

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL

ELISEU RIVA BOARIA

**PROTÓTIPO DE UM SISTEMA PARA CONTROLE E APOIO À GESTÃO DA
MANUFATURA EM UMA EMPRESA DO SETOR METALÚRGICO USANDO O
SISTEMA MES**

CAXIAS DO SUL

2014

ELISEU RIVA BOARIA

**PROTÓTIPO DE UM SISTEMA PARA CONTROLE E APOIO À GESTÃO DA
MANUFATURA EM UMA EMPRESA DO SETOR METALÚRGICO USANDO O
SISTEMA MES**

Trabalho de Conclusão de Curso para
obtenção do grau de Bacharel em Ciência da
Computação pela Universidade de Caxias do
Sul – Centro de Computação e Tecnologia
da Informação CCTI.

Orientador: Prof. Dra. Helena Graziottin
Ribeiro.

CAXIAS DO SUL

2014

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família e namorada, que sempre me apoiaram e incentivaram a estudar, em especial à minha mãe, professora de matemática que ensinou os primeiros passos nesta área e foi fundamental na minha formação.

Agradeço à Professora Helena, pela dedicação, paciência e orientações durante todo este trabalho.

Agradeço à empresa pela disponibilidade de tempo oportunizada e confiança no trabalho a ser desenvolvido. Agradeço também a todos os profissionais que se envolveram e colaboraram para que este trabalho pudesse se tornar realidade, com destaque para o setor de TI, que esteve constantemente presente na elaboração e desenvolvimento do projeto.

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo a implementação de um sistema de integração de dados entre os níveis gerenciais de uma empresa e o seu chão de fábrica. Esta integração diz respeito, principalmente, à coleta e a análise em tempo real das atividades e informações pertinentes a um processo produtivo. Para isto, são usados os conceitos definidos pelo MES (Manufacturing Execution System). Uma das funcionalidades do MES é a coleta e integração de dados entre sistemas de automação e sistemas de informação. O trabalho aborda então, as tecnologias envolvidas nestes dois tipos de sistemas e a forma de integração entre eles. Também são discutidos os modelos e características do MES, até chegar-se a uma proposta de solução que atenda as necessidades atuais da empresa em relação à melhoria contínua de seus processos de produção.

Palavras-chave: MES, sistemas de informação, sistemas de automação, integração de dados.

ABSTRACT

The objective of this work is the implementation of a data integrating system between levels of management of a company and its factory floor. This integration mainly relates to the collection and analysis of real-time activities and information relevant to a production process. This work uses the concepts defined by MES (Manufacturing Execution System). One of the features of MES is the collect and integration of data between automation and information systems. This work then discusses the technologies involved in these two types of systems and how they integrate. The models and features of MES also are discussed in order to define a proposed solution that meets the current needs of the company in relation to the continuous improvement of its production processes.

Keywords: MES, information systems, automation systems, data integration.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Módulos de um sistema ERP	17
Figura 2 – Componentes de um sistema de automação	19
Figura 3 – Protocolos e redes de comunicação industrial	21
Figura 4 – Rede <i>ModBus</i> RS-485	22
Figura 5 – Modelo de camadas <i>EtherNet/IP</i>	24
Figura 6 – Posicionamento do MES	25
Figura 7 - Modelo em três níveis da AMR Research.....	27
Figura 8 – Modelo de Contexto	29
Figura 9 – Modelo Funcional.....	29
Figura 10 – Modelo C-MES	35
Figura 11 –Modelo Atual MESA	36
Figura 12 – <i>Layout</i> da Linha de Produção do Produto Y.....	39
Figura 13 – Desenvolvimento e Integração dos Módulos do MES	40
Figura 14 – Arquitetura para integração de dados entre sistemas de automação e sistemas de informação	42
Figura 15 – Fluxo Para Coleta de Dados	43
Figura 16 – Diagrama de Caso de Uso para o Cenário de Análise de Performance	46
Figura 17 – Diagrama de Caso de Uso para o Cenário de Gerenciamento do Processo	48
Figura 18 – Fluxo do Sistema de Coleta de Dados no Chão de Fábrica.....	50
Figura 19 – Modelo em Camadas do Sistema MES.....	51
Figura 20 – Tabelas do Banco de Dados	52
Figura 21 – IHM Utilizada na Coleta de Dados de Parada e <i>Setup</i>	53
Figura 22 – Estrutura de Registros do CLP	54
Figura 23 – Tela Para Seleção da Ordem de Fabricação	56
Figura 24 – Tela Principal do Sistema MES.....	56
Figura 25 – Telas de Alerta e Monitoração de Paradas e Setup	57
Figura 26 – Fluxograma Cadastro de Parada Elétrica	59

LISTA DE SIGLAS

AMR: Advanced Manufacturing Research.

CIP: Common Industrial Protocol.

CLP: Controlador Lógico Programável.

C-MES: Collaborative Manufacturing Execution System.

ERP: Enterprise Resources Planning.

EUA: Estados Unidos da América.

IHM: Interface Homem-Máquina.

ISA: International Society of Automation.

MES: Manufacturing Execution System.

MESA: Manufacturing Enterprise Solutions Association.

MRP II: Material Resources Planning.

MRP: Material Requirements Planning.

MVP: Model-View-Presenter

ODVA: Open DeviceNet Vendors Association.

PCP: Programação e controle da produção.

SAP: Sistema Administração da Produção.

TCP: Transmission Control Protocol.

UDP: User Datagram Protocol.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	INTEGRAÇÕES DE DADOS ENTRE SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO .	13
2.1	SISTEMAS DE INFORMAÇÃO	14
2.1.1	Sistemas de administração da produção (SAP)	14
2.1.1.1	Sistemas MRP/MRP II.....	15
2.1.1.2	Sistemas de programação da produção com capacidade finita	16
2.1.1.3	Sistemas ERP	16
2.1.1.4	Sistemas MES	18
2.2	SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO	19
2.2.1	Evolução dos sistemas de automação	19
2.2.2	Protocolos e redes de comunicação industriais	20
2.2.2.1	Protocolo <i>MODBUS-RTU</i> sobre rede <i>RS-485</i>	22
2.2.2.2	Protocolo <i>ETHERNET/IP</i>	23
2.3	INTEGRAÇÃO ENTRE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO	24
3	MANUFACTURING EXECUTION SYSTEM - MES	25
3.1	BENEFÍCIOS DO MES.....	26
3.2	CONCEITOS, ORIGENS E EVOLUÇÃO DO MES	27
3.2.1	Conceituação segundo a MESA	28
3.2.1.1	1º Versão do modelo – Modelo de Contexto.....	28
3.2.1.2	2º Versão do modelo – <i>C-MES</i>	34
3.2.1.3	3º Versão do modelo – <i>MESA MODEL</i>	35
3.3	RELAÇÃO ENTRE OS MODELOS	37
4	PROPOSTA DE SOLUÇÃO	38
4.1	DESCRIÇÃO DA EMPRESA.....	38
4.2	DESCRIÇÃO DO PROCESSO DO MES	39
4.3	FUNCIONALIDADES A SEREM DESENVOLVIDAS	40
4.3.1	Aquisição e coleta de dados	41
4.3.1.1	Cenário atual da coleta de dados.....	41
4.3.1.2	Cenário futuro da coleta de dados.....	41
4.3.2	Análise de Performance	44
4.3.2.1	Cenário atual 1: Emissão e acompanhamento de uma ordem de fabricação.	44
4.3.2.2	Cenário futuro 1: Emissão e acompanhamento de uma ordem de fabricação.	44

4.3.2.3	Cenário atual 2: Acompanhamento dos tempos de parada e setup	45
4.3.2.4	Cenário futuro 2: Acompanhamento dos tempos de parada e setup	46
4.3.3	Gerenciamento do processo	47
4.3.3.1	Cenário atual do Acompanhamento da Produção	47
4.3.3.2	Cenário futuro do Acompanhamento da Produção	47
4.4	RECURSOS UTILIZADOS NO DESENVOLVIMENTO	48
5	DESENVOLVIMENTO DA PROPOSTA DE SOLUÇÃO	49
5.1	ARQUITETURA GERAL DO SISTEMA MES	49
5.2	DESENVOLVIMENTO DO MÓDULO DE AQUISIÇÃO E COLETA DE DADOS E DO MÓDULO DE CONTROLE	52
5.3	DESENVOLVIMENTO DO MÓDULO DE ANÁLISE DE PERFORMANCE	55
5.4	DESENVOLVIMENTO DO MÓDULO DE GERENCIAMENTO DE PROCESSO	58
5.5	FLUXO DE UTILIZAÇÃO PARA CADASTRO DE PARADAS	58
6	CONCLUSÃO.....	60
	REFERÊNCIAS.....	63
	ANEXO A – TABELA DE INSERÇÃO DE PARADAS E <i>SETUP</i>	65
	ANEXO B – TABELA DE INSERÇÃO DE PEÇAS PRODUZIDAS	66
	ANEXO C – TABELA PARA PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO	67
	ANEXO D – FRAME DE REQUISIÇÃO DE LEITURA DE REGISTRADOR DO <i>ETHERNET/IP</i>	68

1 INTRODUÇÃO

Qualquer organização que deseje destacar-se precisa de uma estratégia que ofereça ao cliente um valor agregado adicional, tal como, por exemplo, alta flexibilidade de produção, ciclos de produção mais curtos e confiabilidade na entrega (KLETTI, 2007).

Segundo KLETTI (2007), estas propriedades não são criadas pela produção, mas sim pelos processos. A autora afirma que a eficiência econômica para a criação de valor não é uma propriedade do produto, mas sim do processo. Isto significa que os determinantes de sucesso de uma empresa não se encontram na sua capacidade de produção, mas sim na capacidade e eficiência de seus processos.

Controlar os processos da organização torna-se então uma premissa básica para as empresas que desejam conquistar novos mercados e se manterem competitivas frente aos concorrentes.

O sucesso de tais esforços depende principalmente da capacidade de se monitorar o processo em questão, fornecendo informações precisas e confiáveis sobre o seu desempenho.

A utilização de sistemas de informação no controle dos processos de produção pode trazer a vantagem competitiva que as empresas tanto buscam.

Segundo LAUDON (2007) cada vez mais empresas estão utilizando sistemas de informação para uma melhor gerência e controle da organização. A utilização de sistemas de informação dentro das organizações deve trazer uma melhora na gerência e no controle dos processos, aumentando a sua vantagem competitiva no mercado.

NEVES (2008) afirma que a competição, a necessidade de conquistar mercados, atender às demandas por produtos, a busca de melhores margens, melhoria da qualidade e da produtividade têm levado as empresas a investirem ao longo do tempo em processos informatizados, que melhorem a gestão da produção.

Esses investimentos concentraram-se principalmente na aquisição e implantação de sistemas integrados de gestão, onde os sistemas ERPs (Enterprise

Resource Planning) tiveram grande destaque. Estes sistemas têm por objetivo o registro e o controle de todos os processos e transações da empresa, incluindo operacionais, produtivos, administrativos e comerciais (NEVES, 2008).

Embora os sistemas ERP pareçam ser um sistema completo, capaz de integrar toda a empresa, estudos tem demonstrado que existe uma lacuna entre os ERPs e o chão de fábrica, ou seja, os sistemas ERPs não possuem funcionalidades que suportem as atividades que ocorrem no ambiente operacional (LAUDON, 2007).

NEVES (2008), afirma que se tem observado uma significativa lacuna que distancia os sistemas ERP e as tecnologias utilizadas no chão de fábrica, no que diz respeito à troca de informações entre os mesmos.

BARTHOLOMEW (2006) afirma que o ERP foi projetado para a gestão de alto nível, e por isso se manteve distante do mundo real do chão de fábrica.

Segundo NEVES (2008), o processo de integração do chão de fábrica com os níveis gerenciais dos sistemas ERP passa a ser de grande importância, pois atinge diretamente o objetivo atual da empresa que é ganhar qualidade da informação gerada e compartilhar de forma eficiente e rápida, de maneira a ganhar confiabilidade, com redução do erro e rapidez da geração da informação para as demais áreas da empresa. Foi então criada uma camada intermediária para realizar a integração de dados entre os sistemas gerenciais da empresa com as atividades ocorridas no chão de fábrica. A esta camada se deu o nome de MES.

Segundo ROUSE (2008), o MES é um software complexo que pode acompanhar, monitorar e gerenciar praticamente todos os processos de fabricação, sistema, operação e função dentro de várias instalações para fornecer aos gestores informações importantes e detalhadas para gerir os seus negócios.

MELLO (2012) ainda define que as soluções que recebem o rótulo de “MES” são tipicamente sistemas computadorizados que se encarregam de desempenhar um conjunto de atividades ou funções, cujo objetivo é gerir as operações de manufatura. Essa gestão visa basicamente melhorar a produtividade, diminuindo o tempo necessário para a produção e melhorando a qualidade dos itens produzidos. Para tanto, soluções MES se valem da obtenção e análise contínua de informações pertinentes à produção e aos recursos materiais e humanos utilizados nesta.

LAUDON (2007) afirma que muitos administradores trabalham às cegas, sem nunca poder contar com a informação certa na hora certa para tomar uma decisão abalizada. O resultado é a produção insuficiente ou excessiva de bens de serviços, a má alocação de recursos e a falta de sincronismo entre as atividades.

Os sistemas MES suprem justamente esta carência que os gestores têm em obter dados precisos e confiáveis do chão de fábrica, pois se valem de meios eletrônicos e automatizados para a obtenção das informações.

O cenário atual impõe esta carência pelo modo com que os dados são coletados no ambiente operacional. Em muitas empresas, o controle da produção ainda é feito através de planilhas do Excel ou mesmo em tabelas impressas que são alimentadas pelos colaboradores da empresa.

CAETANO (2000) afirma que tradicionalmente, em empresas de manufatura discreta, onde o produto é montado no decorrer de uma linha de produção, os métodos de monitoramento da produção são baseados em apontamentos manuais. Porém esses métodos não conseguem fornecer uma imagem instantânea do sistema produtivo.

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma proposta de solução baseada nos sistemas MES e implantar um protótipo deste sistema em um sub processo produtivo dentro da organização. O sistema desenvolvido deverá ser responsável pela coleta automática dos dados do chão de fábrica e a geração de informações úteis à empresa.

Apesar dos sistemas MES terem grande enfoque na sua integração com os sistemas ERP, por hora, não é objetivo deste trabalho realizar esta integração.

Com a primeira etapa de desenvolvimento do MES pretende-se proporcionar aos gestores a obtenção de dados e a análise de informações atualizadas sobre a real situação do chão de fábrica.

Nos capítulos seguintes serão abordados todos os conceitos envolvidos e tecnologias utilizadas para o desenvolvimento de um sistema MES. É importante salientar neste momento, que para o desenvolvimento do MES é necessário uma forte integração entre TA (Tecnologia da Automação) e TI (Tecnologia da Informação).

O Capítulo 2 apresenta então uma breve descrição sobre a evolução dos sistemas de informação dentro das organizações, com foco nos sistemas de administração da produção. Também aborda as principais tecnologias de rede e automação envolvidas no MES, finalizado com uma ideia de como se pode realizar a integração de dados entre um sistema de automação e um sistema de informação.

O Capítulo 3 aborda o MES propriamente dito. Modelos do sistema, funcionalidades, benefícios, organizações envolvidas, arquiteturas, entre outros, são temas deste capítulo.

O Capítulo 4 apresenta uma proposta de solução que utiliza os conceitos e características do MES para uma coleta automática de dados a partir do chão de fábrica e a geração de informações em tempo real do ocorrido no processo de produção.

O Capítulo 5 descreve a forma como a proposta de solução foi desenvolvida, apresentando detalhes de implementação e dificuldades encontradas no decorrer do processo.

Por fim, o Capítulo 6 apresenta uma breve conclusão do projeto, levando em consideração os objetivos esperados e os objetivos alcançados. Também sugere-se uma linha de estudos para quem pretende dar continuidade à este projeto.

2 INTEGRAÇÕES DE DADOS ENTRE SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

As empresas estão sempre tentando melhorar a eficiência de suas operações a fim de conseguir maior lucratividade. Das ferramentas de que os administradores dispõem, as tecnologias e os sistemas de informação estão entre as mais importantes para atingir níveis de eficiência e produtividade nas operações. (LAUDON, 2007)

No que diz respeito aos sistemas de informações utilizados nas indústrias de manufatura, estes muitas vezes não conseguem desempenhar o seu papel com a máxima eficiência sem que haja uma integração de dados eficiente e confiável entre ele e os sistemas de controle do chão de fábrica.

Para terem-se índices e gráficos confiáveis de produtividade, por exemplo, é premissa básica que os dados inseridos no sistema estejam corretos.

Relatórios de produtividade enviados por papel, inventários que apontam diferenças enormes, ordens de manutenção que são abertas após horas de linha parada, pouco controle sobre horas trabalhadas e nenhuma precisão sobre as informações que são digitadas ao fim do mês, ou com sorte, no fim do turno, (OLIVEIRA, 2008) são exemplos de uma integração falha entre chão de fábrica e sistema.

A coleta automática de dados no chão de fábrica através de sistemas de automação, integrados com os sistemas de informação, garante a inserção de informações atualizadas sobre o que está ocorrendo na produção e pode ser considerada uma estratégia para a solução deste problema.

Para um melhor entendimento sobre como esta integração de dados é realizada, deve-se entender alguns conceitos básicos sobre sistemas de informação e sistemas de automação. Quais componentes fazem parte de cada tipo de sistema e as tecnologias disponíveis para executar esta integração são temas deste capítulo.

2.1 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

Conforme LAUDON (2007), um sistema de informação pode ser definido tecnicamente como um conjunto de componentes inter-relacionados que coletam (ou recuperam), processam, armazenam e distribuem informações destinadas a apoiar a tomada de decisões, a coordenação e o controle de uma organização.

As empresas beneficiam-se cada vez mais da utilização dos sistemas de informação. MENDES (2002) afirma que os sistemas de informação permitem controlar toda a empresa, da área de produção à área de finanças, registrando e processando cada fato novo na engrenagem corporativa e distribuindo a informação de maneira clara e segura, em tempo real.

2.1.1 Sistemas de administração da produção (SAP)

Chamamos genericamente Sistemas de Administração da Produção (SAP) os sistemas de informação para apoio à tomada de decisões, táticas e operacionais, referentes às seguintes questões logísticas básicas (CORRÊA, 2001):

- O que produzir e comprar;
- Quanto produzir e comprar;
- Quando produzir e comprar;
- Com que recursos produzir.

Existem diversos *softwares* no mercado dispostos a executarem estas funções. Dentre eles, podem-se citar os sistemas MRP (Material Requirement Planning), MRP II (Manufacturing Resource Planning), os sistemas de programação com capacidade finita e por último os sistemas ERP.

Uma característica peculiar destes tipos de sistemas de informações é a necessidade que eles têm em obter dados precisos e confiáveis referentes aos processos produtivos pelos quais são responsáveis. Muitas vezes a utilização de dados incorretos, ou até a falta destes dados, impede que os sistemas realizem com eficiência e rapidez a tarefa para a qual foram projetados.

2.1.1.1 Sistemas MRP/MRP II

Os sistemas MRP e MRP II são sistemas SAP de grande porte, amplamente utilizados nas indústrias cujos principais objetivos são garantir o cumprimento dos prazos de entrega dos pedidos dos clientes com a mínima formação de estoques, planejando as compras e a produção dos itens para que ocorram apenas nos momentos e nas quantidades corretas.

Os sistemas MRP partem do princípio de que a planta de produção e os recursos para produzir um item estarão sempre disponíveis, porém é impossível ter uma garantia de que a empresa sempre disponibilizará de mão de obra suficiente para a fabricação do produto e que não existirão falhas ou gargalos nos processos produtivos CORRÊA (2001).

Para isso, surgiram os sistemas MRP II, uma evolução do MRP contendo algumas características que lhes permitem ter uma visão e um planejamento muito mais amplo sobre um plano de produção.

O MRP II cobre as lacunas deixadas pelo seu antecessor, como o planejamento de equipamentos disponíveis para fabricação do produto e disponibilidade de mão de obra. Ainda conta com uma série de cálculos complexos que levam em conta o roteiro de produção, os tempos envolvidos em cada operação e o *lead time*¹ do produto. O MRP II se diferencia do MRP pelo tipo de decisão de planejamento que orienta; enquanto o MRP orienta as decisões de o que, quanto e quando produzir e comprar, o MRP II engloba também as decisões referentes à como produzir CORRÊA (2001).

Mesmo com um propósito muito mais abrangente que sua versão anterior o MRP II ainda manteve, do ponto de vista da integração de sistemas, um distanciamento muito grande do chão de fábrica. O MRP II pela quantidade de variáveis manipuladas apresenta um tempo de resposta muito longo e ignora por muitas vezes eventos não planejados ocorridos no chão de fábrica, como defeitos no material e quebra de máquinas.

¹ Período entre o início de uma atividade produtiva e o seu término.

2.1.1.2 Sistemas de programação da produção com capacidade finita

A programação da produção consiste em definir quais atividades produtivas devem ser realizadas, quando e com quais recursos devem ser executadas. Dependendo do sistema produtivo da organização este conjunto de decisões pode ser mais, ou menos complexo (CORRÊA, 2001).

CORRÊA (2001) cita que problemas como quebra de máquinas, falta de matéria prima, operações de retrabalho e falta de funcionários podem influenciar de diferentes formas na obtenção do objetivo final.

Os sistemas de programação da produção com capacidade finita têm a característica principal de considerar fatores como capacidade produtiva, características tecnológicas, disponibilidade de mão de obra e maquinário. A avaliação de todas essas variáveis tem por objetivo garantir que o programa de produção resultante seja viável, ou seja, caiba dentro da capacidade disponível (CORRÊA, 2001).

Estes sistemas apresentam uma vantagem em relação aos sistemas MRP II no que diz respeito à capacidade que eles têm em gerar programas viáveis para sistemas produtivos complexos, pois em muitos casos podem possuir técnicas de simulação baseadas em algoritmos de inteligência artificial (CORRÊA, 2001).

2.1.1.3 Sistemas ERP

CORRÊA (2001) aponta que os sistemas ERP têm sido cunhados como o estágio mais avançado dos sistemas tradicionalmente chamados MRP II.

Segundo DAVENPORT (1998), estes sistemas têm por objetivo integrar todos os processos e atividades da empresa. De forma geral, os sistemas ERP fornecem suporte às atividades administrativas, comerciais e produtivas.

Uma das grandes vantagens dos sistemas ERP é a consistência das informações. A partir da utilização de um único banco de dados, o sistema acaba com as divergências entre dados relativos a um mesmo assunto fornecidos por departamentos diferentes.

CORRÊA (2001) afirma que os diversos módulos que compõem o ERP, tais como módulos de distribuição física, custos, recebimento fiscal, faturamento, recursos humanos, finanças e contabilidade estão integrados entre si e com os módulos de manufatura, a partir de uma base de dados única e não redundante.

Na Figura 1 tem-se um exemplo dos principais módulos que fazem parte de um sistema ERP.

Figura 1 – Módulos de um sistema ERP



Fonte: Disponível em
<<http://www.obers.com.br/site/erp.php>> Acessado em 14/10/2013.

Neste ponto vale salientar que os antigos sistemas MRP, MRP II e Programação da Produção com Capacidade Finita, agora estão integrados como módulos de manufatura dentro dos sistemas ERP.

Embora os ERPs tenham em sua composição módulos específicos voltados para as necessidades da manufatura, muitas vezes a eficiência destes módulos é questionada, pois os mesmos não refletem o dinamismo com a qual as mudanças acontecem no processo.

Segundo NEVES (2008), tem-se observado uma lacuna que distancia os sistemas ERP e as tecnologias utilizadas no chão de fábrica, referente à troca de informações. Esse vazio é evidenciado pela falta de conhecimento do que acontece nos processos em tempo real. Por isso, a necessidade da integração do chão de

fábrica, de forma simples, instantânea e confiável, com o sistema ERP é fundamental à melhoria dos processos produtivos.

Esta lacuna de integração, entre chão de fábrica e gestão, está sendo preenchida por uma camada de software denominada MES. O MES surge com a tarefa de criar uma camada de software com função de auxiliar a execução da produção.

2.1.1.4 Sistemas MES

O MES basicamente é composto por um conjunto de softwares de Tecnologia da Informação e diversos serviços dedicados a controlar as operações de chão de fábrica, de modo a prover integrações a todas as outras operações de manufatura existentes.

O termo MES – Manufacturing Execution Systems, ou Sistema de Execução da Manufatura, foi criado em 1990 por Bruce Richardson da Advanced Manufacturing Research (AMR).

A aceleração do mercado de MES surgiu da necessidade de se constituir um nível intermediário entre os sistemas ERP e o chão de fábrica. Deste modo, o MES é a chave que possibilita uma integração de dados muito mais ampla e confiável entre os sistemas de gestão e o chão de fábrica, preenchendo a lacuna deixada por praticamente todos os sistemas de administração da produção neste aspecto.

Ainda segundo CORRÊA (2001), os sistemas MES destinam-se a aumentar a dinâmica dos sistemas de planejamento da produção, e, conseqüentemente, dos sistemas ERP, que não seriam capazes de lidar com aspectos tais como o andamento de uma ordem enquanto essa está em progresso e com restrições de capacidade de curtíssimo prazo.

MEYER (2009) afirma que os sistemas MES se tornaram a ferramenta estratégica central para implementar os requisitos da fábrica do futuro.

As características dos sistemas MES serão detalhadas no Capítulo 3 deste trabalho.

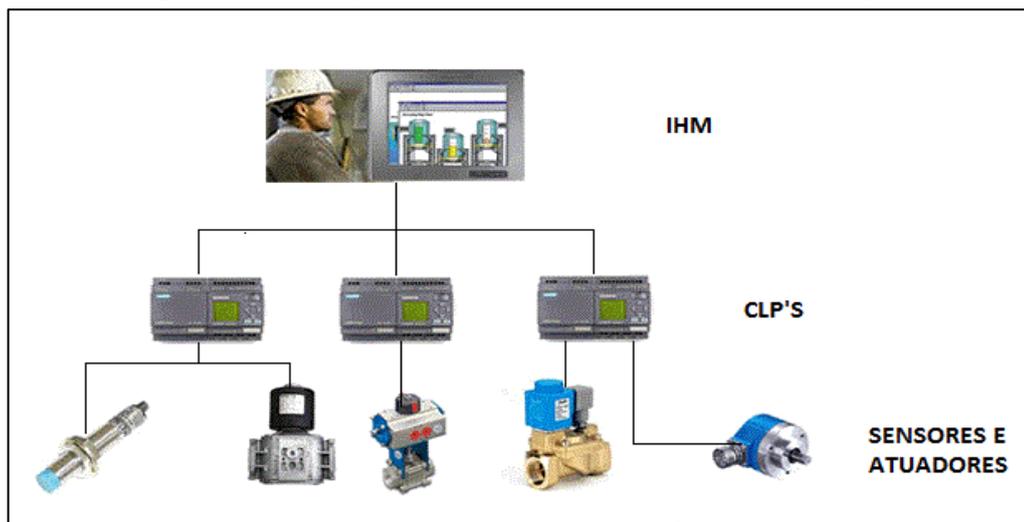
2.2 SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO

Os sistemas de automação em geral, operam em um nível mais abaixo dos sistemas de informação propriamente ditos. Neste nível encontram-se, entre outros, CLP's (Controladores Lógicos Programáveis), sensores, atuadores, conversores de frequência e IHM's (Interfaces Homem Máquina).

LACOMBE (2004) define que a automação é a aplicação de técnicas computadorizadas ou mecânicas para diminuir o uso de mão de obra em qualquer processo [...]. A automação diminui os custos e aumenta a velocidade da produção.

Na Figura 2 tem-se representado um sistema de automação simples, contendo uma IHM, três CLP's e alguns sensores e atuadores.

Figura 2 – Componentes de um sistema de automação



Fonte: (Adaptado pelo autor). Disponível em <<http://mecatron.org.br/site/servicos>> Acessado em 14/10/2013.

Um sistema de automação em geral tem a função de controlar um ou mais processos produtivos.

2.2.1 Evolução dos sistemas de automação

O CLP é um dispositivo eletrônico que controla máquinas e processos. Utiliza uma memória programável para armazenar instruções e executar funções específicas que incluem controle de energização e desenergização, temporização,

contagem, sequenciamento, operações matemáticas e manipulação de dados (ROCKWELL AUTOMATION, 2006).

O grande salto tecnológico e evolutivo na área da automação se deu a partir do momento em que os CLP's começaram a ser utilizados em larga escala.

O uso de CLP's permitiu aumentar a flexibilidade na produção. Antigamente, muitas máquinas e processos eram controlados e acionados por relês eletromecânicos, fator que não proporcionava nenhuma expansibilidade ou integração com outros processos.

Hoje os CLP's operam de forma dinâmica, permitindo configurar e reprogramar os seus sistemas de forma muito rápida e fácil. Em um sistema típico, estes dispositivos recebem informações de uma série de sensores conectados aos módulos de entradas, e através da lógica do programa desenvolvido pelo usuário, executam as ações necessárias para acionar os atuadores conectados aos pontos de saída.

À medida que os CLP's foram sendo difundidos, os níveis de exigência e complexidade aumentaram. Atualmente os CLP's, que antes controlavam apenas máquinas isoladas, hoje são empregados em aplicações de linhas e até no controle de uma fábrica inteira. Esta demanda fez surgir a necessidade de integração entre estes dispositivos. Neste ponto as tecnologias de rede de comunicação passaram a ser empregadas também nos CLP's.

2.2.2 Protocolos e redes de comunicação industriais

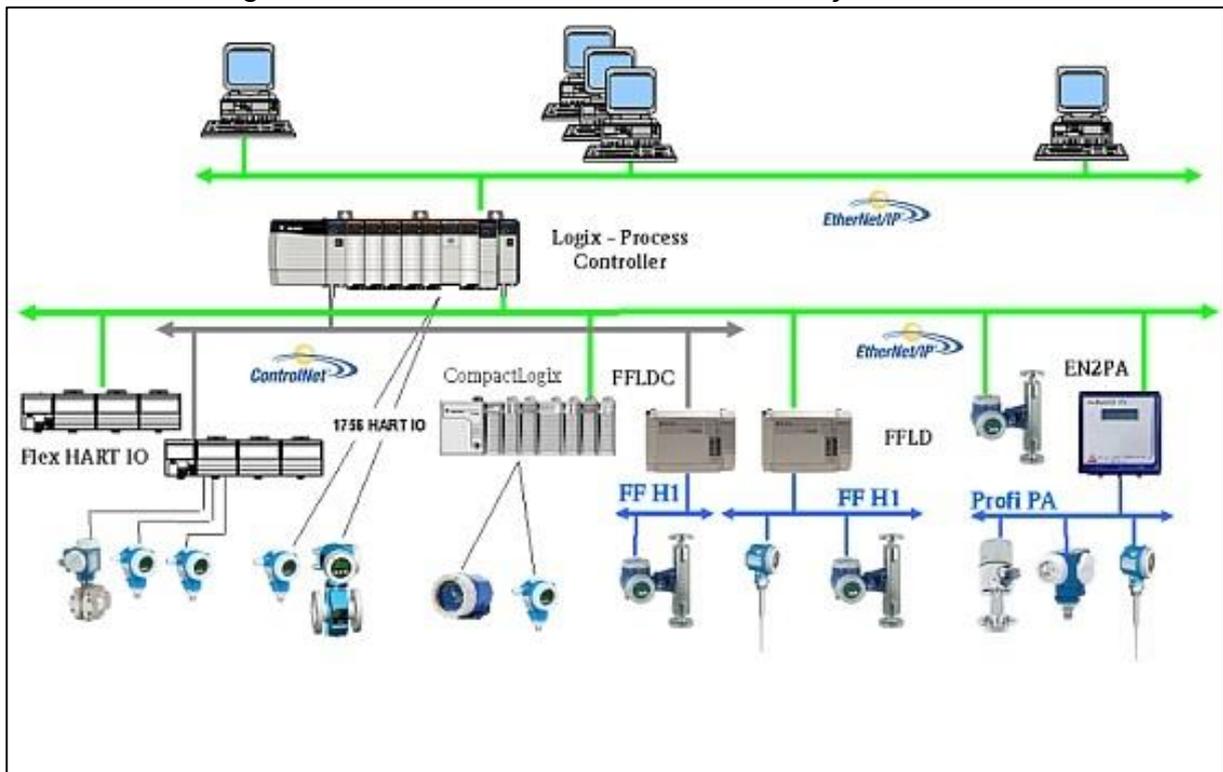
Os sistemas que utilizam as tecnologias de redes industriais têm crescido consideravelmente ao longo dos últimos anos nos mercados nacional e internacional. Assim, os usuários, que antigamente utilizavam os sistemas centralizados (com CLP's apenas), estão migrando para sistemas mais flexíveis, capazes de atingir longas distâncias e de realizar um controle físico distribuído (sem centralização de cabos), que são as redes industriais (LUGLI, 2009).

ALBUQUERQUE (2009) também afirma que nas indústrias, as redes industriais já realizaram uma revolução comparável à feita pela internet na comunicação. Hoje, controladores lógicos programáveis, expansões, interfaces

homem-máquina, conversores de frequência, controladores de processos, sistemas supervisórios e outros elementos, formam redes complexas em fábricas, permitindo que a informação flua de forma instantânea e precisa ao longo de todas as etapas de produção, supervisão, gerenciamento e planejamento.

Na Figura 3 pode-se ver uma rede industrial utilizando diferentes protocolos de comunicação e integrando, desde os sensores a atuadores no nível mais baixo, que representam o chão de fábrica, até as *WorkStations*, no nível mais alto, que representam o sistema gerencial da empresa.

Figura 3 – Protocolos e redes de comunicação industrial



Fonte: Disponível em < <http://www.it.endress.com/eh/sc/europe/it/it/home.nsf/#page/~Promass Ethernet IP> > Acessado em 14/10/2013.

As redes utilizadas para aplicações industriais possuem características peculiares. Modularidade, confiabilidade, interoperabilidade e grande desempenho, são características essenciais para que os sistemas possam operar de forma segura e eficiente (ALBUQUERQUE, 2009).

Normalmente as redes apresentam topologias em estrela, em anel, em barramento, em árvore ou alguma combinação entre elas (ALBUQUERQUE, 2009).

Os protocolos definem basicamente as regras de comunicação entre os dispositivos. Alguns protocolos podem operar sobre diferentes tipos de redes, como é o caso do *ModBus*, que opera entre outros sobre RS-232, RS-485 e *Ethernet*. Já o *EtherNet/IP* opera somente sobre a rede *Ethernet*.

2.2.2.1 Protocolo *MODBUS-RTU* sobre rede *RS-485*

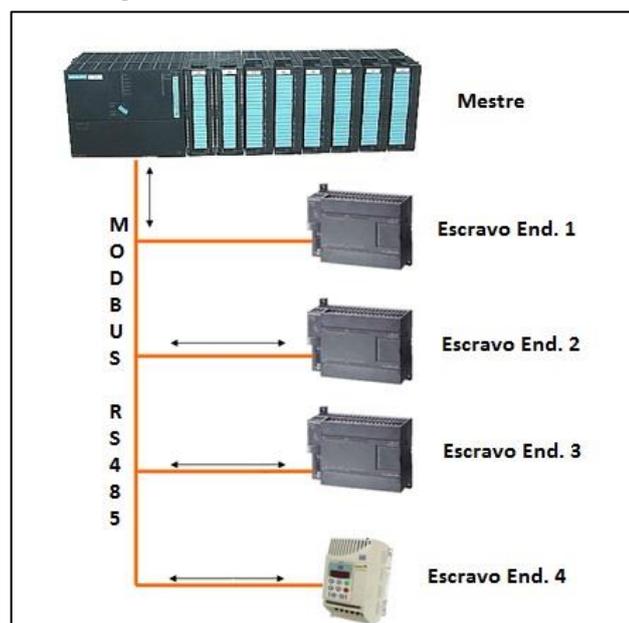
O protocolo *ModBus* é um protocolo de comunicação serial amplamente difundido e utilizado na indústria.

Este protocolo foi desenvolvido por uma empresa fabricante de produtos para automação industrial chamada Modicon, visando o uso em seus próprios dispositivos. Porém com o passar do tempo o *ModBus* passou a ser usado por um grande número de fabricantes, e com a própria autorização da Modicon, tornou-se um protocolo aberto. Hoje, praticamente, todos os fabricantes de produtos de automação oferecem suporte a esse protocolo.

O *ModBus* é comumente utilizado na comunicação entre CLP's, IHM's e conversores de frequência.

A Figura 4 exibe uma rede típica *ModBus* onde o CLP mestre lê e escreve informações em um dos 4 escravos. Nota-se que os escravos podem ser inclusive outros CLP's.

Figura 4 – Rede *ModBus* RS-485



Fonte: Autor

2.2.2.2 Protocolo *ETHERNET/IP*

O *EtherNet/IP* é uma rede ethernet industrial padronizada pela ODVA (Open DeviceNet Vendors Association) e baseia-se na arquitetura encapsulada do TCP/IP. O termo IP significa *Industrial Protocol* e não deve ser confundido com o termo IP *Internet Protocol* utilizado em redes de computadores (LUGLI, 2009).

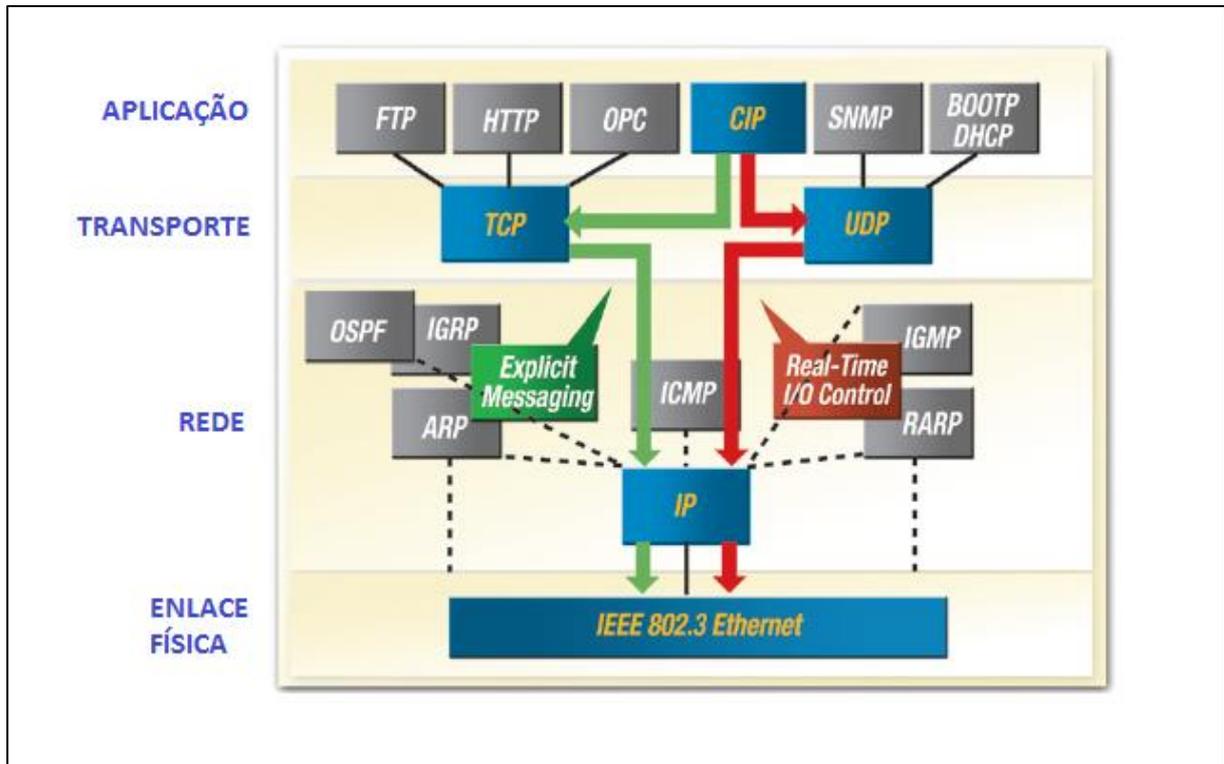
Construída sobre os protocolos TCP/IP, esta interface utiliza hardware e software já estabelecidos para definir um protocolo de camada de aplicação para a configuração, acesso e controle de dispositivos de automação industrial.

Sua grande utilidade se deve à necessidade de interligar todos os níveis da cadeia de suprimentos (*Supply Chain*) envolvendo um único e exclusivo padrão de rede, o TCP/IP. Assim, o nível de gerência ou vendas teria acesso ao chão de fábrica em tempo real, dando uma grande agilidade à produção e aumentando-a efetivamente. (LUGLI, 2009).

O modelo usa as mesmas quatro primeiras camadas do modelo TCP/IP, física, enlace, rede e transporte. O que difere o *EtherNet/IP* é a camada de aplicação. Nesta camada encontra-se a CIP (*Common Industrial Protocol*), uma camada específica da ODVA. Nesta camada há protocolos específicos para inversores de frequência, elementos pneumáticos, I/Os discretos, entre outros (LUGLI, 2009).

A Figura 5 ilustra a divisão de camadas da rede *EtherNet/IP*. Nela pode-se observar também que os dados trafegados na rede *EtherNet/IP* utilizam o meio físico *Ethernet* nas camadas um e dois, IP na camada três e UDP (User Datagram Protocol) ou TCP (Transmission Control Protocol) na camada quatro.

A topologia de uma rede *EtherNet/IP* é comumente projetada em estrela, utilizando o mestre como elemento central da rede, os *switches* industriais para derivar os elementos da rede e os módulos de campo onde são conectados os sensores e atuadores.

Figura 5 – Modelo de camadas *EtherNet/IP*

Fonte: ODVA - Open DeviceNet Vendors Association

2.3 INTEGRAÇÃO ENTRE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO

YUSUF (1998) acredita que a estratégia de integração entre sistemas de automação e sistemas de informação tem o potencial para facilitar a realização da escolha correta para alcançar uma disponibilidade ampla de informações em tempo real, para ter uma vantagem competitiva sobre seus competidores.

Apesar dos sistemas de automação e dos sistemas de informação terem sido concebidos de modo a atender necessidades específicas, GAIDZINSKI (2003) afirma que a integração entre os níveis do chão de fábrica e os de gestão empresarial passa a ser fator crucial. Sem ela, é impossível considerar que se está obtendo o máximo de desempenho que a planta pode ter, pois sempre haverá retrabalho e desperdício de tempo, além de grande probabilidade de erro por falha humana.

3 MANUFACTURING EXECUTION SYSTEM - MES

Os Sistemas de Execução da Manufatura surgiram da necessidade de integração dos dados do chão de fábrica com os sistemas do ambiente corporativo, tais como MRP, MRP II e ERP.

Anteriormente ao MES, as ferramentas empregadas para o gerenciamento da produção, manutenção e monitoração das variáveis de processo baseavam-se em documentos impressos ou em sistemas dedicados, com pouca ou nenhuma integração. Segundo SEIXAS (1997) as informações estavam dispersas por sistemas ou planilhas de apontamentos, a consolidação e a análise tornou-se uma tarefa complicada e muitas vezes ineficiente, pois a informação já estava desatualizada e não obtinha confiabilidade naquele dado.

O MES tornou-se então uma ferramenta estratégica dentro das empresas, posicionando-se em um nível intermediário entre os sistemas ERP e o chão de fábrica (Figura 7).

Figura 6 – Posicionamento do MES



Fonte: Disponíveis em <
<http://www.tgnbrasil.com.br/o-que-e-mes-manufacturing-execution-system/>>
Acessado em: 14/10/2013

A MESA (1997) afirma que o MES é o conjunto de funcionalidades sob a forma de *software* e *hardware* que trabalha integrado com os sistemas de informações e de gestão de negócios, pessoas e práticas de apoio a excelência em operações.

CORRÊA (2001) define que os sistemas MES se valem da obtenção de informações e dados em tempo real dos acontecimentos do chão de fábrica. Este tipo de monitoramento e coleta de informações do chão de fábrica orientado para melhoria do seu desempenho e aperfeiçoamento de sistemas integrados de gestão da produção é um dos principais papéis dos Sistemas de Execução e Controle de Fábrica, mais popularmente conhecidos como *Manufacturing Execution Systems*.

3.1 BENEFÍCIOS DO MES

Para LATTARO (2008), informação, visibilidade de processo, qualidade dos dados e controle não são mais opcionais – tornam-se vitais.

O MES contribui de forma efetiva para que essas características sejam alcançadas, possibilitando, por exemplo, que ações corretivas sejam tomadas em tempo de execução. Em alguns casos, somente ao final do turno sabe-se qual foi a eficiência dos centros de trabalho, ao passo que se houvesse um acompanhamento em tempo real, a eficiência poderia ser corrigida para manter um nível de produção aceitável.

O MES trabalha como um auditor do processo produtivo, organizando e distribuindo as informações dentro da organização, de modo a oferecer uma poderosa ferramenta de visibilidade para os níveis gerenciais LATTARO (2008).

Outra característica do MES é a realimentação dos sistemas de planejamento com informações do ocorrido no chão de fábrica.

CORRÊA (2001) afirma que independentemente de quão bom seja o planejamento, a realidade nem sempre ocorre conforme o esperado. Erros de previsão, problemas de qualidade, gargalos de capacidade, quebras, falhas de comunicação e ineficiências variadas podem prejudicar o plano, diminuindo o desempenho da produção. Os sistemas, em geral, não conseguem “enxergar” estes problemas e nem sempre suprem as necessidades da organização quanto a informações de correção e prevenção. Desta forma, o MES, quando efetivamente implantado, complementa os recursos de planejamento, fornecendo informações coordenadas e detalhadas dos eventos no chão de fábrica a medida que eles ocorrem.

3.2 CONCEITOS, ORIGENS E EVOLUÇÃO DO MES

Fundada em 1986 em Boston, EUA, a AMR Research (agora parte da empresa de pesquisa e análise Gartner) é uma conceituada empresa de consultoria e pesquisa em tecnologia da informação, cadeia de suprimentos e automação industrial.

Em 1990, pela primeira vez, o conceito de MES foi proposto pela AMR num relatório do analista de software da indústria, Bruce Richardson. Nesta proposição, a AMR Research descreve que o modelo de negócios de uma empresa industrial é baseado em três níveis: Planejamento, Execução e Controle (Figura 8).

Figura 7 - Modelo em três níveis da AMR Research



Fonte: SHIRASUNA (2008)

No nível de Planejamento é onde se realiza a programação das ordens de produção. O nível de Execução deve receber estas ordens de produção, enviá-las ao nível de Controle e gerenciar sua execução.

Destes três níveis, o nível intermediário da Execução é realizado através de procedimentos manuais, muitas vezes utilizando-se lápis e papel, e, portanto, sujeito a erros e ineficiências.

A proposta da AMR Research era um novo sistema que realizasse, de forma automática e eficiente, a interconexão entre os níveis de Planejamento e Controle, preenchendo a lacuna existente entre eles.

Apesar de a AMR ter criado o primeiro conceito de MES, a definição mais aceita atualmente é dada pela MESA (Manufacturing Enterprise Solutions Association). Esta organização também define os conceitos e as características dos sistemas MES.

3.2.1 Conceituação segundo a MESA

A MESA (www.mesa.org) foi a primeira instituição a dedicar-se ao tema MES. Ela é uma organização mundial sem fins lucrativos que reúne empresas de manufatura, fornecedores de tecnologia da informação, empresas de consultoria, analistas, acadêmicos e estudantes. O objetivo da organização é buscar melhorias nos processos produtivos mediante a otimização de aplicações existentes ou através de sistemas de informação inovadores.

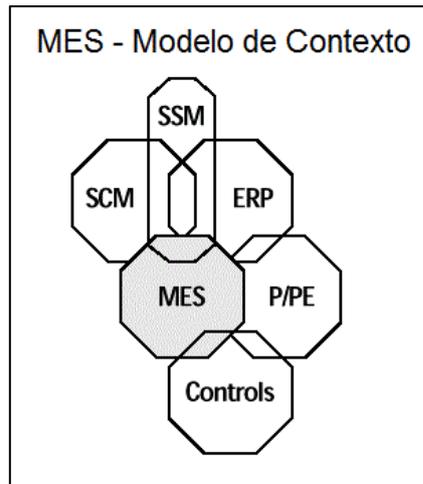
Em 1997 a MESA apresentou sua definição para MES, em sintonia com o conceito da AMR.

Manufacturing Execution System (MES) fornece informação que possibilita a otimização das atividades produtivas desde a emissão da ordem de produção até o produto acabado. Usando dados atuais e confiáveis o MES guia, inicia, responde para e reporta as atividades da planta da forma como elas ocorrem. O resultado é uma resposta rápida para as mudanças de condições, combinada com um foco na redução das atividades que não agregam valor, direcionando-o para os processos e operações mais importantes da planta. O MES aumenta o retorno sobre ativos da produção bem como os giros de estoque de produtos acabados, margem bruta e desempenho de fluxo de caixa. O MES proporciona informação crítica para a missão da empresa sobre as atividades de produção através de toda a organização e cadeia de suprimentos via comunicações bidirecionais e em tempo real (MESA, 1997).

3.2.1.1 1º Versão do modelo – Modelo de Contexto

Juntamente com o conceito a MESA definiu a primeira versão do modelo para o MES. Este modelo focava-se em representar as relações entre o MES e os demais sistemas da organização. Essa versão ficou conhecida como modelo de contexto e está representada na Figura 9.

Figura 8 – Modelo de Contexto

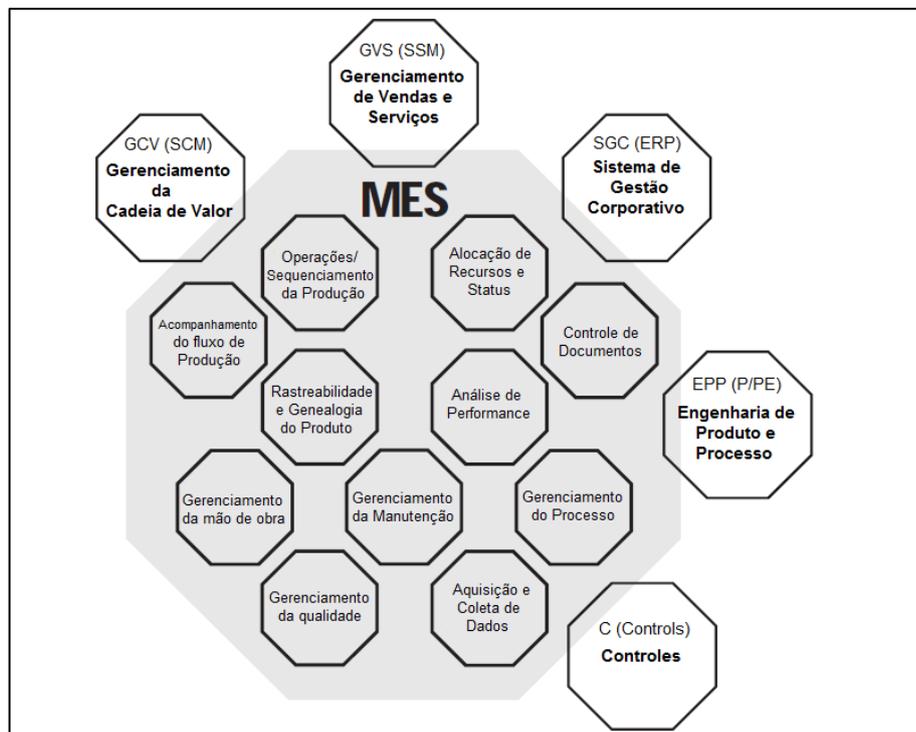


Fonte: MESA

Dentro deste modelo, foi definido que para um apoio eficaz à gestão da produção são necessárias 11 funcionalidades em um sistema MES.

O modelo funcional encapsula estas 11 funcionalidades do MES e sugere relações com os outros sistemas mencionados pelo modelo de contexto, conforme exibido na Figura 10.

Figura 9 – Modelo Funcional



Fonte: MESA

A descrição detalhada das 11 funções do modelo funcional são dadas a seguir:

1. Alocação de Recursos e Status

A alocação de recursos é o elo entre o plano gerado pelo sistema de planejamento da produção e os recursos de fabricação. Esta funcionalidade garante a reserva e a alocação de máquinas, ferramentas, mão de obra, materiais e equipamentos, garantindo que os mesmos estarão disponíveis, em condições de uso, e nos locais adequados.

O módulo também fornece um histórico detalhado dos recursos bem como o status dos equipamentos em tempo real.

2. Operações/Sequenciamento de Produção

Este módulo proporciona o sequenciamento das atividades de produção com base em prioridades, atributos e características associadas à produção, visando reduzir o tempo gasto na preparação e nos ajustes necessários às tarefas.

Como resultado, tem-se a programação detalhada considerando a capacidade finita de produção, redução de tempos de *setup*, atendimento aos prazos de entrega, sobreposição de operações, turnos de trabalho, etc.

3. Acompanhamento do fluxo de Produção

Este módulo gerencia o fluxo das ordens de produção. A partir do momento em que o MES recebe estas ordens do ERP, o sistema passa a gerenciar o status destas ordens e dos eventos relacionados a ela que ocorrem no chão de fábrica.

As estações de retrabalho e os estoques intermediários também são monitorados através desta função.

4. Controle de Documentos

Controla os registros e formulários que devem ser mantidos com a unidade de produção. O módulo gerencia instruções de trabalho, desenhos, procedimentos padrão da operação, programas, registros de execução de lotes, notas de modificação feitas pela engenharia, entre outros.

Este módulo também tem como função enviar instruções para a realização das operações, incluindo o fornecimento de dados aos operadores ou mesmo a parametrização de máquinas por meio de padrões.

Um dos grandes benefícios deste módulo é a eliminação do fluxo de papéis.

5. Aquisição e Coleta de Dados

Esta função faz o registro dos dados coletados durante o processo produtivo. Estes dados são extremamente importantes para permitir a análise do processo, visando sua constante melhoria. Os dados podem ser coletados do chão de fábrica de forma manual ou automaticamente através de dispositivos eletrônicos, tais como CLP's, sensores, leitores de códigos de barra e IHM's.

Todos os dados do processo são coletados de diversos sistemas do chão de fábrica, com diferentes protocolos de comunicação, e são armazenados em uma base de dados relacional única.

Com todas essas informações, é possível a emissão de relatórios diários, semanais ou mensais contendo dados do processo produtivo que podem fornecer um laudo confiável das operações, auxiliando as tomadas de decisões da empresa.

6. Gerenciamento da mão de obra

Este módulo monitora a forma de alocação e o status da força de trabalho operacional. Inclui todos os recursos humanos envolvidos na operação, sejam diretos ou indiretos e suas devidas atribuições e responsabilidades.

O módulo gerencia também a qualificação da mão de obra, disponibilizando informações dos integrantes da equipe de trabalho, tais como frequência e

certificados. Com base nestas informações as pessoas são alocadas de acordo com as atividades que cada trabalhador pode executar.

7. Gerenciamento da Qualidade

Esta função realiza análises em tempo real de medições coletadas no chão de fábrica, de modo a garantir a qualidade dos produtos e identificar problemas, podendo inclusive recomendar ações emergenciais e corretivas.

Este módulo também pode estar conectado a equipamentos de laboratório, armazenando automaticamente os resultados das análises e permitindo uma futura utilização destes na avaliação de problemas de produção relativos à qualidade do produto final.

8. Gerenciamento do Processo

Esta função inclui o tratamento de alarmes, de modo a certificar que os colaboradores do chão de fábrica tomem ciência das variações dos processos e os seus níveis de tolerância. A função também pode gerenciar o consumo de matérias primas, materiais de embalagem, tempos de execução em cada etapa produtiva, valores de variáveis de processo e outras informações de interesse. Desse modo, os índices de eficiências e perdas são calculados, fornecendo um dado real e preciso ao gerente de produção.

Essa é uma das funções mais importantes do MES, já que fornece informações em tempo real para a tomada de ações corretivas, não mais fornecendo apenas dados de uma produção passada.

9. Gerenciamento da Manutenção

Este módulo permite uma maior integração entre os setores responsáveis pela manutenção dos equipamentos com os setores produtivos, facilitando a programação das paradas de máquina para manutenção preventiva ou preditiva, além de melhorar o atendimento nos casos de manutenção corretiva. O objetivo é ter a melhor disponibilidade dos ativos da produção.

Por meio desta função é gerado um histórico dos eventos de manutenções corretivas e preventivas para posterior análise e auxílio no diagnóstico de problemas.

10. Rastreabilidade e Genealogia do Produto

Esta função permite visualizar e acompanhar o fluxo do produto durante todas as etapas do processo. É coletada uma série de informações tais como componentes e materiais utilizados por fornecedor, profissionais envolvidos na produção, condições atuais da produção e quaisquer alarmes ou exceções relacionadas ao produto.

A função de rastreamento cria um registro histórico que permite a rastreabilidade de todas essas informações atreladas a cada produto final. A intenção é que se tenha um registro relatando toda a evolução do produto ao longo da linha de produção no chão de fábrica.

11. Análise de Performance

Este módulo fornece relatórios atualizados dos resultados reais das operações de chão de fábrica, avaliando dados como quantidade produzida, quantidade de produtos bons e rejeitados, valor envolvido, taxa de utilização de recursos, tempo de ciclo, tempo de paradas e estoques intermediários. O objetivo destes relatórios é permitir a comparação dos resultados obtidos com as metas pré-estabelecidas, ou ainda, com os dados históricos.

Estes resultados geralmente são analisados pelos gerentes de produção, que informam os líderes de produção de modo que estes possam fornecer comandos aos operadores para que eventuais quedas de rendimento sejam diagnosticadas e solucionadas.

Estas onze funcionalidades do Sistema de Execução da Manufatura fornecem um conjunto de informações que auxiliam no gerenciamento e execução de qualquer tipo de planta de atividade industrial. Gerentes de produção, de qualidade e de

manutenção, por exemplo, encontram no MES diversas ferramentas que auxiliam na execução das suas funções e atividades.

3.2.1.2 2º Versão do modelo – C-MES

O conceito revisado do MES pela MESA é conhecido como c-MES ou *Collaborative Manufacturing Execution Systems*. Esta versão foi publicada pela MESA em 2004.

Nesta versão do modelo, o objetivo é combinar as funcionalidades anteriores e integrá-las com os outros sistemas e pessoas da empresa. O c-MES se baseia na ideia de uso da informação simultânea em toda a cadeia de valor.

A MESA (2004) tem a seguinte definição para este modelo:

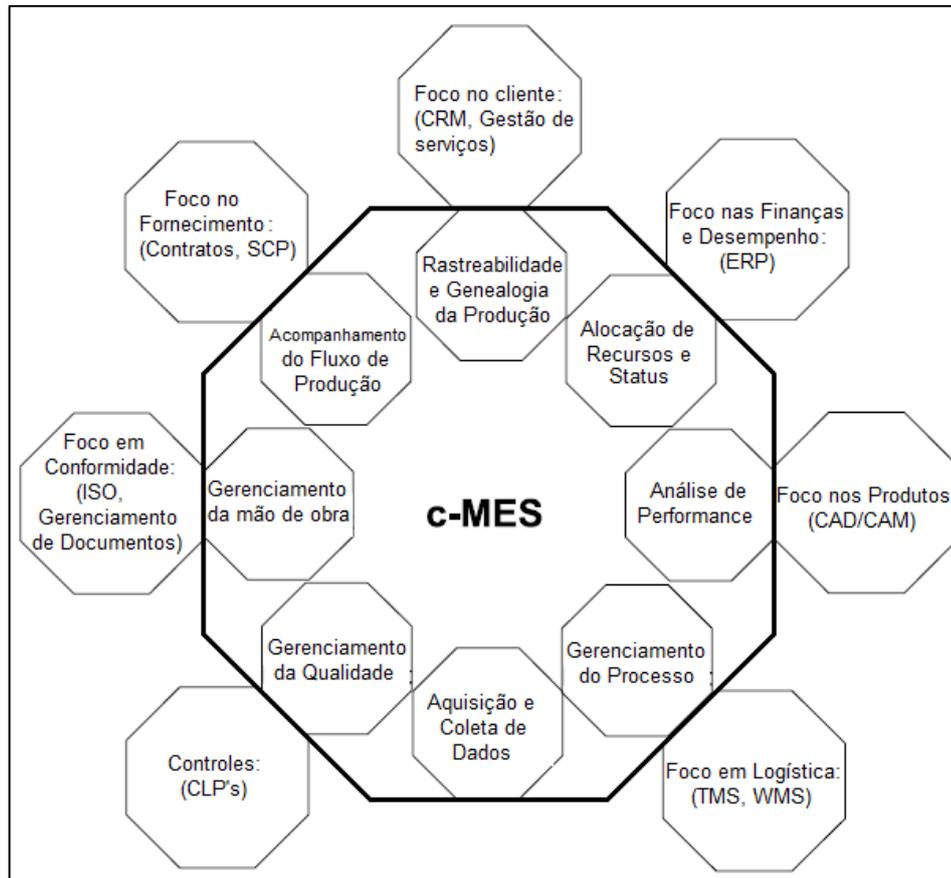
Estes sistemas combinam as funcionalidades da geração anterior do MES para operar e melhorar as operações da planta e adicionar melhor capacidade de integração com outros sistemas e pessoas na empresa e com a cadeia de valor. Embora alguns destes dados tenham sido compartilhados por meio de comunicações tradicionais, a Internet e as tecnologias baseadas na Web, como XML e web services fornecem um salto significativo na precisão e rapidez das comunicações.

Este conceito apresenta uma estratégia clara, onde já começa a haver uma forte tendência na integração entre o MES e os demais sistemas de informação da empresa. A sugestão do uso de tecnologias como XML (eXtensible Markup Language) e *web services* reforçam ainda mais esta ideia.

Segundo artigo publicado pela MAXMES (2009), este modelo permite uma maior agilidade e é centrado no cliente. Mas esta estratégia faz com que os processos de negócio necessitem mais entradas e interações que os processos tradicionais. Para suportar a Manufatura Colaborativa os sistemas de informação devem integrar e agregar informações através dos negócios da manufatura e também dos seus fornecedores, parceiros comerciais e clientes. Deverá ter meios para inteligentemente distribuir esta informação através das várias entidades de negócio.

A Figura 11 apresenta o modelo C-MES.

Figura 10 – Modelo C-MES



Fonte: MESA

3.2.1.3 3º Versão do modelo – MESA MODEL

O modelo atual da MESA, apresentado em 2008, está dividido em quatro níveis hierárquicos, que vão desde os processos físicos de produção até os níveis estratégicos e de gestão de negócios.

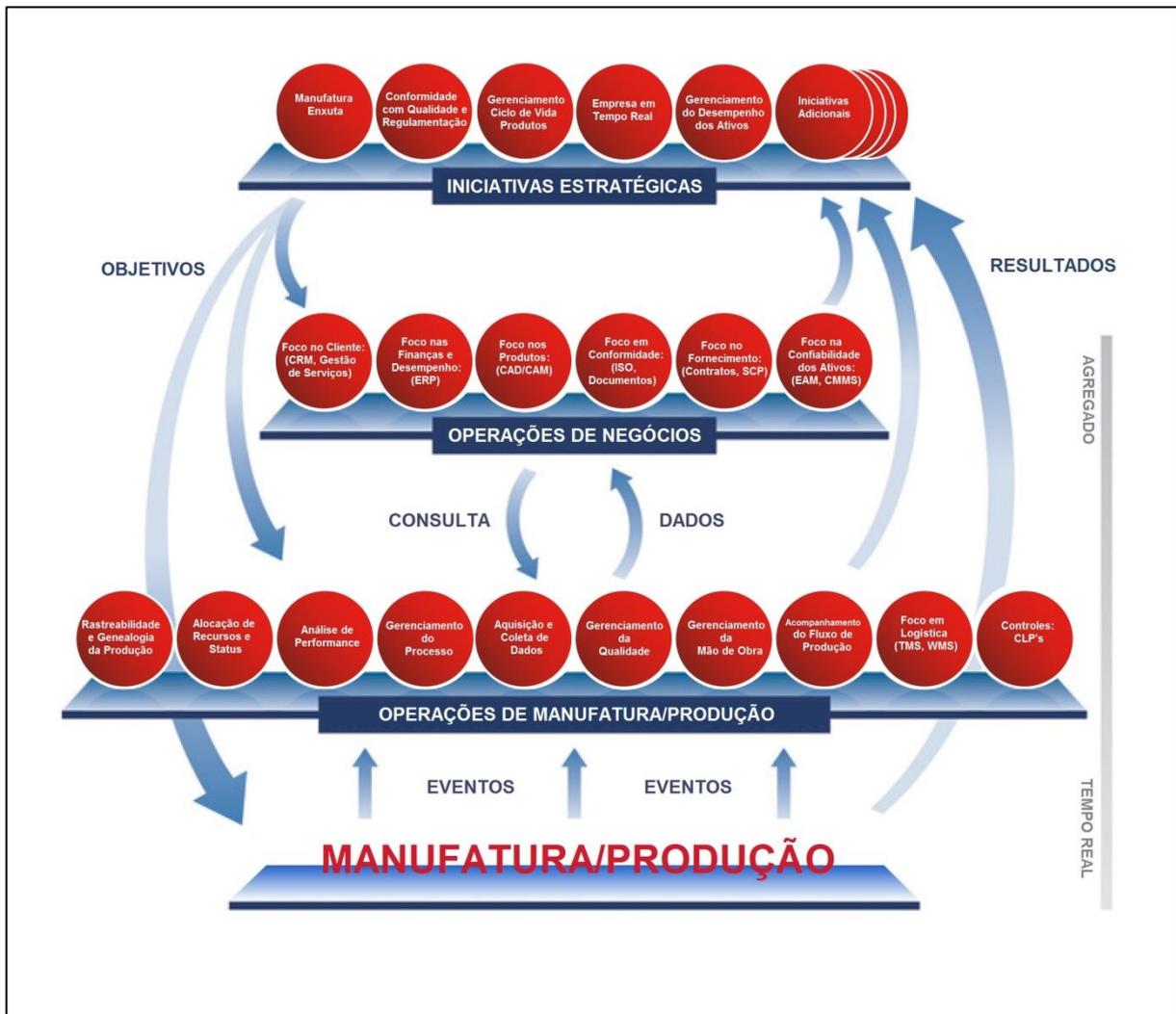
O Modelo MESA, como é chamado agora, complementa toda a organização. Sua estratégia é focada na integração de dados entre todos os setores e níveis da empresa.

No nível intermediário de gerenciamento da produção (Operações de Manufatura/Produção) está a maioria das funções que originalmente definiam uma solução MES, embora esta sigla não seja mais mencionada nesta versão do modelo.

O modelo atual sugere que o importante não é escolher uma solução que agrupe um conjunto previamente definido de funcionalidades, mas sim escolher soluções com base nas funcionalidades que são importantes para um determinado negócio, preocupando-se também em como estas funcionalidades se relacionarão umas com as outras.

Na Figura 12 pode-se observar a atual representação do modelo MESA.

Figura 11 –Modelo Atual MESA



Fonte: MESA

3.3 RELAÇÃO ENTRE OS MODELOS

Desde a criação do primeiro modelo do MES, em 1997, muitos aspectos e tecnologias evoluíram. O primeiro modelo de contexto definiu as 11 funcionalidades básicas do MES. Destas, 8 ainda são implementadas no modelo atual. A integração entre MES e ERP ganhou força no segundo modelo, definido como c-MES. O modelo atual foca na integração da organização como um todo.

Entretanto, nenhuma funcionalidade do sistema MES poderia existir sem uma coleta eficiente de dados e a sua apresentação de forma a ser claramente interpretada por todos os participantes da gestão da produção.

É baseado neste conceito que este trabalho é desenvolvido. As bases para um sistema MES estão na coleta eficiente e confiável de dados no chão de fábrica.

4 PROPOSTA DE SOLUÇÃO

Entendendo os grandes benefícios que uma tecnologia MES pode trazer para a organização, este trabalho se propõe a desenvolver um protótipo deste sistema em um sub processo dentro da empresa X.

O desenvolvimento do MES será focado na coleta automática de dados a partir do chão de fábrica e, posterior tratamento destes dados para a geração de informações que agreguem valor ao produto final.

Apesar dos sistemas MES focarem bastante na integração com os outros sistemas da organização, tal como o ERP, não é este o objetivo atual de desenvolvimento. A proposta consiste em desenvolver uma base sólida que suporte uma evolução constante do sistema, prevendo sim uma futura integração com o ERP.

Neste capítulo será apresentada uma breve descrição da empresa na qual será desenvolvido o trabalho, as funcionalidades do MES que serão desenvolvidas e os cenários atuais e posteriores ao desenvolvimento do MES.

4.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA

A X é uma empresa de manufatura contínua que tem como principais itens de seu portfólio de produtos equipamentos destinados à construção civil, jardinagem e agricultura. Os processos são estruturados em linhas de produção, onde a matéria prima passa por diversas etapas de transformação até chegar a um produto acabado ou semiacabado.

A empresa X é altamente reconhecida pela qualidade de seus produtos, eficiência nos prazos de entrega e boa relação com os clientes, sejam eles finais ou intermediários.

Em uma empresa deste tipo, a utilização de um sistema MES deve trazer inúmeros benefícios à organização. Segundo CORRÊA (2001), com informações atualizadas sobre a real situação do chão de fábrica, é possível, por exemplo, garantir um planejamento e programação da produção mais factível, ou ainda, estimativa de custos de produção mais exatas.

Atualmente não existe uma tecnologia que permita o monitoramento em tempo real das atividades ocorridas no chão de fábrica. Diversos dados, relatórios e

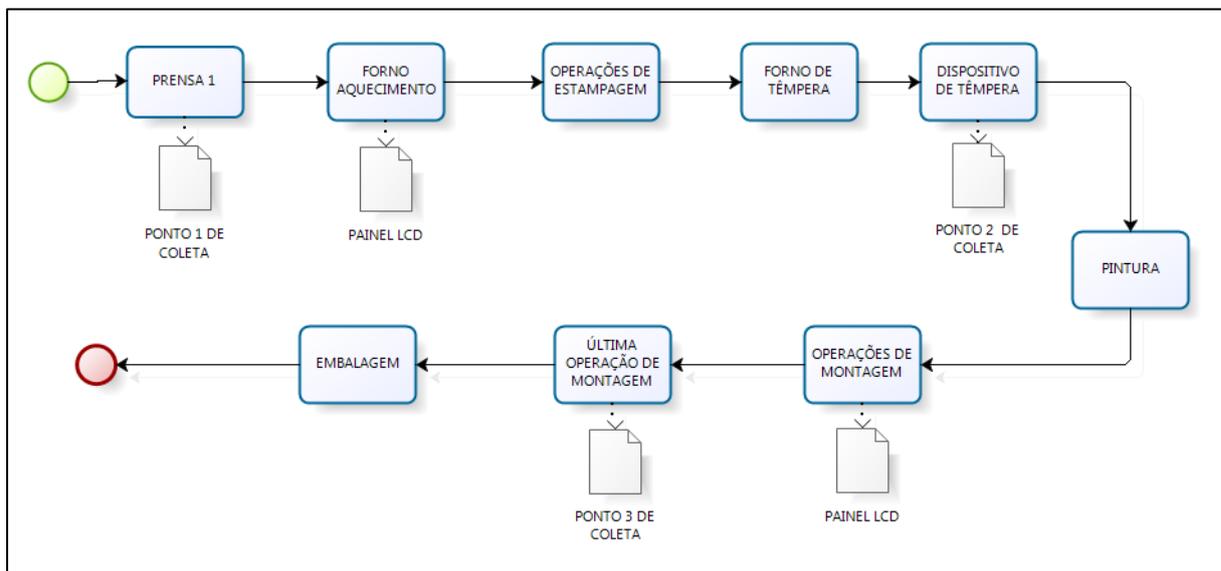
análises são obtidos através do sistema ERP, porém estes dados são coletados de forma manual no chão de fábrica e posteriormente, inseridos no sistema de gestão. A análise dos dados é feita com um atraso de horas e até dias, dependendo do processo.

Existe uma necessidade da obtenção destes dados em tempo real para um melhor entendimento da realidade produtiva garantindo, por exemplo, que ações corretivas sejam tomadas em tempo de execução.

4.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DO MES

O processo que servirá de base para implementação do MES consiste em uma linha de produção que produz um determinado produto Y. Esta linha é composta tanto por processos manuais quanto automatizados e conta com cerca de 16 colaboradores que auxiliam nas diversas etapas de montagem. A Figura 13 exibe um *layout* do processo de produção do produto Y e a provável localização dos futuros pontos de coleta e visualização de dados.

Figura 12 – *Layout* da Linha de Produção do Produto Y



Fonte: Autor

Cada ponto de coleta e visualização de dados constitui uma forma de interação entre sistema e usuário. Estes pontos são responsáveis por coletar e exibir as informações referentes ao processo produtivo.

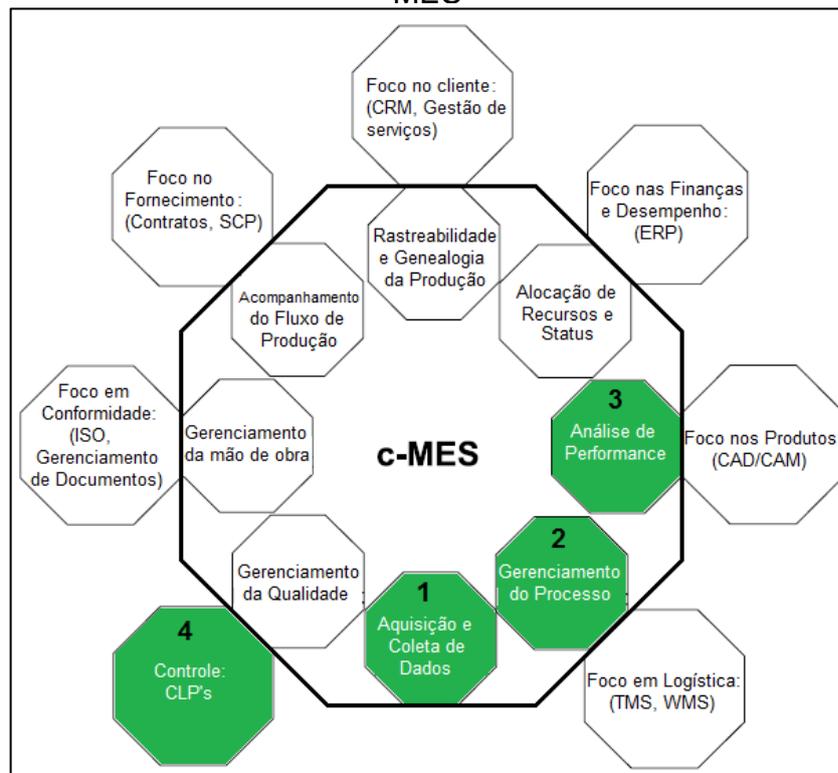
4.3 FUNCIONALIDADES A SEREM DESENVOLVIDAS

Conforme citado anteriormente, este trabalho se propõe a implementar algumas das funções do MES. A Figura 14 destaca os módulos a serem desenvolvidos e integrados.

Tomando por base o modelo C-MES, que implementa 8 funcionalidades básicas para o apoio à manufatura, serão desenvolvidas algumas características dos módulos de aquisição e coleta de dados (1), gerenciamento do processo (2) e análise de performance (3). Estes três módulos do MES podem ser considerados sistemas de informação. O módulo de Controle (4), com o qual o MES está integrado, representa os sistemas de automação da empresa.

O objetivo é então desenvolver as funcionalidades de um sistema de informação MES, integrando-o com os sistemas de automação do chão de fábrica.

Figura 13 – Desenvolvimento e Integração dos Módulos do MES



Fonte: MESA (adaptado pelo autor)

4.3.1 Aquisição e coleta de dados

Este módulo compõe a base do MES, pois é ele que realimenta diversos outros módulos com as informações e dados coletados no chão de fábrica.

Esta função complementa todas as atividades e tecnologias utilizadas para a coleta automática de dados no chão de fábrica e está diretamente integrada com o módulo de Controle, que compreende os sistemas de automação do chão de fábrica.

Os conceitos de redes e protocolos de comunicação, bem como a sua integração com os sistemas de informação são utilizados na implementação deste módulo.

4.3.1.1 Cenário atual da coleta de dados

No cenário atual os dados e informações sobre o processo produtivo são coletados de forma manual. Estes dados referem-se principalmente à quantidade de itens produzidos durante o dia, referência do produto produzido e os tempos de parada e setup da linha de produção.

Este tipo de processo está sujeito a diversos tipos de erros. O funcionário pode escrever dados incorretos ou imprecisos e até mesmo esquecer-se de preencher um determinado campo.

O Anexo A contém uma cópia do formulário de inserção dos dados de parada e *setup*. Esta planilha contém diversas informações, todas elas inseridas manualmente.

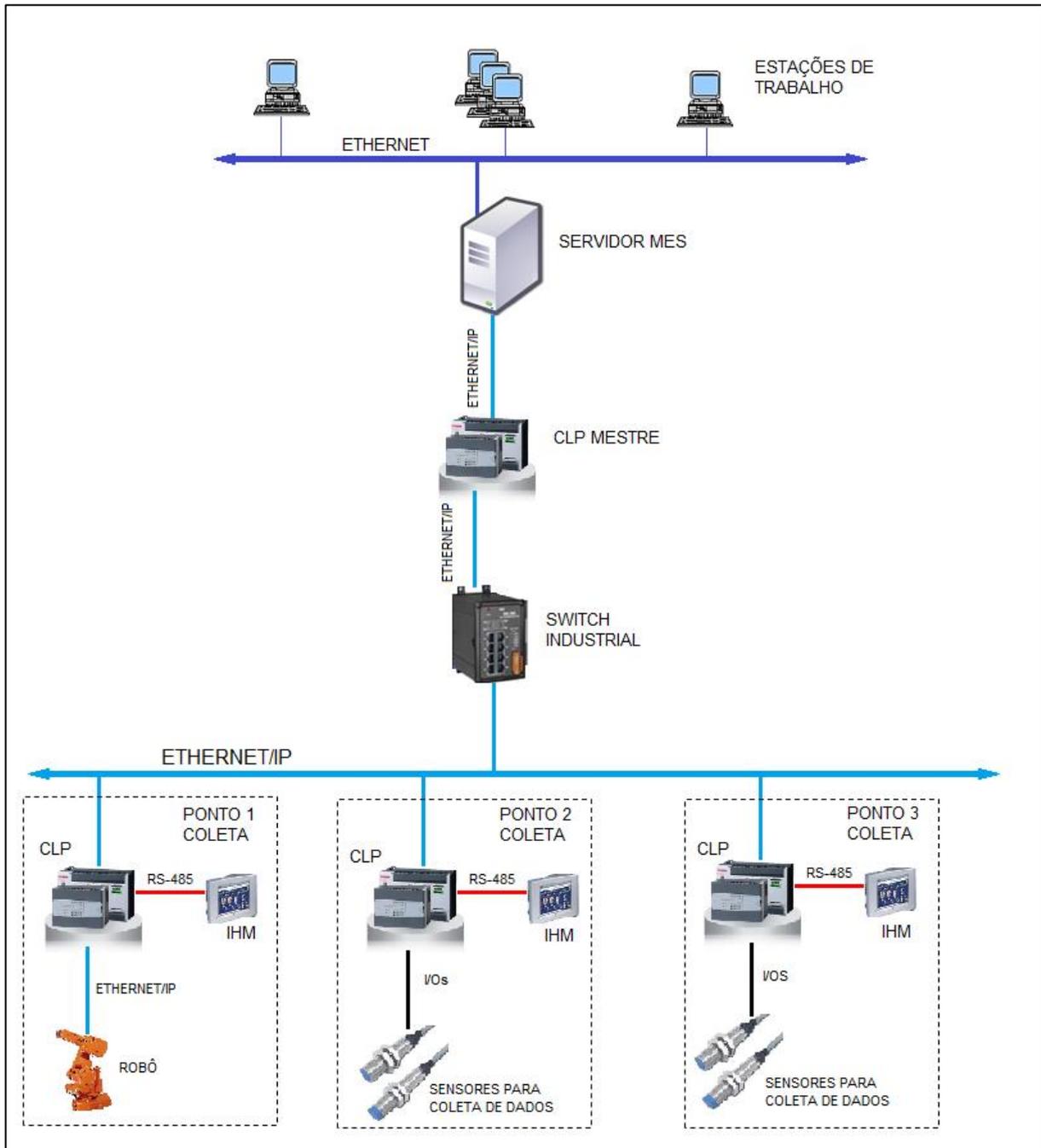
O Anexo B contém uma cópia do formulário de inserção de peças produzidas por turno de trabalho.

4.3.1.2 Cenário futuro da coleta de dados

A coleta de dados deverá ser automática e eletrônica, eliminando os erros ocasionados por apontamentos manuais. O sistema MES deverá gerar relatórios que contenham os dados que antes eram inseridos nas planilhas do Excel. Estes dados ainda serão digitados manualmente no ERP, porém a confiabilidade nestes dados deverá ser muito maior, uma vez que os processos manuais para a sua coleta foram eliminados.

Com base nos conceitos desenvolvidos até aqui, a Figura 15 apresenta a arquitetura que será utilizada para a coleta de dados dos sistemas de automação do chão de fábrica até a sua integração com os sistemas de informação.

Figura 14 – Arquitetura para integração de dados entre sistemas de automação e sistemas de informação



Fonte: Autor

O sistema utilizará CLP's E IHM's da fabricante LS. Estes equipamentos estarão coletando informações em tempo real do chão de fábrica. Cada ponto de

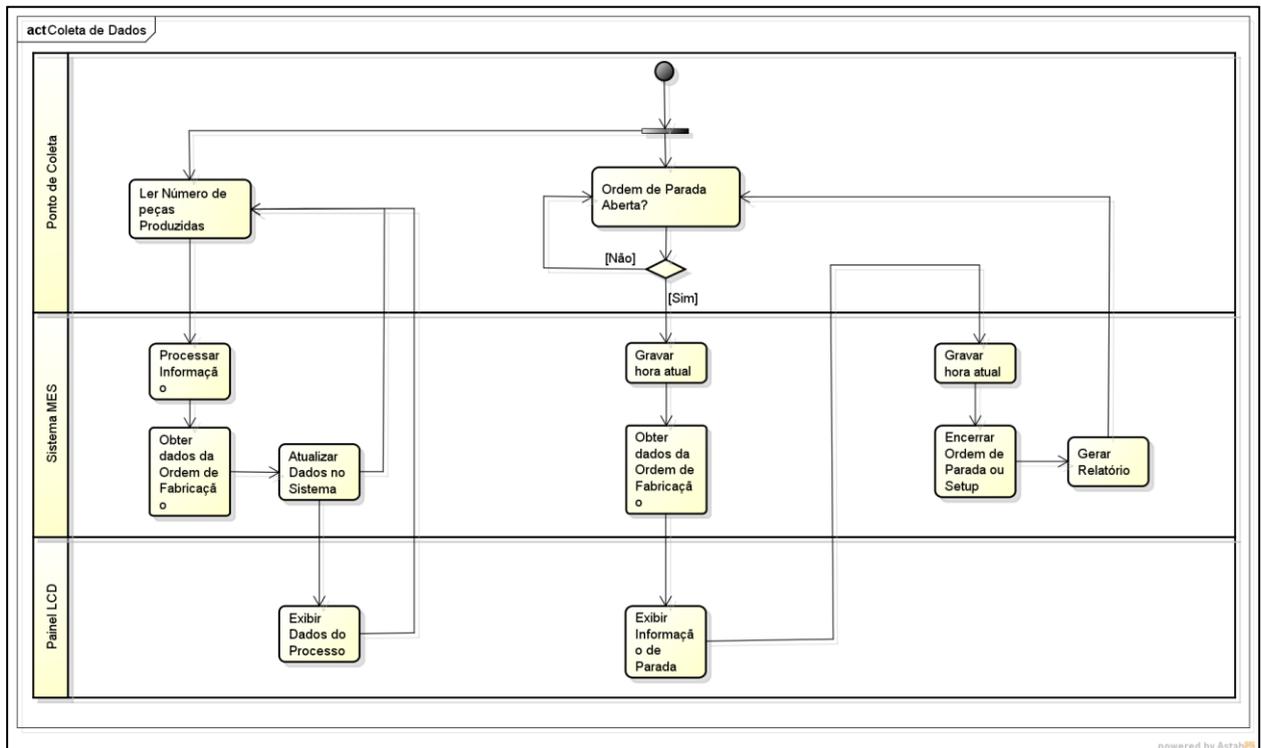
coleta conta com um CLP, responsável por ler dados de sensores e robôs, contabilizando o número de peças produzidas, e uma IHM *touch screen* responsável pela exibição local de alguns dados referentes à célula de trabalho e a abertura e encerramento de uma ordem de parada ou *setup*.

A comunicação utiliza os protocolos *Ethernet/IP* e *ModBus*, trafegando respectivamente sobre as camadas físicas *Ethernet* e RS-485.

Os pontos de coleta estão ligados a um *switch* industrial. Desta forma, o CLP mestre lê e armazena as informações de todos os pontos de coleta. O servidor MES por sua vez coleta os dados somente do CLP mestre. Desta forma são obtidos os dados necessários para a geração das informações e relatórios pertinentes ao processo.

O diagrama de atividades da Figura 16 apresenta as principais atribuições do novo sistema de coleta.

Figura 15 – Fluxo Para Coleta de Dados



Fonte: Autor

4.3.2 Análise de Performance

Dentre as funcionalidades implementadas por este módulo, destaca-se a geração de relatórios atualizados sobre as operações do chão de fábrica.

O objetivo destes relatórios é aproximar mais a gerência da real situação do chão de fábrica. Dados que antes eram disponibilizados com atrasos de dias e até semanas, agora estarão disponíveis em tempo real.

Outro objetivo é permitir a comparação dos resultados obtidos com as metas pré-estabelecidas, ou ainda, com os dados históricos.

4.3.2.1 Cenário atual 1: Emissão e acompanhamento de uma ordem de fabricação.

A linha de produção somente pode trabalhar mediante uma ordem de fabricação emitida pelo PCP (programação e controle da produção). Quando esta ordem é emitida, existe uma dificuldade de se obterem dados precisos e em tempo real da situação desta ordem no chão de fábrica. A atualização de itens fabricados somente é inserida no ERP quando é dada baixa de um lote no setor de expedição. O prazo estimado para o término de uma ordem de fabricação é calculado com base em padrões de produção. Porém nem sempre estes padrões conseguem ser atingidos. Em muitos casos a ordem é finalizada antes ou depois do prazo estimado.

A tabela do Anexo C exibe as informações que o PCP envia para a linha de produção informando, entre outros dados, as referências e quantidades de itens que devem ser produzidos.

Outro aspecto é a interação dos colaboradores com esta ordem de fabricação. Em geral somente algumas pessoas chave no processo tomam conhecimento para qual cliente se destina a ordem, a quantidade de itens que devem ser produzidos, o tempo estimado para o seu término e a quantidade de itens produzidos até o momento.

4.3.2.2 Cenário futuro 1: Emissão e acompanhamento de uma ordem de fabricação.

Com a coleta automática e em tempo real dos dados de produção será possível estimar a real situação da ordem no chão de fábrica. Quantidade de itens já

produzidos, itens restantes para o término da ordem de fabricação bem como o tempo estimado para isso, possibilitará aos programadores e gerentes de produção ter um conhecimento mais detalhado do andamento da ordem, aumentando a eficiência e eficácia do seu trabalho.

O PCP não mais utilizará as planilhas do Excel para enviar as ordens de fabricação à linha de produção. Estas ordens serão digitadas em um módulo do MES. O encarregado da linha de produção, responsável por organizar e iniciar as ordens de fabricação solicitadas pelo PCP selecionará uma das ordens programadas no MES. Com isso o sistema sabe qual ordem de fabricação está em execução e passa a exibir informações relacionadas à esta ordem para todos os envolvidos no processo

Com base nas informações inseridas e coletadas, o MES deverá gerar informações tais como cliente ao qual se destina a ordem de fabricação atual, referência do produto que está sendo produzido, total de itens a serem produzidos, total já produzido e itens restantes, bem como o prazo médio para o término da ordem de fabricação.

Todos estes dados deverão estar disponíveis em painéis LCD espalhados pelo chão de fábrica. As informações também poderão ser visualizadas no próprio sistema MES.

4.3.2.3 Cenário atual 2: Acompanhamento dos tempos de parada e setup

Durante o turno de trabalho o responsável pela função anota os tempos de parada e *setup* da linha de produção em um bloco de notas que geralmente leva em seu bolso. Ao final do dia estes dados são digitados na planilha do Anexo A. No dia seguinte os dados da planilha do Anexo A são repassados para o sistema ERP.

Esta é a descrição do cenário na melhor das hipóteses. Em alguns momentos os dados de parada e *setup* são inseridos com atrasos de dias. Também existem algumas discrepâncias entre o tempo em que a linha efetivamente ficou parada e os tempos anotados pelos funcionários.

Novamente os colaboradores e envolvidos no processo não têm informações referentes aos tempos de parada e *setup* da linha de produção.

4.3.2.4 Cenário futuro 2: Acompanhamento dos tempos de parada e setup

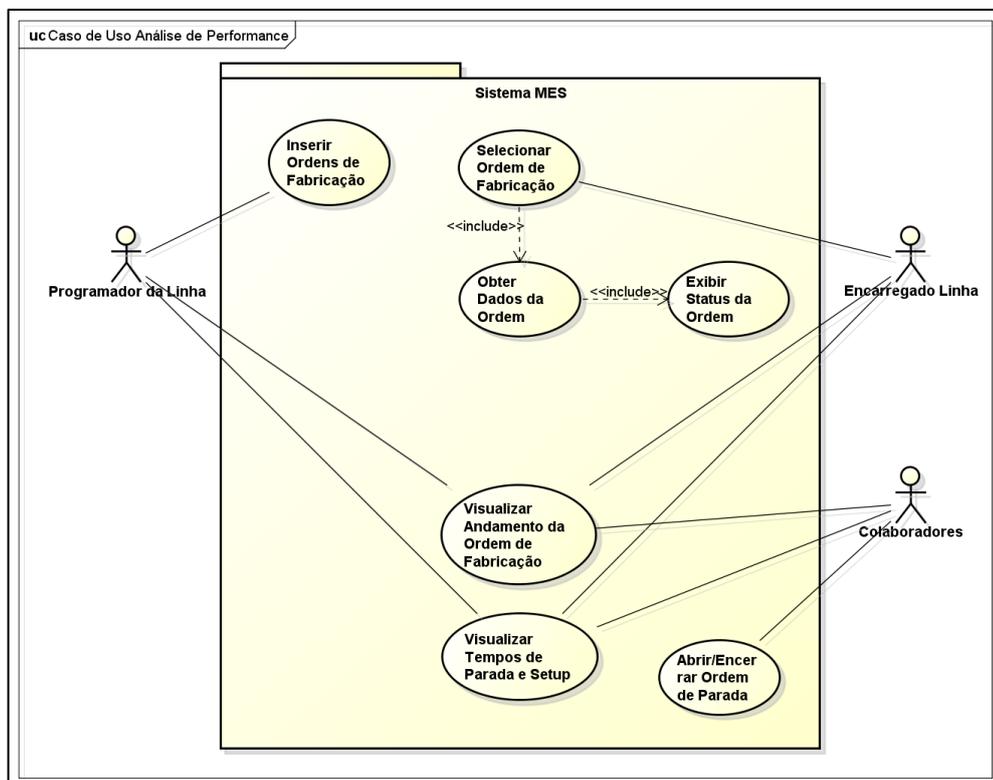
Os tempos de parada e setup deverão ser inseridos em tempo de execução no MES. Através das IHM's *touch screen* os operadores deverão interagir com o software e informar o início e o fim de uma parada. Desse modo, ao parar a linha por algum motivo específico, todo o restante da produção ficará sabendo desta parada.

A hora de início e fim de uma parada, bem como a referência do produto atual deverá ser preenchida automaticamente pelo sistema MES, pois este, através da ordem de fabricação selecionada deverá saber o produto que a linha de produção está fabricando no momento.

Também será possível exibir nos painéis LCD e no sistema MES os tempos totais de parada até o momento, os motivos de parada, etc.

O diagrama de caso de uso da Figura 17 representa as interações e responsabilidades dos atores envolvidos nos dois cenários específicos: emissão e acompanhamento de uma ordem de fabricação e acompanhamento dos tempos de parada e *setup*.

Figura 16 – Diagrama de Caso de Uso para o Cenário de Análise de Performance



Fonte: Autor

4.3.3 Gerenciamento do processo

O objetivo deste módulo é monitorar os processos de produção. O módulo conta com o tratamento de alarmes, possibilitando que as partes envolvidas no processo tomem ciência das variações dos processos e os seus níveis de tolerância.

4.3.3.1 Cenário atual do Acompanhamento da Produção

No modelo atual não é possível ter um retrato instantâneo do nível de produtividade da linha, pois não existe um acompanhamento em tempo real do número de peças/hora que estão sendo produzidas. Somente ao final do dia, é que estes dados são coletados e repassados ao ERP.

A única forma de se obter esta informação em tempo real é entrando em contato com o supervisor de produção ou indo fisicamente até a linha de produção para verificar a real situação do processo.

Caso a produtividade da linha esteja abaixo da tolerância permitida, em geral é muito difícil tomar uma ação proativa, pois estes dados aparecem somente ao final do dia quando o número total de itens produzidos é contabilizado.

Os colaboradores do processo também não tem conhecimento dos níveis de produtividade da linha.

4.3.3.2 Cenário futuro do Acompanhamento da Produção

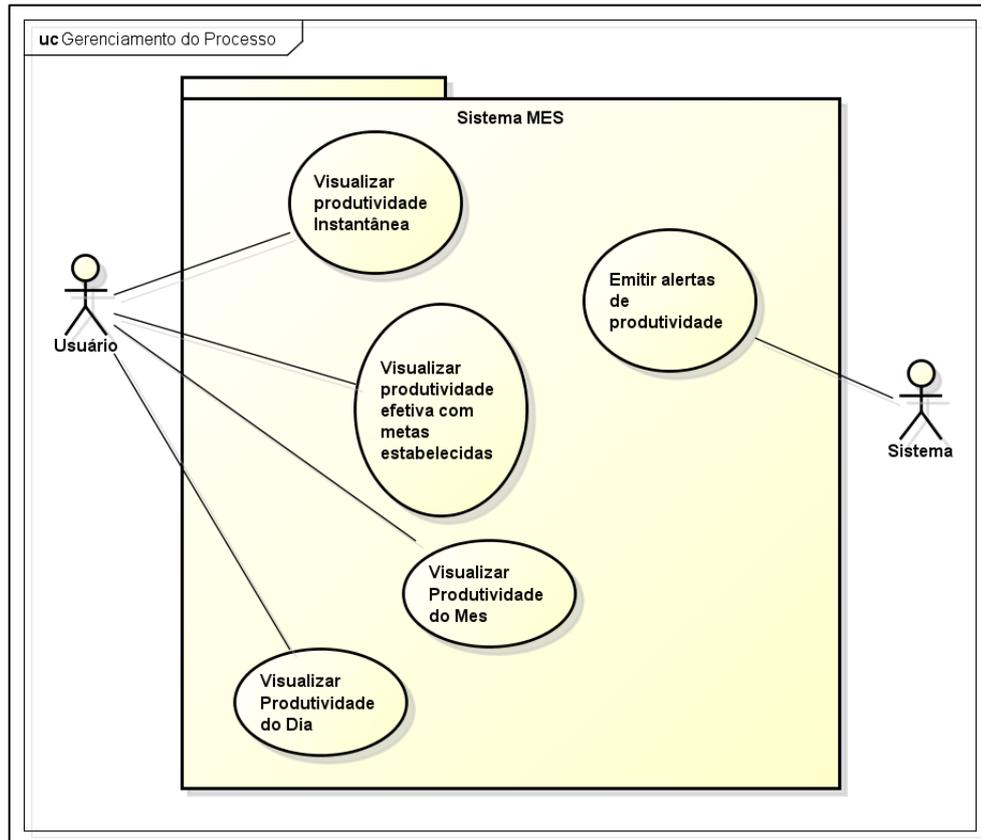
Em um modelo futuro a informação da produtividade da linha deverá estar disponível para toda a equipe de produção e de gerência. Será possível acessar estes dados através de uma tela do sistema em qualquer computador habilitado para isto.

O painel LCD fixado na linha de produção também exibirá o índice de produtividade atual da linha, permitindo a todos os colaboradores saberem se o seu desempenho está bom, ou aquém do esperado.

Caso o nível de produtividade fique abaixo de uma meta estabelecida como padrão, o sistema deverá gerar alarmes informando os responsáveis pela área para que estes possam tomar ações necessárias para a correção de um eventual problema que esteja ocasionando esta baixa produtividade.

O diagrama de caso de uso da Figura 18 exibe as principais informações que o sistema deverá disponibilizar para todos os usuários e a responsabilidade de emitir alertas caso a produtividade esteja abaixo da meta especificada.

Figura 17 – Diagrama de Caso de Uso para o Cenário de Gerenciamento do Processo



Fonte: Autor

4.4 RECURSOS UTILIZADOS NO DESENVOLVIMENTO

Para o desenvolvimento da proposta de solução serão utilizadas as tecnologias de automação citadas até aqui. Os CLP's e IHM's serão da fabricante LS industrial systems, as tecnologias de rede são compostas basicamente pelos protocolos *Ethernet/IP* e *ModBus*.

O desenvolvimento do sistema MES será com base na plataforma .net da Microsoft, utilizando linguagem C#.

O banco de dados relacional utilizado será o Microsoft SQL Server 2008 Standard Edition.

5 DESENVOLVIMENTO DA PROPOSTA DE SOLUÇÃO

Dentro da proposta apresentada no Capítulo 4, implementaram-se as funcionalidades previstas dentro de cada um dos módulos do MES, representados na Figura 14². O módulo de aquisição e coleta de dados (1) foi desenvolvido em conjunto com o módulo de controle (4). O desenvolvimento destes dois módulos demandou a maior parte do tempo de desenvolvimento do projeto, uma vez que estas atividades contemplavam a criação e instalação de toda infraestrutura de rede e cabeamento para o sistema MES, bem como a instalação dos dispositivos de automação nos pontos de coleta. Juntamente com esses módulos foi desenvolvido o protocolo *Ethernet/IP*, responsável pela integração dos sistemas de automação do chão de fábrica com o sistema de informação MES.

Com o módulo de coleta e aquisição de dados disponível, a etapa seguinte constituiu-se no tratamento destes dados. Neste ponto foram implementadas as funcionalidades previstas no módulo de gerenciamento do processo (2) e análise de performance (3), também representados na Figura 14.

Este Capítulo apresenta, primeiramente, uma visão geral da arquitetura do sistema, e posteriormente os detalhes de implantação de cada módulo em específico do MES.

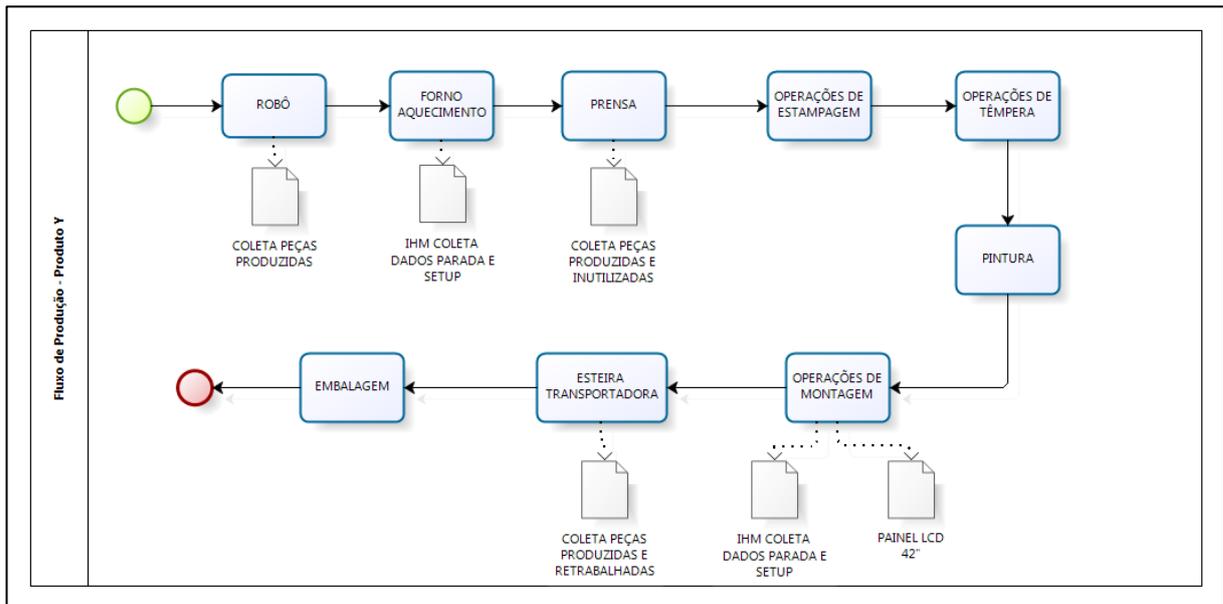
5.1 ARQUITETURA GERAL DO SISTEMA MES

A arquitetura do sistema pode ser dividida em duas partes. A primeira parte compreende todo *hardware* e *software* dos dispositivos de automação, responsáveis pelo sistema de coleta de dados no chão de fábrica (sistema de automação). A segunda parte diz respeito à arquitetura de software, banco de dados, classes e camadas com que o sistema MES foi desenvolvido (sistema de informação).

Na Figura 18 pode-se observar a localização dos dispositivos de automação, responsáveis pela coleta eletrônica dos dados de produção.

² Apresentada no Capítulo 4.

Figura 18 – Fluxo do Sistema de Coleta de Dados no Chão de Fábrica



Fonte: Autor

O novo *layout* sofreu algumas modificações em relação ao original, representado na Figura 12³. Ao invés de utilizar dois painéis LCD, optou-se pela instalação de somente um painel. Os pontos de coleta foram realocados por sugestão do supervisor da linha de produção, agora posicionados em lugares estratégicos do processo.

Existem sensores para contagem do número de peças produzidas no robô, prensa e na retirada das peças da esteira transportadora. Também existem dois pontos para coleta dos dados de parada e *setup*, instalados respectivamente na primeira prensa da linha e em um dispositivo de montagem. Um painel LCD exibe as informações do processo para a maior parte dos colaboradores da linha de produção.

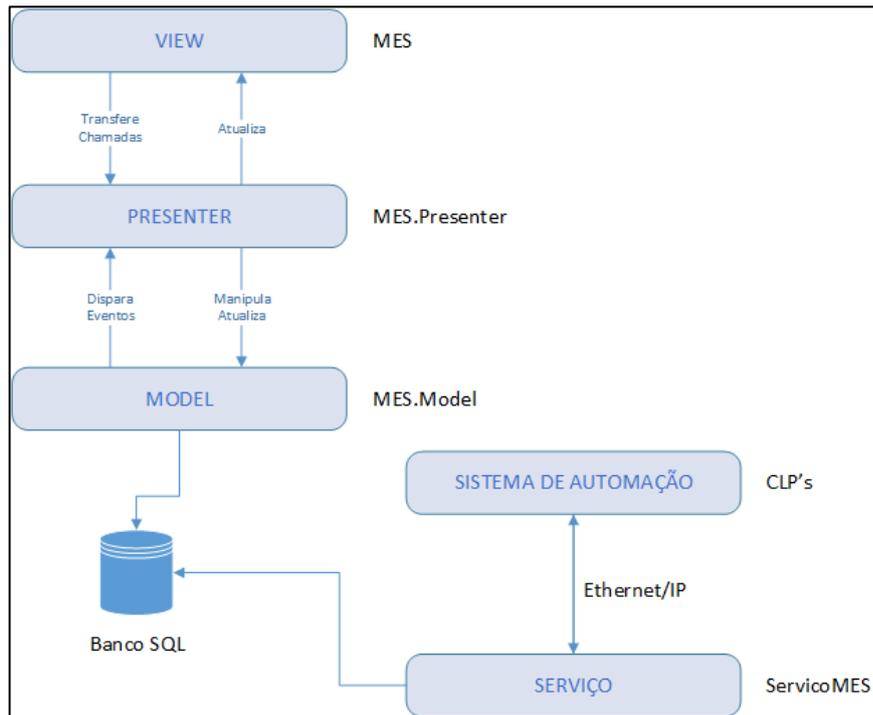
O sistema de automação conta com CLP's, IHM's e sensores. Cada dispositivo de automação também possui um *software* responsável pelo seu funcionamento, sendo programados em linguagens proprietárias disponibilizadas pelo fornecedor do produto. Todos estes equipamentos comunicam-se entre si, e com o sistema MES através dos protocolos *ModBus* e *Ethernet/IP*.

Na Figura 19 pode-se observar a arquitetura de camadas do sistema de informação MES. O desenvolvimento segue o padrão MVP (*Model-View-Presenter*). A aplicação principal é o MES. As camadas *model* e *presenter* foram transformadas

³ Apresentada no Capítulo 4.

em DLL's. Também existe um serviço Windows chamado de ServicoMES. Este serviço é uma aplicação independente das demais camadas e sua responsabilidade é comunicar-se com os dispositivos de automação do chão de fábrica, realizando as operações de leitura e escrita nos registradores dos CLP's. O serviço é iniciado juntamente com o Windows.

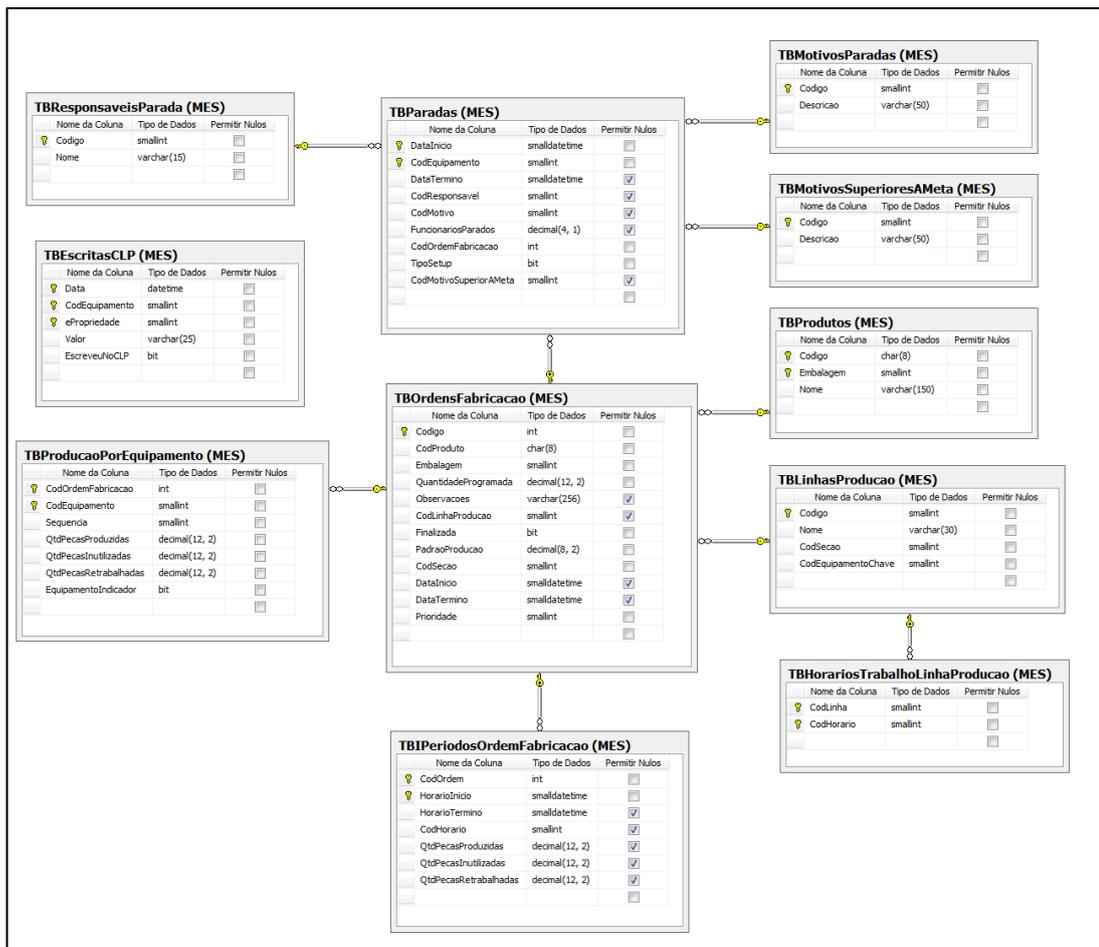
Figura 19 – Modelo em Camadas do Sistema MES



Fonte: Autor

A Figura 20 exibe o diagrama do banco de dados do sistema, implementado utilizando o SQL server 2008. As tabelas armazenam informações sobre cada máquina cadastrada no sistema e sobre o *status* das ordens de fabricação. A tabela TBProducaoPorEquipamento, por exemplo, possui atributos que indicam a quantidade de peças produzidas, inutilizadas e retrabalhadas para cada estação de trabalho, enquanto a tabela TBParadas armazena informações referentes aos dados de parada de uma máquina.

Figura 20 – Tabelas do Banco de Dados



Fonte: Autor

5.2 DESENVOLVIMENTO DO MÓDULO DE AQUISIÇÃO E COLETA DE DADOS E DO MÓDULO DE CONTROLE

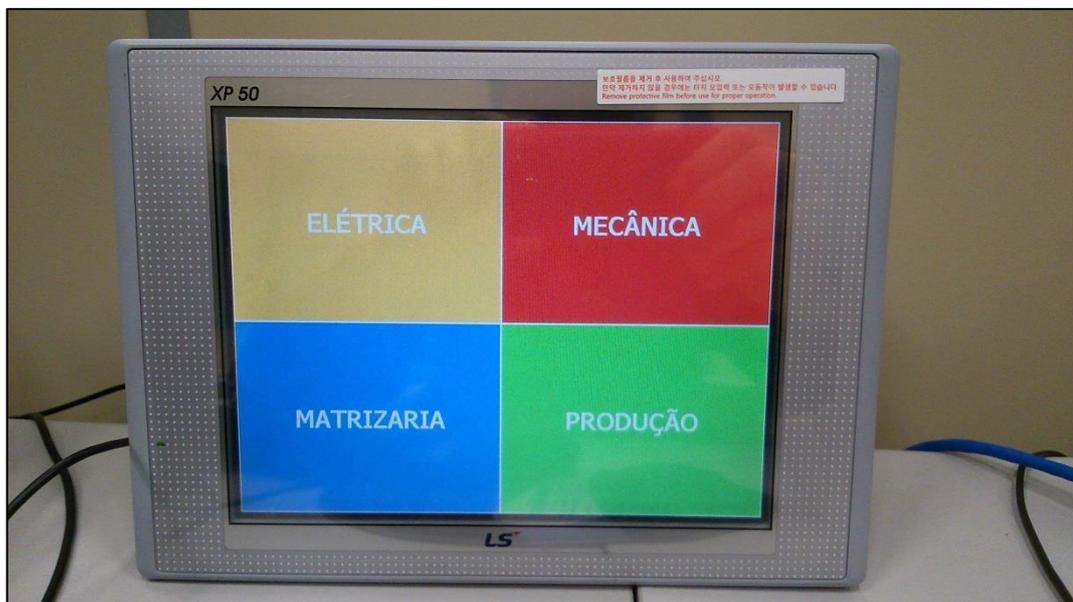
As principais dificuldades encontradas no decorrer deste módulo foram a complexidade no desenvolvimento do protocolo *Ethernet/IP*, a grande quantidade de atividades paralelas realizadas na empresa e, o atraso na instalação dos pontos de coleta de dados na linha de produção. Este atraso gerou alguns contratemplos, porém, em momento algum impediu que os objetivos finais fossem alcançados.

A instalação dos equipamentos de automação na linha de produção, incluindo sensores, CLP's, e IHM's foi efetivamente concluída somente na segunda quinzena de maio. Enquanto isso optou-se por montar um sistema de coleta de dados no laboratório de desenvolvimento. Desta forma foi possível projetar, implementar e

realizar diversos testes funcionais em um cenário fiel ao que seria encontrado na linha de produção.

Uma das atividades de desenvolvimento deste módulo diz respeito à instalação e programação dos dispositivos de automação utilizados nos pontos de coleta de dados. Na figura 21 pode-se observar uma IHM utilizada para a coleta de dados de parada e *setup*.

Figura 21 – IHM Utilizada na Coleta de Dados de Parada e *Setup*



Fonte: Autor

Esta IHM disponibiliza aos colaboradores do chão de fábrica uma interface simples e prática para a abertura e o fechamento de uma ordem de parada de linha ou de *setup*. Desta forma, os dados que antes eram coletados de forma manual, como se pode observar na planilha do Anexo A, agora são coletados de forma automática pelo sistema MES.

O sistema de coleta de dados conta com duas IHM's utilizadas para a entrada dos dados de parada, três pontos para leitura de peças produzidas e um televisor LCD de 42 polegadas para exibição dos dados do processo. Cada ponto de leitura de peças produzidas possui um conjunto de sensores responsável pela leitura automática do número de peças produzidas. Com esta leitura também se eliminou a planilha de inserção de peças produzidas, representada no Anexo B.

O projeto original previa um CLP mestre, responsável por ler e armazenar os dados de todos os pontos de coleta, porém, este CLP foi eliminado do projeto, sendo que os dados agora são acessados diretamente nos CLP's dos pontos de coleta. Optou-se pela eliminação do CLP mestre para que o serviço MES tenha um endereçamento direto nos registradores do CLP, diminuindo assim a complexidade de programação.

A estrutura de registros do CLP está representada na Figura 22. Esta estrutura é responsável por armazenar diversas informações sobre cada máquina cadastrada no sistema MES, tais como o número de peças produzidas e os dados de parada e *setup*, por exemplo.

Figura 22 – Estrutura de Registros do CLP

Registrador MW0000 – Código do equipamento
Registrador MW0001 – Registrador Bit a Bit
b0 – Parada por setup de produto
b1 – Reconhece O.F. finalizada
b2 – Bit reserva
b3 – Bit reserva
b4 – Iniciar tempo de parada
b5 – Finalizar tempo de parada
b6 – Salvar parada no banco de dados
b7 – Habilita sensor de peças produzidas
b8 – Habilita sensor de peças inutilizadas
b9 – Habilita sensor de peças retrabalhadas
b10 – Exibe peças produzidas no LCD
b11 - Reserva
...
b15 – Reserva
Registrador MW0002 – Código do motivo da parada
Registrador MW0003 – Número de pessoas paradas
Registrador MW0004 – Código do motivo superior a meta
Registrador MW0005 – Código seção responsável parada
Registrador MW0006 – Reserva
Registrador MW0007 – Reserva
Registrador MW0008 – Número de peças a produzir
Registrador MW0009 – Número de peças produzidas
Registrador MW0010 – Número de peças retrabalhadas
Registrador MW0011 – Número de peças a mais para produzir
Registrador MW0012 – Número de peças inutilizadas
Registrador MW0013 – Reserva
Registrador MW0014 – Reserva

Fonte: Autor

Existem dois CLP's físicos instalados na linha de produção, cada um contendo 1024 registradores disponíveis. A instalação de um CLP por máquina tornaria o projeto inviável, então, para cada máquina adicionada ao sistema MES, um novo conjunto de 15 registradores é criado no CLP. Dessa forma cada máquina possui seu próprio conjunto de registradores.

O conteúdo destes registradores é transportado para dentro do sistema MES através do protocolo *Ethernet/IP*. Este protocolo permite ler e escrever dados em qualquer tipo de registrador do CLP. É desta forma que o número de peças produzidas de uma máquina, por exemplo, é lido pelo sistema MES.

Para validação e desenvolvimento do protocolo *Ethernet/IP* foi utilizado o software de monitoração de rede *Wireshark*. Monitorando os *frames* trocados na comunicação entre dois CLP's foi possível, através de uma engenharia reversa, reconstruir o protocolo de comunicação e reprogramá-lo em .net. Para validação foram realizados diversos testes de escrita e leitura em registradores no CLP.

O anexo D mostra um dos diversos *frames* do protocolo *Ethernet/IP*. Este frame, em específico, é responsável pela requisição de leitura de um registrador no CLP.

5.3 DESENVOLVIMENTO DO MÓDULO DE ANÁLISE DE PERFORMANCE

Este módulo tem dois objetivos. O primeiro objetivo diz respeito à emissão e acompanhamento de uma ordem de fabricação. A planilha do Anexo C, que antes era utilizada para enviar as ordens de fabricação para a linha foi substituída por um módulo de seleção de ordens de fabricação implementado dentro do sistema MES. A Figura 23 exhibe a tela deste módulo.

O sistema MES, através de uma operação de leitura no banco de dados do ERP, obtém as ordens de fabricação pendentes para a linha de produção. Estas ordens são então exibidas na tela do sistema MES e o encarregado da linha pode selecionar qual delas deseja produzir. Uma vez que o usuário selecionou uma destas ordens para produzir, o sistema obtém os dados relacionados à ordem, tais como referência atual e quantidade de itens a produzir.

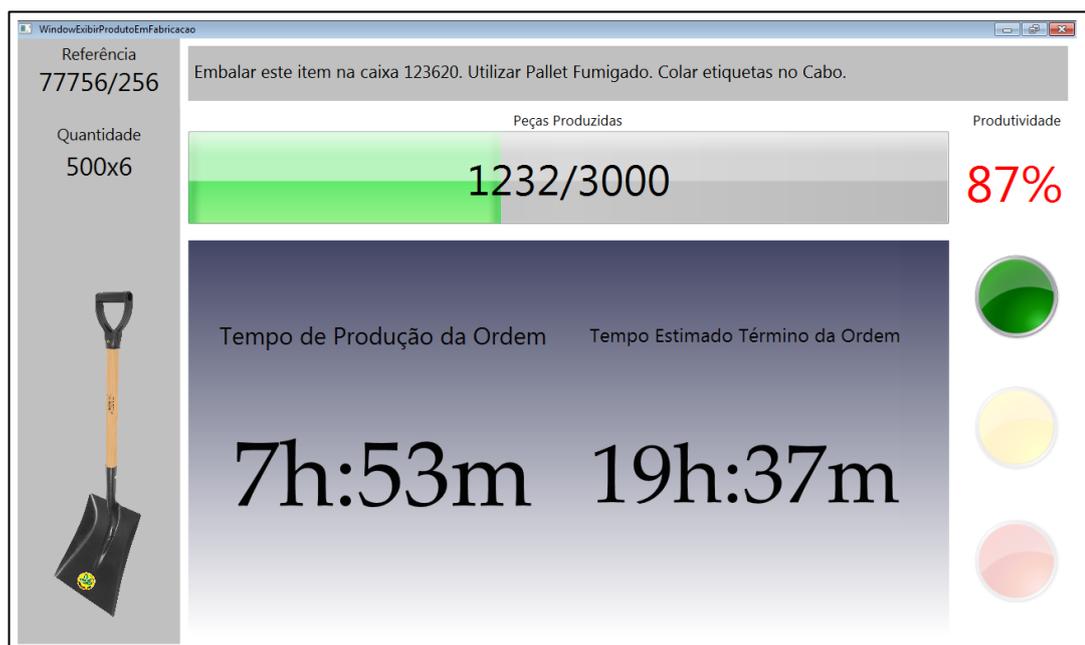
Figura 23 – Tela Para Seleção da Ordem de Fabricação

Codigo	CodProduto	CodLinhaProducao	Embalagem	QuantidadeProgramada	PadraoProducao	Prioridade	Observacoes
653541	77400424	0	195	8.00	4.18	3	
653537	77128504	0	50	36.00	9.00	99	
655144	77130544	0	76	2.00	8.29	99	
654097	77144044	0	12	13.00	52.92	99	
650380	77144544	0	66	4.00	9.62	99	
653540	77400424	0	180	12.00	2.00	99	
656912	77400524	0	6	250.00	68.00	99	
657078	77405434	0	143	12.00	5.59	99	
657250	77410344	0	6	50.00	62.92	99	
655361	77420334	0	6	1084.00	65.00	99	
655362	77420434	0	192	3.00	2.03	99	
653554	77440304	0	210	2.00	3.14	99	
653556	77443304	0	6	42.00	45.83	99	
656892	77443304	0	192	2.00	2.86	99	
653027	77443404	0	6	100.00	45.83	99	
647371	77459024	0	6	50.00	139.17	99	
653565	77459034	0	170	21.00	4.76	99	
657702	77459034	0	170	10.00	4.76	99	
655366	77459044	0	120	13.00	6.29	99	
654172	77459044	0	324	14.00	2.33	99	
655368	77459434	0	200	38.00	4.05	99	
655369	77459444	0	155	4.00	4.87	99	
655371	77459534	0	160	35.00	5.06	99	
657630	77459544	0	56	15.00	13.49	99	

Fonte: Autor

Com a ordem selecionada, o sistema passa a monitorar o *status* da ordem em tempo real. A Figura 24 exibe a tela que é exibida no painel LCD do chão de fábrica. Nesta tela estão disponíveis informações como o total de itens produzidos, o total de itens da ordem de fabricação, a referência do produto, o tempo total decorrido desde o início da ordem e o tempo estimado para o término da ordem.

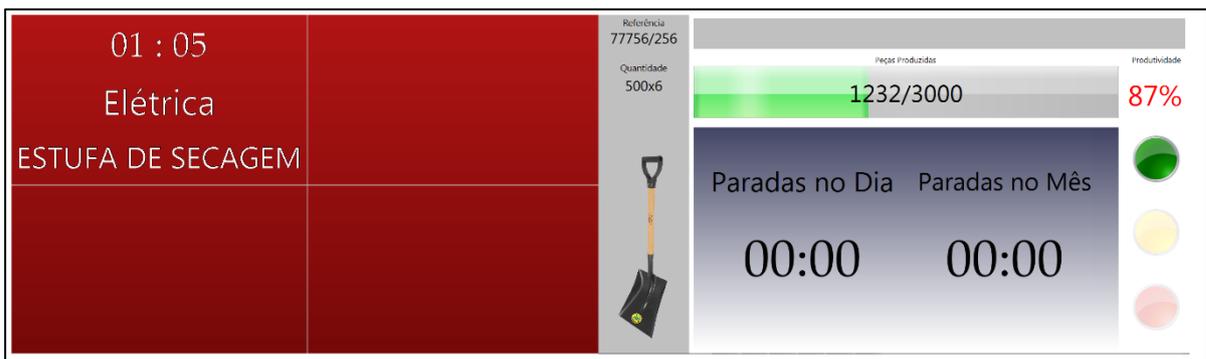
Figura 24 – Tela Principal do Sistema MES



Fonte: Autor

O outro objetivo deste módulo compreende o acompanhamento dos tempos de parada e *setup*, também em tempo real. Isso é possível devido aos *softwares* que estão rodando nas IHM's. As paradas de linha e *setup* de produto agora são inseridas diretamente nas IHM's. Com isso, o MES interpreta em tempo real se existe alguma máquina parada ou *setup* em andamento. Diante disso, o sistema exibe um alerta no painel LCD informando o número da máquina e o tempo total de parada. Os tempos totais de parada e *setup* também podem ser monitorados na tela principal. A Figura 25 exibe estas duas telas, à esquerda está representada a tela de alerta de paradas e *setup* e a direita e tela principal exibindo os tempos totais de paradas.

Figura 25 – Telas de Alerta e Monitoração de Paradas e Setup



Fonte: Autor

O usuário somente precisa entrar com as informações do número da máquina, código do motivo da parada e o número de pessoas paradas. As demais informações são obtidas automaticamente pelo sistema.

A exportação dos dados de parada e *setup*, para planilhas ou documentos eletrônicos está em desenvolvimento até o momento da entrega deste trabalho.

5.4 DESENVOLVIMENTO DO MÓDULO DE GERENCIAMENTO DE PROCESSO

Com os dados obtidos do chão de fábrica e as consultas realizadas no banco de dados do sistema ERP é possível efetuar o cálculo de produtividade da linha de forma instantânea.

Quando uma ordem de fabricação é selecionada no sistema MES, também são obtidas informações referentes ao fluxo de trabalho do produto a ser fabricado. Estas informações dizem respeito ao custo do produto, e a quantidade de trabalho necessário para produzi-lo. De posse destes dados é possível realizar o cálculo da produtividade, que é feito da seguinte forma:

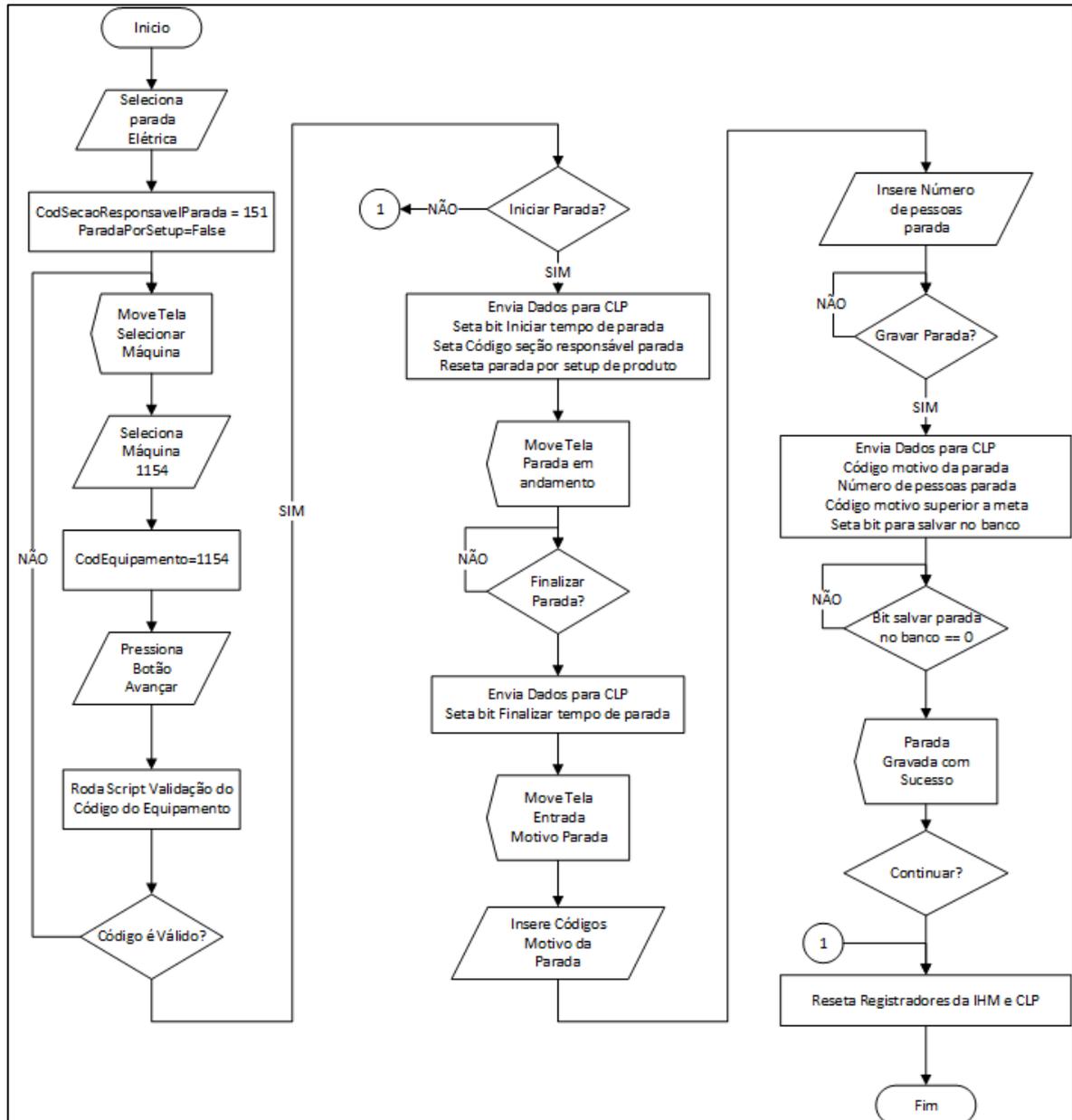
$$\text{Produtividade} = \frac{\text{n}^{\circ} \text{ de peças produzidas} * \text{quantidade de UP's necessárias para produzir uma unidade}}{\text{n}^{\circ} \text{ de funcionários cadastrado no fluxo} * \text{tempo decorrido do início da ordem (min)}}$$

Desta forma o nível de produção da linha pode ser monitorado em tempo real, uma vez que o número de peças produzidas é atualizado constantemente. O nível de produtividade é indicado na tela principal do sistema. Também existem três indicadores: verde com produtividade maior que 80%, amarelo com produtividade entre 70% e 80%, vermelho com produtividade menor que 70%. Na figura 24 é possível visualizar estas informações no canto direito da tela.

5.5 FLUXO DE UTILIZAÇÃO PARA CADASTRO DE PARADAS

O cadastro de uma parada de linha ou *setup* é realizado a partir da IHM. Neste processo os dispositivos de automação trocam diversas informações entre si e com o sistema MES. A Figura 26 apresenta um fluxograma de utilização para o cadastro de uma parada elétrica da máquina 1154.

Figura 26 – Fluxograma Cadastro de Parada Elétrica



Fonte: Autor

6 CONCLUSÃO

A integração entre as áreas de tecnologia da automação e tecnologia da informação é uma tendência no mercado atual. Diante da complexidade dos sistemas e dos requisitos exigidos pelas empresas, não se pode mais ignorar o fato de que os profissionais destas áreas terão que se adequar a um novo método de trabalho e compartilhar conhecimento entre eles.

O sistema MES é um exemplo claro de um trabalho realizado em equipe. Para alcançar o objetivo deste trabalho foi necessário integrar os setores de produção, automação e tecnologia da informação.

A produção, como cliente, necessita de um sistema rápido e eficiente para tomar suas decisões baseadas em números e não mais em experiências passadas ou “achismo”. A tecnologia da automação fornece os meios corretos para que estas informações possam ser coletadas de forma mais eficiente no chão de fábrica, enquanto a tecnologia da informação, de posse de todas estas informações, desenvolve o sistema propriamente dito.

A implantação de um sistema MES traz mais visibilidade, e um retrato muito mais fiel do que realmente acontece no chão de fábrica. Estes sistemas são considerados uma evolução dos antigos sistemas MRP II, e em um cenário ideal complementam os atuais sistemas ERP's das empresas com informações obtidas diretamente do chão de fábrica.

No desenvolvimento do MES dentro da empresa X, a ideia foi construir um protótipo deste sistema, contendo funcionalidades básicas que atendessem os principais requisitos da produção.

Para se chegar a este objetivo, passou-se por algumas dificuldades. O curto período de tempo para implantação de um sistema deste porte não permitiu que fossem realizados testes na produção. Os requisitos foram levantados e implementados de acordo com as definições obtidas nas reuniões da equipe de desenvolvimento do projeto. Pode-se implementar todas as funcionalidades propostas neste trabalho, porém algumas modificações já foram sugeridas pela produção, como o sequenciamento da produção, a contabilização do número de

peças retrabalhadas e inutilizadas e a monitoração dos indicadores por turno de trabalho. Desta forma optou-se por liberar o sistema para o cliente somente quando o projeto estiver totalmente concluído.

Para validação dos módulos já implementados montou-se um sistema de coleta de dados no laboratório, que simula de forma idêntica o que acontece na linha de produção. Desta forma foi possível validar grande parte dos módulos já desenvolvidos, como o protocolo *Ethernet/IP*, regras de negócio, cadastro de ordens de parada e *setup*, leitura de peças produzidas e cálculos de produtividade, por exemplo.

Dentro deste tempo também pode-se perceber alguns pontos a serem melhorados na infraestrutura do sistema de automação.

A substituição das IHM's por *panels PC's* irá trazer mais flexibilidade no desenvolvimento da aplicação. No modelo atual as IHM's são programadas em um ambiente extremamente restrito, disponibilizado pelo fornecedor. Isso não permite a elaboração de códigos mais complexos. Para se cadastrar as máquinas, por exemplo, é preciso inserir o número e descrição de cada uma delas manualmente em uma caixa de texto. Para um projeto futuro prevê-se a utilização de *panels PC's*, permitindo a execução de aplicações Windows, desenvolvidas em .net.

Após a conclusão total do projeto, a ideia é que o sistema seja testado exaustivamente nesta linha de produção, realizando as modificações necessárias e inserindo novas funcionalidades, até que se torne um produto consolidado e possa ser estendido às demais áreas da empresa.

Diante dos objetivos estabelecidos, o projeto pode contemplar a maior parte dos requisitos. A integração entre os sistemas de automação e informação está consolidada. Pode-se desenvolver o módulo de controle de paradas e *setup*, definir as regras de negócio e tabelas do banco de dados. A leitura do número de peças produzidas e cálculos de produtividade também já estão funcionando.

A empresa está bastante satisfeita com o produto apresentado até o momento, e aposta forte no seu desenvolvimento e extensão às demais áreas da produção.

Para continuação do projeto e dos estudos sobre sistemas MES pode-se perceber uma forte tendência na integração total entre os diversos sistemas que fazem parte da organização. A norma ISA S-95, por exemplo, trata especificamente sobre fluxos de trabalho e normas para integração do MES aos demais sistemas de informação. O último modelo do MES, lançado em 2008 tem como estratégia central a integração de dados entre todos os setores e níveis da empresa. Existem também diversos outros módulos do MES que atendem as necessidades específicas de cada empresa. Dentre eles podem-se citar os módulos de rastreabilidade, alocação de recursos e gerenciamento da qualidade.

O MES é um conjunto de funcionalidades e ferramentas que complementa um amplo e complexo sistema de gestão. Conseguir tirar o máximo proveito de todas as características que ele oferece, e integrá-lo aos demais sistemas da empresa é um ótimo desafio para quem pretende dar continuidade a este trabalho.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, P. U. B.; ALEXANDRIA, A. R. **Redes Industriais: Aplicações em sistemas digitais de controle distribuído**. 2. Ed. São Paulo: Ensino Profissional, 2009. 258p.

BARTHOLOMEW, D. Where's the Magic? Support for lean, improved visibility into operations drive investment in plant-floor technology. **Industry Week**, n. 255, p. 40-43, 2006.

CAETANO, A.G.L.S. – **Sistemas de Supervisão de Chão-de-Fábrica: Uma Contribuição para Implantação em Indústrias de Usinagem**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000. 110p

CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N.; CAON, M. **Planejamento, programação e controle da produção: MRP II/ERP**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2001. 452p.

DAVENPORT, T. H.: Putting de Enterprise into the Enterprise System. **Harvard Business Review**, p. 121-131, 1998.

GAIDZINSKI, V. H. **A tecnologia da informação no chão de fábrica: as novas ferramentas e a gestão integrada da informação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), UFSC, Florianópolis, 2003.

KLETTI, J. **Manufacturing Execution System – MES**. Springer, Mosbach, 2007.

LACOMBE, F. J. M. **Dicionário de Administração**. São Paulo: Saraiva, 2004.

LATTARO, P. Sob nova gestão. **Controle e Instrumentação**, São Paulo, n. 143, p. 52-55, 2008.

LAUDON, K. C.; LAUDON, J. P. **Sistemas de informação gerenciais**. 7. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007. 452 p.

LS INDUSTRIAL SYSTEMS. **XGB Ethernet/IP IF Module User's Manual**. 1.0. ed. 91p.

LUGLI, A. B.; SANTOS, M. M. D. **Sistemas FieldBus para automação industrial: DeviceNet, CANopen, SDS e Ethernet**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2009. 156p.

MAXMES. **Evolução do conceito de mes**. White Paper Maxmes # 01. 07/2009

MELLO, A. C. S.; BOTINHÃO, C. V. MES (Manufacturing Execution System) – uma abordagem histórica, conceitual e funcional. **InTech**, América do Sul, n. 141, p. 38-45, 2012.

MEYER, H.; FUCHS, F.; THIEL, K. **Manufacturing Execution Systems, Optimal Design, Planning and Deployment**. 1. ed. New York: McGrawHill, 2009

MENDES, J. V.; FILHO, E. E. Sistemas integrados de gestão ERP em pequenas empresas: um confronto entre o referencial teórico e a prática empresarial. **Gestão & Produção**, v.9, n.3, p.277-296, 2002.

MESA INTERNATIONAL. **MESA's Next Generation Collaborative MES Model**. White Paper Number #8. 2004.

MESA INTERNATIONAL. **MES Explained: A High Level Vision**. White Paper Number #6. 1997.

NEVES, J. M. S.; SANTOS, F. C. A. Implantação de tecnologias de informação utilizadas na integração entre o chão-de-fábrica e os sistemas ERP. **Controle e Instrumentação**, São Paulo, n. 143, p. 56-61, 2008.

ODVA & CONTROLNET INTERNATIONAL LTD. **The CIP Networks Library Volume 1: Common Industrial Protocol (CIP™)**. 3.3. ed. 2007. 1286p.

ODVA & CONTROLNET INTERNATIONAL LTD. **The CIP Networks Library Volume 2: EtherNet/IP Adaptation of CIP**. 1.4. ed. 2007. 158p.

OLIVEIRA, T. R. Da Automação para a informação: como transformar sonho em realidade no meio de uma sopa de letras. **Controle e Instrumentação**, São Paulo, n. 143, p. 76-81, 2008.

ROCKWELL AUTOMATION, 2006, **Corporate Sales Tools**. Disponível em <www.rockwellautomation.com>. Acessado em 08 de Jul. 2006

ROUSE, Margaret. **Definition manufacturing execution system (MES)**. Disponível em <<http://searchmanufacturingerp.techtarget.com/definition/manufacturing-execution-system-MES>> Acessado em 13/08/2013.

SEIXAS, P. F. **Introdução a Arquitetura de Sistemas de Automação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), UFMG Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1997.

SHIRASUNA, M. MES: Situação presente e expectativa do futuro. **Controle e Instrumentação**, São Paulo, n. 143, p. 66-71, 2008.

YUSUF, A. **Intellectual Property and International Trade**. London: Cambridge, 1998.

ANEXO A – TABELA DE INSERÇÃO DE PARADAS E SETUP

Tipo: Setup ou Parada	Código de horário	Data	Hora Início	Hora Fim	Duração	Máq.	Código do Motivo da Parada	Quant. Func. Parados	Referência atual	Setup			Técnico responsável
										Referência anterior	Operação	Cód. motivo trocas superiores a meta	
S	5	11/10/2013	15:40	15:50	00:10	207	301	4	1234-5	6478-5	furador	703	
S	5	14/10/2013	07:12	07:34	00:22	207	301	4	1254-5	2354-8	furador	703	
P	5	14/10/2013	07:40	07:52		798	52	4	1254-5		correia forno		
S	5	14/10/2013	08:40	08:50	00:10	123	301	4	1879-4	1254-5	estampo	703	
P	5	14/10/2013	11:05	11:15		595	313	16	1879-4		correia forno		
P	5	14/10/2013	11:15	11:25		595	52	16	1879-4		correia forno		
S	5	14/10/2013	13:53	14:00	00:07	123	301	4	5489-4	1879-4	estampo	703	
S	5	15/10/2013	11:15	11:16	00:01	123	301	4	4579-5	5489-4	estampo		
S	5	15/10/2013	13:00	13:10	00:10	123	301	4	2358-4	4579-5	estampo	703	
S	5	15/10/2013	14:25	14:30	00:05	123	301	4	9845-7	2358-4	estampo		
S	5	15/10/2013	15:05	15:15	00:10	123	301	4	5498-7	9845-7	estampo	703	
S	5	15/10/2013	16:30	16:42	00:12	8077	301	4	5489-5	5498-7	placas	703	
P	5	16/10/2013	07:12	08:30		123	366	16	5489-5		estampo		

ANEXO B – TABELA DE INSERÇÃO DE PEÇAS PRODUZIDAS

DATA	REF.	QUANT.	TOTAL PINT.	D / N	OCORRÊNCIAS PÁS L1	%	MANUT.	ELET.	MATRIZ.	PRODUÇ.	SET UP	DATA
23/10/2013	4589-4	1476	6398	D	troca de produto 1x	75,38					1	
	4589-5	4700			abastecer pó				6			
					setup montagem 2x				14			
					esvaziar latão montagem				15			
					problema na correia que abastece o forno tempera não ligou			8				
					quebrou rolete forno de aquecimento			25				
					peça trancada no forno de aquecimento				10			
					cabo ruim de montar				15			
23/10/2013	4589-5	2.160	5.300	N	troca de produto						4	
	4589-4	3.685			reunião			70				
					abastecer pó			6				
24/10/2013	4589-4	690	5382	D	troca de produto 5x	79,54					53	
	3547-4	1185			abastecer pó				4			
	6484-4	1323			setup montagm 4x				32			
	8945-4	478			esvazir latão				15			
	5684-5	1543			ruim de montar cabos de fibra				60			
25/10/2013	5684-5	1410	5540	D	troca de produto	81,43						
	5464-4	235			abastecer pó				7			
	5464-5	1768			setup montagem				13			
	4589-4	2576			esvaziar latão				20			
					troca celo				5			
					ruim de montar cabos				7			
					peças mal pintada				20			

ANEXO C – TABELA PARA PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO

PCP							
Data	Ref	Quant.	CABOS	EMP.	Nº O F		cliente
18/out	1548-5	975	981	993	608.866	cx 123620	
	5684-6	720	980		608.867	cx 105072	
	4589-5	182	981	993	611.415	Cliente 1 1617 cx 123620	PALET fumigado
	4589-5	182	981	993	611.433	Cliente 2 1618 cx 123620	PALET fumigado
	7845-3	144	980		608.869	CX 105072	
	7845-3	300	980		608.868		
	4124-7	336	980		606.489	ORDEM NOVA	
	4124-7	1.008	980		608.874	cx 105072	
	7456-8	192	981	993	608.873	cx 123620	
	7456-8	600	981	993	608.872		
21/out	4587-5	150	704		612.131	Cliente3 cx 105072	PALET fumigado
	5471-4	1.312	741		608.921	cx 105072	
	5471-4	164	741		608.153	cx 105072	
	5478-6	1.440			608.912	cx 125012	
	5478-6	1.344			608.913	ORDEM NOVA	

ANEXO D – FRAME DE REQUISIÇÃO DE LEITURA DE REGISTRADOR DO *ETHERNET/IP*

