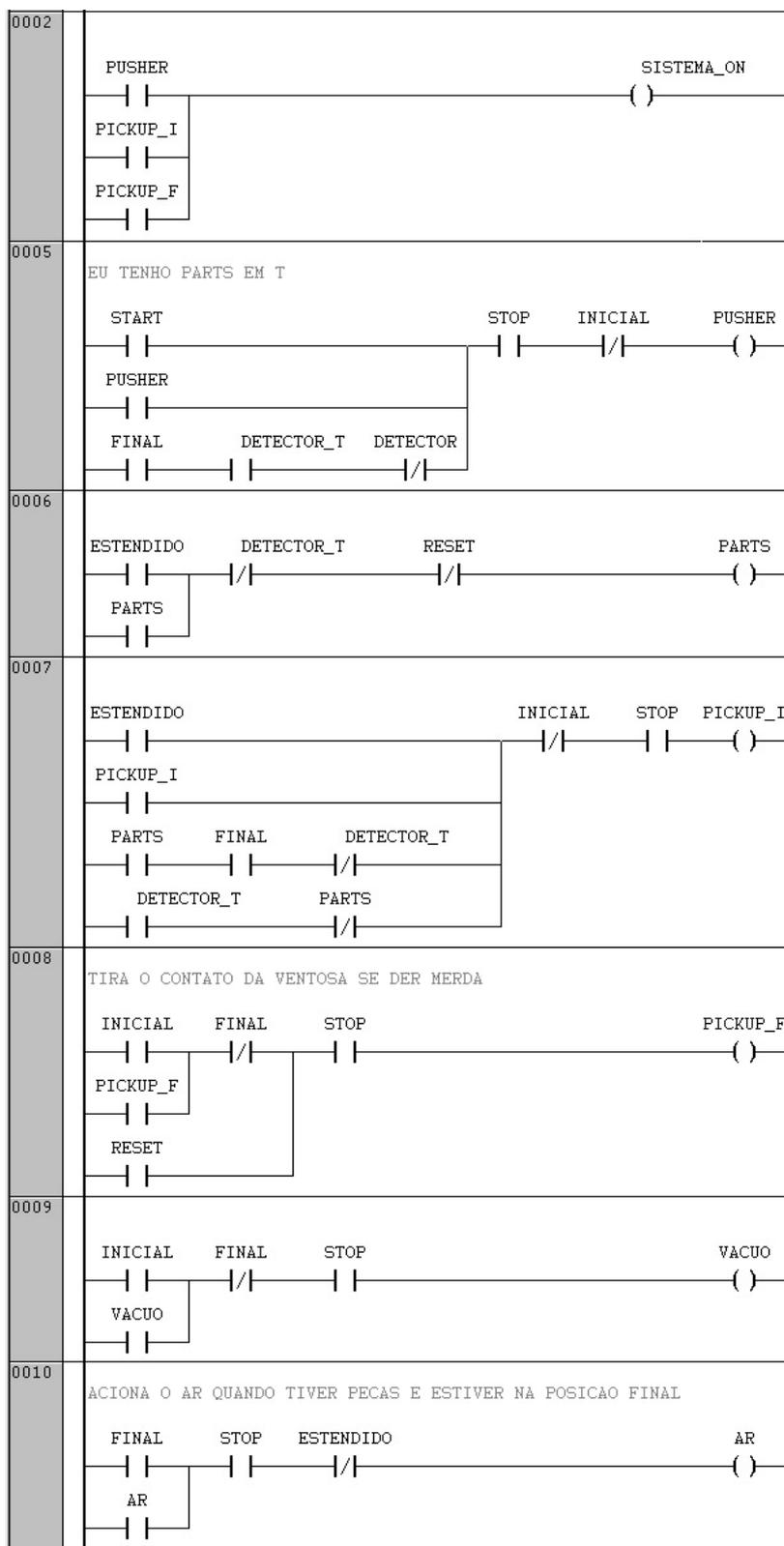
Fonte: Autora.

## A.3 Programa LADDER

Nas seções seguintes é possível visualizar os arquivos dos códigos que foram utilizados para realizar as sequências automáticas e os contadores de falha, para cada CLP CPX-CEC FESTO e seu respectivo módulo.

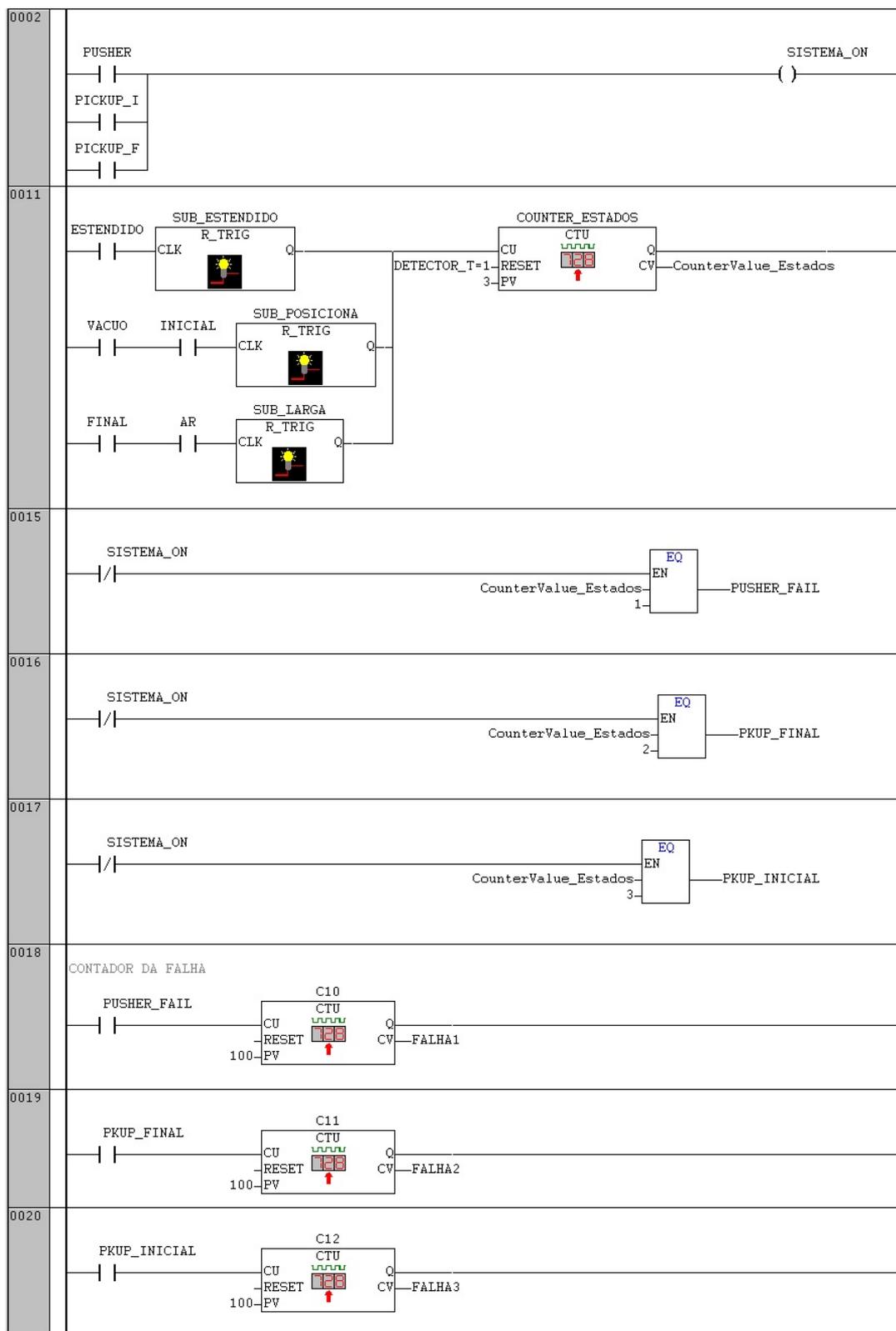
### A.3.1 Módulo de Distribuição

Figura 32 – Programa *LADDER* - Operação Automática - *Distributing*



Fonte: Autora.

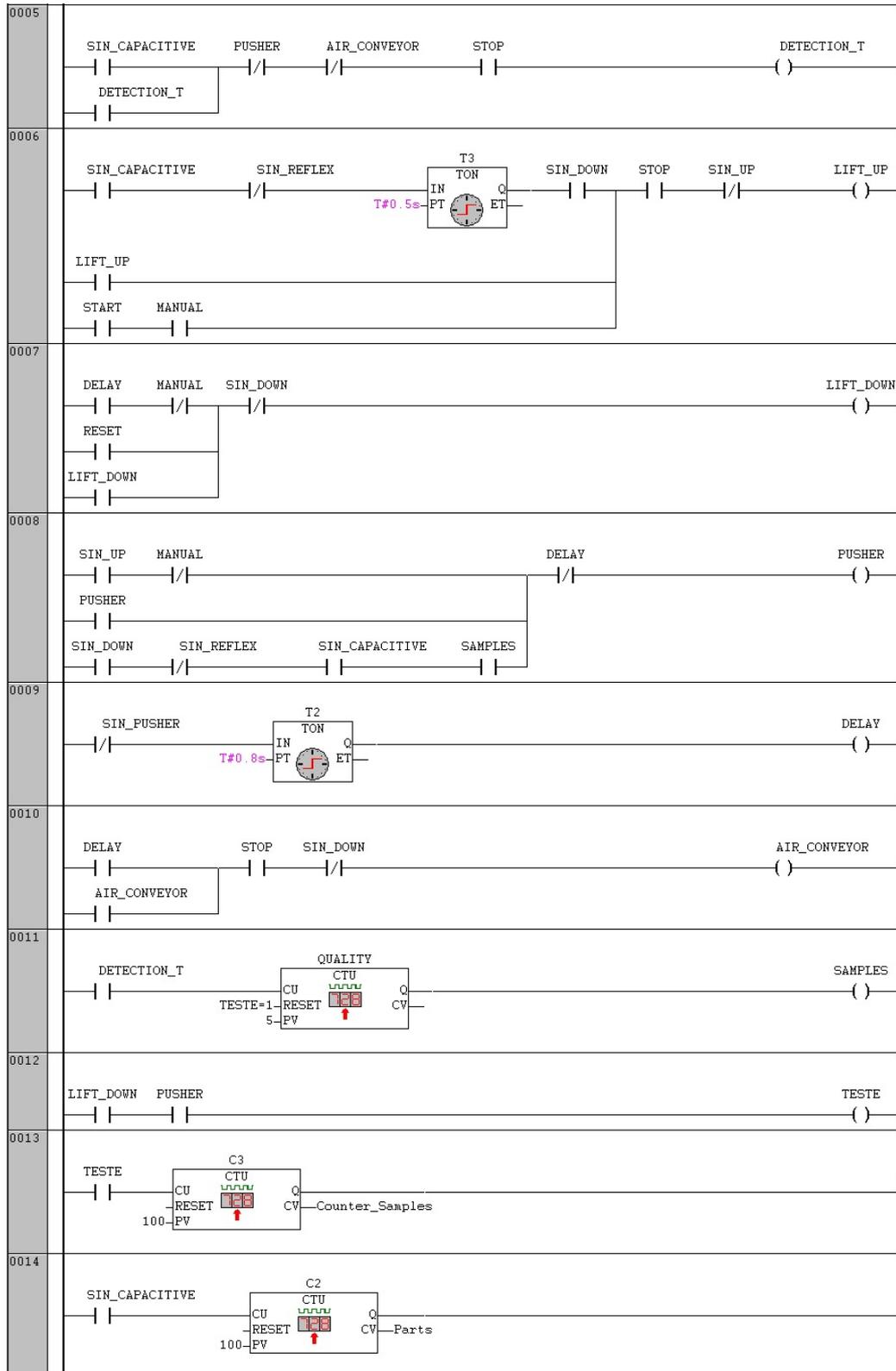
Figura 33 – Programa - Contagem de Falhas - *Distributing*



Fonte: Autora.

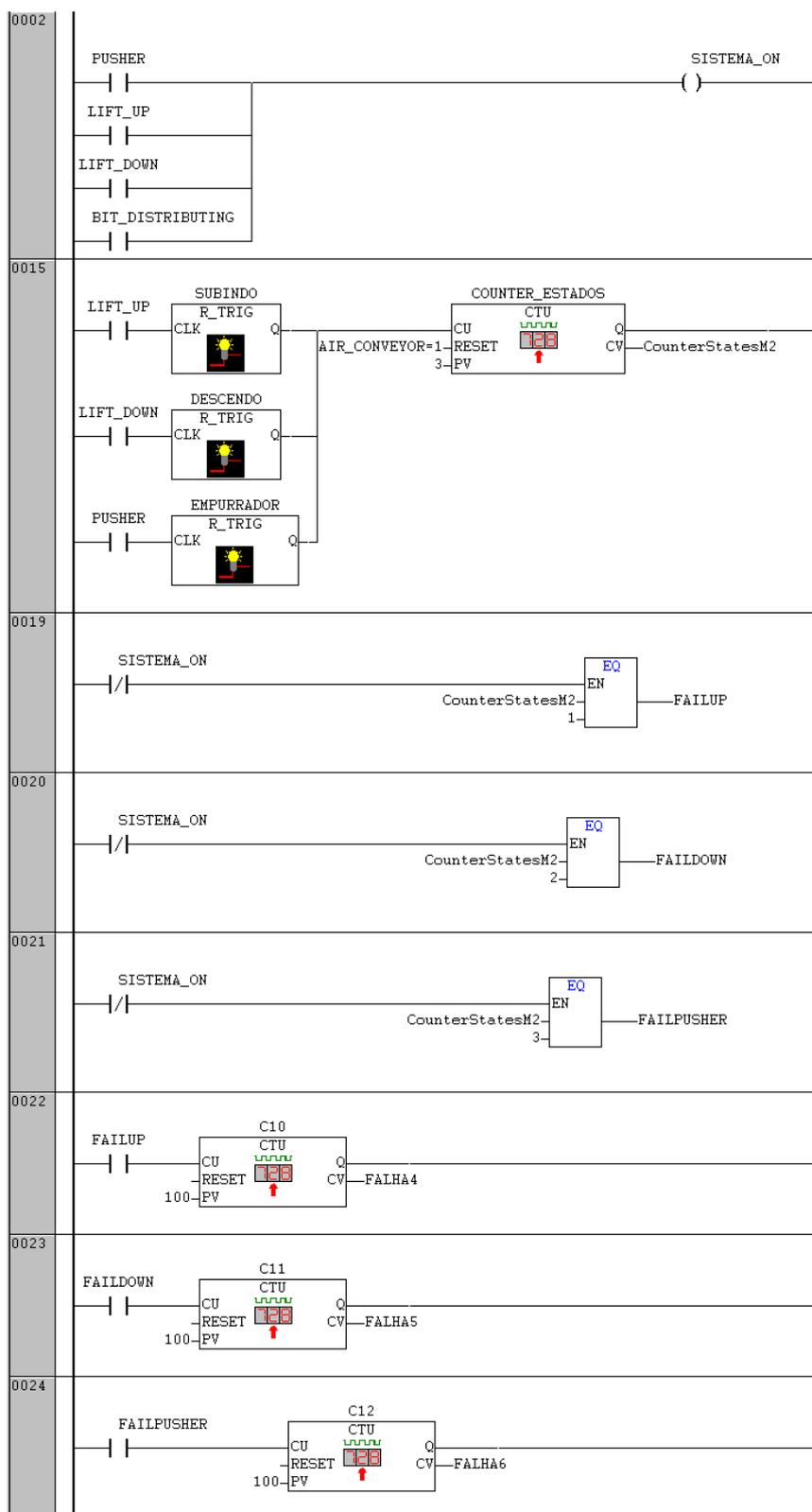
### A.3.2 Módulo de Teste

Figura 34 – Programa LADDER - Operação Automática - *Testing*



Fonte: Autora.

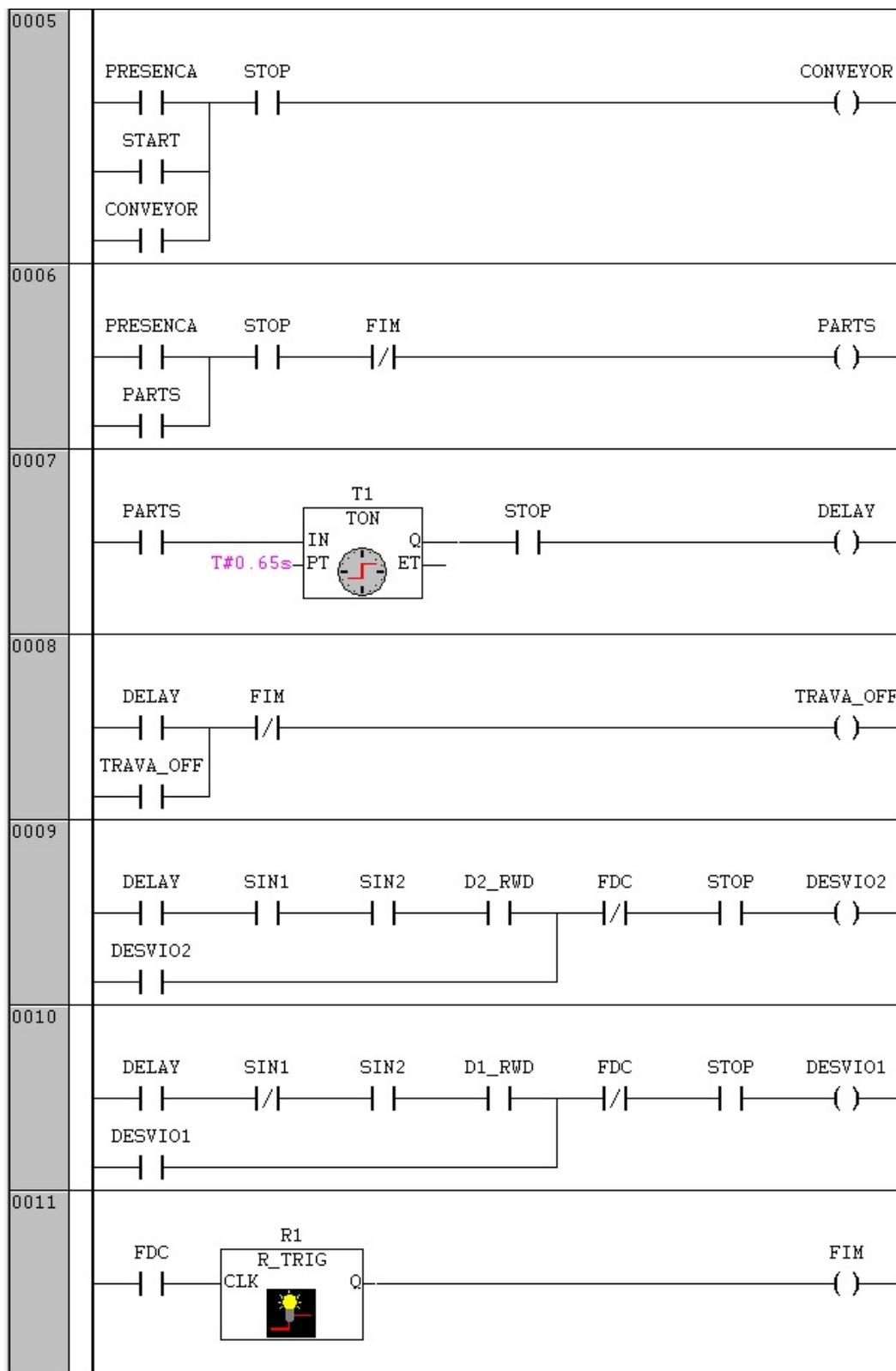
Figura 35 – Programa - Contagem de Falhas - *Testing*



Fonte: Autora.

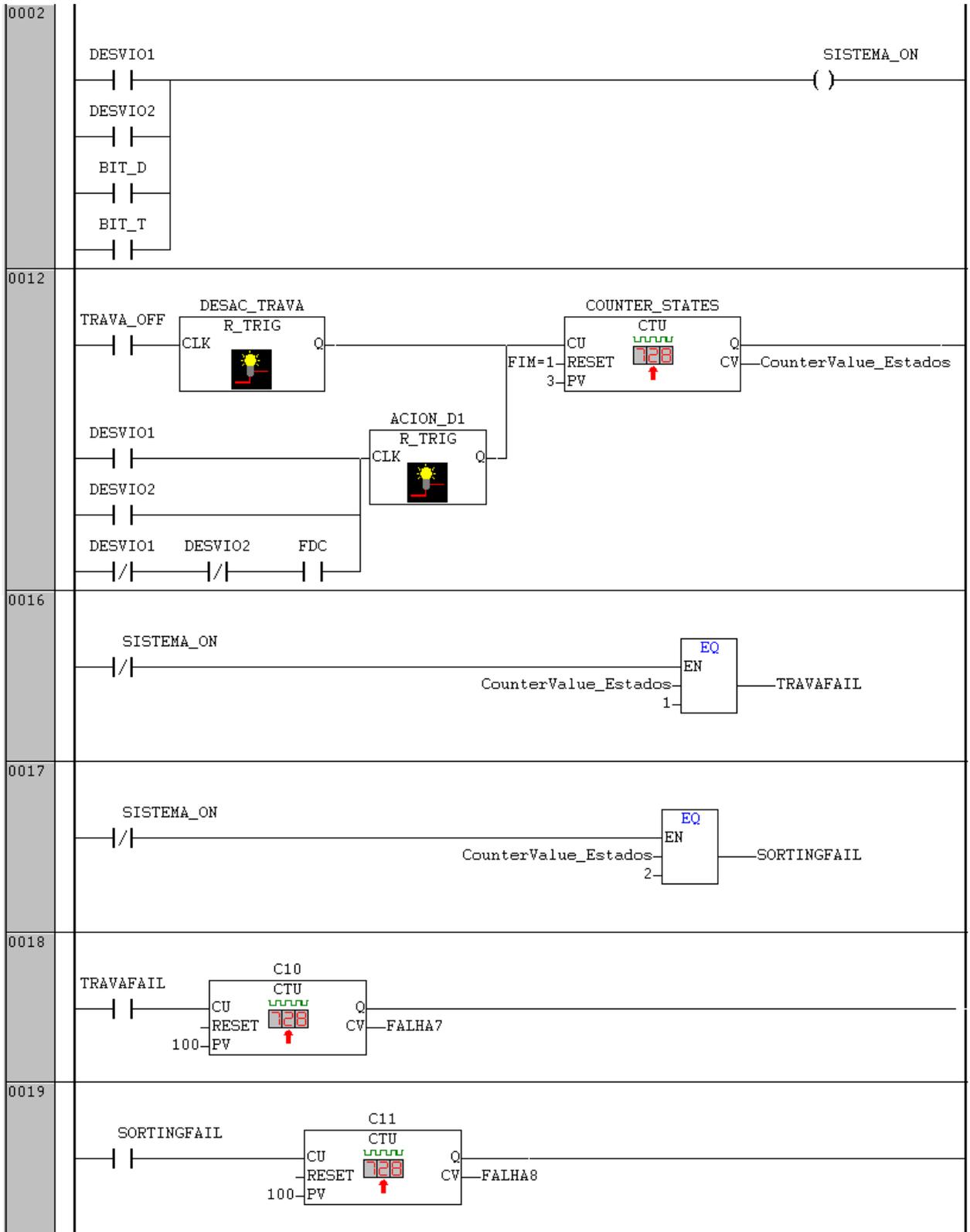
### A.3.3 Módulo de Ordenação

Figura 36 – Programa LADDER - Operação Automática - *Sorting*



Fonte: Autora.

Figura 37 – Programa - Contagem de Falhas - *Sorting*



Fonte: Autora.

## ANEXO A – TABELAS DOS ÍNDICES PARA CÁLCULO DO NPR

### A.1 Índice de criticidade ( $I_C$ ou NPR)

Tabela 13 – Avaliação do Risco baseado no Índice de Criticadade da falha - Adaptada

Valor de Escala	0 - 150	151 - 300	301 - 600	601 - 900	901 - 1000
Classificação do Risco	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto

Fonte: (PALLEROSI, 2007)

### A.2 Índice de ocorrência ( $I_O$ )

Tabela 14 – Avaliação do Índice da Ocorrência da Falha - Adaptada

Índice de Ocorrência		Probabilidade de Ocorrência	Ocorrência
Escala	Frequência		
1	1:1000000	Improvável (muito remota)	Excepcional
2	1:100000	Muito pequena (remota)	Muito poucas vezes
3	1:10000	Pequena	Poucas vezes
4	1:5000	Mediana (moderada)	Algumas vezes (ocasionais)
5	1:2000		
6	1:1000		
7	1:500	Alta (significativa)	Frequentes
8	1:100		
9	1:10	Muito alta	Alarmantes (inevitáveis)
10	<1:5		

Fonte: (PALLEROSI, 2007)

### A.3 Índice de gravidade ( $I_G$ )

Tabela 15 – Avaliação do Índice da Gravidade da Falha - Adaptada

Índice de Gravidade Escala	Efeito Possível	Processo
1	Muito pequeno (sem importância)	Falha de menor importância, insignificadamente
2 3	Pequeno (pouco significativo)	Provoca uma pequena redução da performance do processo e gradual ineficiência, que não compromete significativamente a qualidade e a produção
4 5 6	Mediano (moderado)	Gera uma ineficiência moderada e redução da produtividade. Causa frustração ao usuário, que ficará insatisfeito e reclamará do ocorrido
7 8	Grave (significativa)	Na maioria das vezes a falha interrompe a produção, e gera alta taxa de refugos. O usuário não consegue manter a produção e ficará muito insatisfeito
9 10	Muito Grave (Catastrófico)	A produção é interrompida, gerando uma rejeição pelo usuário

Fonte: (PALLEROSI, 2007)

## A.4 Índice de detecção ( $I_D$ )

Tabela 16 – Avaliação do Índice de Detecção da Falha - Adaptada

Índice de Detecção Escala	Probabilidade da falha chegar ao usuário	Probabilidade de detecção da falha	Processo
1	0 - 5	Muito alta	Facilmente detectado em todas as etapas de produção
2	6 - 15	Alta	Na quase totalidade (90%) das ocorrências as ações corretivas são tomadas para manter o controle do processo
3	16 - 25		
4	26 - 35	Mediana (moderada)	Na maioria (>50%) dos descontroles do processo podem ser tomadas ações corretivas
5	36 - 45		
6	46 - 55		
7	56 - 65	Pequena	Significativa quantidade de peças produzidas (até 90%) podem estar fora das especificações
8	66 - 75		
9	76 - 85	Muito pequena	Não existe nenhum controle eficiente ou inspeção frequente
10	86 - 100	Remota (Improvável)	Exigem controles complexos, geralmente de alto custo, principalmente quanto ao material, normalmente correspondente a falhas ocultas que só podem ser detectadas por Ensaio Acelerado

Fonte: (PALLEROSI, 2007)