

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



**Automatização e Integração de uma Linha de
Produção Industrial**

Marco Miguel Marques Teixeira

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Major Automação

Orientador: Engenheiro Mário de Sousa (FEUP)

10/03/2013

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



**Automatização e Integração de uma Linha de
Produção Industrial**

Marco Miguel Marques Teixeira

VERSÃO FINAL

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Major Automação

Orientador: Engenheiro Mário de Sousa (FEUP)

10/03/2013

Resumo

Este documento apresenta a dissertação “Automatização e Integração de uma Linha de Produção Industrial” desenvolvida no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. O plano de trabalhos deste projeto incide sobre uma fábrica de produtos alimentares e tem como objetivo efetuar todo o trabalho prévio à programação do sistema de controlo, de forma a contribuir positivamente para os objetivos da empresa de melhorar o controlo de produção e rastreabilidade, reduzir o número de falhas e o seu tempo médio de reparação e reduzir o tempo de limpeza e manutenção. De forma a cumprir os objetivos, será efetuada uma descrição e levantamento de requisitos da linha de produção e com base nesses dois fatores serão desenhadas a arquitetura da nova linha e diagramas UML de auxílio a este último. Por fim, neste documento poderá ainda encontrar as arquiteturas de controlo que vão permitir controlar e monitorizar a linha de produção de forma mais eficiente, assim como integrá-la, primeiro num sistema de supervisão e segundo num sistema que permitirá gerir e otimizar as operações de produção da fábrica.

Agradecimentos

Agradeço a todas as pessoas que direta ou indiretamente tornaram possível a realização deste trabalho e me ajudaram a dar um passo importante na caminhada da minha formação profissional e pessoal.

Agradeço ao meu orientador, Engenheiro Mário de Sousa, toda a simpatia, disponibilidade e ajuda sempre que foi necessário, e ainda, toda a sabedoria e ensinamentos que me transmitiu, e que em parte contribuíram para o sucesso deste trabalho.

Não podia também deixar de agradecer à minha família, especialmente aqueles que sempre estiveram presentes e que me apoiaram incondicionalmente ao longo destes anos, nos bons e maus momentos. Sei que estão orgulhosos de mim por concluir esta fase importante da minha vida, por isso este trabalho é em parte para vós.

Finalmente gostaria de deixar um obrigado especial à minha esposa Mafalda pela confiança e incentivo que sempre depositou em mim, pelo companheirismo, amizade e amor sempre presentes e por ser a razão principal do meu sucesso neste curso.

Índice

Resumo	iii
Agradecimentos	v
Índice	vii
Lista de figuras	ix
Abreviaturas	xi
Capítulo 1	1
Introdução	1
Capítulo 2	3
Revisão da literatura e estado da arte	3
2.1 Os sistemas de produção	3
2.2 A aplicação da <i>Unified Modeling Language</i> (UML).....	18
2.3 Redes de comunicação e sistemas de controlo	24
Capítulo 3	35
Primeira abordagem.....	35
3.1 Identificação de problemas	35
3.2 Propostas e contribuições esperadas	37
Capítulo 4	39
Automatização da linha de produção.....	39
4.1 Descrição e levantamento de requisitos	39
4.2 Arquitetura da linha de produção	55
4.3 Proposta de modelação do sistema de controlo.....	59
Capítulo 5	65
Proposta de otimização e integração do sistema de controlo	65
5.1 Arquitetura de controlo	66
5.2 SCADA / HMI	70

5.3 Interface de comunicação	77
5.4 MES (<i>Manufacturing Execution System</i>).....	79
Conclusões	83
Anexos.....	85
Anexo A – Arquitetura da linha de mistura líquida	85
Referências	87

Lista de figuras

Figura 1 – Linha de produção de uma fábrica de produtos alimentares.....	1
Figura 2 – Grau de continuidade dos 3 sistemas de produção (Palomino, 1995)	8
Figura 3 – Trajetória de um sistema dinâmico de variável contínua (Palomino, 1995)	10
Figura 4 – Trajetória de um sistema dinâmico de eventos discretos (Palomino, 1995)	10
Figura 5 – Diversos tipos de sistemas discretos (Palomino, 1995)	11
Figura 6 – Linha de fabrico flexível (Palomino, 1995).....	13
Figura 7 – Representação de uma estação de trabalho (Palomino, 1995)	13
Figura 8 – Representação de uma célula de fabrico (Palomino, 1995).....	14
Figura 9 – Representação de um sistema integrado de fabrico (Palomino, 1995).....	14
Figura 10 – Descrição dos diagramas de classes e casos de uso (Adaptado Costa, 2001).....	19
Figura 11 – Descrição dos diagramas de classes e sequências (Adaptado Costa, 2001).....	20
Figura 12 – Descrição dos diagramas de estados (Adaptado Costa, 2001)	21
Figura 13 – Processo de identificação dos casos de uso (Adaptado Costa, 2001)	22
Figura 14 – Identificação dos casos de uso e categorias (Adaptado Costa, 2001).....	23
Figura 15 – Evolução das tecnologias de automação (Guedes, 2005)	25
Figura 16 – Classificação das redes industriais (Adaptado Djiev, 2003).....	28
Figura 17 – Classificação das redes industriais e estrutura funcional	28
Figura 18 – Pirâmide hierárquica detalhada (Seixas Filho, Finkel, 2003)	29
Figura 19 – Arquitetura cliente-servidor do OPC (Puda, 2008)	31
Figura 20 – Pirâmide antes e depois dos sistemas ERP e MES (Carvalho, 2004)	32
Figura 21 – Integração PIMS e MES (Seixas Filho, 2003)	34
Figura 22 – Fluxo de produção	36
Figura 23 – Visão global dos equipamentos de produção da LML.....	40
Figura 24 – Visão global dos processos de produção da LML	40
Figura 25 – Procedimento da unidade de mistura	44

Figura 26 – Procedimento da unidade de tratamento térmico	46
Figura 27 – Procedimento da unidade de transferência de produto	48
Figura 28 – Procedimento de interrupção devido a anomalias	50
Figura 29 – Procedimento da unidade de LLE	51
Figura 30 – Procedimento da unidade de esterilização	53
Figura 31 – Arquitetura da linha de mistura líquida.....	55
Figura 32 – Excerto do misturador, LMPL, LMPS e linha CHE.....	56
Figura 33 – Excerto do tanque de espera	57
Figura 34 – Excerto da unidade de tratamento térmico	58
Figura 35 – Excerto da continuação da unidade de transferência.....	59
Figura 36 – Diagrama de classes da LML.....	60
Figura 37 – Diagrama de sequências da LML.....	62
Figura 38 – Arquitetura lógica IT da fábrica	67
Figura 39 – Arquitetura geral IT da fábrica.....	68
Figura 40 – Arquitetura geral da linha de mistura líquida.....	70
Figura 41 – Ecrã principal da HMI	71
Figura 42 – Ecrã de alarmes	71
Figura 43 – Envio das receitas para o PLC	72
Figura 44 – Ecrã de gestão de receitas.....	72
Figura 45 – Ecrã de tendências.....	73
Figura 46 – Ecrã dos controladores PID	74
Figura 47 – Ecrã de valores analógicos	75
Figura 48 – Ecrã de ajuda	76
Figura 49 – Ecrã da linha CHE	77
Figura 50 – Visão geral das comunicações entre os PLCs.....	78
Figura 51 – Atividades entre o sistema MES e os sistemas SCADA e ERP	80
Figura 52 – Gestão de informação com o <i>cmNavigo</i>	81

Abreviaturas

AOS	<i>Application Object Server</i>
CAN	<i>Controller Area Network</i>
CCM	Centro de Controlo dos Motores
CHE	Cereais Hidrolisados e Enzimas
CIT	Controlo e Indicação de Temperatura
CNI	Controlo de Nível e Indicação
CP	Painel de Controlo
E/S	Entradas/Saídas
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
FMS	<i>Flexible Manufacturing Systems</i>
HMI	Interface Homem-Máquina
IDV	Injeção Direta de Vapor
IFT	Indicador de Fluxo e Transmissor
INT	Indicador de Nível e Transmissor
IPT	Indicador de Pressão e Transmissor
IS	Interruptor de Segurança
ISA	<i>International Society of Automation</i>
ISSO	<i>International Organization for Standardization</i>
IT	Tecnologia de Informação
LAN	<i>Local Area Network</i>
LS	Linha de Secagem
LLE	Limpeza da Linha e dos Equipamentos
LML	Linha de Misturação Líquida
LMPL	Linha de Matérias-Primas Líquidas
LMPS	Linha de Matérias-Primas Sólidas
LPF	Linha de Produção de Farinhas
MES	<i>Manufacturing Execution System</i>
MIXR	Misturador
MRP	<i>Manufacturing Resources Planning</i>
OLE	<i>Object Linking and Embedding</i>
OPC	<i>OLE for Process Control</i>
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
PC	<i>Personal Computer</i>

PID	Proporcional-Integral-Derivativo
PIMS	<i>Plant Information Management System</i>
PLC	Controlador Lógico Programável
SCADA	Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados
SP	<i>Set Point</i>
UML	<i>Unified Modelling Language</i>

Capítulo 1

Introdução

O tema deste projeto surge do interesse pessoal pela área da automação industrial, do facto de poder contribuir para uma necessidade real de uma empresa e da experiência enriquecedora que se adquire trabalhando em ambientes industriais.

O facto de se tratar de uma necessidade real em ambiente industrial gera, no entanto, algumas dificuldades iniciais, como por exemplo:

- Compreensão das necessidades do cliente. Não há um guião previamente feito, pelo que é necessário contactar com o cliente para se definir um plano de trabalhos, mas, no entanto e por diversos motivos, essa tarefa não é trivial;
- Adaptação à dimensão de projetos em ambiente industrial. A dimensão e complexidade são muito superiores às simuladas noutros trabalhos académicos.

De entre um conjunto de empresas contactadas, uma fábrica de produtos alimentares revelou ter uma necessidade que vai exatamente de encontro aos temas que se pretendem abordar com esta dissertação, ou seja, uma das suas linhas de produção irá ser completamente remodelada, pelo que será necessário fazer novamente a sua automatização e integração nos sistemas de nível superior, e, além disso, necessitam de remodelar a arquitetura do sistema de controlo de todas as linhas de produção.

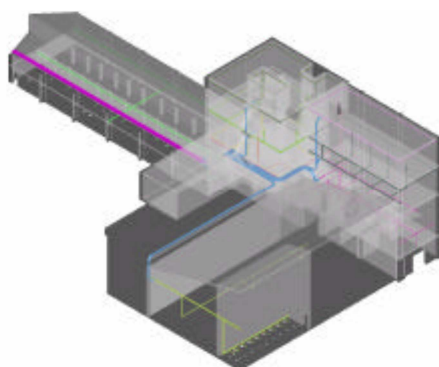


Figura 1 – Linha de produção de uma fábrica de produtos alimentares

A linha geral de produção da imagem acima é a Linha de Produção de Farinhas (LPF) e esta está dividida em cinco linhas específicas de produção que estão interligadas entre si, e que consoante a receita, funcionam em conjunto para produzir um produto final, uma farinha. Assim, as cinco linhas que constituem a LPF são as seguintes:

- Linha de Matérias-Primas Sólidas (LMPS);
- Linha de Matérias-Primas Líquidas (LMPL);
- Linha de Cereais Hidrolisados e Enzimas (CHE);
- Linha de Mistura Líquida (LML);
- Linha de Secagem (LS).

De entre as cinco linhas anteriores, a linha que será totalmente remodelada, e um dos objetos de estudo neste trabalho, será a Linha de Mistura Líquida. Esta linha é extremamente importante no processo de fabrico e assume um papel central no mesmo, já que, para além de outros aspetos importantes, esta recebe produto das três primeiras linhas mencionadas acima e envia para a última linha, um produto final para secagem.

Quanto ao sistema de controlo das cinco linhas mencionadas acima, e que é outro dos objetos de estudo deste trabalho, este segue práticas antigas e consideradas desatualizadas hoje em dia, o que faz com que isso traga várias desvantagens económicas à empresa, pelo que será necessário adequar o sistema às práticas usadas atualmente.

Assim sendo, pretende-se que com este trabalho possa ser cumprida a primeira de duas etapas das seguintes tarefas:

- Automatização e integração da Linha de Mistura Líquida;
- Otimização das arquiteturas dos sistemas de comando e controlo de todas as linhas e integração dos mesmos;

Com a ajuda deste trabalho a empresa pretende conseguir:

- Melhorar o controlo de produção e rastreabilidade;
- Reduzir o número de falhas e o seu impacto na produção;
- Reduzir o tempo de limpeza e manutenção;
- Reduzir os custos de produção;

Das tarefas mencionadas acima, a segunda etapa, ou seja, criar o programa de controlo e de integração e o programa de integração das restantes linhas, não será objeto de estudo deste trabalho, já que é impossível conseguir fazê-lo em tão pouco tempo. Assim sendo, este projeto de dissertação terá o objetivo de fornecer à equipa responsável por criar os programas de controlo e integração, todas as ferramentas necessárias para iniciar e concluir essa tarefa com sucesso, e ainda, contribuir positivamente para alcançar os objetivos esperados pela empresa.

Capítulo 2

Revisão da literatura e estado da arte

2.1 Os sistemas de produção

A evolução dos processos de fabrico tem originado nestes últimos tempos grandes modificações, a tal ponto que as teorias de administração e organização do fabrico que vieram com a revolução industrial começam a perder espaço para uma nova forma de organização: os *Flexible Manufacturing Systems* (FMS).

Até ao final dos anos setenta, a automação fabril desenvolveu-se basicamente através de linhas de produção do tipo *flow-shop* (ou produção em massa), que por muito tempo foi um dos fatores principais de geração de riqueza dos países altamente industrializados.

O advento do computador nos anos quarenta, acompanhado de uma rápida evolução do mercado com clientes (público consumidor) cada vez mais exigentes e variados, possibilitou o aparecimento de sistemas de fabrico altamente automatizados e flexíveis, com a capacidade de tratar uma variedade de produtos de volume médio e admitir rápidas alterações no processo, alcançando alta produtividade sem perder a qualidade dos produtos.

Os FMS correspondem a esta tentativa de satisfazer tais exigências do mercado, constituindo-se assim na mais moderna conceção para sistemas de produção integrados por computador com capacidade de gerar produtos de volume médio com elevada qualidade e baixo custo. Foi assim que nestas últimas décadas o rápido desenvolvimento tecnológico da automação industrial trouxe como consequência um considerável aumento do grau de complexidade dos sistemas de fabrico nos quais o número de atividades que ocorrem de forma paralela ou concorrente é muito grande. Consequentemente, estas devem ser controladas apropriadamente para garantir o funcionamento correto do sistema como um todo (Palomino, 1995).

2.1.1 Evolução dos sistemas de produção

Até à criação da máquina a vapor, a produção caracterizou-se pela atividade individual, assim como pelo uso de energia muscular em vez de mecânica.

No século XVIII com o uso de energia a vapor, as condições de trabalho mudaram rapidamente com prejuízo para os operários porque houve uma efetiva redução do elemento humano como fonte de força. Assim, com o advento de equipamentos que passaram a realizar

grande parte do trabalho manual, o impacto causado foi grande, uma vez que estas apenas necessitavam de um operador para executar tarefas relacionadas com o *setup* inicial, carga e descarga dos materiais, etc. Outro passo significativo que afetou a interface homem-máquina foi o desenvolvimento de controlo de máquinas por sofisticados servomecanismos (dos Santos, 1993), concedendo um maior grau de autonomia a estas unidades de produção, exigindo nesta etapa maior capacidade e conhecimento por parte dos operadores para lidar com uma quantidade muito maior de informações com vista à especificação e manutenção do controlo das respetivas máquinas. Neste ponto, o desenvolvimento dos computadores permitiu uma alternativa para a solução do problema de tratamento de dados. Logo, a evolução dos computadores e uma redução dos custos permitiram o desenvolvimento das chamadas equipamentos de controlo numérico operando com trocas automáticas de ferramentas. Os operadores, embora em número reduzido, passam a ter um maior grau de responsabilidade operacional, sendo que começam a operar diferentes máquinas, tornando-se responsáveis pela operação e acompanhamento de todas as fases de fabrico do produto. A responsabilidade direta do elemento humano no ambiente de fabrico passa a ser portanto mais restrita e substancialmente reduzida. Desse modo, a participação do homem nos processos de fabrico evoluiu de um simples operador de máquinas para um supervisor de produção, realizando operações básicas relacionadas com a monitoração global dos processos.

O próximo passo foi o desenvolvimento de sistemas de fabrico totalmente automatizados a partir da integração de equipamentos controlados por um computador central. Para a realização do fluxo de peças, matérias-primas e ferramentas, utilizam-se robôs, veículos guiados automaticamente, tapetes, e principalmente os computadores e sistemas de monitorização e controlo de processos, os quais devem ter as suas funções perfeitamente sincronizadas e definidas.

As principais dificuldades passarão por desenvolver um modelo eficaz no que toca a sistemas concorrentes e assíncronos com alto grau de complexidade. Desta forma, é necessário uma técnica de modelação que possa ser útil para a representação das características de um FMS capaz de contribuir para o planeamento e realização de atividades tais como a supervisão do sistema, diagnóstico e reparo de falhas no sistema, carga e descarga de materiais, monitorização e controlo do sistema, preparação das máquinas e ferramentas, etc (Palomino, 1995).

2.1.2 Técnicas de modelação de sistemas de produção

2.1.2.1 Sistema

Para modelar um sistema é necessário entender o conceito de sistema, assim como o limite do mesmo. De seguida será definido o que se entende por sistema de um modo geral.

Segundo Elmaghraby (1966), sistema é qualquer coleção de interação de elementos que funciona para alcançar um objetivo comum e que evoluiu no tempo.

A definição acima indica que aquilo que pode ser definido como sistema num contexto, pode ser apenas um componente noutro, dando origem deste modo aos subsistemas. Por exemplo, para um projetista de automóveis, o automóvel é um sistema mecânico composto por eixos de manivelas, bloco de cilindros, pistões, etc. Já para um engenheiro civil, que projeta um sistema de uma estrada, o automóvel é apenas um componente desse sistema o qual inclui

camhões, autocarros e outros. Assim o universo parece estar formado por conjuntos de sistemas, cada qual contido num outro ainda maior (Palomino, 1995).

2.1.2.2 Componentes de um sistema

Todos os sistemas apresentam os seguintes componentes listados a seguir:

- Fronteiras: são os limites do sistema, que podem ter existência física ou apenas uma delimitação imaginária para efeito de estudo;
- Subsistemas: São os elementos que compõem o sistema;
- Entradas (input): representam as matérias-primas ou variáveis independentes do sistema;
- Saídas (outputs): representam os produtos ou variáveis dependentes do sistema;
- Processamento: engloba as atividades desenvolvidas pelos subsistemas que interagem entre si para converter as entradas em saídas;
- Retroação (feedback): é a influência que as saídas do sistema exercem sobre as suas entradas no sentido de ajustá-las ou regulá-las ao funcionamento do sistema (Palomino, 1995).

2.1.2.3 Produção

A produção é o ato intencional de produzir alguma coisa útil. Elmaghraby (1966) define produção como o incremento da utilidade de um objeto ou um serviço. Entendemos produção de outro modo como a adição ou incremento de valor a um bem (produto ou serviço) por efeito de uma transformação.

Ampliando um pouco mais o conceito de produção, esta pode ser definida como um processo que permite a transformação de alguma matéria-prima num determinado produto, o qual por sua vez pode resultar em matéria-prima de outro processo. Para permitir esta transformação usa-se um conjunto de elementos (máquinas, mão de obra, ferramentas, meios de transporte, etc), que em conjunto vêm a compor o chamado sistema de produção.

A produção, segundo a sua natureza, pode classificar-se em três tipos: Produção primária (ou extrativa), secundária (ou de transformação) e terciárias (ou prestadoras de serviço) (Palomino, 1995).

2.1.2.4 Sistema de produção

Todas as empresas, para poderem funcionar, adotam um sistema de produção com vista a realizar as suas operações e produzir os seus produtos ou serviços da melhor maneira possível, e com isto garantir a sua eficiência e eficácia.

Assim Elmaghraby (1966) define um sistema de produção como um processo planeado pelo qual os elementos são transformados em produtos úteis, isto é um procedimento organizado para se conseguir a conversão de entradas (matérias-primas) em saídas (produtos acabados), como mostrado na tabela.

Um sistema de produção, portanto, começa a tomar forma desde que se formula um objetivo e se elege o produto que se vai comercializar. Deste modo, a empresa, como um sistema de produção, têm por finalidade organizar todos os sectores que fazem parte da mesma, para realizar as suas operações de produção, adotando uma interdependência lógica entre todas as etapas do processo produtivo, desde que as matérias-primas ou materiais

deixam o início da produção até chegar posteriormente (depois de sofrer uma alteração) ao depósito de produtos acabados na qualidade de produto final (Palomino, 1995).

2.1.2.5 Componentes do sistema de produção

Segundo Palomino (1995), os sistemas de produção são compostos por elementos (peças a fabricar, máquinas, etc.) e pelas relações entre eles (interconexões físicas, operações, etc.).

A ideia de elemento ou objeto físico pode ser associada a um conjunto de atributos mensuráveis pertinentes, ao fim para o qual foi previsto o referido elemento. Estes atributos podem ser constantes ou variáveis:

- Atributos constantes: são os que definem a natureza do elemento (tipo de elemento, parâmetros) e as suas características (taxa de falhas, dimensões).
- Atributos variáveis: são aqueles que evoluem com o tempo (estado de ocupação de uma máquina, estado operacional de uma peça no posto de trabalho numa certa posição, período de standby).

Os elementos da mesma natureza podem ser agrupados em lotes e o número de elementos destes lotes pode ser avaliado.

As relações são descritas com o auxílio dos atributos constantes que informam as características de relação (tempo de operação de cada peça na máquina). Caso o sistema modelado permaneça o mesmo por um determinado intervalo de tempo, as relações possuirão atributos constantes, já que estas serão solicitadas com uma periodicidade constante nesse intervalo de tempo.

Consequentemente, o modelo de um dado sistema de produção poderá ser considerado como a representação do conjunto de elementos desse sistema e das relações qualificadas pelos seus atributos (Palomino, 1995).

2.1.2.6 Tipos de sistemas de produção

Segundo Palomino (1995), o desenvolvimento neste campo até agora resultou na divisão da produção em duas grandes classes: produção contínua e produção discreta (que por sua vez se divide em produção em lotes e produção sob encomenda):

- Sistema de Produção Contínua – Este tipo de produção é caracterizado pelo grande volume de produção, produto padronizado e produção de grandes lotes de cada vez. O ritmo de produção é acelerado e as operações são executadas sem interrupção ou mudança. Como o produto é sempre o mesmo ao longo do tempo e o processo produtivo não sofre mudanças, o sistema pode ser aperfeiçoado continuamente. Assim o que se procura com este tipo de produção é precisamente alcançar o baixo custo, grande volume e produção em massa. Na prática, os modelos contínuos estão representados por linhas de montagem, fabrico de produtos químicos e refinação de petróleo, etc., produtos que são mantidos em linha por um longo tempo e sem modificação.
- Sistema de Produção Discreto – As situações discretas de produção são aquelas nas quais as instalações devem ser suficientemente flexíveis para processar uma ampla variedade de produtos e tamanhos, ou onde a natureza básica da atividade impõe mudanças importantes das matérias-primas.

- o Sistema de Produção em Lotes – É caracterizado por produzir uma quantidade limitada de um tipo de produto de cada vez (denominado lote de produção). Cada lote é previamente dimensionado para assim poder atender a um determinado volume de vendas previsto para um dado período de tempo. Desse modo, os lotes de produção são produzidos um a seguir ao outro. Neste tipo de produção o plano de produção é feito antecipadamente, podendo assim a empresa aproveitar melhor os seus recursos com maior grau de liberdade, ao contrário do que ocorre no sistema de produção sob encomenda, no qual o plano de produção é feito após o recebimento do pedido ou encomenda. Este tipo de produção em lotes é utilizado por uma infinidade de indústrias: têxteis, cerâmica, eletrodomésticos, materiais elétricos, alimentar, etc.
- o Sistema de Produção sob Encomenda – Este tipo de fabrico contratado ou feita sob encomenda é produzido especialmente a pedido de um cliente, como por exemplo turbinas, ferramentas e matrizes, maquinaria especial, navios, etc. Os pedidos são em geral de natureza não repetitiva e as quantidades podem variar de uma a centenas de unidades. Neste tipo de produção, cada pedido usualmente acarreta uma grande variedade de operações, e o andamento em geral não segue nenhum plano padronizado ou rotineiro. É pois a encomenda ou o pedido efetuado que vai definir como a produção deverá ser planeada e controlada, sendo portanto esta etapa do planeamento e controlo de produção muito complexa.

2.1.2.7 Comparativo entre os três sistemas de produção

Como se pôde observar em cima, o tipo de produto que vai ser produzido é que determina o sistema de produção a ser adotado pela empresa, em muitos casos dada a diversidade de produtos que uma empresa fabrica ou produz, estas empresas apresentam misturas desses sistemas de produção. Se o produto é de grande porte e depende da encomenda do cliente, então o sistema adotado será a produção sob encomenda. Se por outro lado, há uma grande variedade de produtos que entram e saem da produção, e que a empresa vende após embalar, então o sistema adotado será a produção em lotes. Se há um ou mais produtos que permanecem em produção por um longo tempo e que a empresa os vende após embalar, então o sistema adotado será de produção contínua. Obviamente a adoção de um determinado sistema de produção apresenta certas vantagens como desvantagens.

Assim, a produção por encomenda é o sistema onde ocorre maior descontinuidade na produção, enquanto a produção contínua é o sistema onde há maior continuidade no processo produtivo. Já a produção por lotes representa o sistema intermediário, onde a continuidade e a descontinuidade se alternam, como mostrado pela figura 2:



Figura 2 – Grau de continuidade dos 3 sistemas de produção (Palomino, 1995)

2.1.2.8 Modelos de sistemas de produção

Segundo Palomino (1995), antes de ver os diferentes modelos de sistemas de produção, devemos primeiro compreender o significado do que é um modelo, o mesmo que está ligado à cibernética.

- Cibernética: tentativa de compreender a comunicação e o controlo de máquinas, seres vivos e grupos sociais através de analogias com as máquinas cibernéticas (servomecanismos, etc.).

A cibernética compreende os processos, os sistemas de transformação da informação e a sua concretização em processos físicos, fisiológicos, psicológicos, etc. Esta é uma teoria dos sistemas de controlo baseados na comunicação (transferência da informação) entre o sistema e o meio, e dentro do sistema e do controlo (retroação) da função dos sistemas com respeito ao ambiente.

Um dos grandes problemas da cibernética é justamente a representação de sistemas originais através de outros sistemas comparáveis, denominados modelos. No sentido literal da palavra, modelo é a representação de alguma coisa. Pode ser definido também como a representação simplificada de um sistema com o propósito de estudar o mesmo.

Assim, problemas que desobedecem a soluções diretas por causa do tamanho, complexidade ou estrutura, são frequentemente avaliados através de modelos de simulação. Assim, os modelos são muito importantes na representação de sistemas, podendo ser de diferentes tipos, como veremos posteriormente.

Representação dos sistemas:

Modelo é uma representação simplificada de alguma parte da realidade, sendo a natureza do problema aquela que vai determinar que tipo de modelo será o mais apropriado. De seguida serão apresentadas três razões para a utilização de modelos:

- 1) A manipulação de entidades reais (pessoas ou organizações) é socialmente inaceitável ou legalmente proibido;
- 2) O volume de incerteza com que a empresa lida cresce rapidamente e aumenta desproporcionalmente as consequências dos erros;
- 3) A capacidade de construir modelos que constituem boas representações da realidade aumenta bastante.

Assim sendo, uma das principais razões para o uso de modelos é a possibilidade de estudar um determinado sistema sem o custo, perigo, inconveniência e até mesmo a possibilidade de observar o comportamento do sistema real visando observar propriedades ainda não identificadas para avaliar e posteriormente sugerir mudanças ou melhorias no sistema modelado.

Neste processo, após a utilização de uma linguagem de modelação para modelar as características mais relevantes do sistema, obtém-se o modelo o qual é válido ou analisado para verificar se o mesmo possui todas as características e cumpre todos os requisitos. Caso o modelo não apresente problemas ou propriedades inaceitáveis, ele passa por uma revisão, onde são feitas alterações até torná-lo num sistema consistente.

Linguagens de modelação de sistemas:

Uma linguagem de modelação é o meio pelo qual se expressam os modelos, tendo como principal objetivo a descrição de sistemas (o mesmo que deve possuir uma série de características orientadas a esta atividade). De seguida são apresentadas algumas destas características necessárias:

- Possuir uma base formal, visando obter uma interpretação exata e precisa;
- Clareza, visando facilitar a comunicação entre todos os envolvidos numa modelação;
- Possibilitar a construção de modelos que preencham os requisitos de conceitualização (contendo apenas as propriedades desejadas do sistema modelado) e de totalidade (todas as propriedades desejadas do sistema modelado).

Porém é difícil que uma linguagem tenha todas as características, até porque algumas delas são conflitantes. É comum nos sistemas encontrar componentes que apresentem atividades concorrentes ou paralelas.

Tipos de Modelos:

Como pudemos observar, os modelos são muito importantes porque permitem representar sistemas, já que estes são réplicas ou abstrações das características essenciais de um processo, além de mostrarem as relações entre causa e efeito e entre objetivos e restrições. Assim, os modelos podem ser classificados como sendo matemáticos, físicos ou esquemáticos:

- **Modelo Matemático** – Usa notação simbólica e equações matemáticas para representar os sistemas. É fácil de manipular, o efeito das variáveis atuantes observa-se claramente e, sobretudo, é um modelo preciso. Quando um modelo matemático se pode construir para representar de forma exata a situação de um problema, esta é uma ótima ferramenta para a abordagem do mesmo.
- **Modelo Físico** – São réplicas que sofrem uma mudança de escala. Os modelos microscópicos, por exemplo, podem ser aumentados em escala para investigação, e estruturas enormes podem ser baixas em escala para um tamanho maneável. Nestas mudanças de escala, muitas vezes são perdidos certos detalhes. Numa réplica física, por exemplo, pode ser uma desvantagem onde um fator, tal como a distância, é uma consideração chave.
- **Modelo Esquemático** – Fazem parte deste tipo de modelo os gráficos de flutuação de preços, diagramas de atividades, redes de eventos, etc. Todos estes representam o mundo real. Por exemplo, quando queremos ver a evolução de um determinado preço, geralmente utilizamos um gráfico bidimensional para observar o seu comportamento. Os aspetos gráficos são então úteis para propósitos de demonstração.

2.1.2.9 Sistemas discretos e contínuos

Segundo Palomino (1995) depois de termos definido o conceito de sistema de uma forma geral, podemos agora dividi-los segundo a sua natureza, ou seja, podem ser classificados como discretos ou contínuos. Na prática poucos sistemas são totalmente discretos ou contínuos, porém, depois de se efetuar algum tipo de mudanças para a maioria dos sistemas, será possível então classificá-los como sendo discretos ou contínuos:

- **Sistemas Contínuos** – São aqueles nos quais as variáveis de estado mudam continuamente no tempo. Na realidade, todos os sistemas são contínuos. São os modelos (representação aproximada dos sistemas) que são discretos.

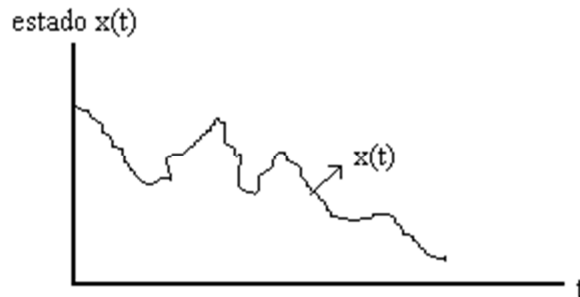


Figura 3 – Trajetória de um sistema dinâmico de variável contínua (Palomino, 1995)

Comportamento Dinâmico dos Sistemas de Variáveis Contínuas:

As teorias de controlo de sistemas que evoluem no tempo, que satisfazem basicamente as leis físicas, são fundamentadas basicamente em modelos matemáticos descritos por equações diferenciais (Ho, 1989; Cassandras,1990).

Como visto na figura 3 a noção do tempo é uma variável independente, a qual é substituído por uma sequência de eventos num sistema dinâmico de eventos discretos. A trajetória de um sistema dinâmico de variável contínua muda constantemente com o estado, tomando valores em R_n , sendo capaz de representar o comportamento do sistema num instante qualquer a partir de um instante inicial.

- **Sistemas Discretos** – São sistemas no qual as variáveis de estado mudam só num conjunto discreto de pontos no tempo. Por exemplo, o banco é um exemplo de um sistema discreto desde que a variável de estado e o número de clientes no banco mude só quando um cliente chega ou quando o serviço prestado a um cliente termina.

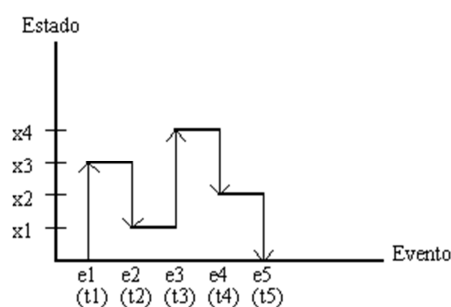


Figura 4 – Trajetória de um sistema dinâmico de eventos discretos (Palomino, 1995)

Como vimos anteriormente, a maioria dos sistemas são contínuos, mas para casos de estudo, eles podem tornar-se discretos. Assim, temos os seguintes tipos de sistemas discretos, os quais são representados na figura 5 (Cardoso, 1994):

- Sistemas amostrados – São sistemas estudados somente em instantes precisos. Tratam-se, portanto, de sistemas contínuos observados em instantes discretos, onde as variáveis de estado evoluem de maneira contínua e sem variações bruscas de comportamento, mas onde somente em instantes discretos é que há um interesse no seu valor.
- Sistemas discretos – São sistemas para os quais as variáveis de estado, ou pelo menos algumas delas, variam bruscamente a certos instantes. Entretanto, estes instantes podem necessariamente ser previstos, e o conhecimento do estado a um dado instante não permite que sem cálculo se conheça o estado seguinte.
- Sistemas a eventos discretos – São sistemas modelados de tal maneira que as variáveis de estado variam bruscamente em instantes determinados, e que os valores das variáveis nos estados seguintes podem ser calculados diretamente a partir dos valores precedentes e sem ter que considerar o tempo entre estes dois instantes.

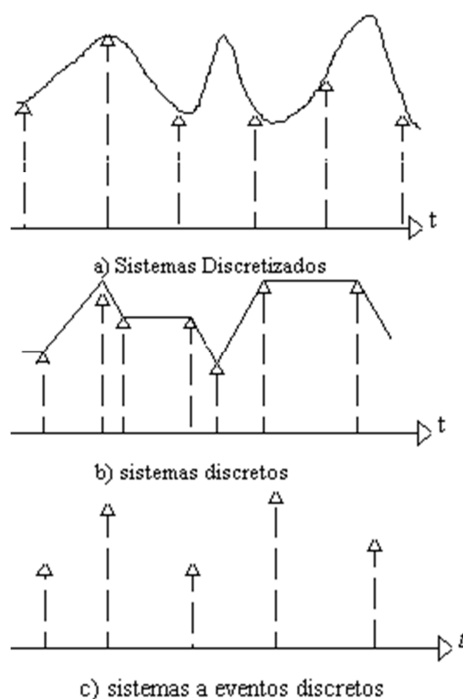


Figura 5– Diversos tipos de sistemas discretos (Palomino, 1995)

Comportamento Dinâmico dos Sistemas de Eventos Discretos:

Em comparação com os sistemas de variáveis contínuas, estes sistemas apresentam um comportamento diferente, isto é, a evolução dinâmica do sistema está subordinada à ocorrência de eventos, os quais não podem ser representados por equações diferenciais ordinárias. Exemplos de tais sistemas são linhas de montagem, redes de comunicação, sistemas computacionais e sistemas de fabrico em geral, que são sistemas dinâmicos criados

pelo próprio homem (Ho, 1989), onde a evolução do sistema no tempo depende das interações complexas da cronometragem de vários eventos discretos, tais como a chegada ou saída de um trabalho ou o início ou fim de uma tarefa ou mensagem. O estado de tais sistemas dinâmicos muda só nesses instantes discretos de tempo, em vez de continuamente. Ao contrário dos sistemas dinâmicos de variáveis contínuas do mundo físico que são descritos por equações diferenciais, estes sistemas estabelecidos pelo próprio homem são chamados de sistemas dinâmicos de eventos discretos (Ho, 1989). Eles tendem a agir mais com o homem do que com a natureza.

Segundo Cassandras (1990) há duas maneiras de representar sequências na modelação dos sistemas dinâmicos de eventos discretos: o primeiro é limitado para modelos não temporizados, baseados numa simples ordenação dos eventos $\{e_1, e_2, \dots, e_n\}$, e o segundo para representar modelos temporizados nos quais se associa a cada evento o instante da sua ocorrência $\{(e_1, t_1), (e_2, t_2), \dots\}$. Por exemplo quando queremos medir o desempenho, o tempo é um fator importante para descrever o modelo do comportamento do sistema, enquanto que se queremos realizar apenas o controlo de um sistema dinâmico de evento discreto, necessitaremos de ferramentas de modelação capazes de representar as condições para a evolução do sistema que passa a depender da ocorrência dos eventos, sem precisar do fator tempo.

Algumas definições:

Eventos: geralmente representam o início ou fim das atividades em determinados instantes de um sistema, no qual não são consumidos tempo nem recursos (são instantes de observação e de mudança de estado do sistema que inicia uma atividade que não estava em curso antes). Em geral a sua ocorrência depende da evolução do sistema e portanto de outras atividades anteriores.

Atividades (ou tarefa): é a execução efetiva da operação, isto é, a sucessão de um número finito de estados de um elemento que consome tempo e/ou recursos. São, pois, as chamadas caixas pretas utilizadas para esconder a evolução do sistema físico entre dois eventos.

Processo: É uma sequência finita de eventos e atividades interdependentes que permitem facilitar a descrição de um sistema.

Assim, para modelar um sistema de produção existem diferentes técnicas clássicas. Algumas técnicas são:

- Representação dos sistemas de produção através de modelos de eventos discretos;
- Modelos analíticos para sistemas de produção;
- Modelos de eventos discretos para simulação (Palomino, 1995).

2.1.2.10 Sistemas de fabrico

Segundo Palomino (1995), um sistema de fabrico (sistema produtivo), pode ser considerado como um sistema composto por vários subsistemas (processos produtivos), tais como tapetes, robôs, células de produção, máquinas, etc., no qual cada subsistema realiza uma determinada operação produtiva, a qual pode ser uma transformação física (ex. maquinação, mistura, secagem, etc.) ou um deslocamento físico (carregamento ou descarregamento de peças). Uma característica básica destes subsistemas é que por eles fluem diversos itens como peças, materiais, recursos, etc., que passam sequencialmente pelos subsistemas, onde transformações apropriadas são realizadas até se obter o produto final

pretendido (de acordo com especificações técnicas, desde a geometria até ao controlo de qualidade).

Assim o processo produtivo como um todo (sistema) é caracterizado pelo inter-relacionamento complexo das suas atividades e condições. Baseado na natureza discreta do inter-relacionamento entre atividades e condições, estes sistemas de fabrico podem ser definidos como sistemas de eventos discretos ou sistemas de produção discreta (Ho, 1989).

Dada a natureza discreta das atividades envolvidas nos FMS, é portanto conveniente utilizar modelos discretos para o estudo destes sistemas.

Um sistema produtivo do tipo *flow-shop* (figura 6) denominado linha de fabrico flexível, é projetado para tratar um volume de produção muito grande de uma única família de produtos, os quais diferem pouco uns dos outros. O grau de flexibilidade neste tipo de sistema é dado a partir da configuração das máquinas ferramentas que compõem a linha. Por outro lado, o tipo de sistema *job-shop* apresenta uma grande flexibilidade mas o volume de produção é pequeno e a variedade de produtos muito grande. Em virtude da grande complexidade de gerir o fluxo de materiais e informações que este sistema apresenta, o seu índice de produtividade é muito baixo quando comparado com uma linha de produção do tipo *flow-shop*.

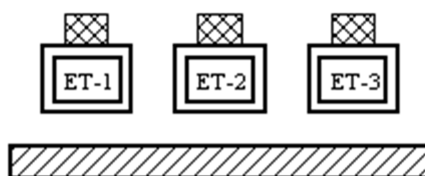


Figura 6 – Linha de fabrico flexível (Palomino, 1995)

As células de fabrico encontram-se numa situação intermediária entre os dois sistemas citados anteriormente, já que as mesmas permitem o agrupamento das peças em famílias de peças, segundo as suas características de projeto. As células representam uma solução, no sentido de se obter um sistema com bom índice de produtividade, associado com um maior grau de flexibilidade, quando comparado com sistemas do tipo *flow-shop* (dos Santos, 1993). As células de fabrico podem ser definidas como sendo uma configuração de estações de trabalho (figura 7) e de um sistema de manipulação e transporte de materiais (figura 8), sendo a mesma controlada por um computador para fabricar eficientemente mais do que um tipo de produto em pequenas e médias quantidades. As estações de trabalho são por exemplo máquinas de comando numérico, robôs industriais, dispositivos especiais para operações de montagem, etc., ou combinações destes equipamentos.

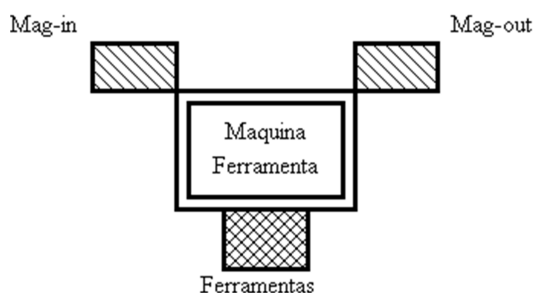


Figura 7 – Representação de uma estação de trabalho (Palomino, 1995)

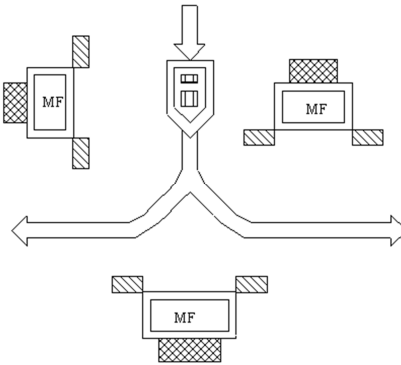


Figura 8 – Representação de uma célula de fabrico (Palomino, 1995)

Cada um dos arranjos mostrados nas figuras anteriores são modelos básicos de organização para a realização de processos de fabrico. A união desses modelos (figura 9) vai representar a planta do sistema produtivo capaz de realizar uma variedade de processos de forma independente, a partir de um controlo adequado de fluxo de materiais ligados ao sistema (dos Santos, 1993).

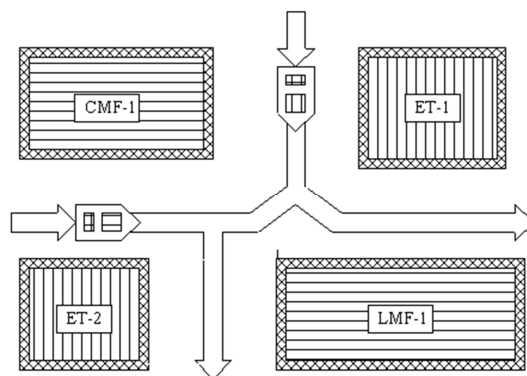


Figura 9 – Representação de um sistema integrado de fabrico (Palomino, 1995)

2.1.2.11 Flexibilidade e o processo de fabrico

A flexibilidade é uma característica essencial nos sistemas produtivos atuais, dando maior competitividade às empresas, obtendo assim uma rápida resposta às exigências do mercado.

Na literatura geralmente são distinguidos dois tipos de flexibilidade:

- 1) Flexibilidade de longo prazo ou flexibilidade potencial: é aquela capaz de enfrentar um universo indefinido de mudanças, ou seja, a possibilidade de introduzir novos produtos no sistema de fabrico durante a sua operação e com pouco esforço;
- 2) Flexibilidade de curto prazo: corresponde à possibilidade de manipular concorrentemente uma grande variedade de famílias de produtos num dado tempo no sistema de fabrico.

Segundo dos Santos (1993), Groover salienta que existe uma relação entre o conceito de flexibilidade e a forma de realizar a automação de um sistema. Partindo dessa premissa, um sistema de produção automatizado é classificado em três tipos básicos: automação fixa, automação programável e automação flexível (Lorini, 1993). Num sistema de automação fixa a sequência de operações é limitada pela configuração dos equipamentos, envolvendo altas taxas de produção e baixa flexibilidade quanto à adaptação a alterações do produto. Nos sistemas de automação programável, os equipamentos que os constituem são programáveis, permitindo a reprogramação de novos processos. No caso de um sistema de automação flexível, existe a capacidade de se produzir uma variedade de produtos sem que haja perda de tempo em adaptar-se o sistema às alterações de um produto em relação ao próximo produto a ser processado, diferenciando-o da automação programável por não envolver perdas de tempo com reprogramação e *setup* das máquinas.

A partir da fusão dos termos fabrico, automação e flexibilidade, surge o termo de fabrico automatizado, que engloba uma série de sistemas produtivos encontrando-se entre eles os *Flexible Manufacturing Systems* (FMS). A rápida evolução do mercado nestes últimos anos requer das empresas maior competitividade para assim satisfazer as exigências cada vez mais sofisticadas dos consumidores, associada à diminuição do ciclo de vida do produto e desenvolvimento de novos produtos. É necessário então elaborar-se sistemas de fabrico altamente automatizados como as linhas de produção do tipo *flow-shop*, que tenham ao mesmo tempo a capacidade das fábricas do tipo *job-shop*. Os FMS correspondem a uma tentativa para satisfazer essas exigências contraditórias (Lorini, 1993).

2.1.2.12 Flexible Manufacturing Systems (FMS)

FMS são, portanto, uma classe de sistemas de fabrico automatizados cuja característica principal, que os diferencia dos outros sistemas, é a sua flexibilidade para processar eficientemente mais de um tipo de produto em pequenas e médias quantidades. Aqui, o conceito de flexibilidade vai se referir não apenas à possibilidade de processar mais de um tipo de produto ou peça, senão também à capacidade de mudar rapidamente o tipo de produto a ser produzido, além da possibilidade de fabricar simultaneamente diferentes tipos de produtos. Assim os FMS surgiram como uma tentativa para reconciliar a eficiência da linha de produção do tipo *flow-shop*, com a flexibilidade de um sistema do tipo *job-shop* com a finalidade de satisfazer uma exigência versátil a um baixo custo. A alta produtividade neste tipo de sistema é alcançada pela incorporação eficiente de princípios de tecnologia de grupo, controlo total de qualidade e estratégias de produção, tais como MRP II, JIT (Lorini, 1993).

Desse modo para que um FMS possa atender aos requisitos anteriormente citados, o mesmo é composto por:

- Um conjunto de equipamentos flexíveis de comando numérico;
- Um sistema de transporte e processamento de produtos e ferramentas automáticos;
- Um sofisticado sistema de tomada de decisão para decidir a cada instante quais são as operações que devem ser executadas nas máquinas.

Um equipamento flexível tem a capacidade de executar vários tipos de operações. O sistema de transporte automático por sua vez é necessário para transportar as partes para o equipamento onde a próxima operação será executada (usam-se em geral os Veículos Guiados Automaticamente (AGV), cujos circuitos são realizados por fios elétricos implantados no chão da fábrica e percorridos por uma corrente de uma determinada frequência através de

sensores. Desse modo, quando um veículo atravessa um sensor, este pode receber uma ordem de parar ou continuar, ou de seguir numa outra frequência. Dessa forma os veículos podem movimentar-se ao longo de toda a fábrica.

É por essas características que os FMS têm sido considerados como um tipo de sistemas produtivos singulares, capazes de corresponder às expectativas do mercado em relação às necessidades atuais e futuras, o que implica em constantes alterações no sistema de controlo. Tais sistemas são complexos e cada vez mais tendem a aumentar o seu nível de complexidade na medida em que a estes são incorporados novas funções. Assim, qualquer método que se proponha a descrever este tipo de sistema, deve permitir a representação do sistema em diferentes níveis de abstração e facilitar a sua decomposição em subsistemas funcionais, com uma clara definição das inter-relações entre estes subsistemas.

Os sistemas de fabrico têm sido frequentemente modelados como sendo sistemas discretos, os quais devido à sua complexidade não podem ser modelados por um modelo que utilize o conceito de estado total (filas de espera por exemplo), pois a partir de um estado pode acontecer muitos eventos provocando diversas alterações de estado. Portanto, é necessário para modelar FMS, procurar métodos que possuam de modo inerente o conceito de estado parcial. Outro aspeto importante é o fato de que durante a vida útil dos FMS, estão envolvidos especialistas de diferentes formações. Portanto, para que a contribuição destas pessoas seja aproveitada eficientemente, a metodologia e a linguagem de programação deve ser de fácil aprendizagem e compreensão, além de possuírem boa legibilidade através de representações gráficas simples (dos Santos, 1993).

Resumindo todos os conceitos anteriores, pode-se considerar um FMS como um sistema dinâmico de eventos discretos, do qual, as partes a serem processadas de vários tipos ou classes de trabalho entram no sistema de uma maneira assíncrona, e são processados concorrentemente, compartilhando os recursos limitados (estações de trabalho, robôs, sistemas de processamento de materiais, buffers, etc.) (Palomino, 1995).

2.1.2.13 Hierarquia de decisão e controlo

Como visto anteriormente, um sistema integrado de fabrico é formado por vários elementos, tais como células de fabrico flexíveis, estações de trabalho e linhas de fabrico flexíveis. Apesar de cada elemento ser bem definido com métodos de modelação e de análise própria, não é possível evitar completamente uma abordagem conjunta devido à sua complexidade de integração. Portanto para realizar de maneira eficiente a descrição funcional de um sistema integrado de fabrico, é adequado usar uma abordagem hierárquica capaz de organizar a diversidade associada à capacidade operacional dos seus elementos em conjuntos homogêneos subordinados (dos Santos 1993). Assim um sistema de fabrico pode ser dividido numa hierarquia de cinco níveis (Gershwin, 1989):

- 1) Planeamento de longo prazo;
- 2) Planeamento e escalonamento de curto prazo;
- 3) Supervisão global;
- 4) Supervisão de subsistemas ou controlo de estações de trabalho;
- 5) Controlo local.

Onde cada um dos níveis recebe comandos do nível imediatamente superior e ao mesmo tempo recebe informações sobre o estado do nível imediatamente inferior.

- Planeamento de longo prazo: Opera a partir da exigência estimada (ou encomenda) calculando o tempo necessário para a produção assim como a quantidade de matéria-prima necessária. Este nível também inclui o planeamento de alocação de recursos para a produção além das datas de lançamento e prazos de entrega.
- Escalonamento: Este nível é caracterizado por uma explosão combinatória do número de alternativas de escolha de uma máquina para executar uma determinada operação, porque cada máquina pode realizar diversos tipos de operações. Assim este nível encarrega-se de ordenar a ordem de execução das operações em cada máquina e de calcular um intervalo de tempo necessário para a sua execução.
- Supervisão global: Implementa várias funções:
 - o Atualiza após cada evento a representação do estado da fábrica;
 - o Toma decisões em tempo real com respeito ao lançamento das operações e verifica que eles sejam compatíveis com o calendário de fabrico.
 - o Monitoriza e coordena o comportamento global da fábrica para detetar falhas dos elementos físicos e as violações do calendário de fabrico.
- Supervisão de subsistemas: Realiza a coordenação de subsistemas, tais como, sistemas de transporte, estações de trabalho ou células de fabrico. Este opera no nível de coordenação global supervisionando o comportamento dos subsistemas, e monitorizando a execução das operações planeadas, mas numa maneira mais detalhada. Por exemplo, enquanto a supervisão global considera a operação carregar uma peça na máquina, a supervisão do centro de maquinaria correspondente trata-a como um programa coordenando um robô e a máquina ferramenta correspondente.
- Controlo local: Executa o controlo em tempo real das máquinas, sendo o único nível que está em contato direto com os elementos físicos da fábrica. A partir das informações fornecidas pelos sensores controla-se em tempo real os sistemas através dos atuadores.

As metodologias mais comuns utilizadas atualmente para a modelação dos níveis citados acima são os fluxogramas, diagramas de estado, diagramas de tempo, etc. Por outro lado as linguagens de programação mais comuns são as linguagens clássicas, e aquelas utilizadas em controladores lógicos programáveis (PLC). É importante também que a metodologia de modelação e a linguagem de programação permitam a representação de diversos aspetos estáticos e dinâmicos do sistema, através de um modo claro e uniforme (Gershwin, 1989).

Devido ao elevado custo da implementação física dos FMS, é requerido a utilização de sistemas de simulação ou métodos de análise que serão usados em todas as fases do projeto para a sua validação, e quando haja necessidade de mudanças que não podem ser testados diretamente no sistema real. Neste sentido é importante que as ferramentas de simulação não sejam muito distantes das metodologias e linguagens utilizadas para a especificação e implementação do sistema de controlo (Gershwin, 1989).

Um aspeto importante dos sistemas de controlo em tempo real é que o tempo de execução de uma tarefa que o sistema de controlo deve realizar seja irrelevante em relação à necessidade de execução da tarefa. Isso permite evitar que estes realizem tarefas desnecessárias, já que desse modo só se consegue aumentar o tempo de execução da tarefa realmente necessária.

Assim, para se conseguir de forma eficiente uma boa especificação e implementação de sistemas de controlo, os métodos a serem utilizados devem ter as seguintes características:

- Permitir a representação do sistema em diferentes níveis de abstração;
- Facilitar a decomposição do sistema em subsistemas funcionais com uma clara definição das inter-relações;
- Conter explicitamente o conceito de estado parcial;
- Devem ser acessíveis a especialistas de diferentes formações;
- Facilitar as constantes alterações às quais o sistema de controlo estará sujeito;
- Facilitar a representação de concorrência entre tarefas, as quais são executadas simultaneamente assim como a sincronização;
- Permitir a representação da variável tempo;
- Devem ser simples para permitir que as empresas tenham completo conhecimento sobre o sistema, facilitando assim a integração de novos elementos;
- Permitir a descrição dos aspetos estáticos e dinâmicos do sistema a ser representado.

Após determinar as características necessárias, um modelo apropriado é então necessário para propósitos de análise e controlo (Palomino, 1995).

2.2 A aplicação da *Unified Modeling Language* (UML)

Segundo Costa (2001) o desenvolvimento de sistemas automatizados de informações, que apoiam as atividades de projeto e produção de produtos, deve seguir um modelo como referência para permitir uma melhor compatibilidade e portabilidade de tais sistemas, principalmente quando inseridos num ambiente integrado de engenharia concorrente.

A UML (*Unified Modelling Language* – Linguagem de Modelação Unificada) surgiu, nos últimos anos, a partir da união de métodos anteriores para análise e projeto de sistemas orientados a objetos e em 1997 passou a ser aceite e reconhecida como um padrão potencial de notação para modelação de múltiplas perspetivas de sistemas de informações pela OMG (*Object Management Group*) (Booch et al., 1999). Entre os métodos que deram origem a esta linguagem de modelação visual estão: Booch (Booch, 1994), OMT (*Object Modelling Technique*) e OOSE (*Object Oriented Software Engineering*).

A UML define um conjunto básico de diagramas e notações que permitem representar as múltiplas perspetivas (estruturais / estáticas e comportamentais / dinâmicas) do sistema sobre análise e desenvolvimento. De entre os diagramas podem ser citados: diagramas de casos de uso, diagramas de classes, diagramas de interações (sequência ou colaboração), diagramas de atividades e diagramas de estado e transição (Costa, 2001). As figuras 10, 11 e 12 descrevem brevemente alguns destes diagramas:

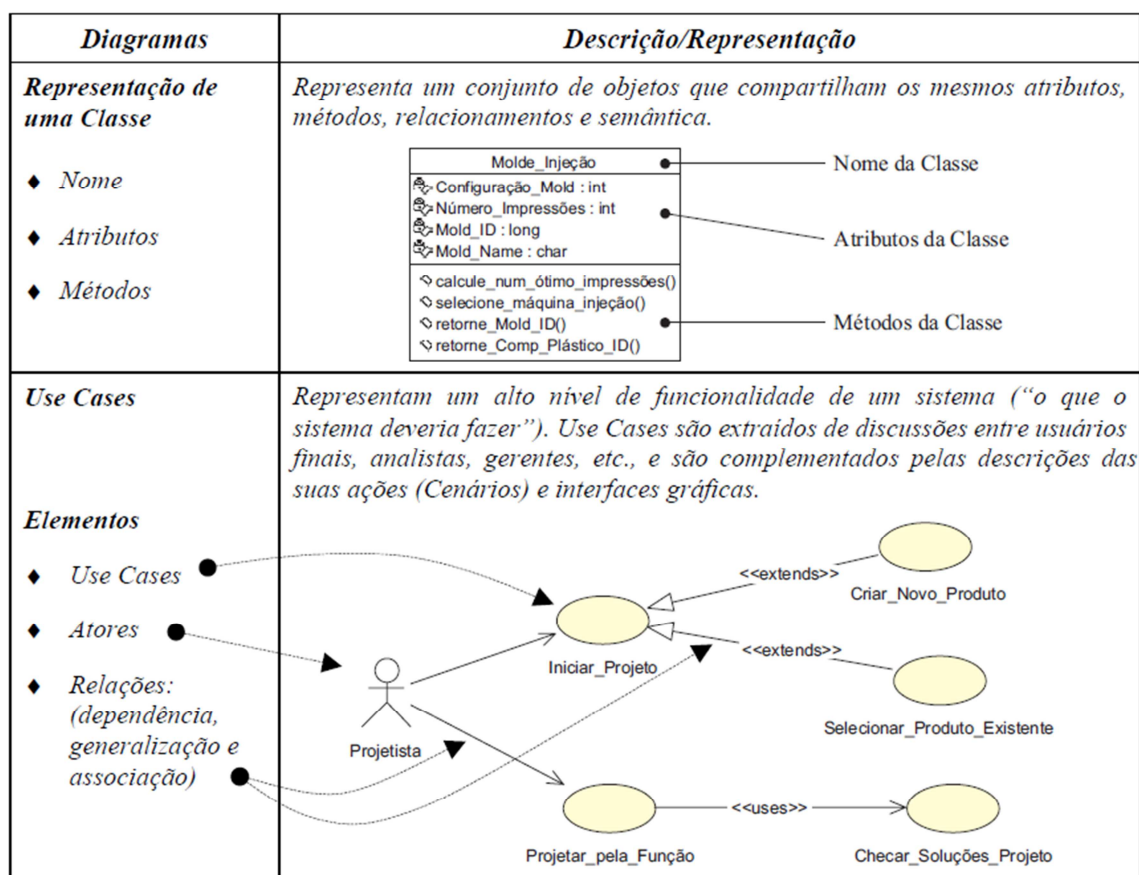


Figura 10 – Descrição dos diagramas de classes e casos de uso (Adaptado Costa, 2001)

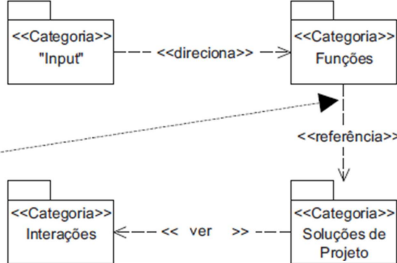
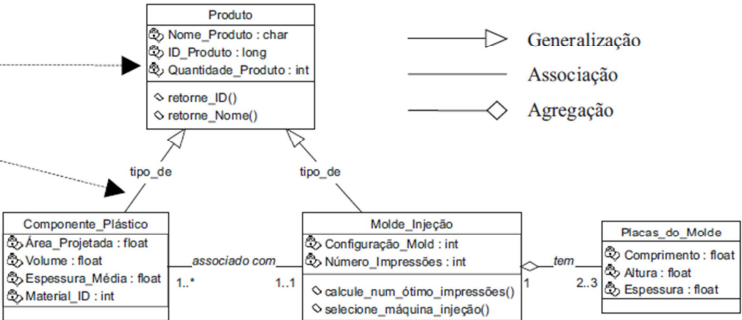
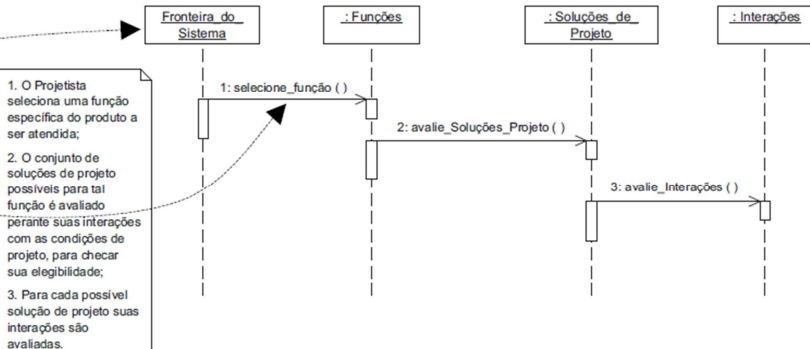
Diagramas	Descrição/Representação
Classes Aplicados à representação de Categorias (ou Pacotes) Elementos ◆ Categorias/ Pacotes ◆ Relações: (dependência e associação)	Representam associações entre as principais partes do sistema (Pacotes ou Categorias). As Categorias representam um grupo de objetos com funcionalidade similar e apoiam o projeto e implementação modular do sistema em desenvolvimento. Por exemplo, <u>Funções</u> e <u>Soluções de Projeto</u> são duas categorias, sendo que a primeira é uma referência para a segunda. 
Classes Elementos ◆ Classes ◆ Relações: (generalização, associação e agregação)	Representam a estrutura interna (atributos e métodos) e as relações entre um conjunto de classes. Tais relações definirão principalmente a forma em que os objetos serão implementados. Por exemplo, <u>Molde Injeção</u> e <u>Componente Plástico</u> são tipos de <u>Produto</u> e assim herdam os atributos e métodos de tal classe. 
Sequência (ou Interação) Elementos ◆ Classes ou Categorias ◆ Métodos	Capturam e representam a colaboração necessária entre classes, ou Categorias, através dos seus métodos. Basicamente, os aspectos comportamentais dos objetos são focalizados, mostrando quais métodos são necessários para satisfazer um “Use Case” específico. Por exemplo, o “Use Case” <u>avaliar Soluções Projeto</u> mostra como as categorias <u>Funções</u> e <u>Soluções de Projeto</u> colaboram para atender uma funcionalidade específica do sistema. 

Figura 11 – Descrição dos diagramas de classes e sequências (Adaptado Costa, 2001)

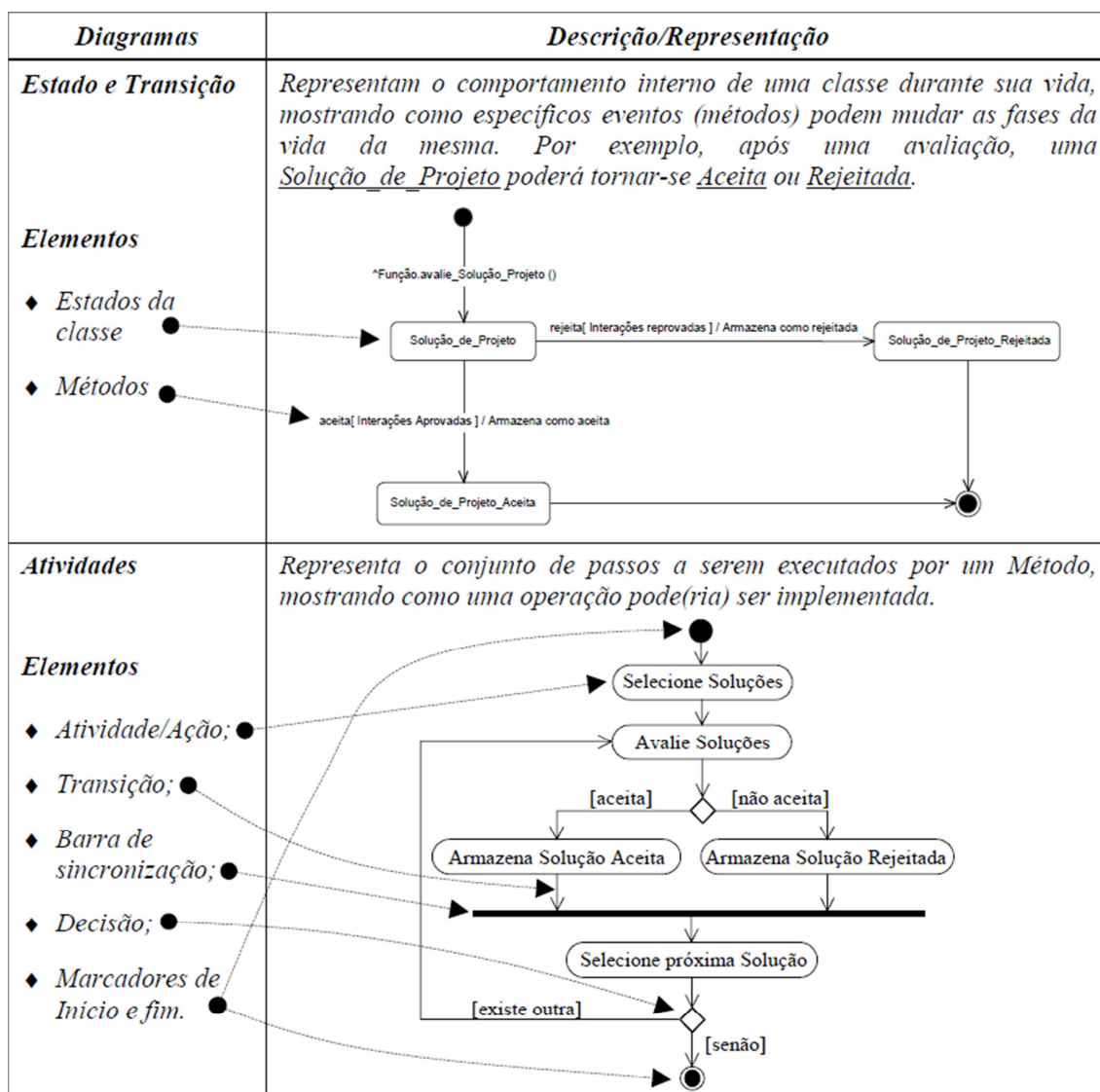


Figura 12 – Descrição dos diagramas de estados (Adaptado Costa, 2001)

A UML oferece um suporte direto para o projeto e implementação de cada perspectiva do sistema em desenvolvimento e também uma notação para sua representação. Por esta razão, para a sua completa utilização, torna-se necessário um processo/metodologia que permita a migração e evolução das informações através das diferentes fases de representação, tais como funcionalidade, análise e projetos, implementação, etc. (Costa, 2001).

2.2.1 Casos de uso e categorias

Texel e Williams (1997) propõem um processo baseado em casos de uso combinado com Booch, OMT e UML, para o desenvolvimento de sistemas orientados a objetos. Em ambos os processos, os casos de uso definem o primeiro nível de representação do sistema e resultam de uma fase de captura das “necessidades” a serem atendidas pelo mesmo. Os casos de uso representarão, num nível mais geral, as funcionalidades do sistema em desenvolvimento e guiarão todas as fases subsequentes de análise, projeto, implementação e testes do sistema

computacional. A figura 13 mostra, de forma simplificada, como tal processo pode ser desenvolvido (Texel, Williams, 1997):

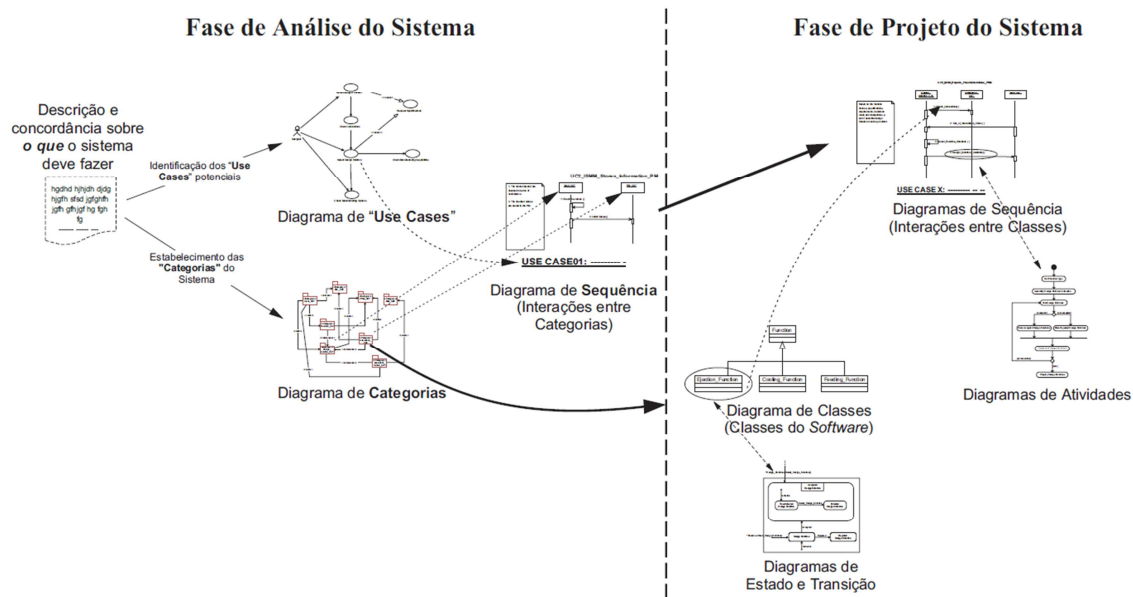


Figura 13 – Processo de identificação dos casos de uso (Adaptado Costa, 2001)

Com base numa descrição detalhada do sistema, principalmente focando as expectativas dos utilizadores em termos de “o que o sistema deveria fazer”, potenciais casos de uso são identificados, bem como as categorias do sistema. As categorias (ou pacotes) são outros tipos de elementos da UML e representam os módulos principais (grupo de objetos com funcionalidade similar) do sistema em desenvolvimento. Com base nestes dois elementos, uma descrição geral de como as categorias interagem entre si para executar cada caso de uso, pode ser representada por diagramas de sequência. Esta fase é definida como análise do sistema onde tais representações podem ser utilizadas para um melhor esclarecimento e discussão com os utilizadores e responsáveis pela implementação do sistema. Numa fase seguinte, caracterizada com maior ênfase no projeto do sistema, procura-se um refinamento destas representações, a nível dos objetos que farão parte do sistema. Ambos os diagramas, classes e interações são utilizados e apoiados por representações mais detalhadas dos aspetos comportamentais dos objetos, através de diagramas de estado e transição e diagramas de atividades (Costa, 2001).

Quando pretendemos representar quais os principais objetivos e restrições do sistema em desenvolvimento, os casos de uso, que representam a funcionalidade do sistema (“o que o sistema deveria fazer”), enquadram-se como um importante elemento nessa representação. Embora os casos de uso tentem capturar o que os usuários querem do sistema, eles não especificam como o sistema deveria ser. Isso é definido nas fases seguintes de projeto do sistema. Os casos de uso por si só não apresentam muitas informações, e assim os cenários dos casos de uso complementam as suas descrições. Estes cenários são compostos por fluxos de eventos, as ações e reações do *software*, as restrições, necessidades de interfaces gráficas, etc. Esta descrição dos casos de uso, através dos seus cenários, fornecem informações úteis também para a especificação das propriedades (atributos e métodos) das classes necessárias para executar os casos de uso (Costa, 2001).

Apesar de permitir uma representação comum da funcionalidade do sistema computacional em questão, somente com a identificação inicial mais clara da estrutura geral do sistema poder-se-á alcançar um melhor entendimento e estabelecimento das responsabilidades das equipas envolvidas no seu desenvolvimento.

Uma das principais transições na utilização da notação UML é, através dos casos de uso, representar o sistema em termos de objetos. Texel e Williams (1997) mostram este processo por intermédio de uma metodologia em que uma lista das potenciais categorias é identificada.

A identificação das categorias do sistema é recomendada para uma definição clara dos módulos que farão parte do mesmo. Assim, a adoção das representações diagramáticas de casos de uso e categorias do sistema fornecerão uma documentação compreensiva que servirá como base para discussões entre gerentes, usuários finais, programadores, etc.

A figura 14 mostra uma representação simplificada de alguns dos casos de uso e categorias identificados num caso geral:

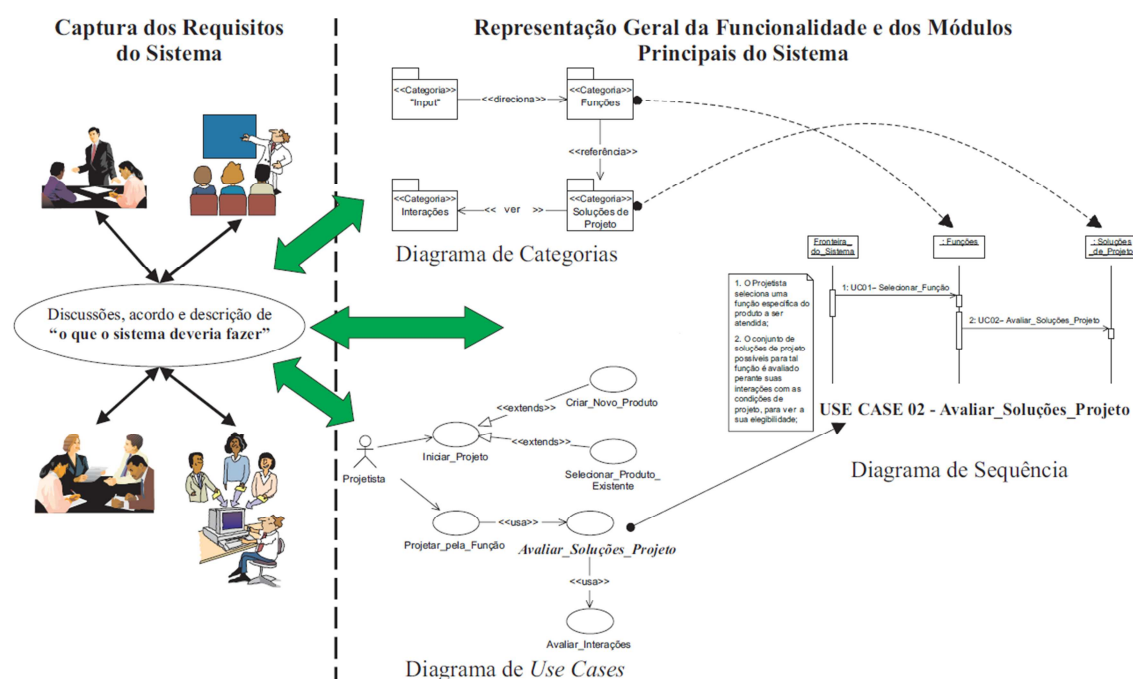


Figura 14 – Identificação dos casos de uso e categorias (Adaptado Costa, 2001)

No exemplo acima, um dos casos de uso é "Avaliar_Soluções_Projeto", que está relacionado com duas categorias principais, "Funções e Soluções de Projeto", sendo que a primeira categoria é utilizada como elemento de referência para a segunda. Por exemplo, para a função "extrair componente plástico", estará associado um possível conjunto de soluções, tais como pinos de extração, placas de extração, etc.

A representação do relacionamento destas categorias com os casos de uso que farão uso das mesmas é feita através dos diagramas de sequência. Enquanto os diagramas de categorias representam as associações entre as categorias fornecendo uma visão geral das relações entre as principais estruturas do sistema, os diagramas de sequência representam as relações particulares entre as categorias, para cada caso de uso. Tais representações fornecem para a equipa de desenvolvimento, um "feedback" em termos do projeto inicial do

sistema. Estas representações guiarão os futuros estágios de análise e projetos do sistema (Costa, 2001).

2.3 Redes de comunicação e sistemas de controlo

Segundo Nogueira (2009) através de Tanenbaum (1997), uma rede de computadores significa um conjunto de computadores autónomos e interconectados. Dois computadores são ditos interconectados, quando são capazes de trocar informações, o que pode ocorrer através de um meio físico de comunicação. Este é composto, por exemplo, por fios de cobre, micro-ondas, fibras óticas ou satélites espaciais. O requisito de autonomia exclui sistemas nos quais existe um claro relacionamento do tipo Mestre-Escravo entre os computadores.

Segundo Nogueira (2009) as redes industriais surgiram da necessidade de interligar computadores e controladores lógicos programáveis (PLC) com a capacidade de operar independentemente. Essa interligação em rede permitiu compartilhar recursos e bases de dados, que passaram a ser únicos, o que conferiu mais segurança aos utilizadores da informação.

As redes de comunicação industrial são de grande importância para as empresas, devido à quantidade de informação que atualmente é utilizada para as mais diversas aplicações, seja para visualização em algum sistema de supervisão ou para sistemas de gestão da produção (*Enterprise Production Systems*), sendo necessário disponibilizar os dados adquiridos para o sistema em tempo real.

Assim, o ambiente industrial que outrora era isolado, hoje tem a necessidade de estar interligado com o ambiente corporativo da empresa para que assim estes possam compartilhar informações com o intuito de aperfeiçoar o processo de produção, evitando perdas de tempo, matérias-primas e mão-de-obra.

Por isso, tornou-se necessária a utilização de sistemas de comunicação que conseguissem suportar requisitos típicos das suas aplicações: ambientes industriais, interferências eletromagnéticas, características de tempo real, espectro largo de volume de troca de informação, o que obriga a uma constante procura por novas técnicas e meios de estabelecer essa comunicação.

Assim as empresas viram-se obrigadas a procurar tecnologias que conseguissem aumentar a agilidade e a eficiência e passaram a investir cada vez mais em sistemas que fossem capazes de gerir, supervisionar, controlar e proteger as redes industriais. Devido às crescentes exigências, o uso de redes de supervisão e controlo baseadas em protocolos de comunicação digital tem crescido nas mais variadas indústrias (Chen, Mok, 2001). Outra solução utilizada hoje em dia é a integração entre a Tecnologia de Automação (TA) e a Tecnologia de Informação (TI), que possibilita interligar o processo industrial e a diretoria da empresa.

Para que a rede de comunicação funcione corretamente é recomendado que o sistema siga o modelo OSI (*Open System Interconnection*), modelo este que permite a padronização dos protocolos e assim o fim da falta de compatibilidade entre equipamentos de fabricantes diferentes, permitindo total integração entre os componentes do sistema (Nogueira, 2009).

2.3.1 Automação e as redes industriais

Pode-se dizer que o desejo de controlar os processos industriais acompanha o homem desde a criação das primeiras máquinas. Até à década de 1940, as plantas eram operadas

manualmente por um grande número de operadores, os quais possuíam poucos instrumentos mecânicos elementares que realizavam controlo local (Gutierrez, Pan, 2008).

O termo automação, do inglês *automation*, foi um termo inventado pelo *marketing* da indústria de equipamentos da década de 1960. O neologismo, sem dúvida, procurava enfatizar a participação de computadores no controlo automático industrial (Moraes, Castrucci, 2007).

Automação descreve um conceito amplo, envolvendo um conjunto de técnicas de controlo, das quais é criado um sistema ativo, capaz de fornecer a resposta adequada em função das informações que recebe do processo em que está a atuar. Dependendo das informações, o sistema calculará a melhor ação corretiva a ser executada (Weg, 2002).

Segundo Nogueira (2009) os sistemas para controlo de processos foram desenvolvidos de forma a maximizar a produção e minimizar os seus custos, além de eliminar possíveis riscos envolvidos na produção. Tarefas que antes implicavam alto risco para os operadores dos equipamentos, podem agora ser realizadas remotamente sem qualquer risco.

Os sistemas de controlo de processos e fabrico surgiram em meados de 1940 (figura 15), baseados primariamente em tecnologias mecânicas e pneumáticas. Posteriormente foram substituídas no ambiente industrial por sinais elétricos analógicos, abordagem que ganhou grande impulso nos anos 1950, com o surgimento dos controladores eletrônicos, que permitiam maiores distâncias de transmissão.

Em meados dos anos 60, era muito caro a aplicação de microcontroladores e computadores para solucionar os vários problemas de controlo (Djiev, 2003). Mas com o baixar dos preços do *hardware*, aumento da competitividade, a introdução de requisitos tais como qualidade, custo, uso racional de energia e matéria-prima, foi necessário que os computadores fossem utilizados em todos os setores das indústrias, desde o nível de campo até ao nível de gestão ou administração da empresa, para aperfeiçoar os processos de produção.

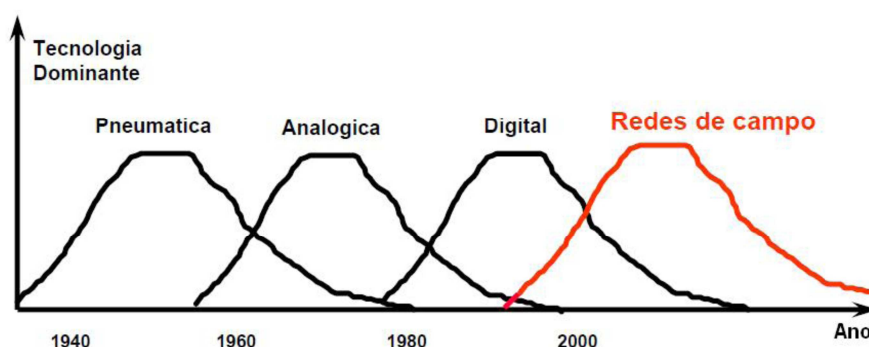


Figura 15 – Evolução das tecnologias de automação (Guedes, 2005)

Inicialmente, a implantação de processos automatizados na indústria tinha o objetivo de alcançar maior produtividade e redução de custos. O investimento para a implantação de sistemas automáticos é elevado e, além disso, a nova instalação requer recursos, inclusive humanos, dispendiosos para sua manutenção. Atualmente, o principal motor da automação é a procura de maior qualidade dos processos, para reduzir perdas (com reflexo em custos) e possibilitar o fabrico de bens que de outra forma não poderiam ser produzidos, bem como do aumento da sua flexibilidade. Outra justificação para os grandes investimentos em automação que têm sido feitos é a segurança de processos industriais e de infraestruturas críticas, pois a automação tem sido vista como uma forma de minimizar o erro humano (Gutierrez, Pan, 2008).

2.3.2 Redes de comunicação industrial

As redes foram desenvolvidas para permitir a troca de dados entre computadores. Hoje, com os microprocessadores quase a chegar até aos instrumentos do chão de fábrica, pode-se caracterizar estes como computadores também (Coghi, 2003). A utilização das redes permite a comunicação rápida e confiável entre equipamentos e o uso de mecanismos padronizados, que são hoje em dia, fatores indispensáveis no conceito de produtividade industrial.

A introdução das redes no ambiente industrial por sinais elétricos analógicos aconteceu a partir da década de 1960 e permitiu substituir grande parte dos tubos utilizados para a transmissão pneumática, o que reduziu substancialmente o custo de instalação dos sistemas, bem como o tempo de transmissão dos sinais, naturalmente lento nos sistemas pneumáticos (Gutierrez, Pan, 2008). Inicialmente foram utilizadas através de controlo digital direto interligando os computadores e os dispositivos de E/S, depois foram utilizadas em sistemas de controlo distribuídos e controladores lógicos programáveis (PLC), sistemas para conectar os controladores e os operadores. Entretanto, a comunicação digital em pequenos dispositivos, tais como transmissores de chão da fábrica, não foi vista até aos anos 80 e por isso o barramento de comunicação para redes de instrumentos de campo não ganhou grande aceitação até aos anos 90 (Nogueira, 2009).

Como os sistemas de automação industrial tornaram-se cada vez maiores e o número de dispositivos de automação continuou a aumentar, tornou-se muito importante para a automação industrial que fossem criados padrões para que fosse possível interconectar diferentes dispositivos de automação de forma padronizada. Um considerável esforço internacional para a padronização tem acontecido no que se trata das redes locais. O padrão OSI - *Open Systems Interconnection* - permite que dois dispositivos de automação comuniquem de forma confiável, independentemente do fabricante (Djiev, 2003).

2.3.3 Especificações de uma rede de controlo

Para garantir que a rede de comunicação atende às necessidades da planta industrial, devemos ter em consideração as seguintes variáveis: taxa de transmissão, topologia física da rede, meio físico de transmissão, tecnologia de comunicação e algoritmo de acesso ao barramento (Moraes, Castrucci, 2007).

Segundo Nogueira (2009) devem também ser considerados fatores como a compatibilidade da rede com o ambiente, o custo de instalação do projeto, facilidade de instalação, configuração e expansão do sistema, manutenção, quantidade de dispositivos, disponibilidade de produtos, segurança, etc.

- Taxa de transmissão – Quantidade média de dados a serem transmitidos na rede num período de tempo (Moraes, Castrucci, 2007);
- Extensão das redes de comunicação – Podem ser classificadas como:
 - o PAN (*Personal Area Network*);
 - o LAN (*Local Area Network*);
 - o CAN (*Campus Area Network*);
 - o MAN (*Metropolitan Area Network*);
 - o WAN (*Wide Area Network*).
- Topologia física da rede – As topologias mais comuns são:
 - o Anel;

- o Barramento (*BUS*);
 - o Estrela;
 - o Ponto-a-ponto;
 - o Árvore.
- Meio físico de transmissão – Temos dois grupos básicos de meios de comunicação:
 - o Utilizando condutores;
 - o Utilizando tecnologia sem fios.
- Método de acesso – Forma de gestão entre os pontos de comunicação (nós) da rede no que toca à comunicação de dados. São do tipo mestre/escravo e produtor/consumidor.
- Confiabilidade e disponibilidade – A confiabilidade do equipamento é definida como a probabilidade de que ele operará dentro de sua especificação por um período de tempo definido.
- Funcionalidade – Tipicamente, as funcionalidades requeridas em redes industriais de comunicação incluem:
 - o Transferência de Arquivos;
 - o Suporte a Aplicações Distribuídas.

2.3.4 Componentes de uma rede industrial

Na grande maioria das redes fabris, um simples cabo não é suficiente para conectar todos os nós da rede. Para isso é definida uma topologia de rede para oferecer isolamento e alcançar os requisitos de desempenho. Em muitos casos existe a necessidade de equipamentos adicionais na rede (Djiev, 2003). Alguns componentes típicos de redes são os amplificadores, as *bridges*, os *routers*, os *gateways* e os *switches*.

2.3.5 Protocolos

Protocolos caracterizam os elementos de maior importância nas redes de automação industrial, tanto que as redes passam a ser denominadas pelos protocolos utilizados (Moraes, Castrucci, 2007).

Basicamente, um protocolo é um conjunto de regras sobre o modo como se dará a comunicação entre as partes envolvidas. A violação do protocolo dificultará a comunicação e em alguns casos poderá impossibilitá-la (Tanenbaum, 1997).

Não existe protocolo certo ou errado, a escolha depende particularmente da aplicação. Os protocolos são construídos seguindo o padrão OSI, criado pela ISO. Alguns dos protocolos largamente utilizados são:

- *Modbus*;
- *Profibus*;
- *Ethernet*;
- *Fieldbus*.

2.3.6 Classificação das redes industriais

Segundo Nogueira (2009) atualmente descreve-se os diversos sistemas que coordenam o processo produtivo através de modelos conceituais. Devido à complexidade destes sistemas é

comum estruturá-los em níveis hierárquicos para facilitar a compreensão. Cada nível hierárquico tem associado um nível de comunicação com exigências próprias na rede.

Na figura 16 temos uma estrutura hierarquizada, com os níveis básicos para as empresas: níveis de campo, de controlo e de gestão. Já na figura 17 temos uma estrutura funcional, com as divisões de instrumentação (sensores e atuadores), redes de dispositivos discretos, controladores, supervisão e gestão da produção.

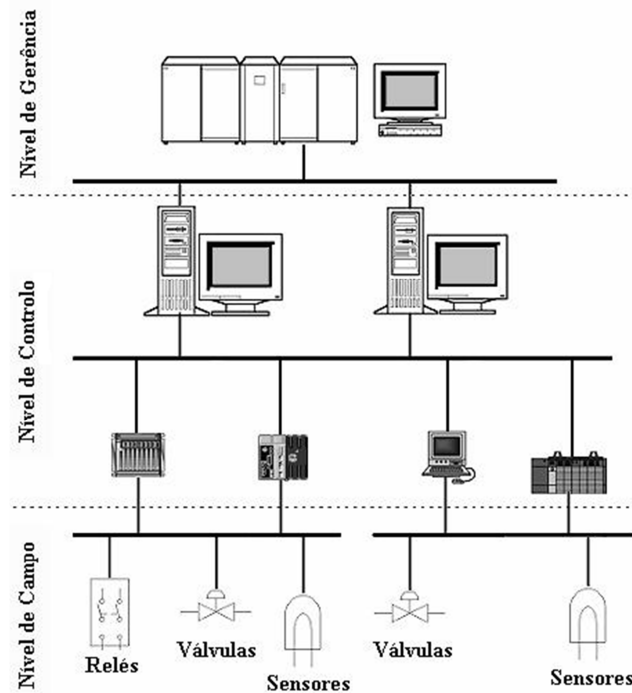


Figura 16 – Classificação das redes industriais (Adaptado Djiev, 2003)

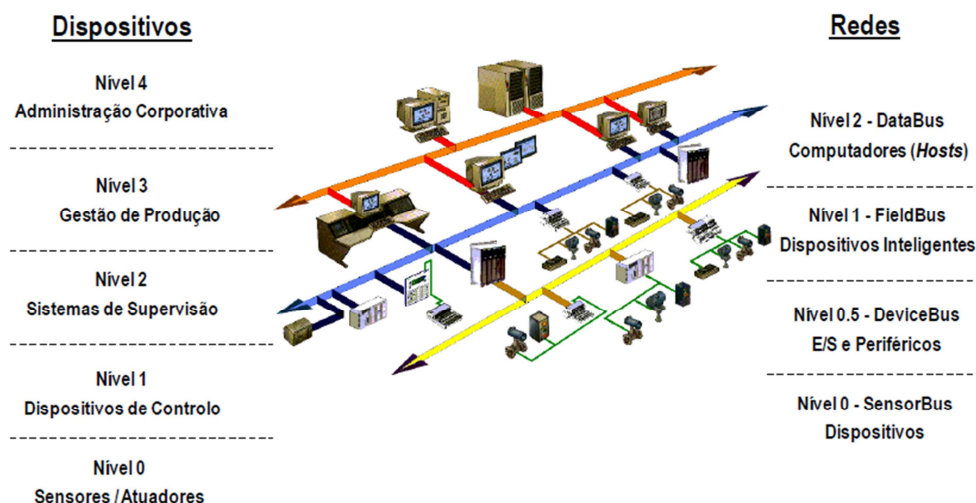


Figura 17 – Classificação das redes industriais e estrutura funcional

O nível de gestão da produção é o nível superior da pirâmide e está reservado aos sistemas de informação. Estes sistemas destinam-se à gestão global da empresa. Como é um ambiente virado mais para a Tecnologia de Informação (TI) prioriza a confidencialidade dos

dados na rede, protegendo-a contra acessos não autorizados, assim como a integridade e a disponibilidade dos mesmos.

Segundo Seixas Filho e Finkel (2003), uma maneira simples e didática de visualizar toda essa estrutura descrita anteriormente pode ser expressa na figura 18:



Figura 18 – Pirâmide hierárquica detalhada (Seixas Filho, Finkel, 2003)

Este modelo hierárquico estratifica os sistemas de produção em níveis:

- Nível 0 – Instrumentação;
- Nível 1 – Controladores: PLCs, Sistemas Digitais de Controlo Distribuído (SDCD);
- Nível 2 – Supervisão: Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA), Interface Homem-Máquina (HMI) e optimizadores de processo dentro do conceito de APC (*Advanced Process Control*);
- Nível 3 – Gestão da produção: Sistemas MES (*Manufacturing Execution System*), PIMS (*Process Information Management System*), APS (*Advanced Planning and Scheduling*), LIMS (*Lab Information System*), Sistemas de Manutenção (*Maintenance Management System*), Sistema de Gestão de Ativos (*Asset Management System*), etc;
- Nível 4 – Sistemas Integrados de Gestão Empresarial (ERP - *Enterprise Resource Planning*);
- Nível 5 – *Data Warehousing*, um sistema de computação utilizado para armazenar informações relativas às atividades de uma organização em bancos de dados e sistemas EIS (*Executive Information Systems*), que tem como objetivo principal dar suporte à tomada de decisão.

Para compreender o modelo proposto pela figura 18 basta compreender que no nível 3 ou acima é onde são utilizados os *softwares* de gestão e corporativos, interligados usando intranet e acesso à internet, permitindo a comunicação entre todos os departamentos da empresa envolvidos na gestão industrial.

Já no nível 2 é necessário interligar as estações de operação a bases de dados para que seja possível realizar funções de supervisão, armazenamento e tratamento das informações do processo.

O nível 1 tem por função conectar os PLCs e as estações de controlo, e o nível 0 faz a interface entre os controladores e os dados dos equipamentos e componentes do processo.

Cada um dos níveis tem requisitos diferentes para a instalação da rede e por isso existe uma infinidade de redes que podem atuar em cada uma das camadas da pirâmide.

Por isso é necessário conhecer o tipo de aplicação que o utilizador final procura, para assim utilizar uma tecnologia que seja compatível e que possa oferecer um melhor desempenho e consequentemente menos falhas no sistema (Forte, 2004).

2.3.7 Padrão OPC

OPC significa OLE para Controlo de Processos. Baseado nas tecnologias Microsoft OLE COM (*Component Object Model*) e DCOM (*Distributed Component Object Model*), o OPC é um conjunto comum de interfaces, métodos e propriedades de comunicação, agregados dentro de uma especificação padronizada e aberta para acesso público. Teoricamente, qualquer pessoa com conhecimentos de programação pode desenvolver os seus aplicativos OPC, basta aceder às especificações contidas no *website* da OPC Foundation e desenvolver uma interface compatível (Puda, 2008).

Basicamente, o padrão OPC estabelece as regras para que sejam desenvolvidos sistemas com interfaces padrões para comunicação dos dispositivos de campo (PLCs, sensores, etc.) com sistemas de monitorização, supervisão e gestão (SCADA, MES, ERP, etc.) (Fonseca, 2002). Sendo um padrão aberto, o OPC separa os sistemas das dificuldades de comunicação, criando uma camada única e padronizada que permite a fácil integração de diversos sistemas (Puda, 2008).

OPC surgiu como uma simples resposta aos *drivers* de comunicação proprietários e acabou por se tornar um padrão altamente difundido na indústria. Com o OPC é possível criar uma camada de comunicação padronizada, que integra facilmente todas as informações industriais (Puda, 2008).

O padrão OPC, conforme o próprio nome indica, é uma aplicação da tecnologia OLE tendo em vista as necessidades da indústria de controlo de processos. O objetivo fundamental da tecnologia OPC é prover uma infraestrutura única, na qual a informação possa ser universalmente compartilhada. Além disso, as seguintes vantagens impulsionaram o seu desenvolvimento:

- Simplicidade de implementação: o padrão é simples e pouco restritivo;
- Flexibilidade: há interesse em endereçar as necessidades de vários segmentos da indústria;
- Alta funcionalidade: procura incluir o máximo de funcionalidades possíveis na especificação, sem conflito com os demais objetivos;
- Operação eficiente: embora a simples compatibilidade com o padrão OPC não garanta clientes ou servidores altamente eficientes, nada na especificação impede o desenvolvimento de *softwares* com essa característica (Puda, 2008).

O funcionamento do OPC é baseado na tradicional arquitetura cliente-servidor, conforme a figura 19:



Figura 19 – Arquitetura cliente-servidor do OPC (Puda, 2008)

O funcionamento desta solução é simples: um ou mais servidores fornecem dados para uma ou mais aplicações cliente.

O interessante do OPC é que uma aplicação cliente pode solicitar dados a um ou mais servidores OPC, e o inverso também é verdadeiro, um servidor OPC pode transferir dados a um ou mais clientes OPC. Portanto, fica claro que o OPC possibilita uma variedade enorme de comunicações, basta que os aplicativos sejam compatíveis com OPC. É importante salientar que o OPC não elimina o protocolo proprietário do PLC ou equipamento de campo. O que acontece é que o servidor OPC “traduz” este protocolo proprietário para o padrão OPC. Portanto é necessário o desenvolvimento de um servidor OPC específico para cada um dos diferentes protocolos de comunicação existentes (Puda, 2008).

2.3.8 Sistemas para gestão industrial

O desenvolvimento de *software* para automação industrial foi largamente impulsionado pela adoção dos protocolos digitais, tanto sob a forma de *firmware*, dada a necessidade de *drivers* de comunicação para os dispositivos, como também ferramentas de *software* para supervisão, controle, calibração e configuração remota de instrumentos de campo. Surgiu também a oportunidade de criação de programas para tratamento da grande quantidade de dados que passou a ser transmitida do nível de campo para a sala de controle, bem como para a criação de informações úteis para outros setores da empresa. (Gutierrez, Pan, 2008).

Os sistemas de gestão de informação industrial, que são englobados com o termo geral de *Enterprise Production Systems* (EPS), onde estão incluídos os *Plant Information Management System* (PIMS) e os *Manufacturing Execution Systems* (MES) atuam como um “intermediário” entre os níveis mais baixos da produção e os sistemas corporativos de gestão da fábrica, *Enterprise Resource Planning* (ERP), responsáveis pela transformação desses dados em informações de negócio. Apesar de serem responsáveis, em suma, por captar e disponibilizar os dados dos níveis mais baixos, eles são diferentes, isto é, desempenham diferentes papéis nesse contexto, embora, segundo Carvalho (2004), alguns sistemas comerciais de PIMS e MES hoje disponíveis no mercado apresentem, de forma “errônea”, algumas sobreposições funcionais, o que cria dificuldades adicionais de integração e mesmo de compreensão dos conceitos.

2.3.8.1 MES (Manufacturing Execution System)

O MES (*Manufacturing Execution System*) foi criado em 1990 por Bruce Richardson da *Advance Manufacturing Research* (AMR). Controla todo o fluxo produtivo, incluindo *stocks* de matérias-primas, produtos em processamento e disponibilidade de máquinas. Através do MES, podem ser calculados os indicadores chave de desempenho (*Key Performance Indicators* - KPI), que contribuem para a melhoria do desempenho da produção da fábrica (Gutierrez, Pan, 2008).

Surgiu da necessidade de se constituir um nível intermediário entre os sistemas integrados de gestão empresarial (*Enterprise Resource Planning* - ERP) e os níveis mais baixos da produção. Devido à natureza dos dados que este processa, os MES são mais usados em indústrias de processos discretos (Nogueira, 2009).

Um sistema MES capta e acumula informações do que foi realizado nos níveis mais baixos e reencaminha-as para o sistema de planeamento. O MES cumpre dois papéis: um é o de controlar a produção, ou seja, considera o que foi efetivamente produzido e como foi produzido e permite comparações com o que estava planeado para, em caso de não coincidência, permitir o disparo de ações corretivas. O outro papel é de enviar as ordens de produção, tendo a preocupação de detalhar a decisão de programação da produção definida pelo MRP (*manufacturing resources planning*), ou seja, garantir que o plano definido pelo MRP seja cumprido. Com isso, é possível saber exatamente a capacidade do nível 0 dentro de um determinado horizonte de planeamento (Corrêa, 1997).

A necessidade de automatizar os processos para responder com mais agilidade e competitividade às exigências do cliente é uma preocupação para as empresas. Neste contexto, a automação focalizada no negócio e nos resultados a serem alcançados consiste no alicerce para se atingir esta competitividade. A disponibilidade de informações atualizadas e precisas é fundamental para se ter êxito nesta tarefa (Carvalho, 2004).

Integrar as informações dos níveis mais baixos com os sistemas de tomada de decisão não é uma tarefa fácil e instantânea. Os processos devem ser sistematizados antes de serem automatizados. É necessária uma equipa multidisciplinar e também muita discussão para se achar a melhor solução custo/benefício. A figura 20 mostra os componentes da pirâmide de automação com a introdução dos sistemas de gestão empresarial denominados ERP (*Enterprise Resource Planning*) e MES (*Manufacturing Execution System*) (Carvalho, 2004).

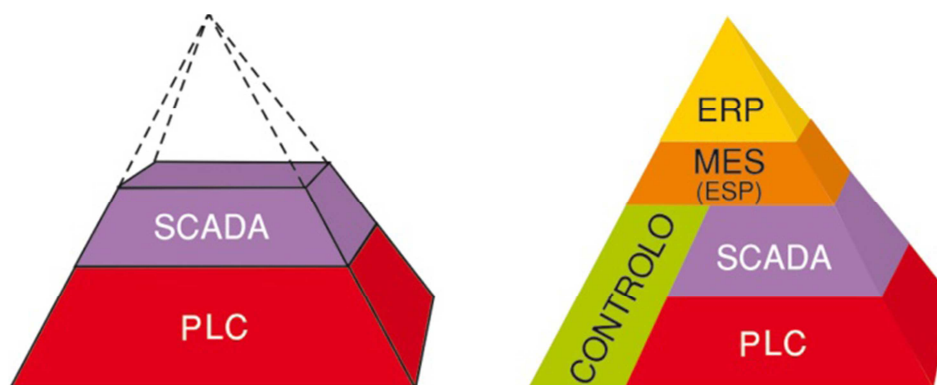


Figura 20 – Pirâmide antes e depois dos sistemas ERP e MES (Carvalho, 2004)

O grande desafio da automação é em primeiro lugar estabelecer um amplo diálogo com a equipa de produção e a equipa de tomada de decisões para entender bem o processo produtivo e as informações necessárias para depois propor o que precisa de ser feito em termos de arquitetura do sistema. O conceito é transformar um enorme número de dados adquiridos em informação útil para a tomada de decisões (Carvalho, 2004).

O uso do MES é devido à sua capacidade de ajudar na eficiência do processo industrial. Utilizando estes indicadores chave de desempenho, a performance *on-line* poderá ser monitorizada, acedida e melhorada, além de outras áreas como a análise da eficiência de equipamentos e da produção, do inglês *Overall Equipment Efficiency* e *Overall Plant Efficiency*, respetivamente (Nogueira, 2009).

Segundo Carvalho (2004), a performance pode ser medida em tempo real com relatórios resumidos que permitem que ações instantâneas ou planeadas sejam tomadas de forma que a qualidade seja mantida ou melhorada. Este é o principal objetivo de um sistema MES e os principais motivos para a sua utilização são:

- Redução do tempo de ciclo de produção;
- Aumentar a qualidade do produto;
- Otimização dos recursos empregados na produção;
- Prevenir erros de produção;
- Simplificar o processo de produção;
- Diminuir custos de produção.

No âmbito das soluções MES, existe uma organização internacional chamada MESA (*Manufacturing Enterprise Solution Association*), que tenta criar modelos, *guidelines*, especificações e métricas para sistemas MES, que contribui com a ISA (Modelo ISA-95) (Rabelo, 2009).

2.3.8.2 PIMS (*Plant Information Management System*)

Este software é utilizado para o armazenamento de todas as informações relevantes do processo de fabrico. Adquire informações dos sistemas de supervisão, sistemas de controlo e outros sistemas já existentes, e armazena-os numa base de dados, que se distingue das bases de dados convencionais por ter grande capacidade de compactação e rápidos tempos de resposta (Gutierrez, Pan, 2008).

Segundo Nogueira (2009) através de Seixas Filho (2003), PIMS são sistemas que adquirem dados dos processos de fabrico, armazenam-nos num histórico e disponibilizam-nos através de diversas formas de representação. O PIMS nasceu na indústria de processos contínuos, mais propriamente na indústria química e petroquímica para resolver o problema da fragmentação de dados e proporcionar uma visão unificada do processo. A implantação de um PIMS facilita a implantação de outros módulos de *software* tais como o MES, e facilita a integração de sistemas ERP com os níveis mais baixos de produção (figura 21). A principal função de um PIMS é concentrar a massa de dados e permitir transformar dados em informação e esta informação em conhecimento. Para um engenheiro de processos é a ferramenta fundamental que permite tirar conclusões sobre o comportamento atual e passado da produção, que permite comparar o comportamento recente com outros anteriores ou com o melhor já observado no sistema.

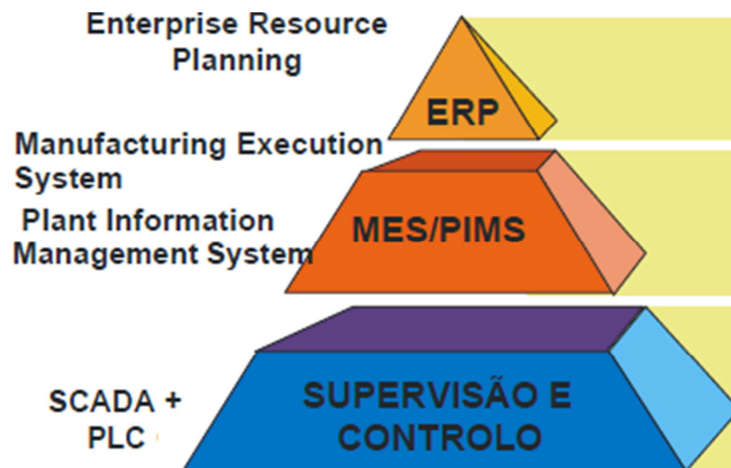


Figura 21 – Integração PIMS e MES (Seixas Filho, 2003)

Segundo Carvalho *et al.* (2005), os benefícios gerados pela implantação de um sistema PIMS são muitos, entre eles destacam-se:

- Centralização dos dados do processo, já que os sistemas PIMS centralizam toda a informação numa única base de dados;
- Democratização da informação, já que o sistema permite que todos os utilizadores tenham acesso aos dados da produção instantaneamente;
- Visualização do processo produtivo em tempo real, através de gráficos de tendências, relatórios, aplicações *Web*, etc.;
- Maior interatividade com os dados do processo, permitindo realizar cálculos, estudos estatísticos e lógica de eventos, utilizando os dados do processo;
- Histórico de dados, capaz de armazenar até 15 anos de dados da produção graças à eficiência de seu algoritmo de compressão;
- Receita do processo, que permite identificar e armazenar os dados correspondentes ao melhor resultado obtido na produção, para que estes sirvam como referência para as interações futuras.

Na sua forma clássica, os sistemas PIMS acedem as fontes de dados localizadas no Nível 2, onde estão os sistemas de supervisão e aquisição de dados (SCADA). Porém, há algumas implementações que também acedem a dados diretamente do Nível 1, por exemplo dos PLCs (Rabelo, 2009).

Capítulo 3

Primeira abordagem

3.1 Identificação de problemas

Tal como mencionado anteriormente, as arquiteturas da linha LML e do sistema de controlo de todas as linhas que constituem a LPF estão desatualizadas e trazem desvantagens não só ao nível da eficiência e controlo da produção, como também económicas.

Na Linha de Produção de Farinhas (LPF) são efetuados processos de produção de vários tipos de farinhas. A produção é efetuada ao longo de cinco linhas autónomas e quando é enviada a ordem de produção, três destas linhas (LMPS, LMPL e CHE) injetam uma certa quantidade de matéria-prima (conforme a receita escolhida) na Linha de Mistura Líquida (LML), onde são efetuados vários processos importantes (ver figura 22) da produção da farinha. De seguida, é efetuado o transporte da sopa resultante para a última linha da produção denominada Linha de Secagem (LS), onde é concluída a produção da farinha e feito o envio da mesma para embalagem. Nesta última zona está incluído por exemplo o armazenamento final, processo anterior à ordem de embalagem (ver figura 22).

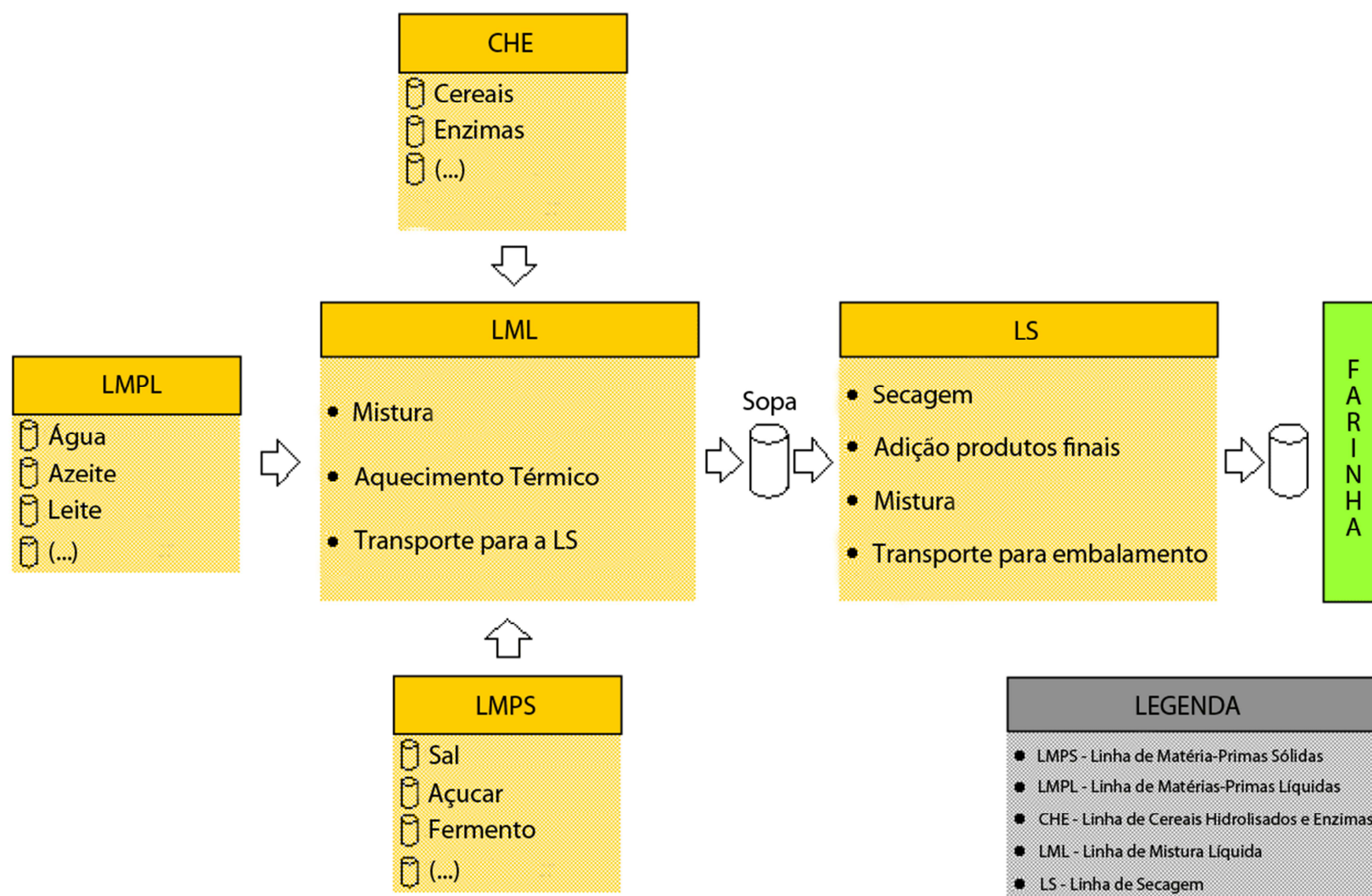


Figura 22 – Fluxo de produção

Assim, o problema está no facto de que, na prática, o sistema de controlo opera como se de uma linha apenas se tratasse, logo a instalação atual não está segmentada em várias linhas de produção autónomas, ou seja, apesar de teoricamente a linha LPF estar dividida em 5 linhas de produção, estas não funcionam autonomamente umas das outras, pelo que a ocorrência de uma falha ou a necessidade de manutenção numa determinada linha não só implica a paragem dessa determinada linha, como também implica a paragem de todas as outras, o que gera significativas perdas ao nível da produção e económicas para a empresa. Dessa forma, será necessário fazer alterações na arquitetura da instalação do sistema de controlo atual e proceder à sua segmentação em várias linhas autónomas, cada uma com controlo independente das outras linhas.

Outro problema está no facto de que como o equipamento atual e a arquitetura de comando e controlo serem velhos e desatualizados, e também usufruírem de interfaces HMI com fracas capacidades, isto leva a um período de ocorrência de falhas e tempo de inatividade não compatíveis com os requisitos da linha de produção. Além disso, essas fracas capacidades, não permitem que os operadores consigam prever e identificar essas falhas antes que se tornem um problema.

A falta de integração/ausência de um sistema de supervisão não permite obter vantagens importantes no processo de produção, onde se podem destacar: maior qualidade (níveis ótimos de trabalho), redução de custos operacionais, maior desempenho de produção e a possibilidade de armazenar dados que podem ser utilizados para gerar informações importantes para posteriormente poderem ser processados por sistemas de gestão (MES) e ajudar nas tomadas de decisão de forma a manter continuamente o aperfeiçoamento do processo de produção.

Por fim, no caso particular da linha LML, a remodelação nesta efetuada, em que foram trocados equipamentos, instrumentos, válvulas, etc. faz com que seja necessário proceder a uma nova automatização da linha. Dadas as restantes alterações mencionadas acima, o sistema de controlo também será alvo dessas alterações.

3.2 Propostas e contribuições esperadas

Com base em tudo o que foi descrito até ao momento neste documento, nesta dissertação será proposto e efetuado por esta ordem, o seguinte:

- 1) Descrição e levantamento de requisitos da linha LML;
- 2) Desenho da arquitetura da linha LML, que com base na descrição e requisitos impostos, permitirá compreender melhor de que forma ocorre o fluxo de produção;
- 3) Desenho de diagramas UML que servirão de auxílio ao ponto 1, e à visualização do desenho do ponto 2 e das comunicações entre os equipamentos;
- 4) Desenho das arquiteturas de controlo das linhas de produção, que permitirá compreender de que forma ocorre o fluxo de dados desde os níveis superiores de controlo até aos sensores instalados nas linhas;
- 5) Proposta de sistemas HMI/SCADA e MES.

A descrição e análise de requisitos é uma parte importante do processo de automatização de uma linha de produção, e é também a primeira fase desse mesmo processo. Nesta fase é efetuada a reunião com o cliente de forma a ficar a conhecer todas as funcionalidades, limitações, e outros aspetos importantes da linha de produção, assim como também (como o

próprio nome indica) saber quais os requisitos impostos pelo processo de produção. Para este documento pretende-se que a descrição e a análise tenham o maior rigor e menor número de erros possível.

Com o desenho do ponto nº 2, pretende-se que se consiga facilmente visualizar de que forma ocorre o fluxo de produção, e diagramas como por exemplo os de classes e de sequências auxiliarão não só na visualização do desenho das linhas de produção, como também perceber de que forma há uma ligação entre os equipamentos, que mensagens trocam entre si de forma a cumprir os objetivos a que estão destinados e a compreender melhor a ocorrência de alguns requisitos impostos.

Com os desenhos das arquiteturas do ponto nº 4, pretende-se fornecer arquiteturas que sejam atuais e tenham mais performance, e que permitam segmentar a linha LPF em cinco sistemas de controlo independentes. Pretende-se ainda que todos os equipamentos e sistemas de controlo estejam integrados, cada um possa contar com uma HMI que tenha mais potencial e capacidades de operação, possam ser supervisionados por um sistema SCADA e geridos por um sistema MES.

No final do projeto, pretende-se que com os pontos 1), 2), 3), 4) e 5) o responsável por programar os vários sistemas de controlo seja capaz de o fazer usando como base todo o material fornecido neste trabalho, contribuindo positivamente desta forma para alcançar os objetivos esperados pela empresa e assim, poder solucionar todos os problemas que foram mencionados anteriormente.

Capítulo 4

Automatização da linha de produção

4.1 Descrição e levantamento de requisitos

A linha de mistura líquida é uma das cinco linhas de produção que trabalham em conjunto para produzir farinha numa fábrica de produtos alimentares e que constituem a linha de produção de farinhas (LPF). Com o intuito de se alcançar os objetivos desejados pela empresa, esta linha de produção foi completamente remodelada. Assim sendo, para que seja possível automatizar esta linha, primeiro será necessário proceder ao trabalho de descrição e levantamento de requisitos da linha.

Neste ponto serão descritos os aspetos técnicos e requisitos da linha de produção que é objeto de estudo neste trabalho. Os aspetos aqui tratados servirão de referência para o início do desenvolvimento do sistema de controlo automatizado. Para uma melhor compreensão, a linha de produção em estudo será chamada de LML (Linha de Mistura Líquida).

4.1.1 Visão global

Esta linha de produção processa dois tipos de ingredientes: secos e líquidos. Os ingredientes secos são os diferentes tipos de farinhas que a linha é capaz de processar, assim como outros ingredientes específicos com propósitos nutricionais e funcionais (sal, etc.). Os ingredientes líquidos processados são a água, ingredientes provenientes da linha que produz os CHE (Cereais Hidrolisados e Enzimas), e outros ingredientes como por exemplo azeite, leite, etc.

A linha LML e a linha CHE pertencem ambas ao mesmo processo de fabrico, sendo que a linha LML está conectada a jusante desta última, e é responsável por efetuar a mistura do produto final da linha CHE com os restantes ingredientes necessárias para a receita, e ainda, efetuar a eliminação de qualquer elemento bacteriano através de um processo de aquecimento.

Os principais equipamentos usados na linha LML são:

- Misturador;
- Tanque de espera;
- Tanque de expansão;

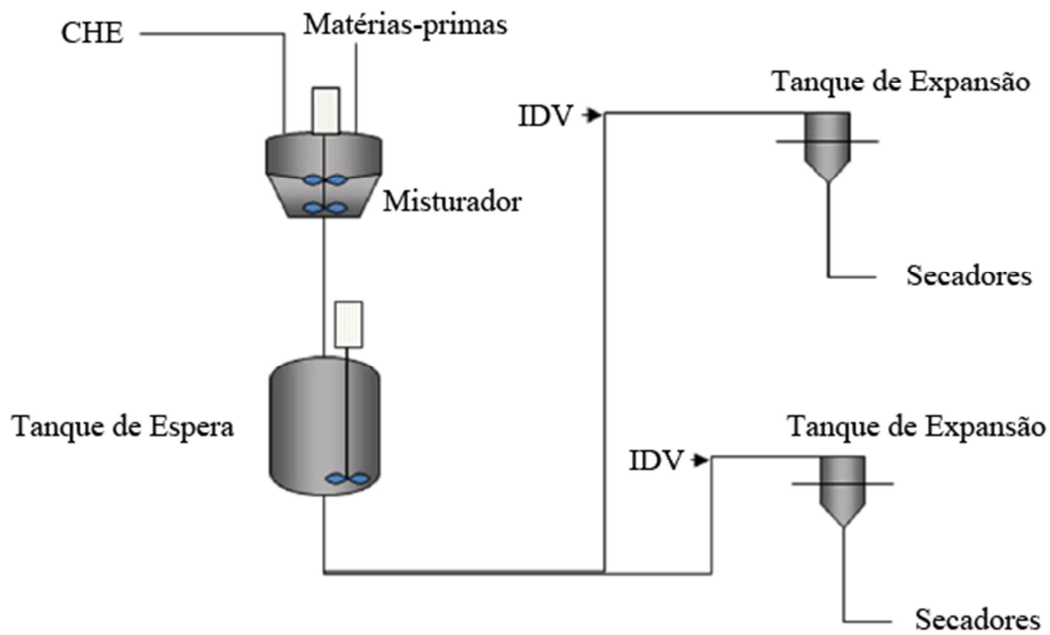


Figura 23 – Visão global dos equipamentos de produção da LML

A linha LML é responsável por realizar três processos importantes na produção da farinha: mistura dos componentes, tratamento térmico (pasteurização) e transferência do produto resultante.

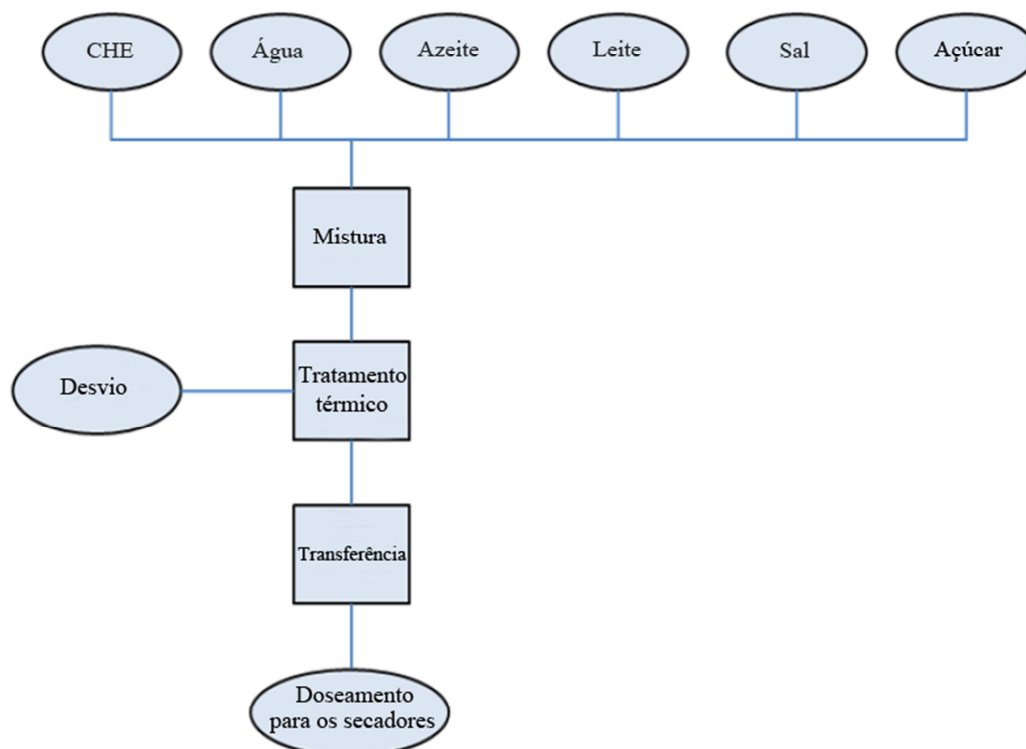


Figura 24 – Visão global dos processos de produção da LML

- **Mistura:** os ingredientes são inseridos no misturador por bombeamento ou por efeito da força da gravidade, e a quantidade de cada ingrediente a ser inserida é controlada por medidores de fluxo ou células de pesagem, segundo as quantidades indicadas na receita. Após serem inseridos, os ingredientes são misturados no tanque de mistura. O resultado final dessa mistura é uma sopa que será então descarregada para o tanque de espera, para evitar perturbações causadas pela passagem de uma operação *batch* para contínua.
- **Tratamento térmico (pasteurização):** neste processo é injetado vapor diretamente na sopa de forma a aumentar a sua temperatura para aproximadamente 135°, e após isso, esta temperatura deverá ser mantida durante 15 segundos. Este passo tem como objetivo eliminar todos os micro-organismos provenientes das matérias-primas e das linhas de produção. Neste processo é usado um injetor de pressão e um tubo de espera com alguma contrapressão. Neste processo podem ser usados dois tipos de aquecimento, central e individual, sendo que no primeiro caso a sopa é depositada num tanque de expansão, que arrefece a sopa e liberta parte do vapor injetado, e de onde será feita a transferência para os secadores, enquanto que no segundo caso o tubo de espera é também o tubo de onde será feita a transferência da sopa para os secadores, não sendo neste caso necessário um tanque de expansão.
- **Transferência:** após o tratamento térmico, a sopa é distribuída por vários secadores. Uma bomba e um medidor de fluxos regulam o fluxo que é transferido, dependendo da quantidade de sopa existente nos secadores.

4.1.2 Descrição do modo de funcionamento

Neste capítulo serão divididos em várias partes os processos pelo qual a linha LML é responsável de executar. Em cada uma delas será especificado como o equipamento deverá funcionar.

Antes de se dar início à produção

Antes de se iniciar qualquer processo, um ou mais operadores devem assegurar-se que as condições listadas abaixo são realizadas, para que assim quando os processos de produção se iniciem, este possa essencialmente focar-se na HMI (Interface Humano-Máquina):

- Todos os interruptores de manutenção dos motores estão na posição ON;
- A válvula principal de água está aberta;
- A linha foi inspecionada e está devidamente montada (todas as válvulas, etc.);
- As válvulas de descarga de água estão abertas;
- Analisar a qualidade do vapor que será injetado no produto;
- Os modos de controlo de todos os motores e válvulas estão em modo automático.

Imediatamente a seguir ao pedido de início de produção emitido pelo operador, o PLC (Controlador Lógico Programável) deverá fazer algumas verificações, de forma a assegurar que todo o sistema está pronto para dar início à sequência de produção:

- Verificar que os interruptores de manutenção de todos os motores estão na posição ON;
- Verificar que todas as válvulas estão prontas para produção;
- Verificar que os modos de controlo de todos os motores, e válvulas, estão em modo automático.

Início da produção

A linha LML está pronta a iniciar quando:

- A sequência “Esterilização” está concluída (apenas em casos de longas paragens);
- O tanque reservatório da linha CHE tem produto e está pronto a dosear para o tanque de mistura da linha LML;
- Todos os tanques dos ingredientes líquidos têm produto e estão prontos a dosear para o tanque de mistura;
- A água e o vapor estão prontos;
- Os secadores estão prontos;
- Todos os equipamentos estão no estado “pronto”, todos os bloqueios foram removidos e nenhum operador de manutenção está a trabalhar em algum equipamento;
- Todos os botões de emergência estão desativados;
- A principal fonte de alimentação está disponível.

Para dar início à produção na linha LML, o operador irá:

- Selecionar uma receita do sistema que gere as receitas;
- Introduzir o valor do fluxo total de produção de sopa;
- Sintonizar as válvulas 61.05 / 62.05 através da posição das válvulas 61.48 / 62.48 até que a IDV (Injeção Direta de Vapor) esteja estável.
- Controlar a quantidade de sopa desviada para evitar que os tanques de desvio transbordem;
- Controlar o caudal de sopa nas linhas de transferência até que os secadores estejam estáveis.

Pausa na produção

Se a produção for colocada em modo de “pausa”, o sistema fará uma paragem controlada da linha, ou seja, todos os ciclos em progresso são concluídos e o processo colocado em espera.

Paragem da produção

A produção irá parar:

- Automaticamente após a realização de toda a quantidade de produção;
- Por ordem do operador. Neste caso, o sistema concluirá primeiro todo o processo de produção em progresso e só depois irá parar a linha.

Conceito do controlo

O conceito do controlo é o seguinte:

- As bombas que alimentam os secadores (bombas 71.10 / 72.10) são controladas manualmente pelo operador. A velocidade de bombeamento deve ser regulada a partir do painel de exibição dos secadores;
- As bombas abaixo do tanque de expansão (61.10 / 62.10) são controladas pelos IPT 61.12 / 62.12. A pressão no ponto de descarga deve ser mantida constante, e definida como um parâmetro de processo;
- O nível dos tanques de expansão deve ser mantido no SP (*set point*). O nível SP é obtido através do ajuste da velocidade das bombas localizadas a montante (bombas 32.40 / 32.50);
- Sempre que o nível no tanque de espera está baixo, a sopa do misturador deve ser descarregada.
- A dosagem de ingredientes para o tanque de mistura deverá ser efetuada a uma velocidade constante. O tempo de mistura irá variar conforme o tempo que o tanque de espera demora a obter o nível baixo.

4.1.2.1 Procedimento da unidade de mistura

Esta sequência permite iniciar a preparação da receita desejada, e obter uma mistura homogênea de todos os ingredientes necessários à preparação da mesma. Os ingredientes secos que chegam ao misturador a partir da linha de ingredientes secos, os cereais CHE que provêm da linha CHE e os restantes ingredientes líquidos da linha de ingredientes líquidos, são misturados no misturador. Concluída essa etapa, a sopa resultante é descarregada para o tanque de espera, para evitar perturbações causadas pela passagem de uma operação *batch* para contínua. Nesta unidade, é muito importante ajustar corretamente o tempo das seguintes sequências:

- Farinha doseada para o misturador;
- Ingredientes líquidos doseados para o misturador;
- Misturação;
- Descarga para o tanque de espera.

A sequência seguinte assegura que todos os passos necessários para iniciar a unidade serão iniciados de forma coordenada e automática.

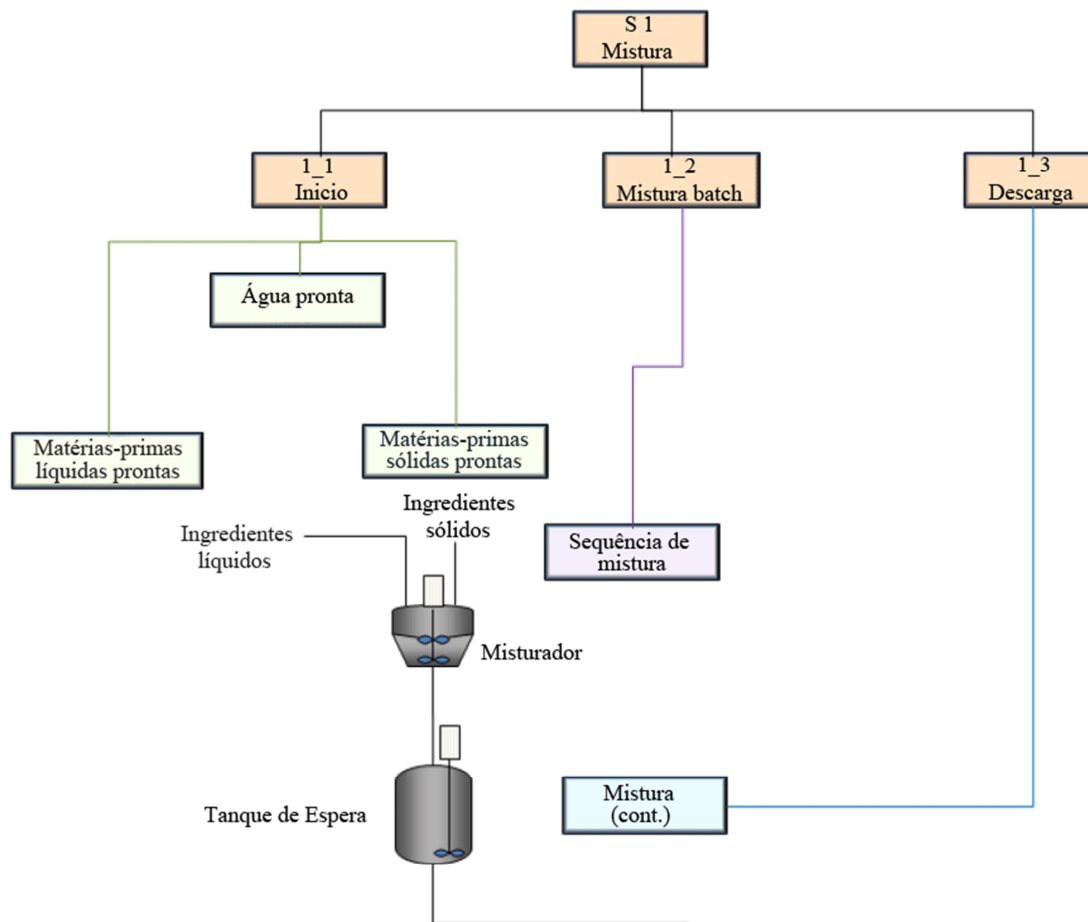


Figura 25 – Procedimento da unidade de mistura

Início de sequência

Dar-se-á início à sequência quando:

- Água de selagem das bombas está pronta;
- Água está pronta;
- Farinha está pronta;
- Ingredientes líquidos estão prontos;
- Cereais CHE estão prontos;
- Temperatura da água que reveste o tanque de espera está pronta;
- Misturador do tanque de mistura está pronto;
- Misturador do tanque de espera está pronto;
- Bombas estão prontas;
- A mensagem “Unidade de mistura pronta” é exibida no ecrã;
- Se o sequenciador estiver em modo manual, um operador deverá “intervir”, se estiver no modo automático, o sistema avançará para o próximo passo automaticamente.

A sequência não deverá iniciar quando:

- Todos os equipamentos não estão em modo automático;
- Doseador de farinha está desativado;

- Doseador de ingredientes líquidos está desativado;
- Doseador de cereais CHE está desativado;
- Interruptor de segurança do tanque de mistura (IS 32.99) não está a funcionar;
- Doseador de farinha está vazio;
- Doseador de ingredientes líquidos está vazio;
- Doseador de cereais CHE está vazio;
- As válvulas abaixo do tanque de espera (32.47 / 32.57 / 32.67 / 32.77) não estão na posição de produção;
- Há uma falha no motor de acionamento de quaisquer bombas ou misturadores.

A sequência será:

- Iniciar a sequência de mistura (ver a sequência mais abaixo);
- Mistura no tanque de espera efetuada a alta velocidade (MIXR 32.10);
- A mensagem “A fornecer produto para mistura” é exibida no ecrã;
- Abrir válvula 32.31;
- Bombas 32.40 / 32.50 começam a bombear a velocidade nominal;

Sequência de mistura

A sequência de dosagem é a seguinte:

- Iniciar o doseamento dos ingredientes líquidos (exceto água) e dos cereais CHE;
- Colocar o misturador do tanque de mistura a trabalhar a uma velocidade baixa (MIXR 32.10);
- Iniciar o doseamento de farinha e água;
- Parar o doseamento de ingredientes líquidos (exceto água);
- Parar o doseamento dos cereais, água e farinha.

A sequência de descarga será a seguinte:

- A sequência de descarga inicia-se quando o nível no tanque de espera é baixo (INT 32.22);
- Parar o misturador do tanque de mistura (MIXR 32.10);
- Abrir a válvula de descarga 32.47;
- A descarga termina quando o nível no tanque de espera é alto (INT 32.32).

Paragem da sequência

A sequência parará quando:

- A produção está parada;
- O doseamento de ingredientes líquidos está parado;
- O doseamento de cereais CHE está parado;
- O doseamento de farinha está parado;
- O doseamento de água está parado;
- O fornecimento de vapor está parado;

A sequência de paragem é a seguinte:

- Parar o doseamento de farinha;
- Parar o doseamento de ingredientes líquidos;
- Parar o doseamento de cereais CHE;

- Parar o doseamento de água;
- Parar o misturador do tanque de mistura (MIXR 32.10);
- Parar as bombas 32.40 / 32.50 quando o INT 32.22 indicar nível baixo;
- Parar o misturador do tanque de espera (MIXR 32.25);
- A mensagem “Unidade de mistura parada” é exibida no ecrã.

4.1.2.2 Procedimento da unidade de tratamento térmico

Esta sequência é considerada um ponto crítico de controlo muito importante na produção, pois esta deve assegurar a qualidade bacteriológica e a segurança da sopa ou produto final. A sopa é aquecida até 135° através de injeção direta de vapor na mesma, e de forma a garantir que se tem um produto seguro, essa temperatura é mantida durante 15 segundos usando para esse efeito um tubo de espera. Posteriormente, o produto é arrefecido num tanque de expansão, onde o vapor não condensado é libertado para a atmosfera. Caso o produto final não esteja dentro dos parâmetros desejados, o sistema deverá automaticamente desviá-lo para os tanques de desvio.

A seguinte sequência irá garantir que a linha LML é capaz de efetuar as operações necessárias para arrancar, parar e produzir na unidade de tratamento.

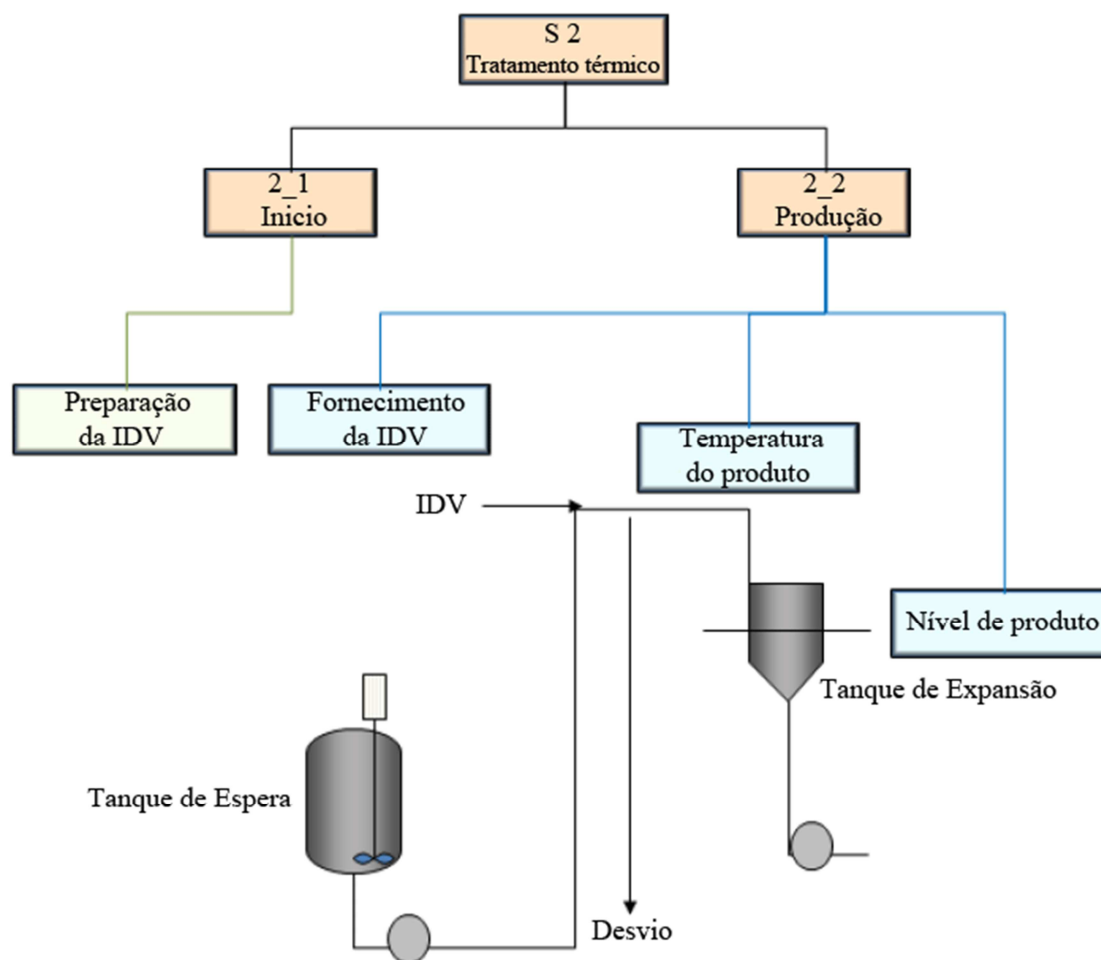


Figura 26 – Procedimento da unidade de tratamento térmico

Início de sequência

Será dado início à sequência quando:

- Vapor está pronto;
- Água de selagem das bombas está pronta;
- Bomba está pronta;
- A mensagem “Tratamento térmico pronto” é exibida no ecrã;
- Se o sequenciador estiver em modo manual, um operador deverá “intervir”, se estiver no modo automático, o sistema avançará para o próximo passo automaticamente.

A sequência não poderá iniciar quando:

- Todos os equipamentos não estão no modo automático;
- O nível de produto no tanque de espera (INT 32.22) é baixo;
- Interruptores de segurança do tanque de expansão (IS 61.21 / 62.21) não estão a funcionar;
- As válvulas (61.05 / 62.05) não estão instaladas na linha;
- As válvulas 61.82 / 61.92 abaixo do tanque de expansão não estão em posição de produção;
- Os tanques de desvio não estão prontos;
- As válvulas de controlo de vapor 61.42 / 62.42 não estão totalmente fechadas;
- Há uma falha no motor de arranque da bomba.

A sequência será:

- Abrir válvulas de vapor (61.41 / 62.41);
- Colocar as válvulas 61.25 / 62.25 na posição mais baixa, abrir as válvulas 84.22 / 84.32, colocar as válvulas 61.71 / 62.71 na posição mais baixa, colocar as válvulas 61.52 / 62.52 na posição mais alta e fechar as válvulas 61.73 / 62.73. Desta forma a primeira quantidade de sopa será desviada para os tanques 61.50 / 62.50.
- O produto proveniente do tanque de espera é enviado para as IDV 61.02 / 62.02, aumentando progressivamente o fluxo.
- O conjunto de válvulas 61.72 / 62.72 deverão começar a abrir conforme o fluxo de sopa. As válvulas deverão ser reguladas suavemente e variações bruscas devem ser evitadas.
- A mensagem “ A fornecer produto para aquecimento” deverá ser exibida no ecrã;
- Sopa é aquecida até 135° (CIT 61.03 / 62.03 atua sobre 61.42 / 62.42);
- Regular a posição das válvulas 61.05 / 62.05 através das válvulas 61.48 / 62.48;
- Assim que os parâmetros anteriores estejam estáveis, fechar as válvulas 84.22 / 84.32 e colocar as válvulas 61.25 / 62.25 na posição mais alta, para que desta forma a sopa seja enviada para o tanque de expansão;
- Aumentar a velocidade das bombas 32.40 / 32.50 para se atingir o caudal de SP;
- Quando o tanque de expansão atinge nível desejado (parâmetro variável), os INT 61.22 / 62.22 atuam sobre as bombas 32.40 / 32.50;
- Bombas 61.10 / 62.10 começam a bombear à velocidade de SP;
- Durante a produção, as bombas 61.10 / 62.10 são controladas pelos IPT 61.12 / 62.12. A pressão de descarga das bombas deverão ser mantidas constantes.

Paragem da sequência

A sequência parará quando:

- A produção está parada;
- O fornecimento de vapor está parado;

A sequência de paragem é a seguinte:

- Parar fornecimento de vapor (fechar válvulas 61.41 / 62.41);
- Fechar válvulas de vapor 61.42 / 62.42;
- Não há produto a chegar da unidade de mistura;
- Parar bombas 61.10 / 62.10 quando os CNI 61.10 / 62.10 indicam nível baixo;
- A mensagem "Tratamento térmico terminado" é exibida no ecrã.

4.1.2.3 Procedimento da unidade de transferência de produto

A sequência de operação desta unidade permitirá enviar a sopa proveniente da unidade de tratamento térmico para os secadores e controlar o nível de sopa existente nos reservatórios dos mesmos.

A seguinte sequência irá garantir que a linha LML é capaz de efetuar as operações necessárias para arrancar, parar e produzir na unidade de transferência de produto (ou sopa).

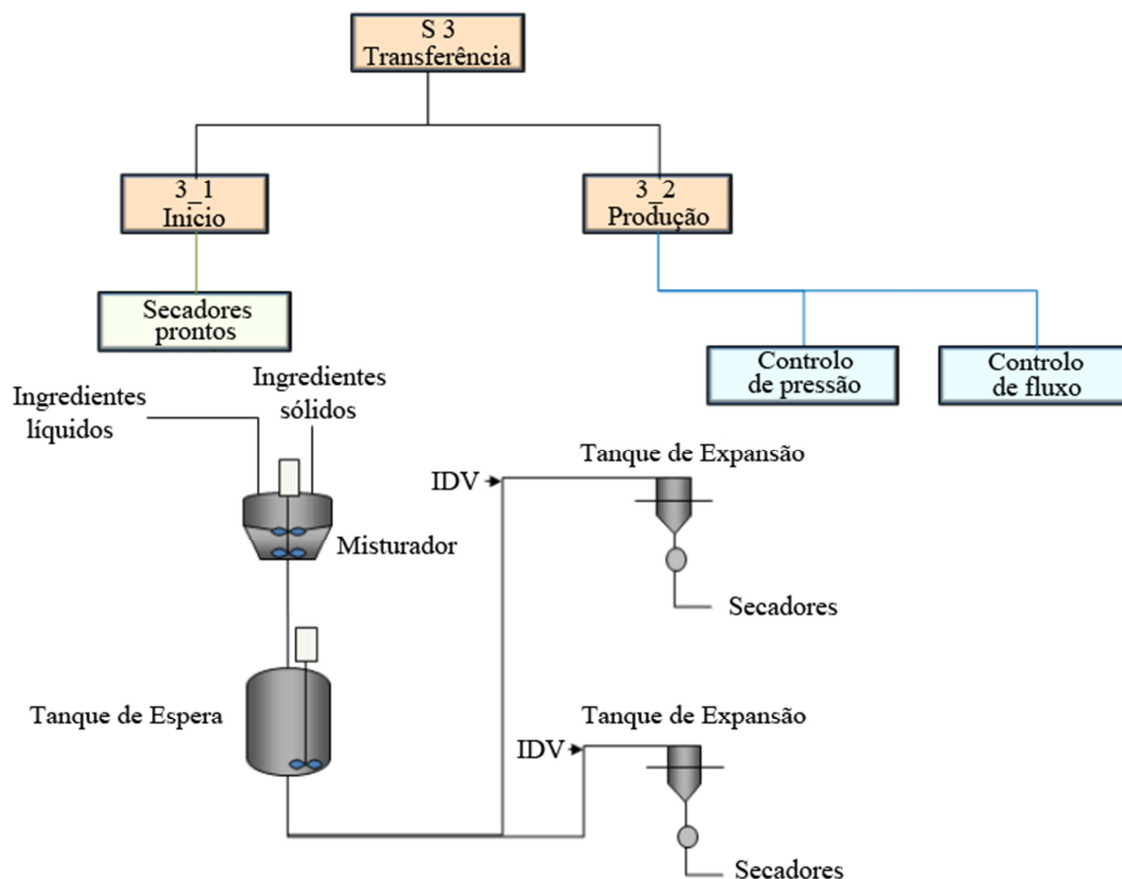


Figura 27 – Procedimento da unidade de transferência de produto

Início de sequência

Será dado início à sequência quando:

- Água de selagem das bombas está pronta;
- Bombas estão prontas;
- Secadores estão prontos;
- A mensagem “Transferência de sopa está pronta a iniciar” é exibida no ecrã;
- Se o sequenciador estiver em modo manual, um operador deverá “intervir”, se estiver no modo automático, o sistema avançará para o próximo passo automaticamente.

A sequência não poderá iniciar quando:

- Todos os equipamentos não estão no modo automático;
- O nível de produto no tanque de expansão (INT 61.22 / 62.22) é baixo;
- As válvulas 61.82 / 61.92 abaixo do tanque de expansão não estão em posição de produção;
- As válvulas de LLE (Limpeza da Linha e dos Equipamentos) e as válvulas de lavagem em alta pressão não estão em posição de produção;
- Os secadores não estão prontos;
- Há uma falha no motor de arranque da bomba.

A sequência será:

- Iniciar bombas 61.10 / 62.10, controlada pelos IPT 61.12 / 62.12 (pressão SP);
- Iniciar bombas 71.10 / 72.10. A velocidade destas bombas deverá ser regulada manualmente por um operador através do painel mais próximo dos secadores;
- A mensagem “Transferência de sopa em curso” é exibida no ecrã;
- Regular o nível do reservatório dos secadores com as bombas 71.10 / 72.10 (manualmente por um operador);
- A pressão de descarga das bombas 61.10 / 62.10 deverá ser mantida constante e será controlada pelos IPT 61.12 / 62.12.

Paragem da sequência

A sequência parará quando:

- A produção está parada;

A sequência de paragem é a seguinte:

- Bombear toda a sopa contida nos tubos de transferência para os secadores;
- Assim que não houver mais fluxo (IFT 61.14 / 62.14), parar as bombas 61.10 / 62.10;
- Assim que não houver mais pressão (IPT 71.03 / 72.03), parar as bombas 71.10 / 72.10;
- A mensagem “Transferência de sopa terminada” é exibida no ecrã.

4.1.2.4 Procedimento de interrupção devido a anomalias

Caso haja uma longa e imprevista interrupção da produção na linha, a sopa será desviada e drenada para o tanque de desvio através da válvula de desvio.

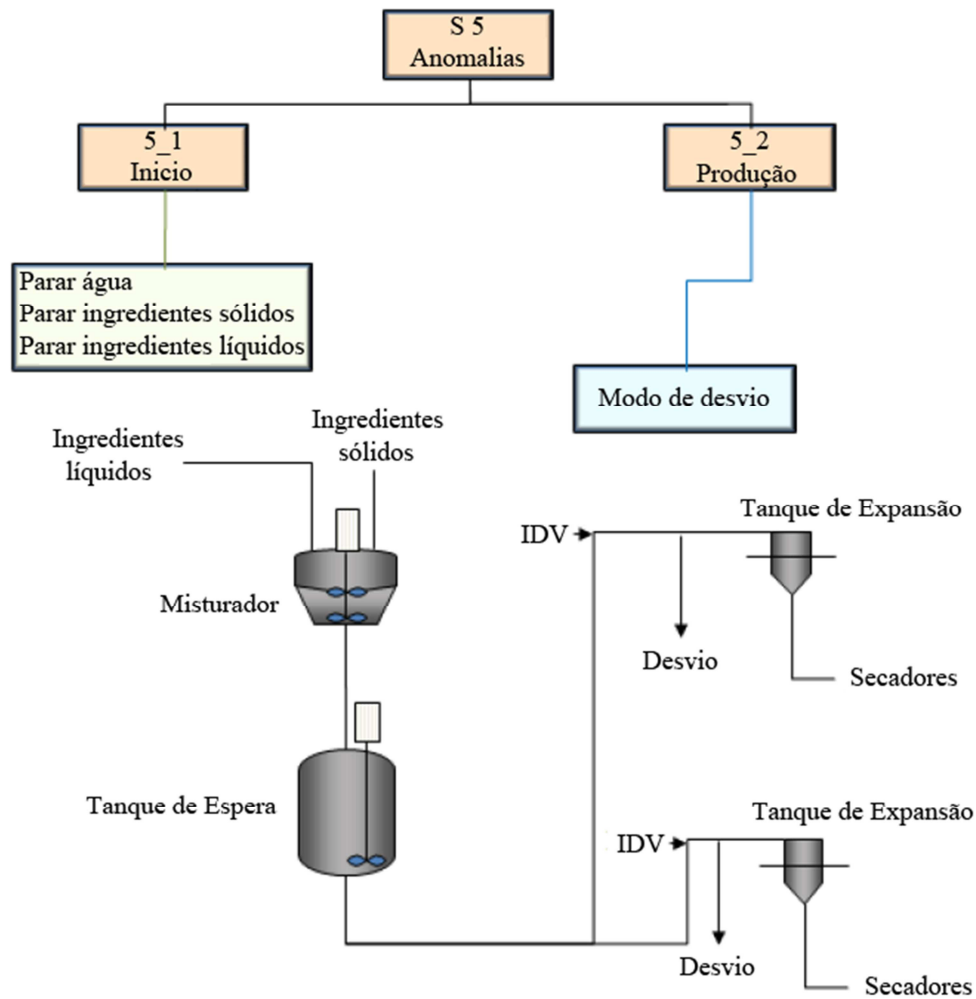


Figura 28 – Procedimento de interrupção devido a anomalias

Início de sequência

Será dado início à sequência quando:

- A linha CHE e/ou a linha LML e/ou a unidade dos secadores estão a funcionar em condições anormais;
- Devido às anomalias, é necessário interromper a linha por um longo período de tempo;
- O operador ativa a sequência usando os comandos disponíveis na HMI.

A sequência será:

- Parar de dosear farinha, água e os restantes ingredientes líquidos;
- Parar de dosear os cereais CHE;
- Colocar as válvulas 61.25 / 62.25 e 84.22 / 84.32 na posição desvio;
- Bombear toda a sopa para o tanque de desvio;
- Drenar o resto da linha.

Paragem da sequência

A sequência parará quando:

- A linha está limpa;

- O nível no tanque de espera e no tanque de expansão é baixo (INT 32.22, CNI 61.10/ 62.10);
- As causas da anomalia estão resolvidas;

A sequência de paragem é a seguinte:

- Parar as bombas 32.40 / 32.50 / 61.10 / 62.10 / 71.10 / 72.10.

4.1.2.5 Procedimento da unidade de LLE

A unidade LLE é usada para limpar automaticamente a grande maioria da linha LML e seus equipamentos. A LLE é efetuada em três passos: pré-lavagem, lavagem química e lavagem final. Os agentes de limpeza usados neste processo são provenientes da estação LLE, e retornam de novo para a mesma, assim que o processo esteja concluído.

A seguinte sequência irá garantir que a linha LML é capaz de efetuar as operações necessárias para arrancar, parar e operar em conjunto com a unidade de LLE.

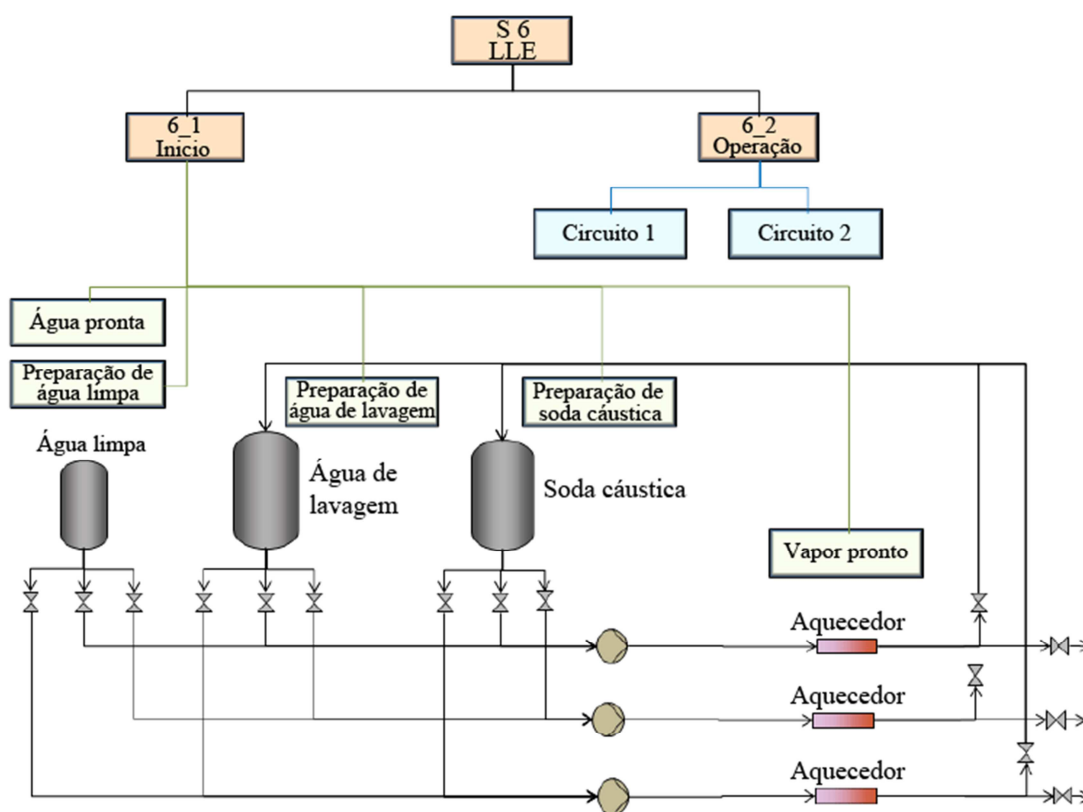


Figura 29 – Procedimento da unidade de LLE

Início de sequência

Será dado início à sequência quando:

- A ordem de produção foi concluída;
- Válvulas, e sensores de posição estão na posição de LLE;
- Bombas de retorno da unidade LLE estão prontas;
- Fornecimento de água está pronto;
- Fornecimento de vapor está pronto;
- Preparação de soda cáustica e respetivo tanque estão prontos;

- Tanque de água limpa pronto;
- Tanque de água de lavagem pronto;
- A mensagem “LLE está pronta a iniciar” é exibida no ecrã;
- Se o sequenciador estiver em modo manual, um operador deverá “intervir”, se estiver no modo automático, o sistema avançará para o próximo passo automaticamente.

A sequência não poderá iniciar quando:

- Todos os equipamentos não estão em modo automático;
- O nível de produto no tanque de espera e nos tanques de expansão não é baixo (INT 32.22, CNI 61.22 / 62.22);
- Interruptores do tanque de expansão não estão a funcionar (61.21 / 62.21);
- Os tampões de LLE não estão montados nas bombas 32.40 / 32.50 / 61.10 / 62.10 / 71.10 / 72.10;
- Todas as válvulas não estão na posição de LLE;
- Existe uma falha no motor de arranque de alguma bomba ou misturador.

Para a limpeza da linha (circuito 1), a sequência será:

- Colocar as válvulas de fornecimento e retorno (estação LLE) na posição de LLE;
- Abrir válvula 41.25 (estação LLE);
- Abrir válvulas de LLE;
- Abrir bomba 33.10 (estação LLE);
- Abrir bombas de LLE;
- Iniciar pré-lavagem;
- Parar pré-lavagem após 10 minutos;
- Iniciar lavagem química;
- Parar lavagem química após 20 minutos;
- Iniciar lavagem final;
- Parar lavagem final após 10 minutos.

Para a limpeza dos tanques (circuito 2), a sequência será:

- Colocar as válvulas de fornecimento e retorno (estação LLE) na posição de LLE;
- Colocar os misturadores a trabalhar no modo de LLE;
- Abrir válvula 41.15 (estação LLE);
- Abrir válvulas de LLE;
- Abrir bomba 31.10 (estação LLE);
- Abrir bombas de LLE;
- Iniciar bombas de retorno da estação LLE a um caudal de 30 m³/hora;
- Iniciar pré-lavagem
- Parar pré-lavagem após 15 minutos;
- Iniciar lavagem química;
- Parar lavagem química após 25 minutos;
- Iniciar lavagem final;
- Parar lavagem final após 15 minutos tempo.

Paragem da sequência

A sequência parará quando:

- LLE terminou;
- Fornecimento de vapor está parado;
- Fornecimento da preparação de soda cáustica parou;
- Fornecimento de água limpa parou.

A sequência de paragem é a seguinte:

- Parar bombas de fornecimento e retorno;
- Parar os misturadores dos tanques;
- Fechar as válvulas de fornecimento e retorno;
- Colocar todas as válvulas na posição de produção;
- A mensagem “LLE terminada” é exibida no ecrã.

4.1.2.6 Procedimento da unidade de esterilização

Esta sequência permite aquecer os tubos da linha LML após longas paragens. Desta forma, a estabilidade da linha após o arranque é obtida mais rapidamente, e o consumo de vapor na IDV será menor.

Outro objetivo da esterilização é o de eliminar potenciais microrganismos presentes na linha.

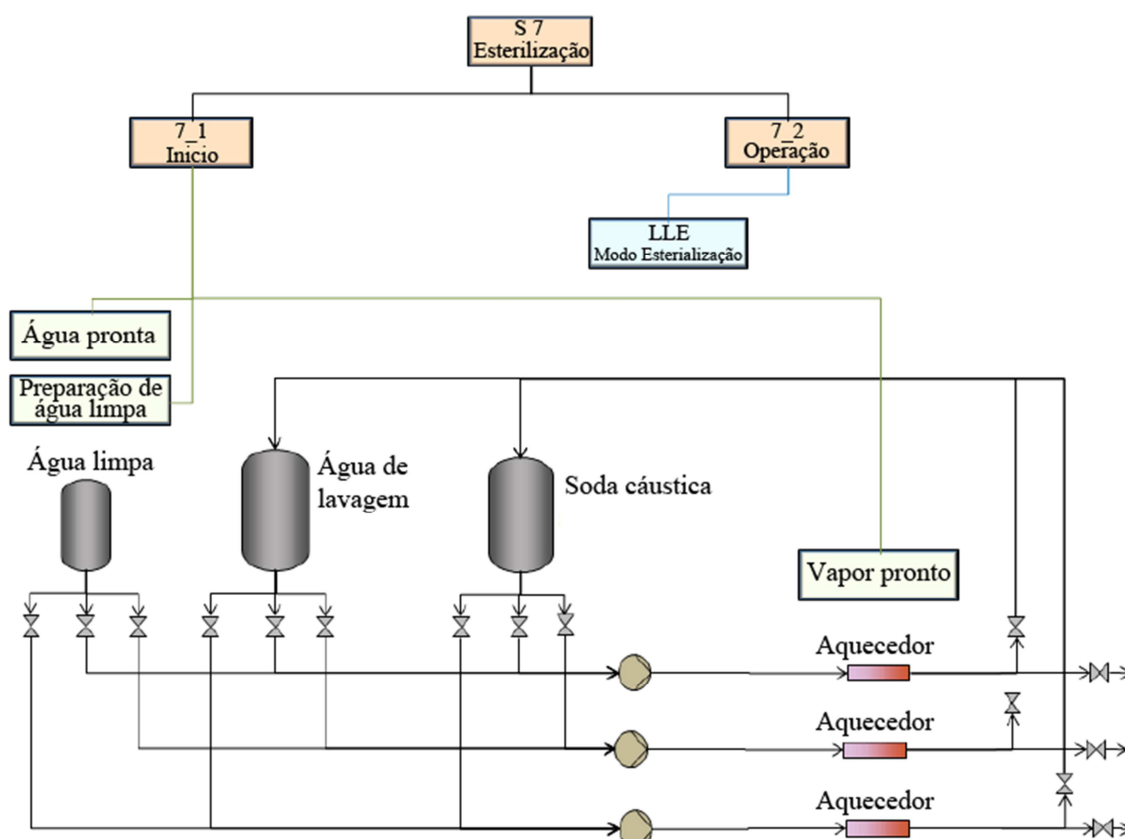


Figura 30 – Procedimento da unidade de esterilização

Início de sequência

Será dado início à sequência quando:

- Fornecimento de água está pronto;
- Fornecimento de vapor está pronto;
- Tanque de água limpa está pronto;
- A mensagem “Esterilização pronta a iniciar” é exibida no ecrã;
- Se o sequenciador estiver em modo manual, um operador deverá “intervir”, se estiver no modo automático, o sistema avançará para o próximo passo automaticamente.

A sequência não poderá iniciar quando:

- Todos os equipamentos não estão no modo automático;
- Não foi realizada previamente uma sequência completa de LLE;
- Existe uma falha no motor de arranque de alguma bomba ou misturador.

A sequência será:

- Abrir válvula 32.33 (estação LLE). Encher o tanque de espera com água até ao nível de SP;
- Abrir as válvulas de entrada dos tanques de expansão (61.25 / 62.25);
- Iniciar as bombas 32.40 / 32.50;
- Iniciar injeção de vapor usando as IDV 61.02 / 62.02. Abrir válvulas de vapor 61.42 / 62.42 progressivamente. A temperatura da água deverá ser elevada até ao SP (85°). Esta será controlada por uma curva PID (Proporcional-Integral-Derivativo) através dos CIT 61.03 / 62.03;
- Enviar a água quente para o tanque de expansão. Quando o nível atingir os 80% (CNI 61.10 / 62.10), mudar as válvulas 61.25 / 62.25 e 84.22 / 84.32 para a posição de LLE;
- Enviar a água quente para os drenos acima dos secadores.
- A mensagem “Unidade de esterilização iniciada” é exibida no ecrã;
- Durante toda a sequência, o nível no tanque de espera deverá ser mantido no SP, adicionando mais ou menos água conforme o necessário (abrir/fechar válvula 32.33).

Paragem da sequência

A sequência parará quando:

- A esterilização foi concluída, ou seja após 10 minutos;
- Fornecimento de vapor parou;
- Fornecimento de água limpa parou.

A sequência de paragem é a seguinte:

- Parar o envio de água para o tanque de espera (fechar válvula 32.33);
- Esvaziar o tanque de expansão usando a bomba de retorno 85.40 (estação LLE). Enviar a água para o tanque de água reutilizável (estação LLE) ou caso este esteja cheio, para o dreno (estação LLE);
- Esperar até que o tanque de espera esteja vazio (INT 32.22);
- Parar bombas 32.40 / 32.50;
- Mudar todas as válvulas para a posição de produção.
- A mensagem “Esterilização concluída” é exibida no ecrã;

4.2 Arquitetura da linha de produção

Neste ponto pretende-se mostrar visualmente numa escala menor, mas ainda assim com um nível de detalhe elevado, todos os elementos que compõem a linha LML e as interligações entre os mesmos. Aliado ao trabalho feito anteriormente, este desenho permitirá saber com precisão o modo de funcionamento da linha LML e de que forma ocorre todo o fluxo de produção.

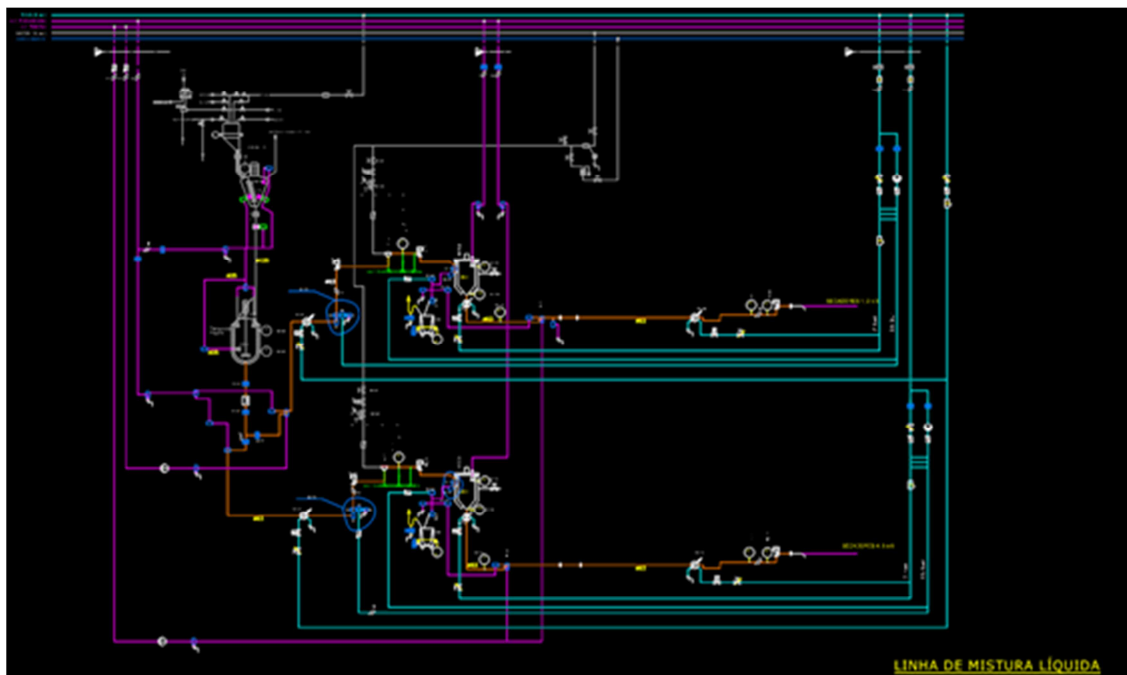


Figura 31 – Arquitetura da linha de mistura líquida

Como se pode verificar, devido à dimensão do desenho, não será possível apresentar o mesmo com boa resolução e qualidade neste documento, pelo que para isso, será necessário consultar o ficheiro de AutoCAD entregue em conjunto com este documento. Será, no entanto, apresentado no Anexo A, uma versão com menos qualidade deste desenho, guardada a partir do original para pdf.

Devido aos factos mencionados acima, de seguida serão apresentados apenas os excertos deste desenho considerados mais relevantes para este trabalho:

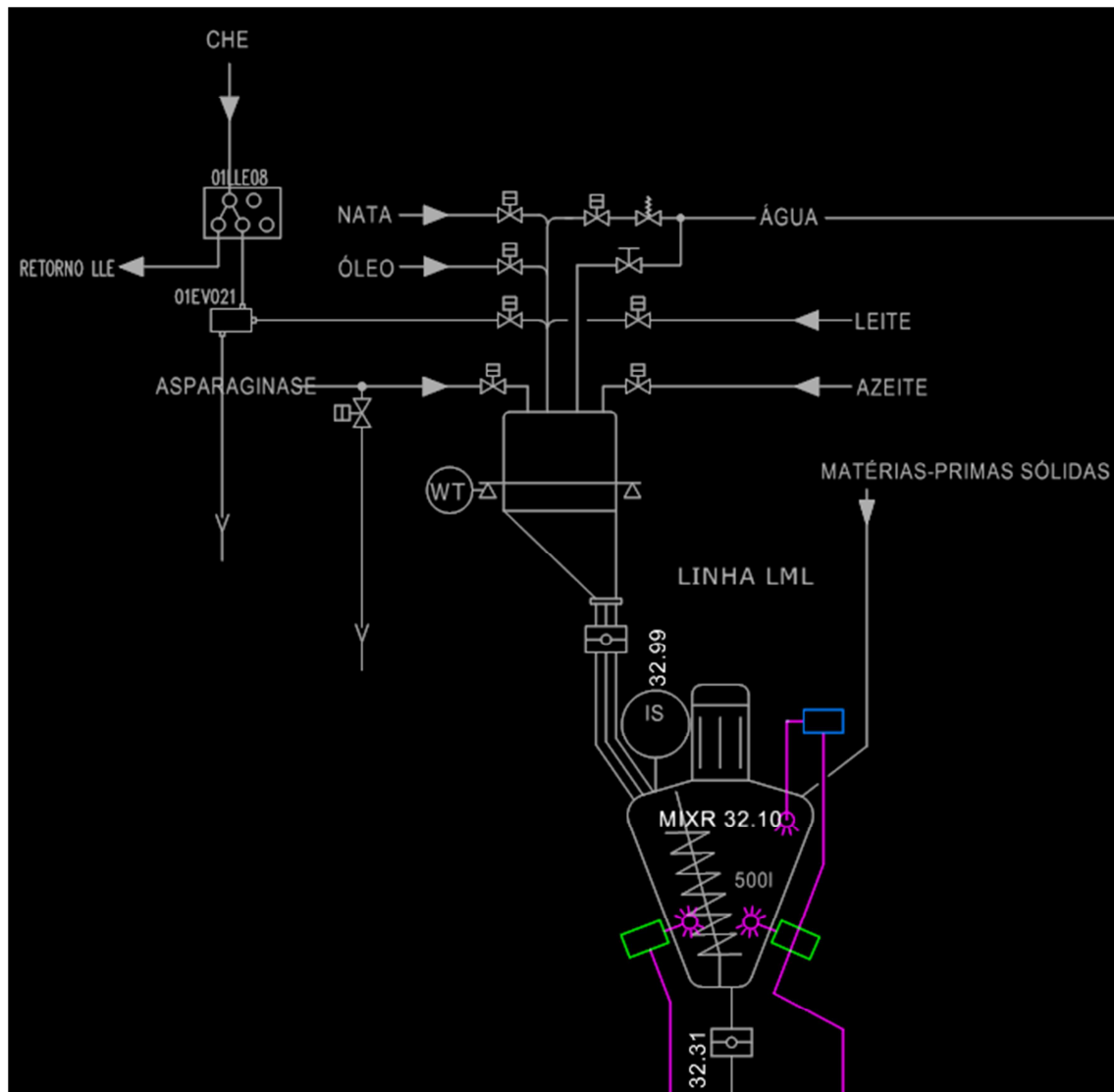


Figura 32 – Excerto do misturador, LMPL, LMPS e Linha CHE

Na figura acima podemos observar as ligações entre o misturador, ambas as linhas de matérias-primas, a linha CHE e os caminhos pelo qual o misturador recebe produto. A roxo temos as ligações com a unidade de LLE, que servem para efetuar a limpeza do tanque. Podemos também observar o interruptor de segurança do misturador (IS 32.99) e a válvula de descarga para o tanque de espera (32.31).

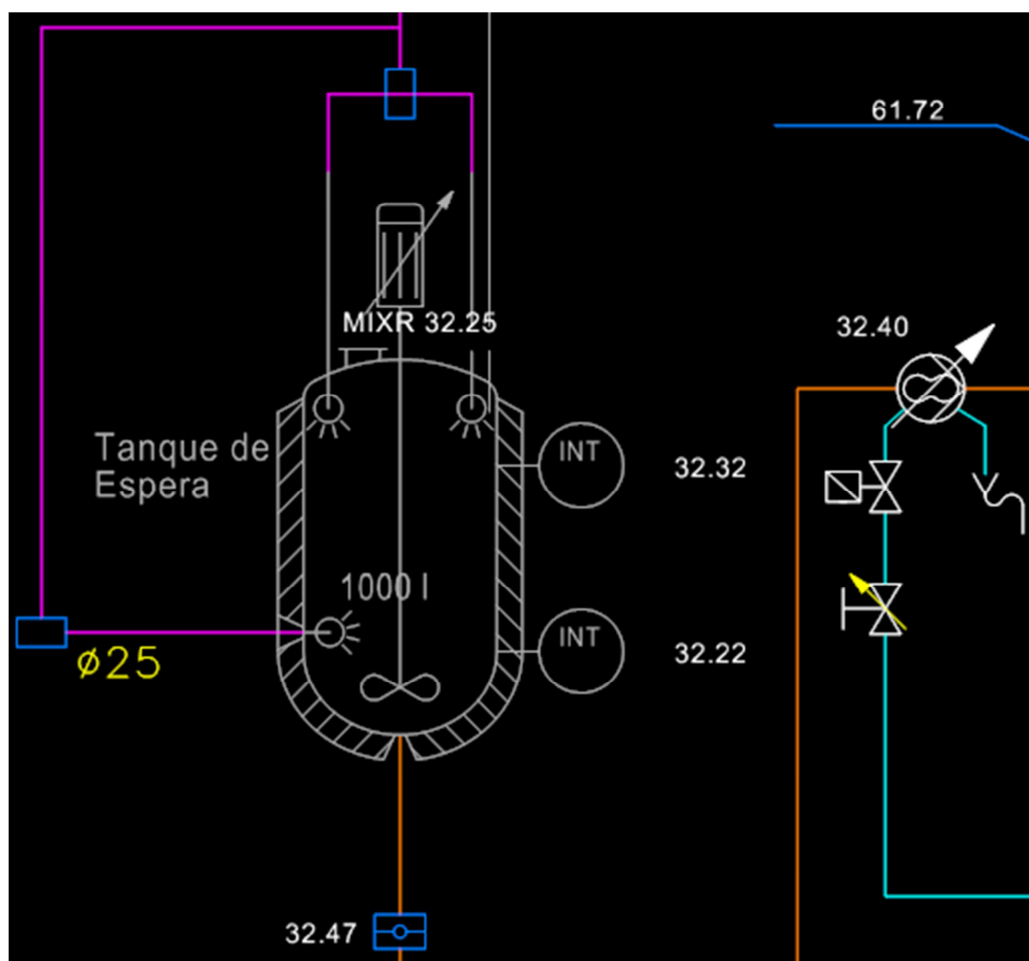


Figura 33 – Excerto do tanque de espera

Na figura acima podemos observar na parte superior da imagem a linha a cinzento que faz a ligação com o misturador, a roxo mais uma vez a ligação com a unidade LLE para limpeza do tanque e a laranja o caminho por onde será enviado o produto proveniente do tanque de espera e com destino à unidade de tratamento térmico, onde para isso, são utilizadas a válvula de descarga 32.47 e à direita a bomba 32.40. Os INT 32.32 e 32.22 são indicadores de nível alto e baixo respetivamente.

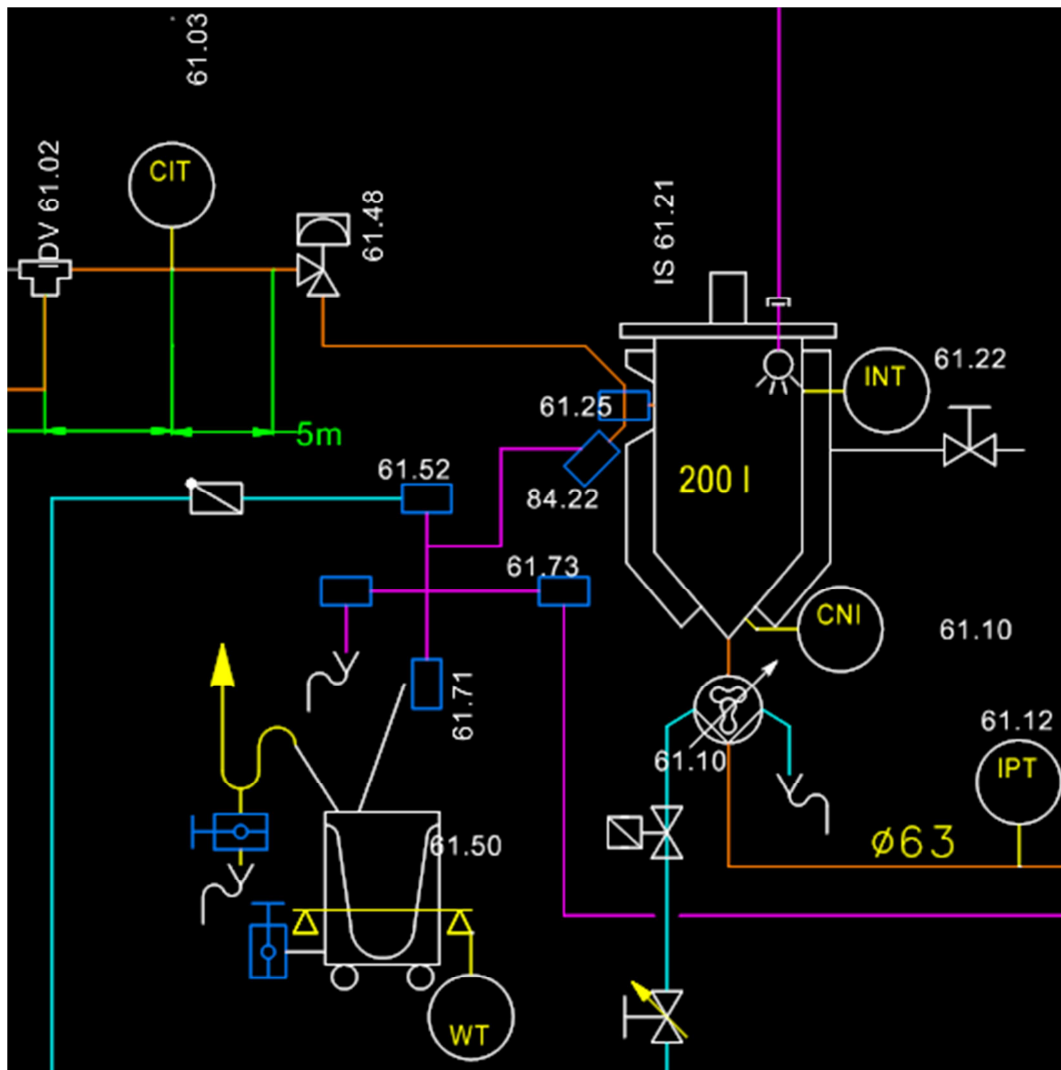


Figura 34 – Excerto da unidade de tratamento térmico

Na figura acima podemos observar na sua grande parte a unidade de tratamento térmico. Em cima do lado esquerdo temos a IDV 61.02 por onde entra o vapor que irá aquecer o produto no tubo de espera à frente da mesma. O controlo da temperatura é efetuado pelo CIT 61.03 que sempre que a temperatura atinge os níveis desejados faz parar a válvula que injeta vapor na IDV. Ao centro descaído para a direita, temos o tanque de expansão onde o produto proveniente do tubo de espera é arrefecido e onde o vapor não condensado é libertado para a atmosfera. Em baixo do lado esquerdo temos o tanque de desvio, para onde o produto é enviado caso este não atinja os parâmetros desejados. Em baixo do lado direito, podemos já observar o início da unidade de transferência com a bomba de pressão (61.10) que irá enviar o produto ao longo de um tubo, sendo que a pressão desta bomba é controlada pelo indicador de pressão (IPT 61.12).

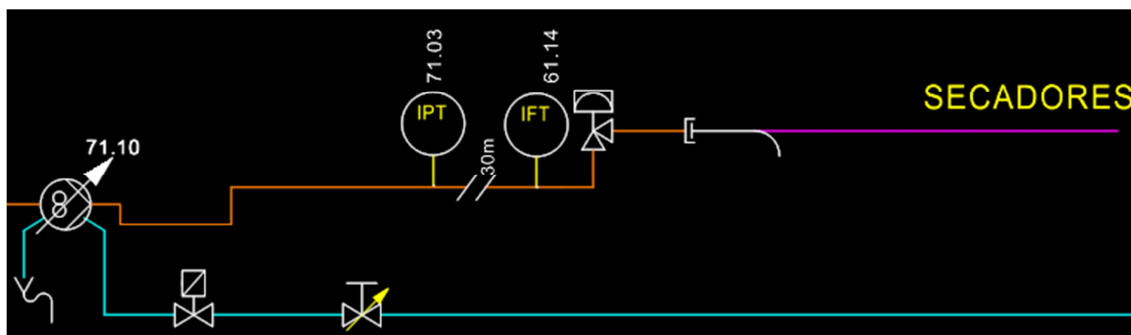


Figura 35 – Excerto da continuação da unidade de transferência

Na figura acima podemos observar que o produto enviado pela bomba 61.10 chega até à uma nova bomba de pressão (71.10) e desta vez é bombeado para os secadores que pertencem à linha de secagem. A velocidade e quantidade de produto que é enviado são controladas pelos indicadores de fluxo (61.14) e pressão (71.03), respetivamente.

4.3 Proposta de modelação do sistema de controlo

4.3.1 Diagrama UML de Classes

Com base no trabalho realizado anteriormente, foi possível criar o diagrama de classes da linha LML, sendo que este servirá de auxílio à visualização do desenho da arquitetura da linha de produção e à criação do sistema de controlo da mesma. Este diagrama procura essencialmente descrever os tipos de objetos no sistema e de que forma estes se relacionam e comunicam para realizar as tarefas para o qual foram criados. O diagrama de classes do sistema de controlo da LML é o seguinte:

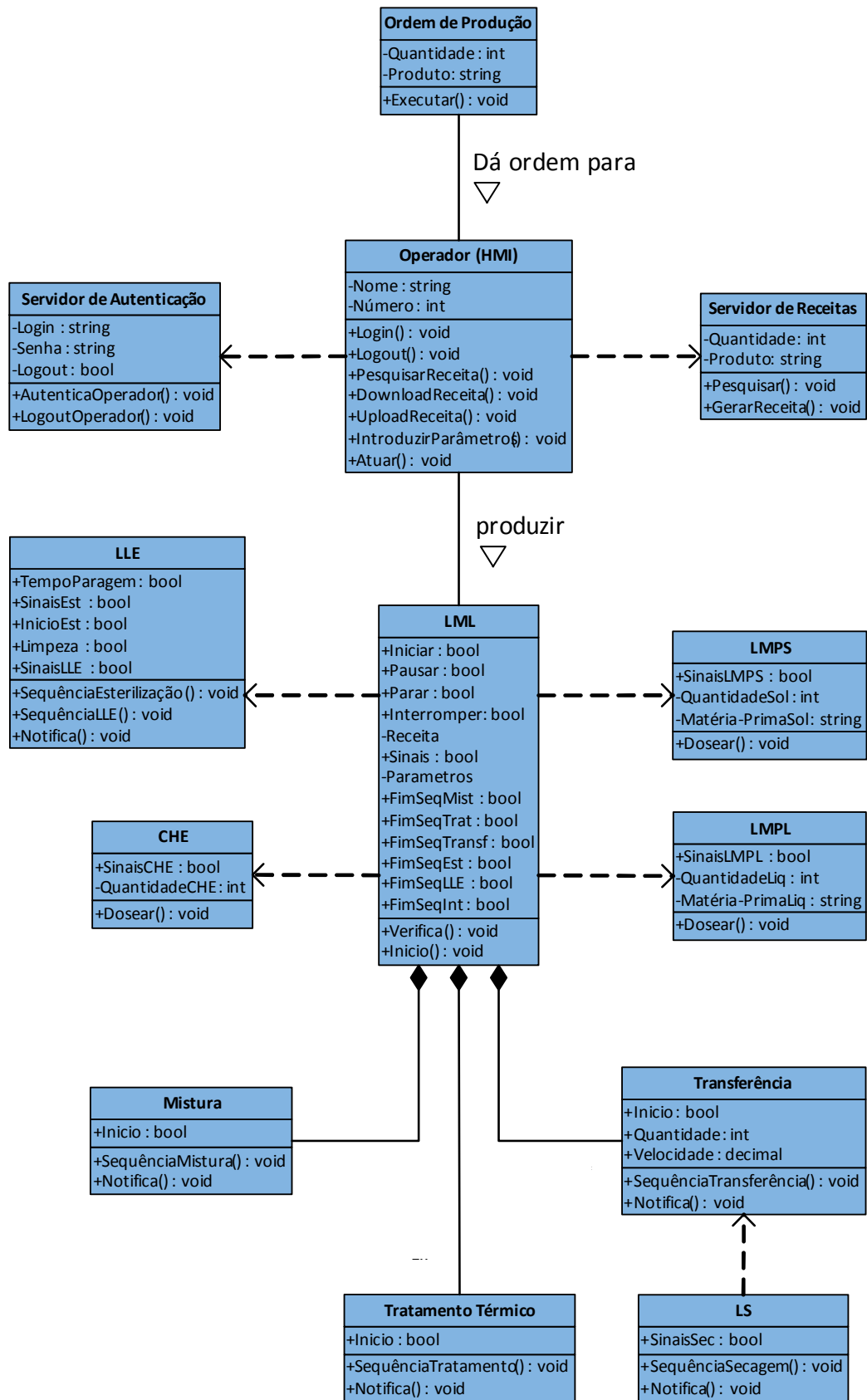


Figura 36 – Diagrama de classes da LML

Como se pode verificar a produção é desencadeada por uma ordem de produção, que é proveniente dos níveis superiores e de gestão da fábrica. Recebida a ordem, o operador é alertado e após isso assume um papel importante na produção. Através de uma HMI este deverá dar início ao processo de produção, onde para isso terá ao seu dispor comandos básicos de iniciar, pausar, parar e interromper, e ainda, comandos de atuação onde será necessária a sua intervenção para ações como introduzir parâmetros de produção e controlar velocidade de bombas, fluxos e válvulas. O restante papel do operador será o de monitorizar a produção e verificar que tudo corre como esperado, pois em caso de detetar alguma anomalia este terá de acionar na HMI a opção de interrupção e desta forma é iniciada automaticamente a sequência de interrupção.

Como se pode ver no diagrama, outro papel central na produção é assumido pela linha LML. Será o PLC desta linha a dar ordem de esterilização caso a linha tenha estado parada muito tempo, a solicitar matéria-prima às outras linhas conforme necessário e a dar ordem de limpeza sempre que se termina a produção de uma receita. É também este que faz o controlo de sinais tais como peso, indicação de níveis, indicação de fluxos, temperatura e se todos os equipamentos necessários para produzir estão prontos, e conforme os sinais recebidos, este automaticamente atua de forma a cumprir os requisitos impostos anteriormente. Por exemplo no caso da unidade de tratamento térmico, se após o processo de aquecimento a temperatura lida no tubo de espera pelo sensor indicar que esta não está dentro dos parâmetros desejáveis, então o PLC automaticamente atua de forma a enviar o produto para os tanques de desvio.

4.3.2 Diagrama UML de sequências

Com base no trabalho realizado anteriormente, e também no diagrama de classes da figura anterior, foi possível criar o diagrama de sequências da linha LML, sendo que mais uma vez, este também servirá de auxílio à criação do sistema de controlo da mesma. Como os objetos não estão estáticos, pelo contrário, interagem entre si através da troca de mensagens, com este diagrama pretende-se representar a sequência dessas mensagens que estes trocam entre si com o objetivo de cumprir a tarefa para o qual foram destinados, em que neste caso, o objetivo é cumprir ordens de produção. O diagrama de sequências do sistema de controlo da linha LML é o seguinte:

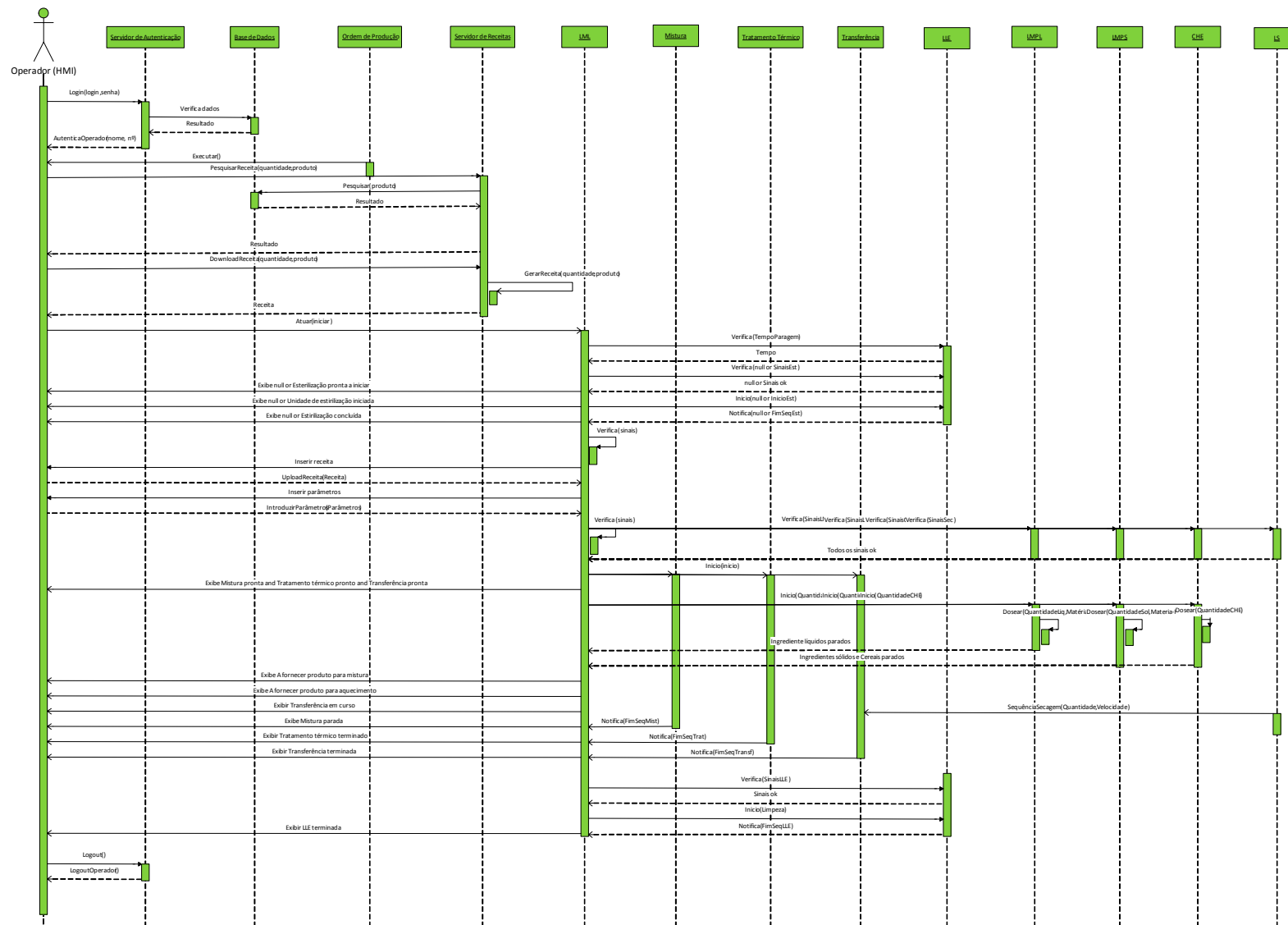


Figura 37 – Diagrama de sequências da LML

Tanto o diagrama de classes como o diagrama de sequências não devem ser entendidos como uma substituição para os requisitos escritos anteriormente nem para o modelo da arquitetura da linha, e vice-versa. Pretende-se sim, que estes sejam entendidos, como um bom complemento para ambos, e que, com algum grau de abstração, se consiga visual e temporalmente perceber melhor como ocorre o fluxo de produção, que comunicações são necessárias de ocorrer para que esse fluxo ocorra como desejado., e ainda prever onde e de que forma o sistema de controlo irá atuar. Assim, pode-se então afirmar que os diagramas anteriores são uma excelente ponte entre a fase de descrição e levantamento de requisitos e a fase de criação do sistema de controlo, já que como foi dito anteriormente, com estes diagramas é possível ter uma ideia tanto do funcionamento da linha LML, como do seu sistema de controlo.

Capítulo 5

Proposta de otimização e integração do sistema de controlo

De forma a obter-se um sistema que vá de encontro ao *standard* dos sistemas de controlo atuais e que facilite a comunicação entre sistemas de controlo diferentes, o desenvolvimento deste sistema deverá ser feito de acordo com algumas considerações *standard*:

- Identificação da estrutura e definição dos elementos envolvidos no sistema de controlo;
- Estrutura do *hardware* do sistema de controlo;
- Estrutura do *software* do sistema de controlo.

O sistema de controlo existe para permitir a supervisores e operadores controlar o processo de produção da linha de produção de farinhas (LPF). A partir da sala de controlo (supervisores) ou de salas comuns perto de cada unidade de produção (operadores), estes serão capazes de monitorizar e controlar todos os equipamentos presentes na instalação.

Para monitorizar e comandar todo o processo, os supervisores irão utilizar um PC (Computador Pessoal) com interface/*software* SCADA (Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados), enquanto que os operadores terão ao seu dispor PCs com interfaces HMI. A grande diferença entre estes é que, apesar de se poder operar e monitorizar uma máquina/processo com ambos, com SCADA é possível gravar e guardar os dados que são adquiridos numa base de dados. Normalmente, uma HMI é conectada diretamente a um processo/máquina, obtendo-se dessa forma tempos de resposta reduzidos nas comunicações entre estes. Quanto ao *software* SCADA, este possui opções de conectividade mais sofisticadas e possibilita aos supervisores terem ao seu dispor mais interfaces de controlo. Além disso, será a partir deste *software* que será possível efetuar a conexão e troca de dados com o sistema de nível superior e de gestão MES.

A partir destas interfaces, supervisores e operadores poderão iniciar todas as operações automáticas que estejam programadas no PLC correspondente a cada linha. Caso seja necessário, poderão também atuar manualmente sobre todos os motores, válvulas e bombas de cada linha. Adicionalmente os operadores também poderão monitorizar todos os equipamentos das linhas, através de painéis de visualização instalados junto a cada equipamento.

5.1 Arquitetura de controlo

A arquitetura básica para o sistema de controlo de cada linha de produção será um PLC *ControlLogix* da marca *Allen-Bradley*, com módulos distribuídos do tipo *Flex I/O* para o uso de painéis remotos (painéis de operador situados junto à linha). Estes PLCs além de usarem mecanismos de controlo e ambientes de desenvolvimento comuns, também fornecem alto desempenho num ambiente fácil de usar. A forte integração entre o *software* programável, o controlador e os módulos de E/S permitem reduzir os custos de desenvolvimento e de operação. Este possui ainda, grande capacidade de alta disponibilidade e de trabalhar em ambientes extremos, características que vão exatamente de encontro às necessidades da linha LPF.

Na sala de controlo da linha LPF, pelo menos um PC com SCADA servirá de interface principal entre os supervisores e as máquinas/componentes. Visualização do processo, várias opções para receitas de produção, vários parâmetros de operação, estado do equipamento, alarmes, tendências, históricos, relatórios, etc. são exemplos de opções que os supervisores poderão monitorizar ou controlar.

Em cada sala comum junto às unidades de produção de cada linha (exemplo da linha LML: unidades de mistura, tratamento térmico e transferência), um PC com HMI servirá de interface entre os operadores e as máquinas/componentes. Visualização do processo, *download* de receitas, alarmes e vários parâmetros de operação são exemplos de opções que os operadores terão ao seu dispor.

As comunicações de dados ao longo dos vários níveis de rede serão efetuadas através da rede de comunicação *Ethernet* (níveis superiores) ou *Ethernet/IP* (níveis inferiores), pois esta é, neste momento, das tecnologias LAN (*Local Area Network*) mais utilizadas e aconselhadas no setor industrial, e tem sido uma das redes com mais crescimento nesse setor, especialmente em aplicações de E/S descentralizadas que exijam elevada performance em tempo real e a um baixo custo, tal como é o caso do que se pretende para este trabalho.

Quanto ao nível de campo, todos os dispositivos e instrumentos elétricos estão conectados remotamente através de módulos de E/S. Estes módulos e os painéis remotos comunicarão com os controladores através da rede *Ethernet/IP*. Poderá também usar-se neste caso, as redes *ControlNet (fieldbus)* ou *DeviceNet (CAN bus)*.

O modelo de integração adotado para este trabalho é baseado na pirâmide do *standard* internacional ISA-95 para a integração de sistemas corporativos e de controlo. Assim, as comunicações de dados ao longo de toda rede efetuar-se-ão conforme mostra a figura abaixo, através dos níveis:

- De planeamento (ERP);
- De gestão de informação (MES);
- De supervisão (SCADA);
- Dos controladores (PLCs e HMIs).
- De campo (Sensores, válvulas, etc.)

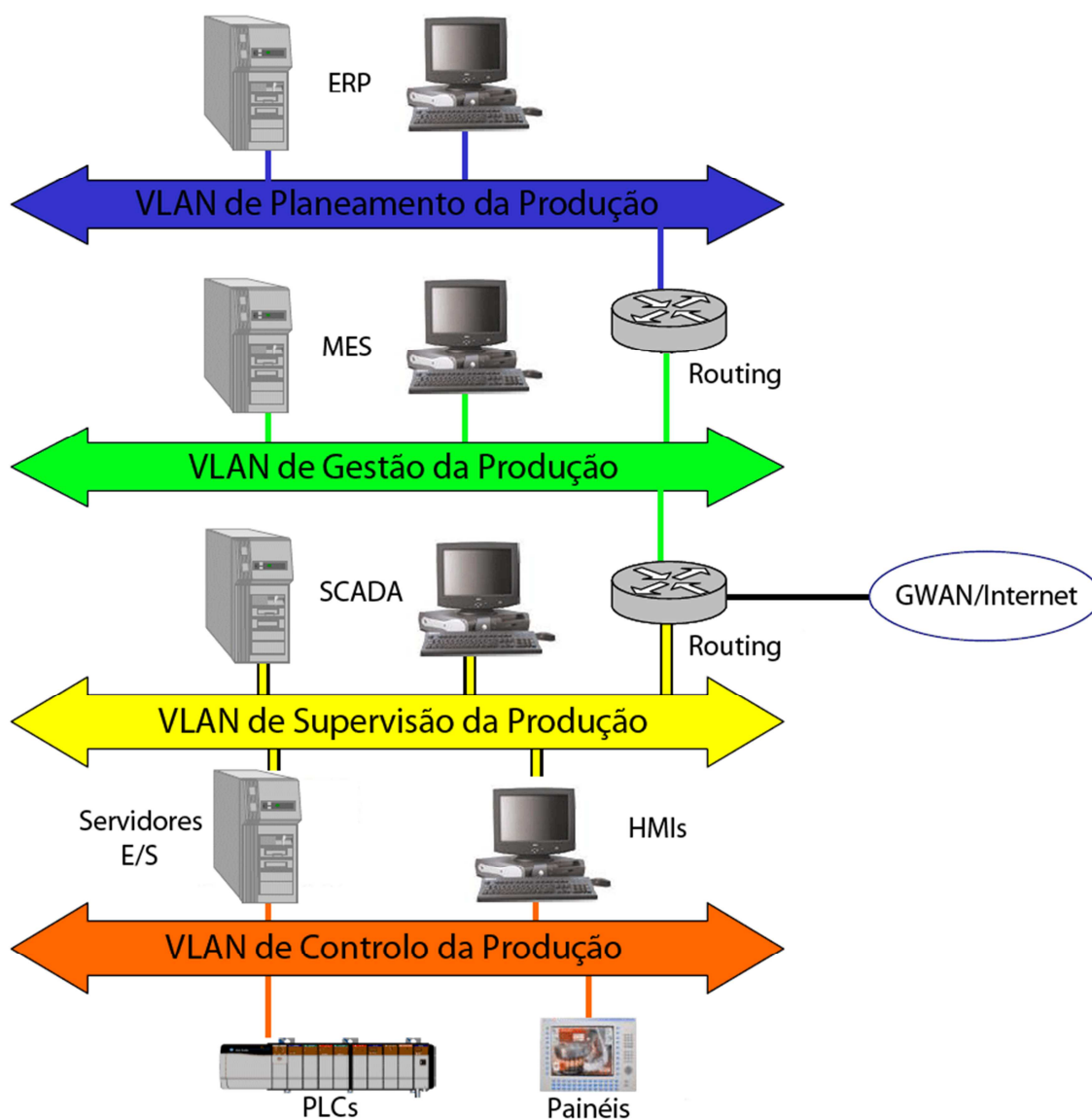


Figura 38 – Arquitetura lógica IT da fábrica

De forma a reduzir tempos de limpeza ou de manutenção e o impacto que uma falha em dada linha possa ter em toda a produção, evitando assim desperdícios desnecessários e consequentemente a redução dos custos de produção, optou-se por escolher uma arquitetura distribuída ao contrário da arquitetura centralizada que a fábrica possuía atualmente. Assim, cada uma das linhas de produção que constituem a LPF será controlada por um PLC e pelo menos um PC com HMI, supervisionada por um sistema SCADA e gerida por um sistema MES. Na figura abaixo temos uma possível configuração para esta fábrica:

Rede geral IT da fábrica

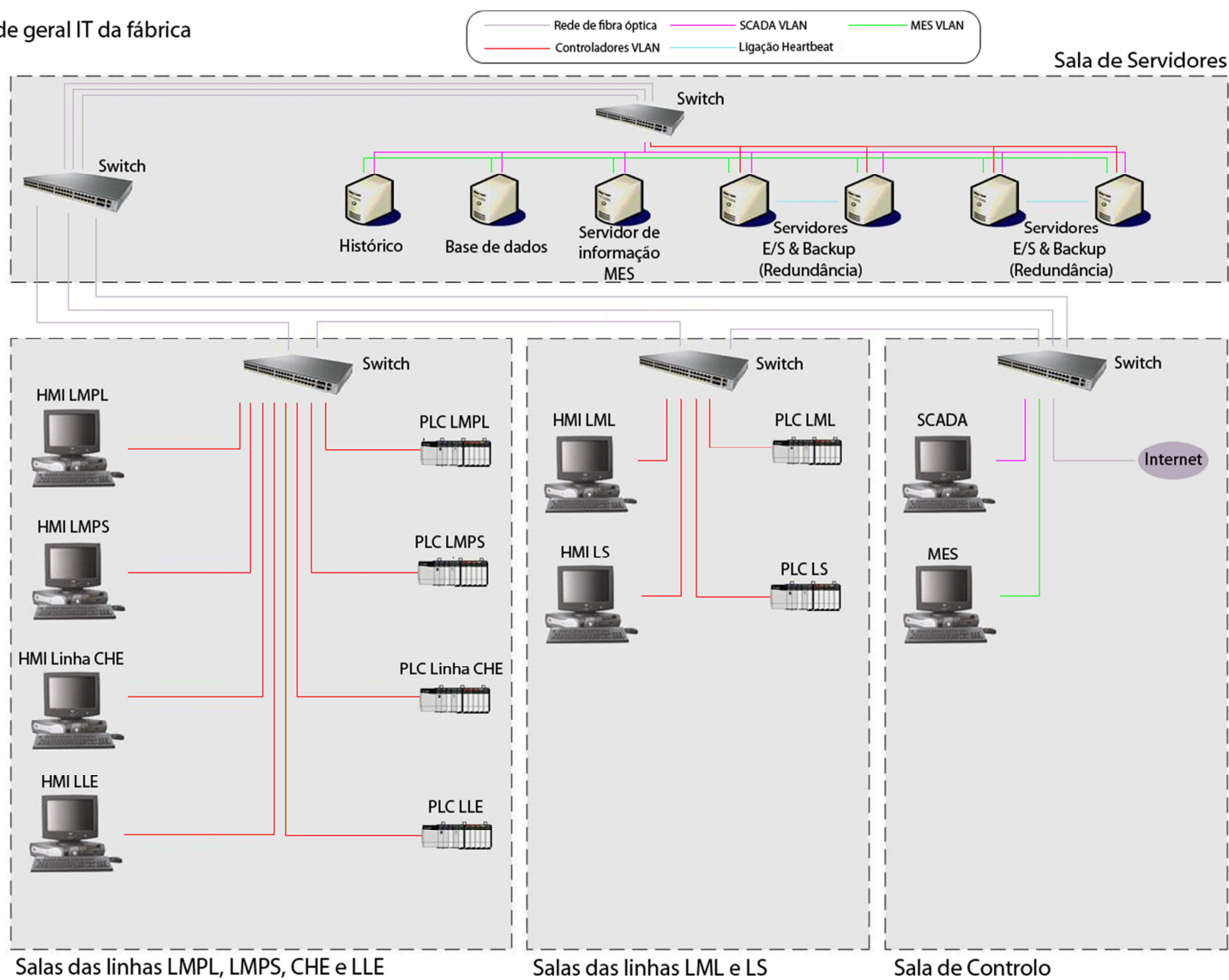


Figura 39 – Arquitetura geral IT da fábrica

Como se pode verificar na figura acima, cada linha possui o seu próprio PLC, sendo que a grande vantagem desta arquitetura distribuída é que, por exemplo, desta forma a reparação de uma falha em dada linha não implica parar toda a produção, pois apenas o PLC dessa linha eventualmente necessitará de ser desligado, pelo que isso não afetará o funcionamento dos outros PLCs e respectivas linhas.

Como se pode verificar na figura acima, outra medida de performance utilizada e que permite reduzir o número de falhas, foi a redundância entre o servidor AOS e o servidor onde são guardados diretamente todos os valores das entradas e saídas dos PLCs. Isto garante que nenhuma informação seja perdida em caso de falha no servidor primário (E/S), já que a informação será enviada para o outro servidor, ou em caso de falha de uma HMI em dada linha, porque se uma HMI falhar, existe um sistema SCADA a receber dados desses servidores, e portanto, poderá também controlar a produção.

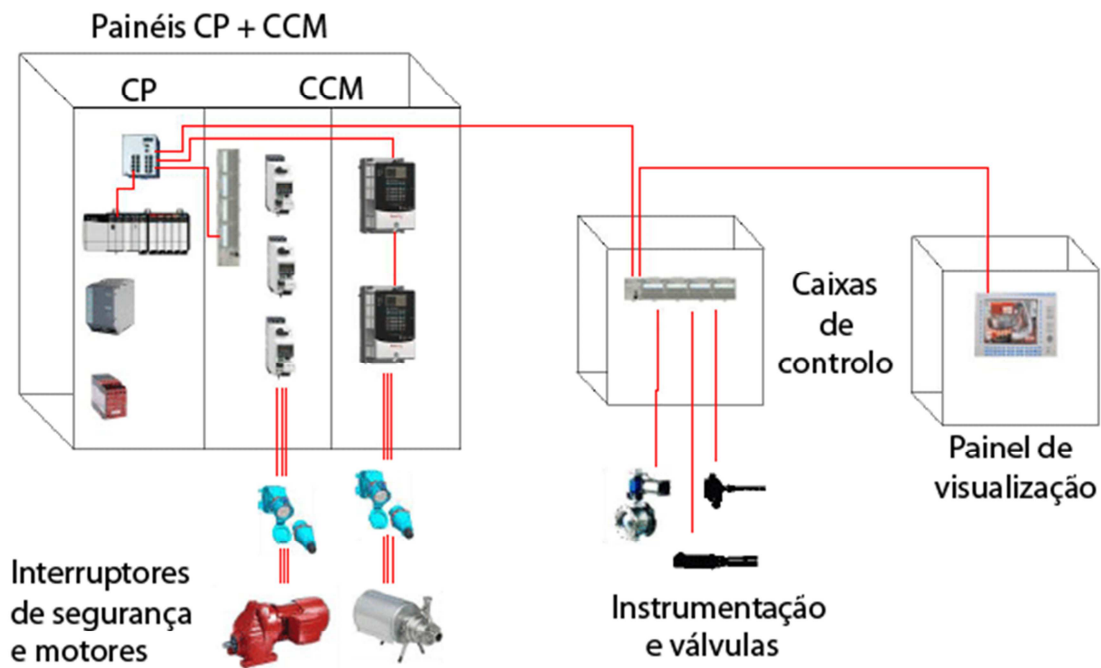
Como cada linha terá capacidade para trabalhar autonomamente e como cada uma integra um grande número de equipamento, será aconselhável tratar cada linha de forma independente. Dessa forma, e do ponto de vista elétrico, cada linha terá a sua própria instalação, constituída por:

- Painel de controlo;
- Armário de controlo de motores;
- PLC;
- Rede E/S;
- Rede de instrumentação e válvulas.

Cada linha será controlada por um PLC *ControlLogix*. Cada um dos PLCs será montado num painel de controlo (CP) que por sua vez está instalado numa sala elétrica em conjunto com o painel CCM (Centro de Controlo dos Motores). Todos os motores estão conectados ao painel CCM no armário de controlo de motores. O variador de frequência dos motores comunicará com o PLC através da rede *Ethernet/IP*.

Serão instaladas próximo da área de produção de cada linha, caixas de controlo adicionais com módulos *Flex I/O* (E/S), sendo que todos os instrumentos (sensores, interruptores, etc.) e válvulas estarão conectados a estes. Por sua vez os módulos *Flex I/O* comunicarão com o PLC através da rede *Ethernet/IP*.

Adicionalmente serão também colocados remotamente em caixas de controlo próximos da linha, painéis de visualização para ajudar o operador a controlar o processo.



Ethernet/IP: _____

Figura 40 – Arquitetura geral da linha de mistura líquida

5.2 SCADA / HMI

O *software* que deverá ser instalado na sala de controlo, será baseado no *Wonderware InTouch HMI* da marca *Wonderware*. Este *software* é uma solução HMI e SCADA de supervisão e que permite rapidamente criar ou reutilizar modelos de visualização e facilmente implantá-los em todas as linhas. Na aplicação HMI/SCADA que supervisionará todas as linhas, deverão ser implantados pelo menos os seguintes ecrãs *standard*:

- Ecrã principal;
- Ecrã de alarmes e histórico;
- Ecrã de gestão das receitas;
- Ecrã dos controladores PID;
- Ecrã de tendências e de registos dos principais valores analógicos;
- Ecrã de valores analógicos;
- Ecrã de ajuda.

5.2.1 Modelos *standard* de visualização HMI

Ecrã principal:

A partir do ecrã principal, o supervisor/operador poderá iniciar o processo de produção e aceder aos vários ecrãs de controlo.

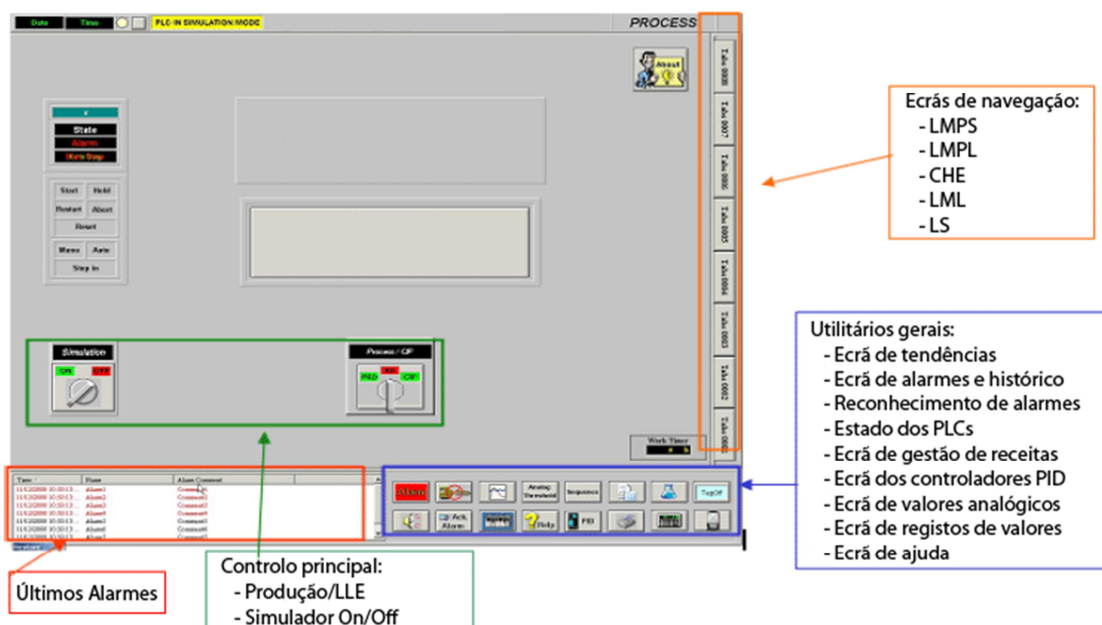


Figura 41 – Ecrã principal da HMI

Ecrã de alarme:

No ecrã de alarmes, o supervisor/operador deve ser capaz de ver e reconhecer todos os alarmes gerados pelo sistema de controlo.

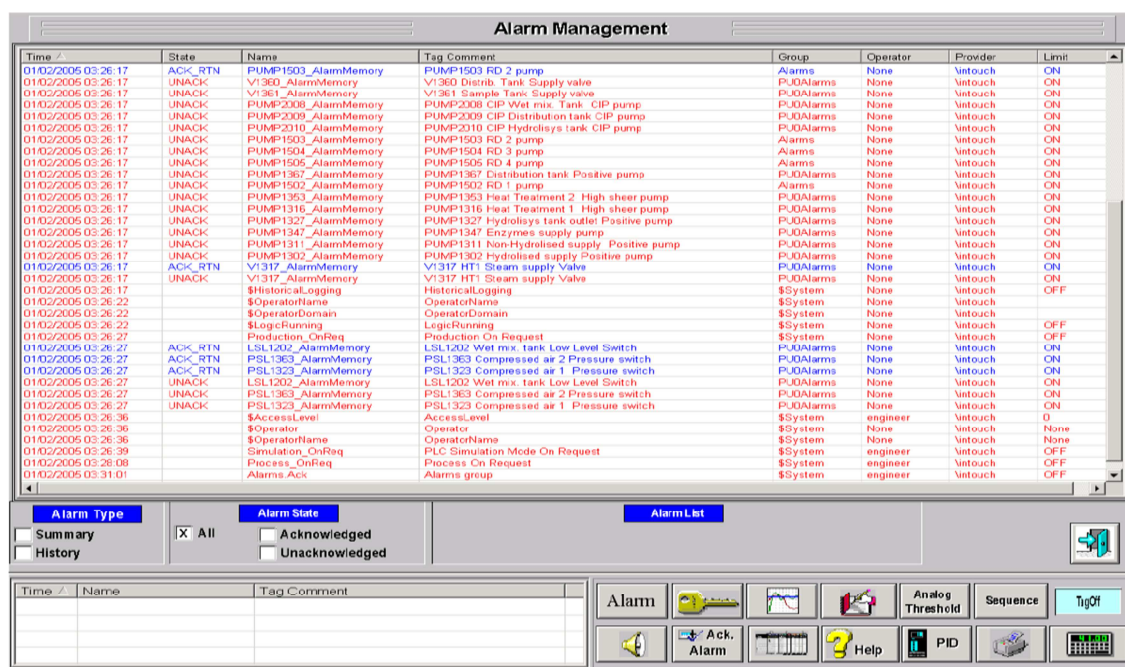


Figura 42 – Ecrã de alarmes

Ecrã de gestão das receitas:

As receitas podem ser criadas, editadas ou carregadas para o sistema de controlo pelo supervisor (apenas carregadas no caso de um operador) a partir do ecrã de gestão de receitas da HMI.

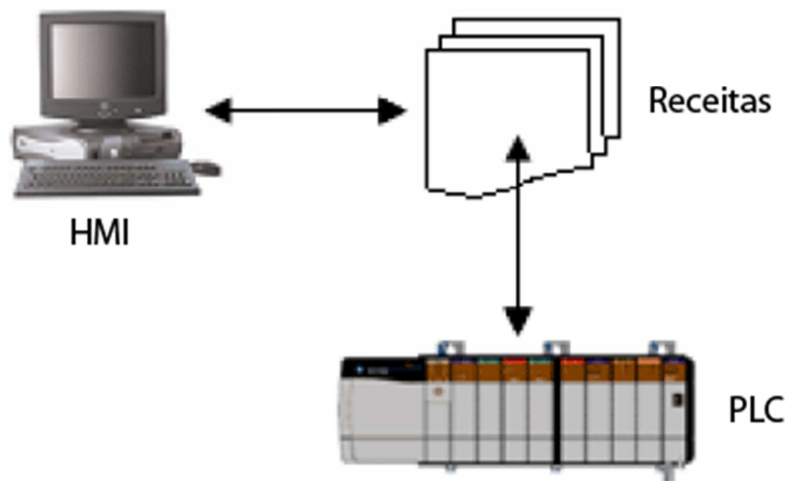


Figura 43 – Envio das receitas para o PLC

Parameters

Product Recipe 1/2

Order Nr. 1.00
 Prod. Name Recipe 1
 Prod. Code KNPX576
 Operator AJS
 Rev Date 21/01/2008 09:39:49

PU1

T1610 Exhaust Air Temperature - Preheating	°C	0.0	PIC0702 Primary Air Pressure - Agglom	mbar	0.0
T1620 Agglomeration Cone Temp - Preheating	°C	0.0	TIC0703 Agglo Primary Air Temp - Preheating	°C	0.0
PIC0702 Primary Air Pressure - Start Motors	mbar	0.0	TIC0703 Agglo Primary Air Temp - Agglomeration	°C	0.0
PIC0702 Primary Air Pressure - Preheating	mbar	0.0			

PU3

PDIC3102 Agglo Tower Pressure - Start Motors	mbar	0.0	PDIC3102 Agglo Tower Pressure - Agglomeration	mbar	0.0
PDIC3102 Agglo Tower Pressure - Preheating	mbar	0.0	T3103 Agglomeration Tower Temp - Preheating	°C	0.0

PU5

TIC5313 After Dryer Inlet Temp - Preheating	°C	0.0	TIC5313 After Dryer Inlet Temp - Agglomeration	°C	0.0
---	----	-----	--	----	-----

Message Error: OK

Time / Name Tag Comment

14:46:14	CommunicationError	Communication Error with PLC
----------	--------------------	------------------------------

Alarm **Ack Alarm** **Help** **Analog Threshold** **Sequence** **Trill**

Figura 44 – Ecrã de gestão de receitas

Os parâmetros usados no sistema de controlo (como por exemplo a temperatura) são obtidos a partir de valores tabelados pela empresa. Essas tabelas estão divididas em três tipos:

- Parâmetros de produção: parâmetros relacionados com o produto;
- Parâmetros de LLE: parâmetros relacionados com a linha de LLE;
- Parâmetros de engenharia: parâmetros relacionados com o equipamento.

Ecrã de tendências:

Este ecrã permite aceder a gráficos com as tendências dos valores de todos os sinais analógicos lidos pelos PLCs e guardados numa base de dados.

Os vários gráficos podem ser selecionados pelo supervisor até a um máximo de oito valores.

Oito botões permitirão ao supervisor aceder facilmente a grupos pré-definidos de variáveis.

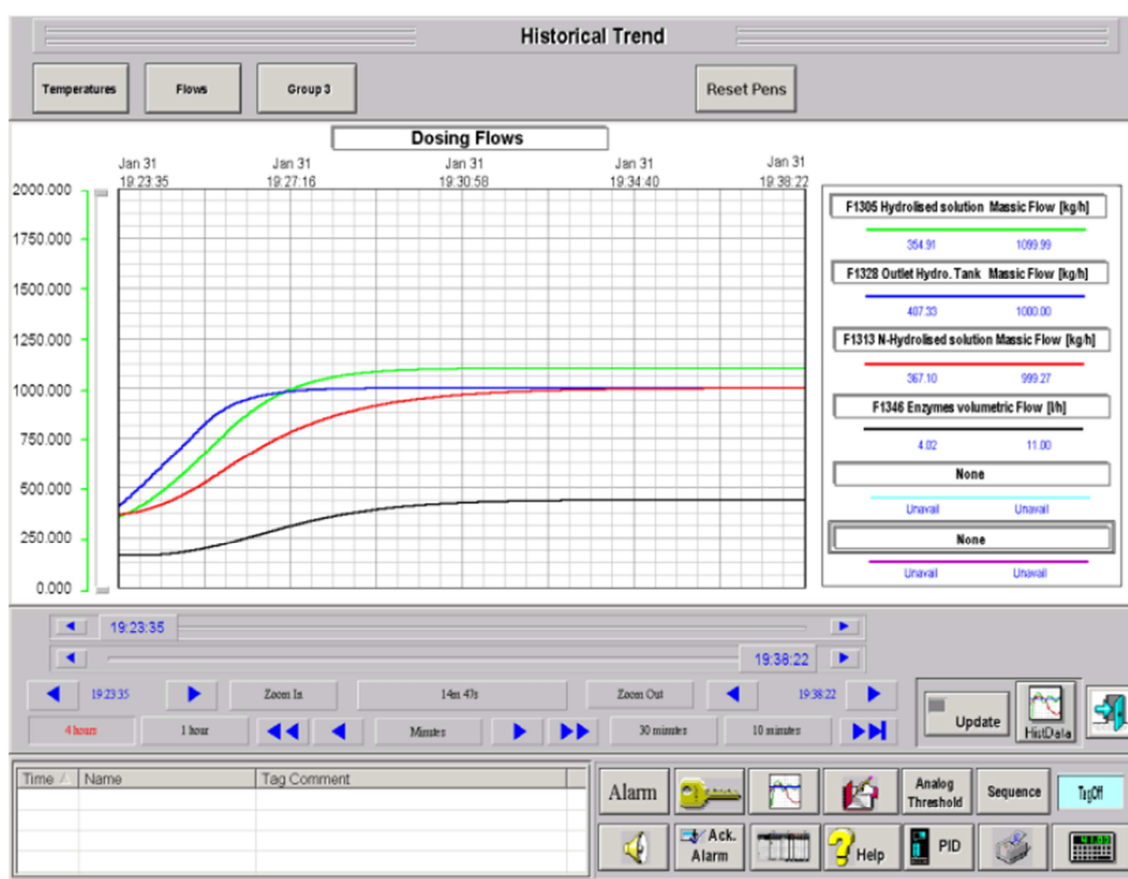


Figura 45 – Ecrã de tendências

Ecrã dos controladores PID:

O objetivo deste ecrã é o de ter uma lista de todos os controladores PID disponíveis no sistema de controlo, onde se pode facilmente visualizar o estado dos mesmos e ajustar os seus parâmetros.

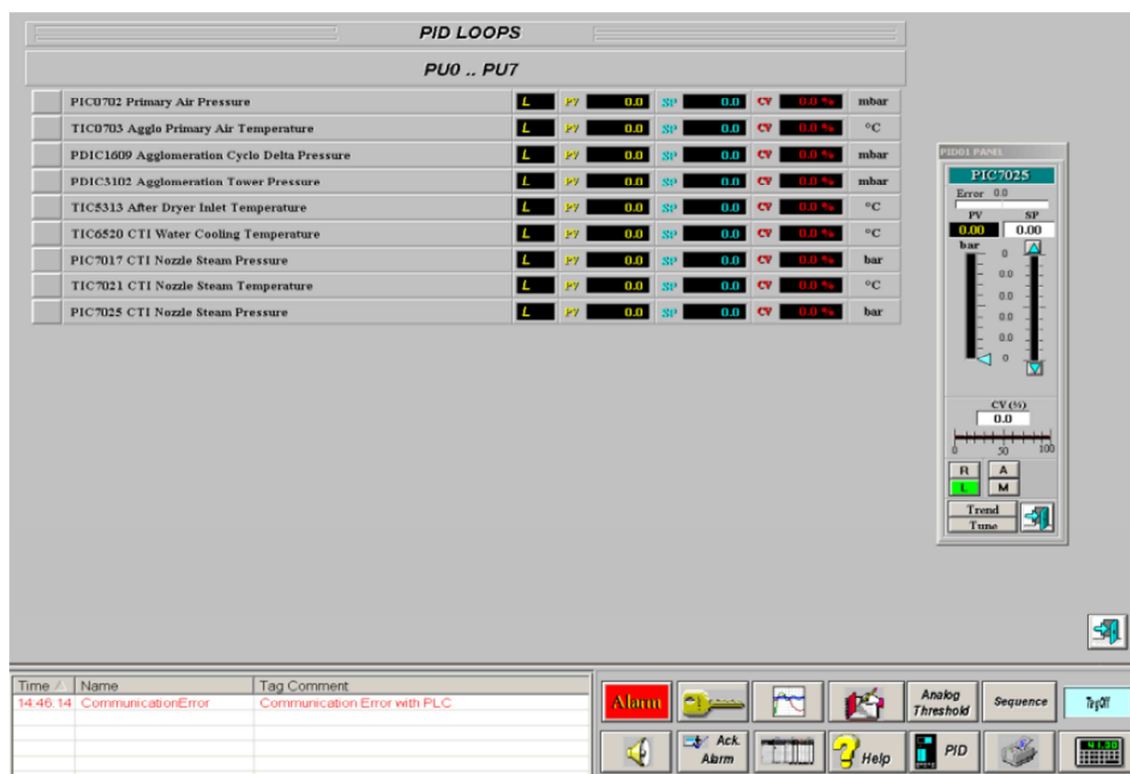


Figura 46 – Ecrã dos controladores PID

Ecrã de valores analógicos:

O objetivo deste ecrã é o de ter uma lista de todos os valores analógicos no sistema de controlo, onde estes podem ser visualizados e os limites dos alarmes podem ser facilmente ajustados.

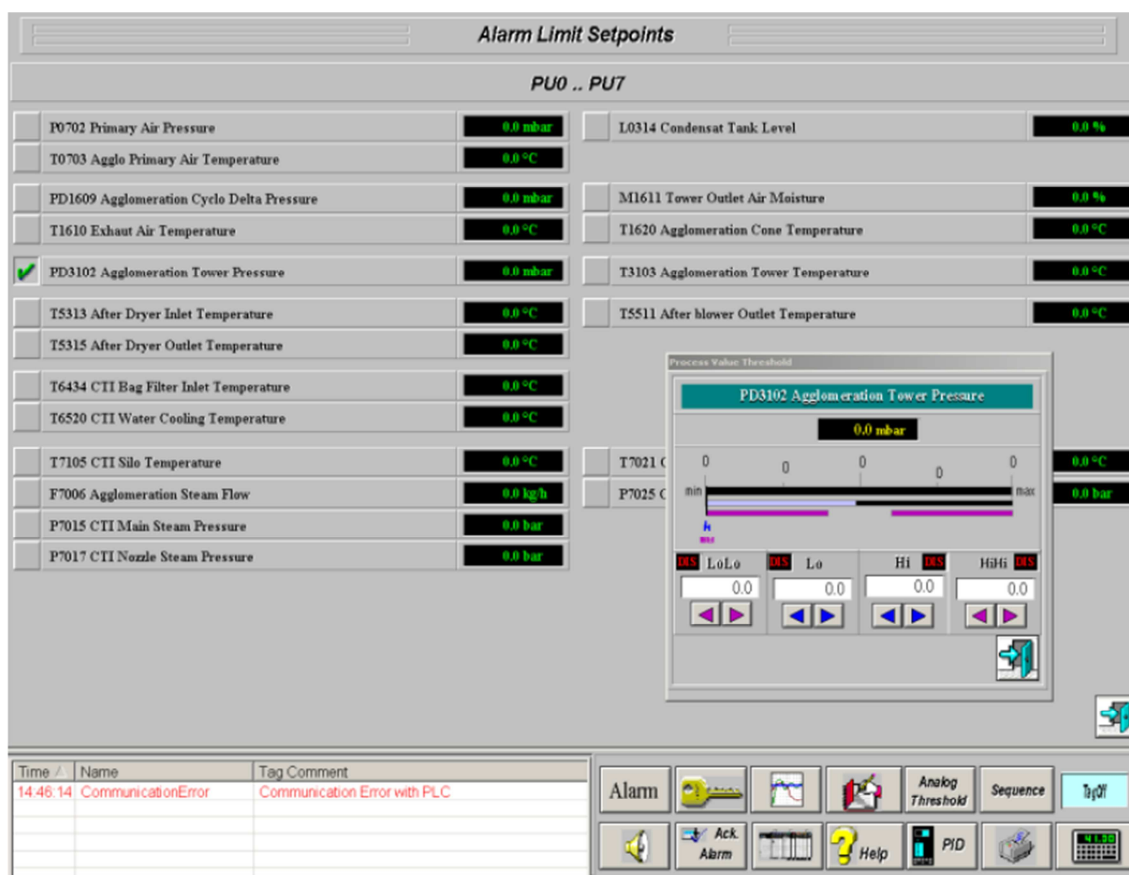


Figura 47 – Ecrã de valores analógicos

Ecrã de ajuda:

O objetivo deste ecrã é o de dar ao supervisor/operador alguma informação básica sobre como trabalham os diferentes elementos da HMI (bombas, válvulas, PIDs, etc.)

Poderá também conter mais informações detalhadas acerca do arranque e encerramento das linhas.

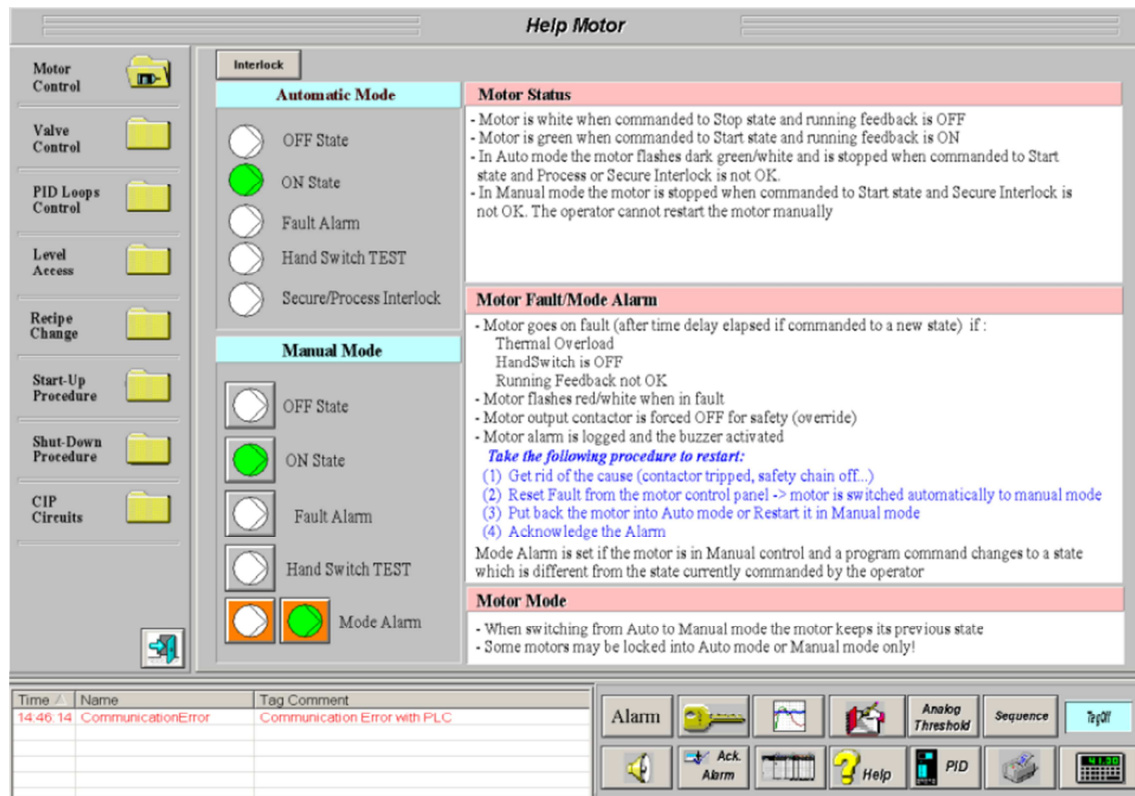


Figura 48 – Ecrã de ajuda

5.2.2 Modelos específicos de visualização HMI

Todos os elementos envolvidos no processo de fabrico de cada linha de produção devem ser representados nestes modelos, mantendo apenas a quantidade mínima de informação que será necessária para o supervisor/operador trabalhar no processo.

Por ter sido a linha de produção que mais foco se deu neste trabalho e por ser uma das mais importantes, o exemplo dado a seguir será sobre a HMI da LML.

Ecrãs da linha de mistura líquida:

Na aplicação HMI/SCADA da linha LML deverão ser implantados os seguintes ecrãs específicos:

- Ecrã de visão geral: visão geral do processo de fabrico, incluindo todos os equipamentos e unidades de produção (unidade de misturação, misturador, etc.);
- Ecrã do processo de fabrico: controlo do processo (tratamento térmico, etc.);
- Ecrã dos doseadores líquidos e sólidos: controlo de toda a matéria-prima;
- Ecrã da linha CHE: visualização do equipamento principal da linha CHE;
- Ecrã do doseador de farinha: controlo do doseamento de farinha;
- Ecrã dos equipamentos da LML (misturadores, etc.): controlo de todos os doseamentos, misturação, aquecimento e transporte;
- Ecrã da linha de secagem: Visualização do equipamento principal da LS;
- Ecrã da LLE: controlo da LLE;

- Ecrã de visualização de seqüências e do sequenciador: visualização geral do estado das seqüências de produção e controlo das mesmas através do sequenciador.

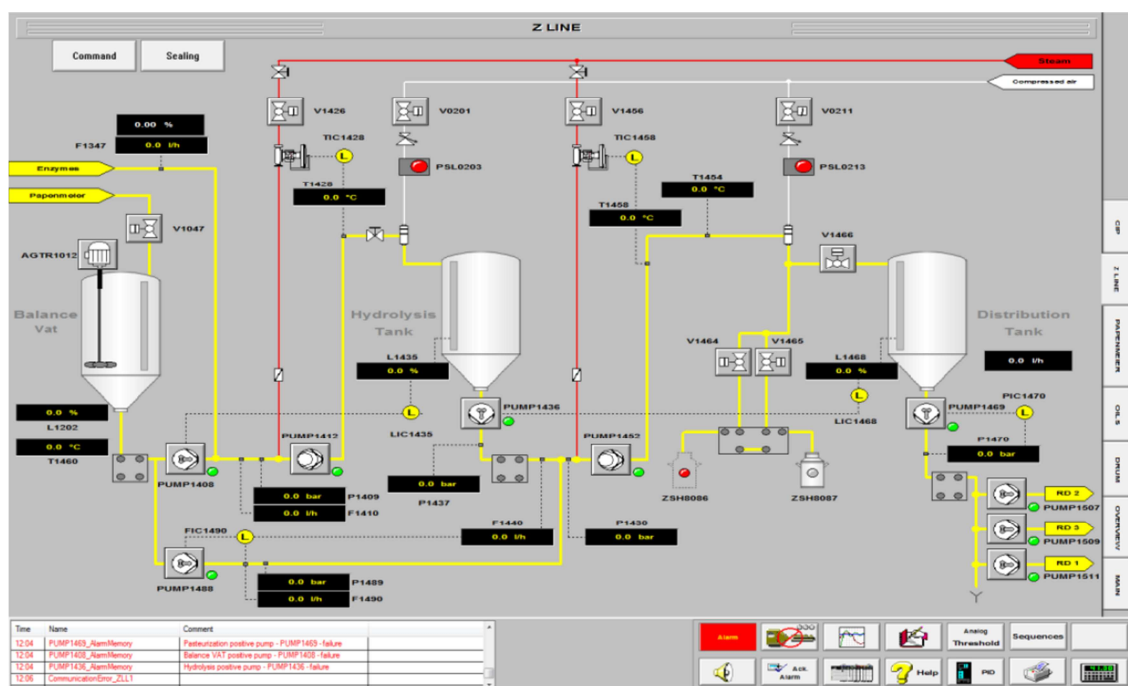


Figura 49 – Ecrã da linha CHE

5.3 Interface de comunicação

A linha de mistura líquida, a linha de matérias-primas líquidas, a linha de matérias-primas sólidas, a linha CHE e a linha de secagem, tal como já foi dito, fazem parte de um conjunto de linhas de produção (LPF) que estão interligadas entre si (umas a montante e outras a jusante) com o objetivo de produzir um produto final, ou seja, farinhas. Assim, como cada linha possui um PLC, é importante que estes comuniquem entre si através da rede de comunicação escolhida anteriormente, tal como demonstrado na figura abaixo. Mais uma vez pode-se verificar o papel importante e central que a linha LML assume no processo de produção, já que esta comunica com todas as outras linhas, enquanto que estas apenas comunicam com a LML.

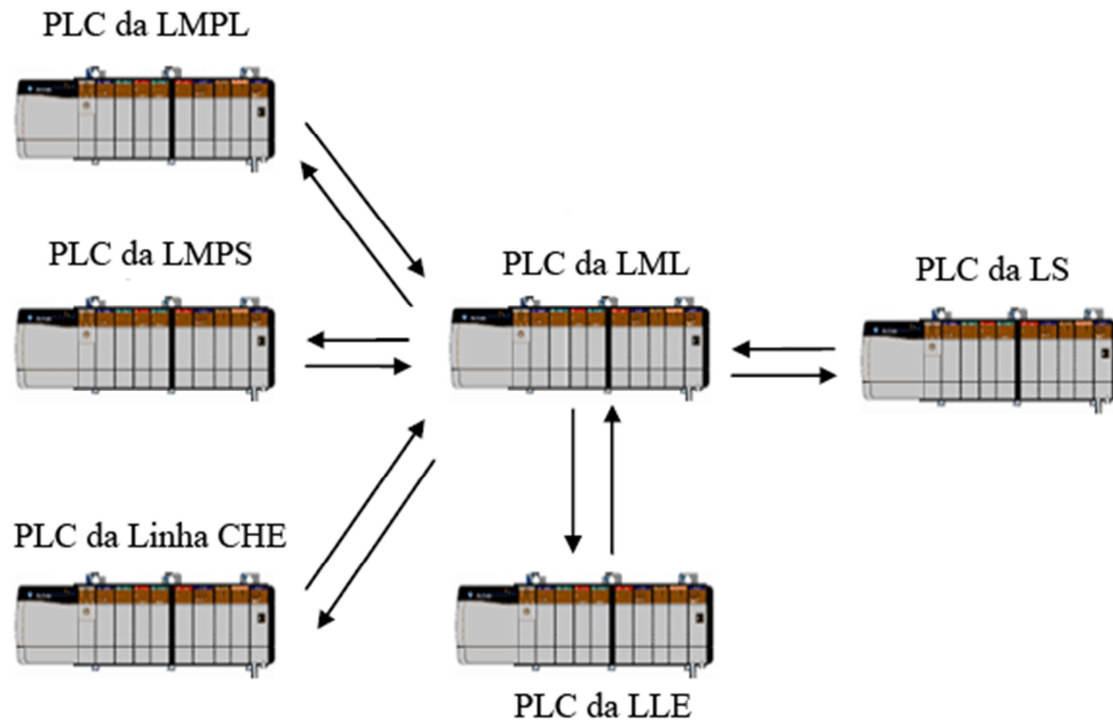


Figura 50 – Visão geral das comunicações entre os PLCs

Comunicação com o PLC da linha de matérias-primas líquidas (LMPL):

A LMPL fica a montante da LML. Os dados trocados entre os dois PLCs são:

- Do PLC da LMPL
 - o Dosagem a ser executada;
 - o Quantidade de dosagem a ser enviada (kg);
- Para o PLC da LMPL
 - o Pedido de ingrediente;
 - o Quantidade de dosagem pretendida (kg).

Comunicação com o PLC da linha de matérias-primas sólidas (LMPS):

A LMPS fica a montante da LML. Os dados trocados entre os dois PLCs são:

- Do PLC da LMPS
 - o Dosagem a ser executada;
 - o Quantidade de dosagem a ser enviada (kg);
- Para o PLC da LMPS
 - o Pedido de ingrediente;
 - o Quantidade de dosagem pretendida (kg).

Comunicação com o PLC da linha CHE:

A linha CHE fica a montante da LML. Os dados trocados entre os dois PLCs são:

- Do PLC da linha CHE
 - o Dosagem a ser executada;
 - o Quantidade de dosagem a ser enviada (kg);

- Para o PLC da linha CHE
 - o Pedido de ingrediente;
 - o Quantidade de dosagem pretendida (kg).

Comunicação com o PLC dos secadores:

Os secadores ficam a jusante da LML. Os dados trocados entre os dois PLCs são:

- Do PLC dos secadores
 - o Pedido de produto;
 - o Velocidade de dosagem (%);
- Para o PLC dos secadores
 - o Dosagem a ser executada;
 - o Quantidade de dosagem a ser enviada (%).

Comunicação com o PLC da linha LLE:

Os dados trocados entre os PLC's das linhas LLE e LML não estão dentro do âmbito deste trabalho, pelo que não serão abordados no mesmo.

5.4 MES (*Manufacturing Execution System*)

O MES é uma formalização de métodos e procedimentos de produção para sistemas integrados, que capta e apresenta dados de uma forma mais útil e sistemática, de forma a se obter uma gestão mais eficiente e otimização de todos os processos de fabrico.

A principal vantagem do MES é a sua capacidade de obter informações precisas e atuais (tempo real) dos níveis inferiores de produção e integrá-las nos níveis superiores (níveis de decisão) para que, caso haja alterações de performance, ações instantâneas ou planeadas sejam tomadas de forma que a qualidade seja mantida ou melhorada.

As principais atividades de um sistema MES são as seguintes:

- Gestão das definições/requisitos do produto;
- Gestão dos recursos;
- Agendamento (processos de produção);
- Reencaminhamento de ordens de produção;
- Execução de ordens de produção;
- Aquisição de dados da produção;
- Análise de desempenho da produção;
- Monitorização e controlo da produção.

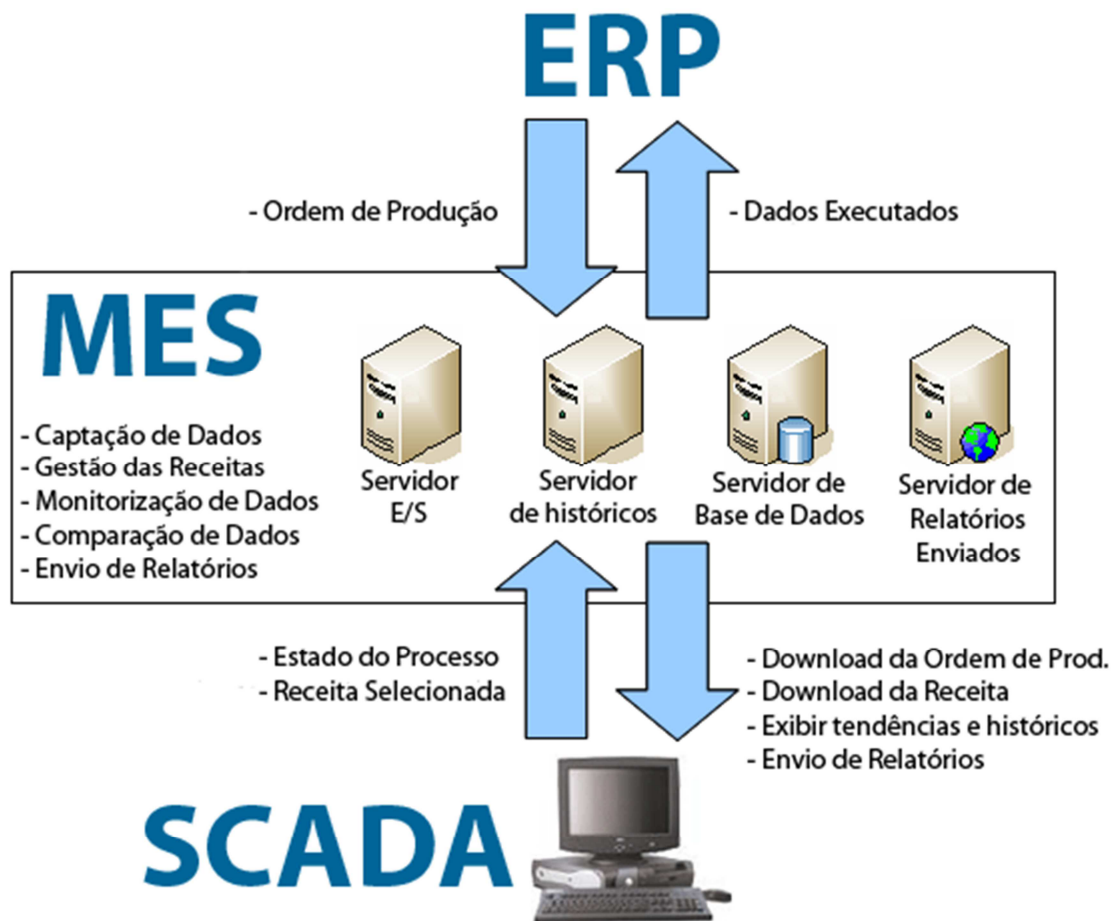


Figura 51 – Atividades entre o sistema MES e os sistemas SCADA e ERP

O *software* do sistema de gestão de informação (MES) que deverá ser instalado será o *cmNavego* da *Critical Manufacturing*. Este *software* é uma solução inteligente de gestão da produção, que é resultado da experiência acumulada de várias pessoas ao longo de vários anos de trabalho. É uma solução muito completa e detalhada que possui mais de 40 funcionalidades modulares nas quais podem ser organizadas em cinco seções:

- **Visibilidade *Online*** – A visibilidade e monitorização *online* é um conjunto de módulos avançados que permitem visualizar graficamente e monitorizar *online*, todos os conjuntos de dados relativos à produção;
- **Eficiência Operacional** – Os módulos de eficiência operacional asseguram uma modular, mas totalmente integrada, gestão avançada de todos os recursos do nível de campo;
- **Qualidade Integrada** – Esta seção inclui diferentes módulos que permitem gerir os ciclos de vida dos equipamentos, controlar os processos e melhorar a qualidade de produção;
- **Inteligência Operacional** – A inteligência operacional é conseguida através de engenharia avançada de extração *multi-source*, manipulação e agregação de dados, e módulos de apresentação de relatórios.

- Integração da Fábrica – Esta secção consiste numa integração e plataforma de produtividade baseada em meta-dados, equipamento avançado e soluções de integração em sistemas ERP.



Figura 52 – Gestão de informação com o *cmNavigo*

Devido à sua flexibilidade, o *cmNavigo* pode ser facilmente modelado para qualquer tipo de indústria. Aliado a isso temos também o facto de, caso necessário, a *Critical Manufacturing* oferecer um serviço contínuo de manutenção gratuita, e considerando que se trata de uma empresa portuguesa sediada na Maia, a sua proximidade com a fábrica em estudo neste trabalho é uma garantia de resposta rápida em caso de ser necessário recorrer ao seu serviço de assistência técnica. Dito isto, esta revela-se ser uma excelente opção MES para a fábrica em estudo.

Conclusões

A evolução dos tempos trouxe às indústrias novas tecnologias e conceitos que lhes têm permitido produzir em mais quantidade, com melhor qualidade, mais rapidamente e com menos desperdício, ou seja, essa evolução tem sido proporcional a desempenho, eficiência e eficácia, o que do ponto de vista económico, é extremamente favorável às empresas, pois isso permite-lhes poupar nos custos de produção e ter a possibilidade de vender mais. No caso de empresas com vários anos de atividade, estas têm a necessidade de se atualizar e procurar os benefícios que essa evolução lhes pode oferecer, de forma a otimizar os seus processos de produção.

Estando ciente das necessidades e dos objetivos da empresa, neste trabalho procurou-se criar o máximo de informação possível que permitisse não só atingir com sucesso os objetivos propostos inicialmente para este trabalho, como também que essa informação desse à empresa ferramentas válidas, com conceitos e modelos os mais atuais possíveis, e suficientes para avançar com sucesso para a próxima etapa após este trabalho (programar os sistemas de controlo). De facto, após este trabalho, tendo todos os objetivos sido atingidos com sucesso, isso permitiu que fosse possível fornecer à empresa mais ferramentas do que aquelas que seriam necessárias, mas que no entanto lhes permite obter ainda mais benefícios ao nível da otimização do controlo e gestão da produção, como é o caso do sistema do tipo MES.

Dito isto, de forma a contribuir para a automatização da linha de mistura líquida, foram efetuados detalhadamente os trabalhos de descrição e levantamento de requisitos, pelo que também foram incluídas nos mesmos todas as sequências de produção. Foi criado o desenho da arquitetura da linha e por fim foram elaborados os diagramas de classes e sequências que complementam todo o trabalho anterior. Todas estas ferramentas são mais do que suficientes para se garantir que é possível, a partir das mesmas, criar o programa de controlo para a linha em questão.

No que toca à otimização das arquiteturas dos sistemas de controlo, foi sugerido o uso de equipamento mais atual, com elevados níveis de performance em ambiente industrial e com mais capacidades do que os anteriores, como por exemplo é o caso dos PLCs e HMIs. Foi sugerido o uso da rede de comunicação mais usada e com maior grau de expansão neste momento, que é o caso da rede *ethernet*. Foram ainda sugeridos modelos de visualização que devem ser instalados nas HMIs de forma a facilitar a visualização e o controlo dos processos de fabrico. Para a arquitetura de controlo propriamente dita, foi elaborado o desenho de uma arquitetura distribuída em que todas as linhas de produção são autónomas umas das outras, ao contrário da arquitetura centralizada que a empresa tinha anteriormente e que dependia

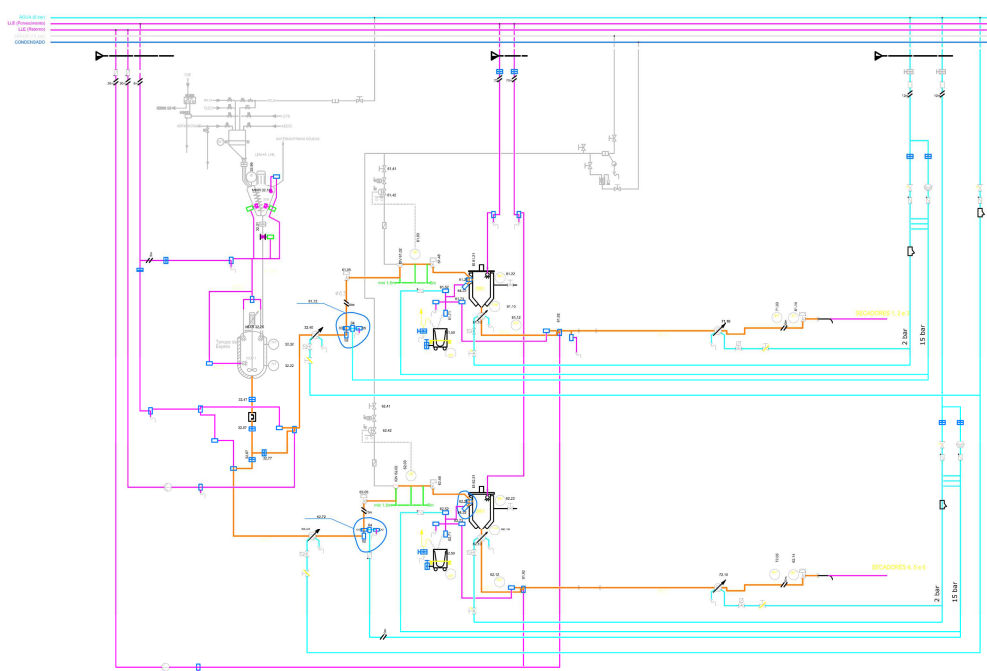
apenas de um PLC para controlar todas as linhas, o que tinha consequências bastante graves e que deixarão de existir assim que for instalada a nova arquitetura. Finalmente foi sugerido o uso de redundância entre o servidor principal de leitura dos dados de entrada e saída e um servidor de *backup* para que nenhum dado seja perdido na ocorrência de falhas.

Quanto à integração dos sistemas de controle, esta foi baseada no modelo do *standard* internacional ISA-95. Tal como foi dito anteriormente, ainda que com apenas o sistema SCADA seria possível atingir os resultados esperados e satisfazer as expectativas da empresa, com a inclusão de um sistema MES no quarto nível de produção (nível de gestão) será possível superar bastante essas expectativas e obter ainda melhores resultados, podendo a empresa usufruir de um dos melhores sistemas de controle e gestão usados atualmente.

Para finalizar, prevê-se que todo o trabalho realizado neste projeto irá contribuir de forma positiva para alcançar os objetivos desejados pela empresa. No caso da otimização e integração dos sistemas de controle não é necessário esclarecer individualmente o que cada uma pretende solucionar pois todas as sugestões dadas de certa forma contribuem para melhorar o controle de produção e rastreabilidade, reduzir o número de falhas e o impacto que cada uma tem na produção, reduzir o tempo de limpeza e manutenção e finalmente, com certeza reduzir em muito os custos de produção. Se todas as sugestões mencionadas acima forem adotadas, prevê-se que os resultados obtidos sejam superiores aos resultados esperados pela empresa.

Anexos

Anexo A – Arquitetura da linha de mistura líquida



LINHA DE MISTURA LÍQUIDA

Referências

- [1] R. C. Palomino, "Uma Abordagem para a Modelagem, Análise e Controle de Sistemas de Produção Utilizando Redes de Petri". Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 1995.
- [2] F. dos Santos, J. Diolino, "Proposta do Mark Graph Estendido para a Modelagem e Controle de Sistemas de Manufatura". Dissertação de Mestrado Apresentada à Escola Politécnica da USP-São Paulo, 1993.
- [3] S. E. Elmaghraby, "The Design of Production System". *Reinhold Publishing Corporation*, New York, 1966.
- [4] Y. C. Ho, "Scanning the Issue: Dynamics of Discrete Event Systems". *Proceedings of the IEEE*, vol. 77, n. 1, pp. 3-6, Jan, 1989.
- [5] C. G. Cassandras and P. J. Ramadge, "Toward a Control theory for Discrete Event System". *IEEE Control Systems Magazine*, pp. 66-68, June, 1990.
- [6] J. Cardoso et al., "Controle de Sistemas de Manufatura". Trabalho do curso de pós-graduação em Automação Industrial, a nível de especialização, Universidade Federal de Santa Catarina & Universidade de Caxias do Sul, Setembro, 1994.
- [7] F. J. Lorini, *Tecnologia de Grupo e Organização da Manufatura*. Editora UFSC, 1993.
- [8] S. B. Gershwin, "Hierarchical Flow Control: A Framework for Scheduling and Planning Discrete Events in Manufacturing Systems". *IEEE Proceeding Special Issue on Discrete Event System*, vol. 77, n. 1, pp. 195-209, Jan., 1989.
- [9] C. A. Costa, "A aplicação da linguagem de modelagem unificada (UML) para o suporte ao projeto de sistemas computacionais dentro de um modelo de referência". *Gestão & Produção*, v.8, n. 1, p. 19-36, Abr. 2001.
- [10] G. Booch et al., *The Unified Modelling Language User Guide*, Addison Wesley Longman, Inc., 1999.
- [11] G. Booch, *Object-oriented analysis and design with applications*. California, The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., 1994.
- [12] P. Texel and C. Williams, *Use Cases Combined with Booch/OMT/UML: process and products*, Prentice Hall, Inc., 1997.
- [13] T. A. Nogueira, "Redes de Comunicação para Sistemas de Automação Industrial", Monografia de graduação em Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal de Ouro Preto, 2009.
- [14] A. S. Tanenbaum, *Redes de Computadores*. 3ª edição, Editora Campus, 1997.

- [15] D. Chen, A. K. Mok, "Developing New Generation of Process Control Systems". *IEEE Real-Time Embedded System Workshop*, 2001, San Diego, USA.
- [16] R. Gutierrez, S. Pan, "Complexo Eletrônico: Automação do Controle Industrial" - Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/conhecimento/bnset/set2807.pdf>. Acesso em 02 Fev. 2012.
- [17] C. Moraes, P. Castrucci, *Engenharia de Automação Industrial*. 2.ed. LTC, 2007.
- [18] S. A Weg, "Automação de Processos Industriais". *PC12 Design Center*, Jaraguá do Sul, 2002.
- [19] S. Djiev, "Industrial Networks for Communication and Control". Reading for Elements for Industrial Automation, Technical University, Sofia, Bulgaria, 2003. Disponível em: <http://anp.tu-sofia.bg/djiev/Networks.htm>. Acesso em 01 Fev. 2012.
- [20] L. A. Guedes, "Classificação das redes para automação industrial". 2005. Disponível em: http://www.dca.ufrn.br/~affonso/DCA0447/aulas/rai_cap3_part1.pdf Acesso em 02 Fev. 2009.
- [21] M. A. Coghi, "Critérios para seleção de redes para automação industrial". *Revista Mecatrônica Atual*, N°11, Set. 2003.
- [22] C. Seixas Filho, V. Finkel, "Sistemas de Automação e Adequação Funcional dos Profissionais de Automação e TI Industrial", *Revista InTech*, nº 51, p. 24-28, Maio 2003.
- [23] M. Forte, "Protocolos de Comunicação: Analisar e só depois escolher". *Revista Controle e Instrumentação*, São Paulo, n.94, p.54-59, 2004.
- [24] A. P. Puda, "Padronização da comunicação através da tecnologia OPC". 2008. Disponível em: www.isarj.org.br/artigos/Padronizacao-da-Comunicacao-atraves-da-Tecnologia-OPC.pdf. Acesso em 03 Fev. 2012.
- [25] M. Fonseca, "Comunicação OPC – Uma abordagem prática". Seminário de automação de processos da ABM, Brasil, Vitória, 2002.
- [26] P. C. Carvalho, MES - Sistemas de Execução da Manufatura - "Manufacturing Execution System", *Revista Mecatrônica Atual* - N°19 – Dez. 2004.
- [27] H. L. Corrêa, *Planejamento, Programação e Controle da Produção: MRP II / ERP*. Ed. Atlas, São Paulo, 1997.
- [28] R. J. Rabelo, "PIMS & MES - Process Information Management Systems& Manufacturing Execution Systems". Disponível em: <http://www.das.ufsc.br/~rabelo/Ensino/DAS5316/MaterialDAS5316/PARTE2/MES&PIMS.pdf>. Acesso em 03 Fev. 2012.
- [29] F. B. Carvalho et al., "Sistemas PIMS – Conceituação, usos e benefícios". *Tecnologia em Metalurgia e Materiais*, São Paulo, v.1, n.4, p. 1-5, Abr-Jun, 2005.
- [30] C. Seixas Filho, "PIMS - Process Information Management System – Uma introdução". 2003. Disponível em: <http://www.cpdee.ufmg.br/~seixas/PaginaII/Download/DownloadFiles/Pims.PDF>. Acesso em 04 Fev. 2012.

