ANÁLISE E IMPLEMENTAÇÃO DA NORMA ANSI/ISA S88.01 NO CONTROLE AUTOMATIZADO DE UM SISTEMA EM PROCESSO POR BATELADA.

Cláudio José Gonçalves de Matos

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

Aprovada por:

_____

Prof. Walter Issamu Suemitsu, D. Ing.

_____

Prof. Jorge Lopes de Souza Leão, D. Ing.

_____

Prof. Cícero Couto de Moraes, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL.
MARÇO DE 2007

MATOS, CLÁUDIO JOSÉ GONÇALVES

Análise e Implementação da NORMA ANSI/ISA S88.01no Controle Automatizado de um Sistema em Processo por Batelada [Rio de Janeiro] 2007

XVI, 123 p. 28,7 cm (COPPE / UFRJ, M.Sc., Programa de Engenharia Elétrica, 2007)

Dissertação – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

1. Norma ANSI/ISA S88.01 no Controle Automatizado de Processo

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

DEDICATÓRIA:

A Deus,
Ao Mestre Jesus Cristo,
Que me impulsionou com suas Mãos de Suprema Luz
Colocando-me na missão de contribuir humildemente,
Com a singeleza desse trabalho,
Com a dignidade de um servidor da Seara Divina,
Ao nobre esforço social da ciência terrena,
Buscando o desenvolvimento tecnológico.

Aos meus pais, João Manuel de Matos e Eliete Gonçalves de Matos,
Que desde a minha infância sempre acreditaram em mim.

À minha esposa, Ana Lúcia dos Santos Marques,
Que me incentivou em todos os momentos,
Apoiando nas minhas realizações,
No qual sua contribuição foi decisiva
Para a concretização desse trabalho.

"A diferença entre o sonho e a realidade é a quantidade certa de tempo e trabalho"
(William Douglas)

AGRADECIMENTOS:

Algumas pessoas foram fundamentais no desenvolvimento deste trabalho e dedico estas poucas linhas para expressar minha grande gratidão a elas.

Primeiramente, agradeço ao Professor Walter Suemitsu, pois além de ser o Orientador desta Dissertação de Mestrado, sempre disposto a discutir idéias, foi um grande colaborador e amigo.

Muito obrigado professor por depositar em minha pessoa tanta confiança e responsabilidade.

Agradeço aos Professores e amigos, Marius Magnus e Mauro Trajano, pelas suas implementação de idéias na referida tese, no qual sem sua colaboração, o trabalho poderia ainda estar incompleto e conterem falhas. Sou muito grato por suas sugestões.

Agradeço à amiga Adalgisa Fernandes, que tanto contribui de forma positiva nos momentos de dificuldade quando ainda estava cursando as disciplinas do mestrado.

Agradeço ao CETEC de Alimentos e Bebidas – SENAI/RJ por ter concedido a oportunidade para eu pudesse realizar este trabalho através do mestrado.

E em especial, aos Gerentes dessa instituição, os Srs. Ary Pinheiro de Almeida Filho, Adilton José da Cruz (*in memória*) e Milton Santana, pois sem a colaboração e compreensão deles, não seria possível realizar todo esse trabalho realizado.

E meu grato reconhecimento da estimada ajuda que tanto contribuíram para que esse trabalho fosse levado adiante, aos meus amigos do Instituto Euvaldo Lodi - IEL, os Engenheiros Marius Magnus Secron, José Aguiar Coelho Neto e Mauro Trajano. Também aqui meus agradecimentos sinceros à Zuleide Ponciano de Souza, da Gerência de Educação Profissional – GEP – SENAI/RJ, pela sua estimada cooperação pedagógica.

À Empresa *Atos Automação Industrial Ltda* que através do técnico – eletrônico, Anísio Teles, e o Engenheiro, João Bottura, que cooperaram de forma significativa na realização desse trabalho.

A todas estas pessoas e a todos os amigos e professores, o meu

Muito Obrigado.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M. Sc.).

ANÁLISE E IMPLEMENTAÇÃO DA NORMA ANSI/ISA S88.01 NO CONTROLE AUTOMATIZADO DE UM SISTEMA EM PROCESSO POR BATELADA

Cláudio José Gonçalves de Matos

Março/2007

Orientador: Walter Issamu Suemitsu

Programa: Engenharia Elétrica.

Este trabalho estuda, fundamentalmente, as vantagens da implementação da Norma ISA-S88.01 na Automação e Controle de Processos Industriais em Batelada, destacando seus benefícios na gestão do controle de processo numa industria cervejeira, por meio da demonstração de um estudo de caso realizado na Planta Piloto Industrial da Cervejaria Escola, localizada no CETEC de Alimentos e Bebidas – SENAI/RJ, revelando as motivações que culminaram na adoção da citada norma e seleção do software de controle e supervisão de processo em batelada com avaliação dos resultados de start-up.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M. SC)

ANALYSIS AND IMPLEMENTATION OF NORMA ANSI/ISA S88.01 IN THE AUTOMATIZED CONTROL OF A SYSTEM IN PROCESS FOR BATELADA.

Cláudio Jose Gonçalves de Matos

March/2007

Advisor: Walter Issamu Suemitsu

Department: Electric Engineering

This work presents study, basically, the advantages of the implementation of Norma ISA-S88.01 in the Automation and Control of Industry Process in Batch, detaching its benefits in the management of the control of process in a beer industries, by means of the demonstration of a study of case carried through in the Plant Industry Pilot of the Brewery School, located in the CETEC of Foods and Drinks - SENAI/RJ, disclosing the motivations that had culminated in the adoption of the cited norm and election of the software of control and batch supervision of process in with evaluation of the results of start-up.

ÍNDICE:

Capítulo I – Introdução

I.1) Apresentação.....1

I.2) O CLP e SS.....2

I.3) Motivação do Trabalho.....5

I.4) Objetivos.....5

Capítulo II – Processo de Produção Industrial de Cerveja

II. 1) O Processo de Produção de Cerveja.....6

II. 1.1) Malteação da Cevada.....6

II. 1.2) Moagem do Malte de Cevada.....7

II. 1.3) Mosturação.....7

II. 1.4) Clarificação da Mostura.....8

II. 1.5) Fervura do Mosto.....9

II. 1.6) Resfriamento do Mosto.....9

II. 1.7) Fermentação do Mosto.....9

II. 1.8) Maturação da Cerveja Verde.....10

II. 1.9) Filtração da Cerveja Maturada.....10

II. 1.10) Envase da Cerveja – Produto Final.....12

II. 1.10.1) Engarrafamento da Cerveja – Produto Final.....12

II. 1.10.2) Enlatamento da Cerveja – Produto Final.....12

II. 1.10.3) Embarrilamento da Cerveja – Produto Final.....13

II. 11) Lay-out do Processo de Fabricação de Cerveja.....13

II. 12) Aspectos Tecnológicos de Automação e Controle - Técnicas de Medição em Linha durante o Processo de Fabricação de Cerveja.....15

Capítulo III – A NORMA ANSI/ISA S 88:

III. 1) A Organização ISA.....21
III. 3) Desenvolvimento da Norma ANSI/ISA S88.....21
III. 4) A Estrutura da Norma ANSI/ISA S88.01.....23
III. 4.1) O Escopo.....23
III. 4.2) Referências Normativas.....24
III. 4.3) Definições.....24
III. 5) A Norma ANSI/ISA S88.01.....24
III.5.1) Modelo Físico.....25
III.5.2) Modelo Procedural.....27
III.5.3) Receitas.....27
III.5.4) Diagramas de Gantt.....29
III.5.5) A Políticas de Transferência.....29
III.5.6) Grafcet.....30
III.5.6.1) Etapas.....31
III.5.6.2) Transição.....31
III.5.6.3) Arcos Orientados.....31
III.5.6.4) Ação.....31
III.5.6.5) Receptividade.....31

Capítulo IV – A Implementação da NORMA ANSI/ISA S88

IV.1) A Implementação da Norma S88.01.....33
IV.2) O Processo de Batelada.....34
IV.3) O Modelo Físico.....36
IV.4) O Modelo Procedural.....39
IV.5) A Conexão entre os Modelos.....40
IV.6) O Controle de Equipamentos.....40
IV.6.1) As células de processo.....40
IV.6.1.2) O controle nas células de processo.....40

IV.6.1.3) O controle procedural nas células.....41
IV.6.1.4) O controle de coordenação nas células.....41
IV.6.2) A unidade.....41
IV.6.2.1) O controle nas unidades.....41
IV.6.2.2) O controle procedural nas unidades.....41
IV.6.2.3) Controle de coordenação nas unidades.....41
IV.7.3) Módulo equipamento.....41
IV.7.3.1) O controle nos módulos de equipamento.....41
IV.7.3.2) O controle procedural em módulos de equipamento.....42
IV.7.3.3) O controle de coordenação em módulos de equipamento.....42
IV.7.3.4) O módulo de controle.....42
IV.7.3.5) O controle em módulos de controle.....42
IV.7.3.6) O controle procedural em módulos de controle.....42
IV.7.3.7) O controle de coordenação em módulos de controle.....42
IV.7.4) A estruturação das entidades equipamentos.....42
IV.7.4.1) A estruturação das células de processo.....42
IV.7.4.2) A estruturação das unidades.....43
IV.7.4.3) A estruturação de módulos equipamento.....43
IV.8) A Modelagem do Processo de Brassagem.....43
IV.9) Considerações de Hardware e Software.....46
IV.9.1) A Arquitetura do Sistema.....47
IV.9.2) Procedimento de Implatação do Sistema.....49
IV.9.2.1) Instalação do Rack do CLP.....49
IV.9.2.2) Implantação do Software Supervisório e Lógicas de Controle.....50
IV.9.2.3) Teste Funcional Integrado.....50
IV.9.2.4) Operação Assistida.....50
IV.9.2.5) Retirada do Sistema Existente.....50
IV.9.2.6) Treinamento.....50
IV.10) Diagrama de Gantt na Produção de Cervejas.....51
IV.10.1) Receita do Processo de Fabricação.....52
IV.10.2) Diagrama do Processo de Mosturação - Mosto tipo Pilsen Extra.....54

Capítulo V – Benefícios da Norma ISA ANSI/S88

V.1) A Importância da Economia de Energia.....55
V.2) Implementação de Economia de Energia - Seleção de Aplicações Potenciais.....56
V.2.1) Análise Detalhada da Aplicação.....63
V.2.2) Análise Detalhada do Sistema.....68
V.2.2.1) Sistema com Vazão e Pressão Variável.....69
V.2.2.2) Sistema com Vazão Constante e Pressão Variável.....71
V.2.2.3) Sistema com Vazão Variável e Pressão Constante.....74
V.2.3) Análise Econômica.....77
V.3) Implementação na Qualidade de Energia Elétrica.....79
V.3.1) Ensaio de Imunidade a EMI em CLP.....81
V.3.1.2) Introdução.....81
V.3.1.3) Descrição do Equipamento de Teste (GERADOR NOISE) e Configurações.....81
V.3.1.3.1) Equipamento de Teste.....81
V.3.1.3.2) Configuração do Teste.....82
V.3.1.4) Descrição do Equipamento sob Ensaio e Configurações.....84
V.3.1.4.1) Equipamento sob Ensaio.....84
V.3.1.5) Critérios de Avaliação de Resultados de Ensaio.....84
V.3.1.6) Objetivo do Ensaio.....85
V.3.1.7) Procedimentos do Ensaio.....85
V.3.1.8) Resultados Finais do Ensaio.....86

Capítulo VI – Resultados e Considerações Experimentais:

VI.1) Benefícios da Implementação.....87
VI.2) Considerações da Implementação no CETEC.....87
VI.3) Exemplos da Implementação da Norma S88 na Industria.....88
VI.4) Os Desafios do Gerenciamento de Bateladas.....89
VI.5) Importância da Programação Orientada a Objetos.....90
Conclusões Finais.....90
Propostas para Trabalhos Futuros.....92
Referências Bibliográficas.....93
ANEXOS.....96

ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura nº 1 – Turbidimetros de linha de processo.....11
Figura nº 2 – Turbidimetro para controle de dosagem de material filtrante.....11
Figura nº 3 – Lay-out do Processo de Produção Industrial de Produção de Cerveja.....14
Figura nº 4 – Lay-Out do Processo de Produção de Mosto.....16
Figura nº 5 – Lay-out do Processo de Estocagem de Fermento.....17
Figura nº 6 – Lay-out do Processo de Fermentação e Maturação.....18
Figura nº 7 – Lay-out do Processo de Filtração.....19
Figura nº 8 – Lay-out do Processo de Envasamento.....20
Figura nº. 9 – Apresentação do Modelo Físico – 1º parte da norma.....26
Figura nº. 10 – Organização Hierárquica do Processo em Batelada.....35
Figura nº. 11 – Organização Hierárquica do Modelo Físico.....37
Figura nº. 12 – Organização Hierárquica do Modelo Procedural.....39
Figura nº. 13 – Diagrama de Conexão entre os Modelos.....40
Figura nº. 14 – Modelo Físico do Processo de Brassagem/Fermentação.....44
Figura nº. 15 – Modelo de Processo – Unidade de Adjuntos.....44
Figura nº. 16 – Modelo de Processo – Unidade de Mostura.....45
Figura nº. 17 – Modelo de Processo – Unidade de Clarificação.....45
Figura nº. 18 – Modelo de Processo – Unidade de Cozimento/Whirpool de Mosto.....46
Figura nº. 19 – Arquitetura do Sistema Operacional – Brassagem/Fermentação/ Filtração.....47
Figura nº. 20 – Planilha de Processo de Fabricação de Mosto Pilsen Extra (frente)....52
Figura nº. 21 – Planilha de Processo de Fabricação de Mosto Pilsen Extra (verso).....53
Figura nº. 22 – Diagrama de Mosturaão do Processo de Fabricação de Mosto Pilsen Extra.....54
Figura nº. 23 – Ciclo de Trabalho – Bomba Centrifuga.....59
Figura nº. 24 – Sistema de Vazão e Pressão Variáveis.....60
Figura nº. 25 – Sistema de Vazão Constante e Pressão Variável.....61
Figura nº. 26 – Sistema de Vazão Variável e Pressão Constante.....62
Figura nº. 27 – Curva Típica de Bomba Centrifuga – 100HP.....64
Figura nº. 28–Curvas Típicas de Rendimento – Motor 100HP–Inversor tipo VVI.....66

Figura nº. 29 – Rendimento Típico para Acionamentos com Escorregamento.....67
Figura nº. 30 – Curvas de Eficiência Típicas – Inversor VVI – 100HP.....68
Figura nº. 31 – Sistema com Pressão e Vazão Variáveis - Operação com Válvula X Operação com Velocidade Reduzida.....70
Figura nº. 32 – Perfil de Potência Entregue .....71
Figura nº. 33 – Métodos de Controle - Sistema de Vazão Constante e Pressão Variável.....72
Figura nº. 34 – Sistema de Vazão Constante e Pressão Variável - Operação com Válvula X Operação com Velocidade Reduzida.....73
Figura nº. 35 – Perfil da Potência Entregue - Sistema de Pressão Variável e Vazão Constante.....74
Figura nº. 36 – Operação com Retorno - Sistema de Vazão Variável e Pressão Constante.....75
Figura nº. 37 - Operação com Retorno x Operação com Velocidade Reduzida - Sistema de Vazão Variável e Pressão Constante.....76
Figura nº. 38 – Perfil da Potência Entregue - Sistema de Vazão Variável e Pressão Constante.....77
Figura nº. 39 – Gerador de Ruídos – Parte Frontal – NOISE.....82
Figura nº. 40– Gerador de Ruídos – Configurações da Parte Frontal – NOISE.....83
Figura nº. 41 – PLC modelo MPC 4004 – vista frontal.....84
Figura nº. 42 – PLC modelo MPC 4004 – ensaio EMI.....85
Figura nº. 43 – Comportamento Gráfico do Ruído Gerado (perturbação) – ensaio EMI.....86

## ÍNDICE DE FIGURAS DOS ANEXOS:

Anexo C:

Figura nº. 44 – Gerador de Ruídos – Parte Frontal – NOISE.....121
Figura nº. 45 – Gerador de Ruídos – Parte Traseira – NOISE.....123

ÍNDICE DE TABELAS:

Tabela nº 1 – Valores de pH e temperaturas ótimas de atuação enzimática.....8
Tabela nº 2 – População Total de Bombas Centrifugas na Industria Química e Petroquimica.....57
Tabela n.º 3 – Relação de Uso dos Motores por Setor e Potência.....58
Tabela n.º 4 – Característica de Cargas Centrifugas.....59
Tabela nº. 5 – Configurações do Gerador NOISE (desligado).....82

## LISTA DE SIMBOLOS:

Símbolo - Descrição

CLP ou PLC - Controladores Lógicos Programáveis

CPU – Unidade Central de Processamento

EPS – Enterprise Productivity Systems

MES - Manufacturing Execution Systems

SC - Supply Chain

SS – Sistemas de Supervisão

I/O – entrada/saída de dados

ANSI - American Nacional Standard Institute

AMR - American Manufacturing Research

ISA - The Instrumentation, Systems and Automation Society

MAS - Material Handling Automation Systems

MÊS - Manufacturing Execution Systems

MRP - Material Requirements Planning

PAM - Plant Asset Management

PAS - Process Automation Systems

PC - Personal Computer

PCS - Personal Communication Systems

PDM - Production Design Management

PID - Proporcional Integral Derivativo

SCADA - Supervisory Control and Data Acquisition System

SCE - Supply Chain Execution

SCM - Supply Chain Management

SCOR - Supply Chain Operations Reference

SCP - Supply Chain Planning

SCPM - Supply Chain Process Management

SDCD - Sistema Digital de Controle Distribuído

SFC - Sequential Function Chart

RTOS - Sistemas Operacionais de Tempo Real

ETHERNET - Tecnologia de Interconexão para Redes Locais

SWITCHED ETHERNET- Chave de Tecnologia de Interconexão para Redes Locais

LADDER – Linguagem de Programação de CLP.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

EC - Internacional Electrotechnical Commission

EN - Europaische Norm

ANSI - American National Standards Institute

NEMA - National Electrical Manufactures Association

UL - Underwriters` Laboratories

DIN - Deutsches Institut fur Normung

VDE - Verband Deutscher Elektrotechniker

SISTEMA BATCH – Sistema de Batelada

HART – Protocolo de Comunicação

ANSI/ISA S88 – Comitê Gestor da Norma ANSI/ISA S88

TP – Tanques de Pressão

WMS (Warehouse Management Systems) - Sistema de Gerenciamento de Armazéns

SI - Sistema Internacional de Unidades

IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers

EMC – Compatibilidade Eletromagnética

NAMUR - Normenarbeitsgemeinshaft für Mess-und Regelungstecknick in der Chemischen Industrie

NE NAMUR – Recomendações Normativas da NAMUR

IEC - International Electrotechnical Commission

ZW - Zero-Wait

UIS - Unlimiteted Intermediate Storage

NIS - No-Intermediated Storage

GRAFCET - Grafo De Comando Etapa-Transição

DCS - Sistemas de Controle Distribuídos

EMI - Interferência Eletromagnética.

## Capítulo I - Introdução:

### I.1) Apresentação:

Ao longo dos anos, o conceito de automação de processo vem passando por uma revolução constante, inclusive devido a uma necessidade de especialização motivada pela melhor compreensão dos diversos tipos de processo envolvidos no parque fabril. Verifica-se que a automação de processos contínuos, em batelada e de manufatura, requer normas e produtos deferentes, que venham melhorar o atendimento à identidade de cada setor produtivo. Consequentemente, foi verificado um aumento do escopo das atividades, onde a cultura da automação conseguiu romper os grilhões do chão de fabrica e outras fronteiras, e formas mais amplas foram sendo buscadas, abrangendo a automação global do negócio em questão, ao invés da simples automação dos processos e equipamentos. Com isso, surgiu o conceito de *Sistemas de Gerenciamento da Produção*, ou *EPS – Enterprise Productivity Systems*, que é o termo mais amplo que o conceito original de MES - *Manufacturing Execution Systems*, sistema responsável pelo gerenciamento do processo de produção [1]. A partir da automação e controle do processo produtivo, foi dado um salto evolutivo, onde passamos a gerenciar materiais, através de WMS (*Warehouse Management Systems)*, e as vendas, por meio dos sistemas de automação de força de vendas e a inter-relação entre as diversas etapas da vasta cadeia de suprimentos, através dos sistemas de *SC - Supply Chain* ou *Logística Integrada*. Esta última engloba a logística, sendo mais do que isso, pois ela tem uma visão global de todo o processo, em que se faz uma relação desde os fornecedores dos fornecedores até os clientes dos clientes [4]. Daí surgem novas perspectivas para os provedores de engenharia e produtos, vindo a quebrar o conceito errôneo de que a automação se tornou uma *commodity* [1].

Com o surgimento da NORMA ANSI/ISA S.88.01, tivemos uma visível mudança no cenário de automação e controle de processos de produção, pois foi preciso redefinir modelos e terminologias para o controle de batelada, sendo necessário dividir a automação em *Physical Model* e *Procedural Model*, resultando no conceito de *Process Model* [2].

A elaboração da norma foi fundamental, uma vez que o setor de bens de consumo vem crescendo de forma vertiginosa, com consideráveis investimentos na abertura de novas fábricas e na modernização das atuais. Constatamos que os sistemas de automação também evoluíram, foram abandonados os antigos painéis sinóticos e

quadros de relés, sendo substituídos por sistemas baseados em *CLP - Controladores Lógicos Programáveis* e *SS – Sistemas de Supervisão*, softwares para monitoramento e operação de processos industriais em tempo real [2].

Devido ao potencial de consumo e à estabilização da economia do Brasil durante a década de 1990, a indústria de cerveja passou por um grande crescimento, sendo que foram constatados consideráveis investimentos que tiveram o objetivo de aumentar a produtividade industrial e a qualidade do produto, com a conseqüente redução dos custos de produção [3]. Tal crescimento justifica a aplicação da NORMA ANSI/ISA S.88.01 nas plantas produtoras de cerveja.

## I.2) O CLP e o SS :

Os sistemas de automação utilizados no processo de modernização são baseados no Controlador Lógico Programável (CLP) e no Sistema de Supervisão (SS).

O CLP é um equipamento eletrônico composto, basicamente, por uma CPU, memória, módulos de entrada/ saída (I/O) e é programável através de uma linguagem específica.

O SS é composto por um microcomputador, sistema operacional e software de supervisão e possibilita a interface do operador com o processo através de telas sinóticas animadas. Porém, devido à dinâmica do mercado de cerveja, que exige constantes lançamentos de novos produtos, podemos afirmar que tal modelo de automação, baseado no binômio CLP & SS, está no limite de suas funcionalidades. A fabricação de cerveja é tipicamente um processo em batelada (ou *batc*h, termo em inglês) e elaborar o controle de batelada dentro de um programa de CLP é complexo e exige constantes manutenções. Apesar do SS apresentar funcionalidades que auxiliam o controle de batelada, tais como pacotes de receitas, é comum ser necessário readequar toda a programação do sistema CLP & SS para a produção de uma nova receita de produto. Várias tentativas foram realizadas com relativo sucesso, porém, sem metodologias e padronizações específicas. Como resultado, ocorria, muitas vezes, de uma fábrica ficar paralisada na dependência de suporte técnico do engenheiro que tinha elaborado o intricado programa de CLP que só ele entendia [5].

Mas essa filosofia da automação industrial, que se caracterizava, há alguns anos atrás por um terrível imobilismo, foi mudando. Os sistemas abertos eram inacessíveis. Era a época do culto ao fornecedor. Neste regime restrito, ninguém queria abrir seu território e permitir o acesso dos demais fornecedores aos seus clientes sagrados e

encurralados. O mote do período seria: “Faça a sua escolha por uma marca e devote fidelidade eterna à sua tecnologia…”. Quem conseguiu subverter este ambiente de radicalismo tecnológico foi o aparecimento do PC. Caíram os painéis sinóticos, sumiram as mesas de controle e o PC passou a reinar como a plataforma preferida de supervisão e operação de processos. Os softwares SCADA apareceram em diversos tamanhos, em diversos sistemas operacionais, com diversos repertórios de funcionalidades. O mercado se depurou com o tempo. As empresas que produziam estes produtos se fundiram, se consolidaram, ficaram no final reduzidas a uma dezena. Os sistemas operacionais em tempo real (RTOS) deram lugar ao Windows NT de uso genérico e de performance questionável em aplicações críticas. Mas nesta época, já estava claro que o supervisório era uma aplicação em tempo real (*soft real time*). Por outro lado, o Windows NT apresenta grandes vantagens em relação ao custo total de propriedade, à beleza e popularidade da sua interface gráfica e à abundância de *drives* de comunicação com todos os dispositivos de mercado.

O paradigma do uso de uma rede determinística, interligando estações de controle foi vencido, mais uma vez, por uma tecnologia alienígena ao ambiente de automação. Uma rede de propósitos gerais, não concebida para o uso em ambiente industrial, torna-se a vencedora. A *Ethernet 10-Base-T*, justamente o padrão que usa par trançado como meio de comunicação, a princípio preterido em favor do cabo coaxial, vence esmagadoramente a disputa. Hoje, a *Switched Ethernet 100-Base-T,* se constitui no padrão de fato. Se observarmos a evolução da história, vemos que o mais geral substitui o especialista, o mais barato, o mais comum.

Os CLPs também tiveram que mudar. Tinham que operar em rede como qualquer computador normal. Buscaram CPUs mais genéricas, maiores capacidades de memória, redes de campo que propiciassem alta descentralização e finalmente linguagens padrões. A linguagem *ladder* surgiu antes da criação dos CLPs. Servia para documentar gabinetes de relés. Os relés se foram, o CLP conquistou espaço também no tratamento de variáveis analógicas e malhas de controle, mas o *ladder* continuou. Continuou porque facilitava a manutenção, porque era a linguagem natural dos eletricistas, porque era mais fácil de entender, porque gerava menos código e cabia na exígua memória dos CLPs. Na verdade ninguém acreditava mais nestas justificativas. Os relés não são estudados em cursos técnicos, ou de engenharia, há décadas e não há algo mais indefensável, que projetar um diagrama lógico e depois traduzi-lo em linguagem *ladder*. Finalmente surge o padrão IEC 61131-3, definindo cinco linguagens

padrões para programação para CLPs ou remotas industriais. E o CLP começa a mudar de verdade.

Os fabricantes de CLPs também compreenderam a inequação básica: software > hardware e passaram a produzir sistemas SCADA, sistemas BATCH e outros pacotes mais especializados. Passaram a concorrer para a solução completa: SCADA + CLP. Já recentemente surgiram os sistemas híbridos, uma versão *light* dos SDCDs dedicado às aplicações com mais de 1000 analógicas, limite aceito para a aplicação SCADA + CLP. Os sistemas híbridos trouxeram algumas novidades interessantes. Arquitetura cliente-servidor, troca a quente de cartões de entrada e saída, dicionário de dados único. É possível definir o nome lógico de um ponto na remota de aquisição de dados e controle e este nome será enxergado e reconhecido por todos os módulos de software do sistema, independente de seu nível hierárquico. Neste sistema, também é possível programar os algoritmos de controle, usando as linguagens IEC 61131-3 diretamente das estações de supervisão, características que só os SDCDs apresentavam.

E os SDCDs ? Também desceram do pedestal. Buscaram obedecer a padrões de interligação de mercado. Procuraram parecer mais esbeltos, abertos e flexíveis. Adotaram redes de instrumentos inteligentes e "intercambiáveis". Na área de instrumentação a revolução se deu mais dolorosamente. Era necessário dotar os instrumentos de mais inteligência e faze-los se comunicar em rede. O velho padrão 4-20 mA para a transmissão de sinais analógicos tinha que ceder lugar à transmissão digital. A principio foi desenvolvido um protocolo que aproveitava o próprio cabeamento já existente, fazendo transitar sinais digitais sobre sinais analógicos 4-20 mA. Este protocolo (HART) não foi mais que um paliativo, embora permaneça até hoje em sua interinidade. De certa forma, representa também uma reação ao avanço das novas tecnologias. Depois surgiu uma profusão de padrões e protocolos que pretendiam ser o único e melhor barramento de campo. O tempo e o mercado acabaram por depurar o conceito e a selecionar os mais aptos.

Atualmente, sabe-se que as empresas especializadas em fornecimento de serviço de automação de processo, oferecem a documentação impressa (aplicativo comentado, manual de operação com diagramas de blocos), treinamentos das equipes de operadores e de manutenção e apoio *on-line* aos clientes.

## I.3) Motivação do Trabalho:

Com o crescente desenvolvimento da indústria cervejeira no Brasil, atrelado ao aumento de consumo de cerveja, tornando o país um dos grandes produtores e consumidores da bebida, além da necessidade de padronizar os sistemas flexíveis de bateladas, característico do seu processo de produção, houve a necessidade de que seu parque industrial se reformulasse tecnologicamente de forma competitiva no atual cenário mundial.

A grande possibilidade de implantação de melhorias na automação do controle de batelada nas instalações da Planta Piloto de Cervejaria do CETEC – SENAI/RJ, com a aplicação da Norma ANSI/ISA S88.01, no qual se dispõe de tecnologia de automação baseada em CLP & SS, pode servir futuramente como modelo de referência nacional em relação a outras unidades industriais cervejeiras que façam uso da mesma tecnologia.

## I.4) Objetivos:

O objetivo deste trabalho é mostrar os benefícios proporcionados pela implementação da Norma ANSI/ISA S88.01 quando aplicada ao sistema de controle de processo por batelada numa indústria cervejeira, assim como analisar as melhorias inseridas tanto na parte operacional e gerencial, como na qualidade final do produto.

Em paralelo a esse objetivo primordial, será realizado um estudo analítico das vantagens proporcionadas pela Norma no que se refere à conservação e qualidade da energia elétrica como instrumento de combate ao desperdício.

## II. 1) O Processo de Produção de Cerveja:

A cerveja é uma bebida fermentada, elaborada através do extrato de malte de cevada, água, lúpulo e fermento cervejeiro, que na sua composição química é formada basicamente de uma pequena quantidade de álcool etílico, gás carbônico e açúcares não fermentáveis. Sendo ela uma das bebidas alcoólicas com o menor teor de álcool existente, onde a média é de 40g/l, quando consumida moderadamente, não oferece danos ao organismo humano.

O processo de elaboração consiste basicamente da malteação da cevada (fase de obtenção do malte de cevada), moagem do malte de cevada, mosturação, clarificação da mostura, fervura do mosto, resfriamento do mosto, fermentação do mosto, maturação da cerveja verde, filtração da cerveja maturada, envase da cerveja pronta.

De forma a melhor compreender as partes correspondentes ao processo industrial de fabricação da cerveja, cada etapa é descrita detalhadamente a seguir:

### II. 1.1) Malteação da Cevada:

O cereal que mais se adapta à produção de cerveja é a cevada, pois possui o teor de nutrientes mais satisfatórios para o processo de fermentação: amido, de 50% a 65% e proteínas aproximadamente 10%. O malte é recebido a granel a partir de caminhões, os grãos são secados, selecionados e armazenados em silos. Na maceração, os grãos de cevada são colocados em tanques cilíndricos verticais e sofrem a adição de água à temperatura de 5 a 18ºC. Durante esta fase, o teor de umidade varia de 45 a 50%. A água deve ser trocada de 6 em 6 horas, e deve ser injetado ar para a manutenção da vida dos grãos. O embrião contido no grão retira o oxigênio necessário a sua respiração na água. Essa etapa dura em torno de 48 horas. A cevada vai para as tinas de germinação, ventiladas com ar úmido a uma temperatura de aproximadamente 18ºC. Nessa fase, o embrião produz uma enzima para digerir o amido e transformá-lo em moléculas menores, capazes de serem absorvidas por suas células. O embrião consome parte do amido do grão, diminuindo seu tamanho em aproximadamente um terço. Essa etapa dura de 3 a 6 dias. O malte é então secado até atingir uma umidade de aproximadamente 4%, com ar a uma temperatura controlada.

## II. 1.2) Moagem do Malte de Cevada:

Após a pesagem da batelada do malte de cevada, a massa de grãos é transferida para os moinhos de malte, onde os grãos sofrem um corte longitudinal na casca expondo a parte amilácea para serem dissolvidos durante o processo. Conseqüentemente, a moagem diminui o tamanho da partícula do amido, aumentando a superfície de contato do material amiláceo com a água, ocasionando um aumento na velocidade de hidrólise do amido.

## II. 1.3) Mosturação:

Depois de passar pelo processo de moagem, a massa de grãos de malte moída, é transferida para a Tina de Mostura, onde, por meio do processo de cozimento, a solução de malte e água, conhecida por mostura, sofre uma transformação por meio enzimático, com a conseqüente obtenção do mosto de cerveja não clarificado. O processo de cozimento é baseado no diagrama de mosturação, onde é respeitada a temperatura de atuação enzimática. Junto ao controle de temperatura, é importante o controle de pH de mosturação com o objetivo de se obter um melhor rendimento do processo.

Os valores de pH e temperaturas ótimas de mosturação com suas correspondentes atuações enzimáticas seguem abaixo:

| Enzima | Atuação | pH ótimo | Temp. ótima (ºC) |
|---|---|---|---|
| α-amilase | Decomposição do amido em dextrinas inferiores pela desagregação das ligações 1-4. | 5,6 - 5,8 | 70 - 75 |
| β-amilase | Decomposição do amido em maltose pela desagregação das ligações 1-4. | 5,4 - 5,6 | 60 - 65 |
| Dextrinase limite | Decomposição do amido em maltose e maltotriose pela desagregação das ligações 1-6. | 5,1 | 55 - 60 |
| Endo-peptidase | Decomposição das proteínas em produtos intermediários de alto e médio peso molecular. | 5,0 | 50 - 60 |
| Exo-peptidase | Decomposição das proteínas de alto e médio peso molecular para aminoácidos. | 5,2 – 8,2 | 40 - 50 |
| Hemicelulase | Decomposição da hemicelulase em glucanos de médio e baixo peso molecular. | 4,5 – 4,7 | 40 - 45 |

Tabela nº 1 – Valores de pH e temperaturas ótimas de atuação enzimática.

## II. 1.4) Clarificação da Mostura:

Obtida a mostura, sua clarificação (filtração) ocorrerá na Tina de Clarificação, equipamento que tem o objetivo de realizar a filtração, separando o mosto (parte líquida) do resíduo de processo, chamado de bagaço (parte sólida). Posteriormente, assim que for obtido o volume de mosto primário extraído da mostura filtrada, a parte que restou, ou melhor, a parte sólida, passará por um processo de lavagem, também conhecida como rinçagem do bagaço, de forma que venha ser retirada a fração que resta de açúcares que irá compor o mosto pronto. Essa operação de rinçagem é feita com um determinado volume de água cervejeira na temperatura de 77 ±1ºC.

## II. 1.5) Fervura do Mosto:

Nessa etapa, o mosto proveniente da filtração em condições padronizadas de processo, é fervido na Tina de Fervura durante um tempo pré-estabelecido, de forma que garanta a solubilização das substâncias dos lúpulos aromáticos e amargor, assim como, a sua esterilização. Também nessa fase, ocorre a definição do extrato primitivo do mosto, conforme a taxa de evaporação horária.

Após finalizar o processo de fervura, o mosto passa por um processo chamado de *Whirlpool*, onde por um tempo pré-estabelecido, seu volume é imediatamente rotacionado tangencialmente de forma que venha provocar um vórtice na camada do líquido (mosto), com o objetivo de criar uma força centrífuga junto com uma força centrípeta. Cessada essa operação, a força centrífuga vai sendo progressivamente anulada pela atuação da força centrípeta, fazendo com que o material excedente (polifenóis, resinas do lúpulo, proteína de alto peso molecular, etc.) que se encontra no meio, vai se depositando no fundo do equipamento. A partir daí, o mosto fica em repouso por um tempo determinado, geralmente, de 20 a 30 minutos, antes de seguir para os processos seguintes, que veremos no próximo tópico.

## II. 1.6) Resfriamento do Mosto:

Dado o tempo de repouso, o mosto, antes de ser transferido para o tanque de fermentação, é previamente resfriado à temperatura de 9 à 15ºC, por meio de trocador de calor. Durante o resfriamento, é realizada a aeração do mosto resfriado com ar comprimido, em condições estéreis, na pressão de 8 a 9 $kgf/cm^2$ e a dosagem do fermento cervejeiro na quantidade entre 15 a 20 milhões de células/l.

## II. 1.7) Fermentação do Mosto:

Em tanques fechados durante o período de 5 a 7 dias sob temperatura controlada de fermentação de 9 a 15ºC, o mosto sofre um processo de transformação química por meio de uma reação básica de fermentação, de modo que seus açúcares fermentáveis resultam em álcool etílico, gás carbônico e calor. Nessa fase, o fermento, também conhecido como levedura cervejeira, consumirá quase 80% dos açúcares fermentáveis que se encontram na composição do mosto. Paralelo à reação básica de fermentação, também ocorre no meio a formação de alguns ésteres, ácidos e álcoois superiores que irão transmitir propriedades organolépticas à cerveja.

## II. 1.8) Maturação da Cerveja Verde:

Após a fase de fermentação do mosto, a cerveja agora recebe a denominação de "cerveja verde", ou seja, aquela que se encontra na fase intermediária de final de fermentação e inicio de maturação. A "cerveja verde" poderá ser transferida para um tanque maturador ou poderá permanecer no mesmo tanque quando este tem a propriedade de fermentar e maturar, conhecidos como "unitanques".

Durante a fase de maturação a "cerveja verde" passa por um processo de amadurecimento do seu aroma e paladar, ocasionando modificações e alterações em seu sistema coloidal, propiciando a sua clarificação através da precipitação das células de levedura e proteínas, assim como, de sólidos complexos causadores de turbidez. Normalmente, a temperatura de maturação ocorre por volta de 1 ±1ºC e o tempo varia de acordo ao tipo de cerveja fabricado.

## II. 1.9) Filtração da Cerveja Maturada:

Após o término da maturação, as substâncias em suspensão, que foram formadas durante as etapas anteriores do processamento da cerveja, deverão estar amplamente sedimentadas. O residual ainda remanescente em substâncias causadoras de turvação não corresponde ao padrão de qualidade. Com isso, a finalidade da filtração da cerveja é eliminar as partículas turvadoras ou as que possam causar turvação posterior, como por exemplo, levedura, proteínas, taninos, etc. Logo, a intenção é manter a cerveja com suas características principais por um período mais longo possível.

A turbidez na cerveja é composta por proteínas, constituintes fenólicos, carboidratos e compostos metálicos. A presença de polifenóis e proteínas incentivam a formação da turbidez na cerveja. É comum encontrar nas indústrias cervejeiras instrumentos instalados diretamente nas linhas de saída dos filtros que podem medir diretamente a turbidez da cerveja, conhecidos como turbidímetros. Eles monitoram e controlam, por meio de um sistema automático do processo de filtração de cerveja, baseado operacionalmente na determinação do nível de sólidos presentes na cerveja, medindo a dispersão da luz que ocorre quando um feixe de luz laser infravermelha é dirigido através da corrente de cerveja e dosando a quantidade apropriada de terra infusória.

Durante a filtração é feito o uso de material filtrante de diferente granulometria com propriedades características de remoção das substâncias turvadoras. Comumente, os materiais filtrantes mais utilizados são: terra infusória, perlitas e celulose [5].

Na figura nº 1, podemos visualizar um exemplo de aplicação do turbidímetro no controle de processo de filtração.

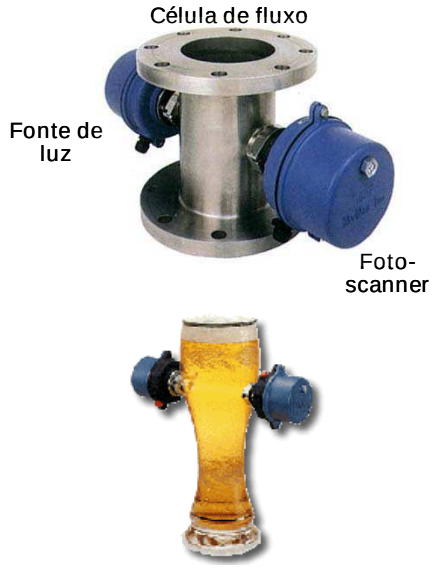


Figura nº 1 – Turbidímetros de linha de processo [6].

Já na figura nº 2, podemos verificar um exemplo de aplicação do controle de turvação fazendo uso do turbidímetro para controlar a quantidade dosada de material filtrante.

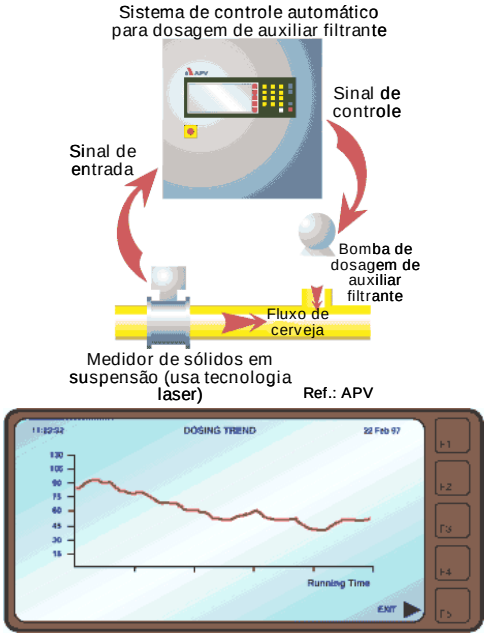


Figura nº 2 – Turbidímetro para controle de dosagem de material filtrante [7].

## II. 1.10) Envase da Cerveja – Produto Final:

Antes de proceder ao envase, a cerveja filtrada fica acondicionada em tanques de pressão, denominados de TP, resfriados na temperatura de 1 ±1°C por no máximo 24 horas. O processo de envase consiste em acondicionar o produto final, a cerveja pronta, em vasilhames tipo garrafa, lata e barril. De forma a melhor entender esse processo, o envase foi dividido em engarrafamento, enlatamento e embarrilamento.

Por definição, podemos melhor compreender o processo de envasamento como "um complexo de máquinas e equipamentos responsável pelo acondicionamento do produto em determinada embalagem".

### II. 1.10.1) Engarrafamento da Cerveja – Produto Final:

O processo de engarrafamento compreende a transferência da cerveja pronta do tanque de pressão (TP) até a máquina engarrafadora. Antes de chegar à engarrafadora, a garrafa, é previamente limpa e esterilizada, sendo transportada por uma esteira. Após o enchimento da garrafa com cerveja, a mesma é imediatamente tampada com rolhas metálicas através de arrolhadores. Daí em diante, a cerveja engarrafada é pasteurizada na temperatura de 64 à 70ºC por durante um determinado tempo que depende do valor da unidade de pasteurização (UPs). Para finalizar, a cerveja pasteurizada na garrafa é rotulada e colocada em caixas plásticas ou empacotadas em caixas de papelão, sendo transferidas para a área de armazenamento por meio de transportes de esteiras.

A pasteurização é a técnica que utiliza temperaturas elevadas, com a finalidade de pelo menos inativar alguns microrganismos ou mesmo eliminá-los, diferentemente da esterilização que emprega calor a temperaturas mais altas para eliminar microrganismos [8].

### II. 1.10.2) Enlatamento da Cerveja – Produto Final:

O processo de enlatamento é semelhante ao processo de engarrafamento, o que difere basicamente, é o tipo de vasilhame e os maquinários utilizados para realizar o acondicionamento da cerveja.

II. 1.10.3) Embarrilamento da Cerveja – Produto Final:

O processo de enlatamento é semelhante aos itens II. 1.10.1 e II. 1.10.2 citados, sendo que o que difere basicamente é o tipo de vasilhame e os maquinários utilizados para realizar o acondicionamento da cerveja.

No *anexo A*, o processo de produção industrial de cerveja pode ser visto com maior profundidade.

II. 11) Lay-out do Processo de Fabricação de Cerveja:

Na figura nº. 3, por meio do *lay-out* do processo de produção industrial de produção de cerveja, pode-se ter uma visão geral das etapas do processo de produção da bebida.

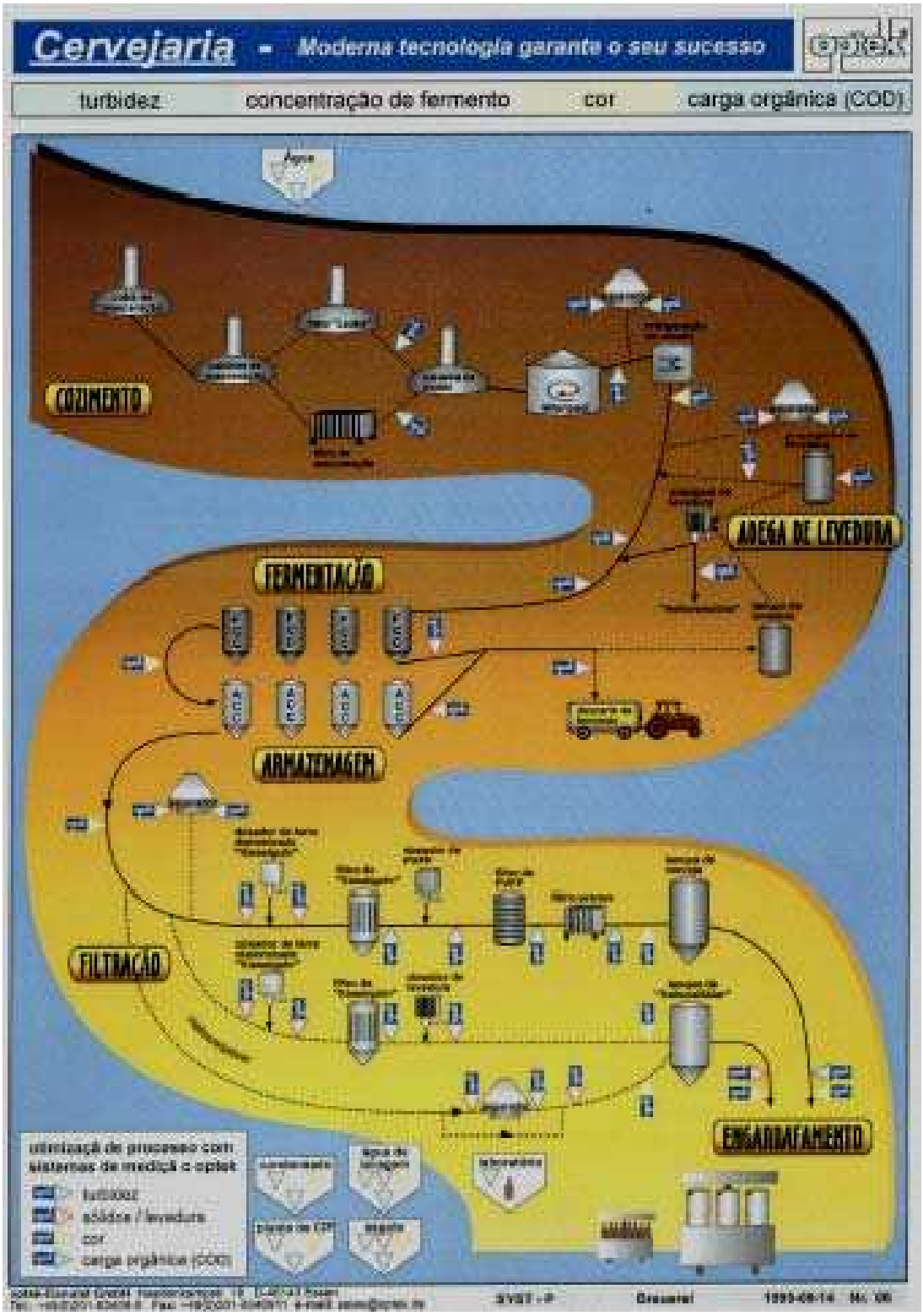


Figura nº 3 – Lay-out do Processo de Produção Industrial de Produção de Cerveja.

## II. 12) Aspectos Tecnológicos de Automação e Controle - Técnicas de Medição em Linha durante o Processo de Fabricação de Cerveja:

O processo de fabricação de cerveja envolve um vasto sistema de controle de processo, que se inicia desde a fabricação da mostura até a fase final de envasamento e armazenamento da bebida. Como toda indústria moderna que busca a cada dia a melhoria do seu produto, o processo industrial de produção em batelada de cerveja requer, em todas as suas etapas, um rigoroso sistema de controle e automação, de forma a manter e assegurar a qualidade final do produto com total satisfação do cliente.

Nos exemplos de controle de processo que se seguem nas figuras nº 4, 5, 6, 7 e 8, podemos melhor compreender a importância do monitoramento das variáveis de processo envolvidas nas indústrias cervejeiras.

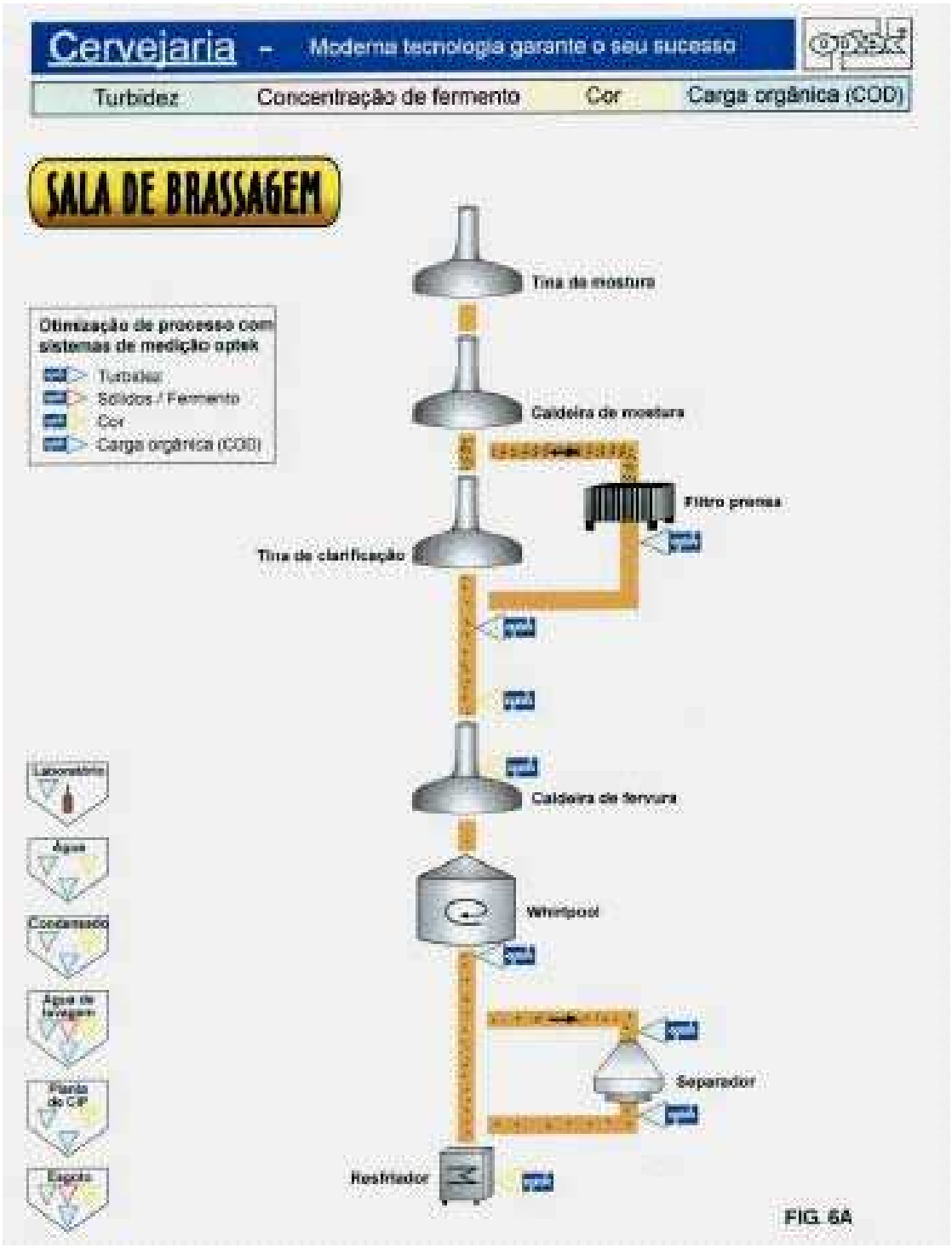


Figura nº 4 – Lay-Out do Processo de Produção de Mosto.

Figura nº 5 – Lay-out do Processo de Estocagem de Fermento.

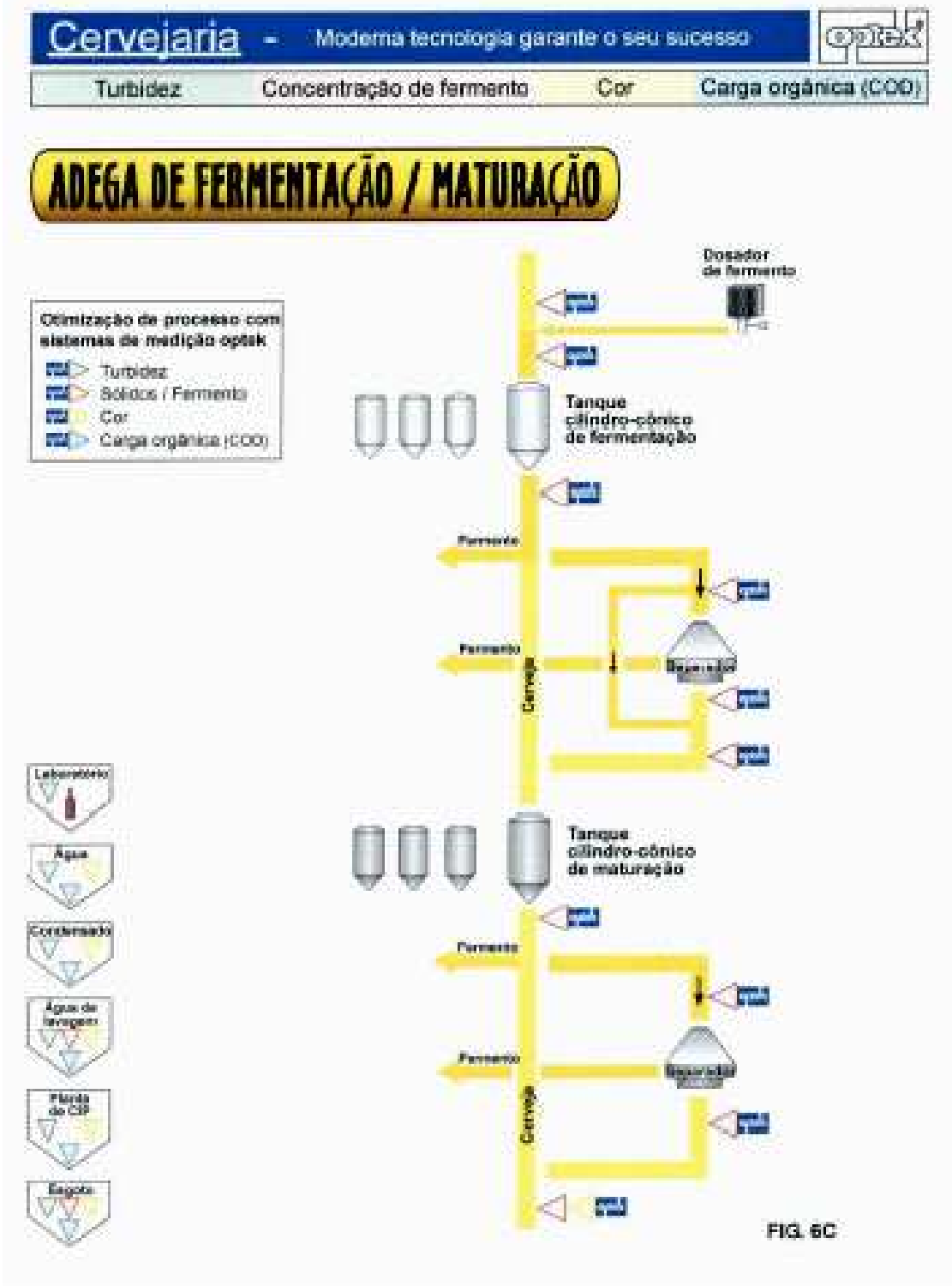


Figura nº 6 – Lay-out do Processo de Fermentação e Maturação.

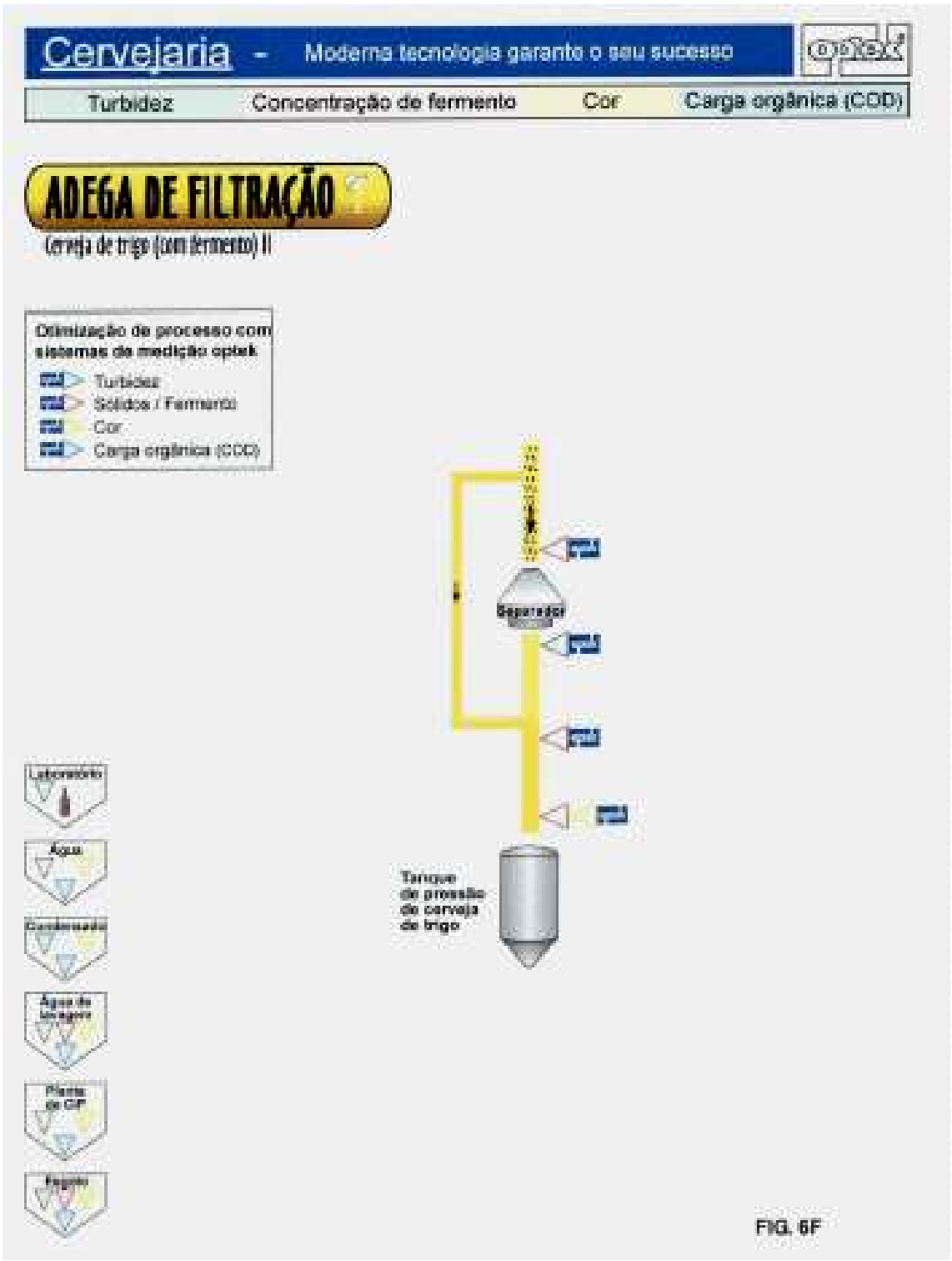


Figura nº 7 – Lay-out do Processo de Filtração.

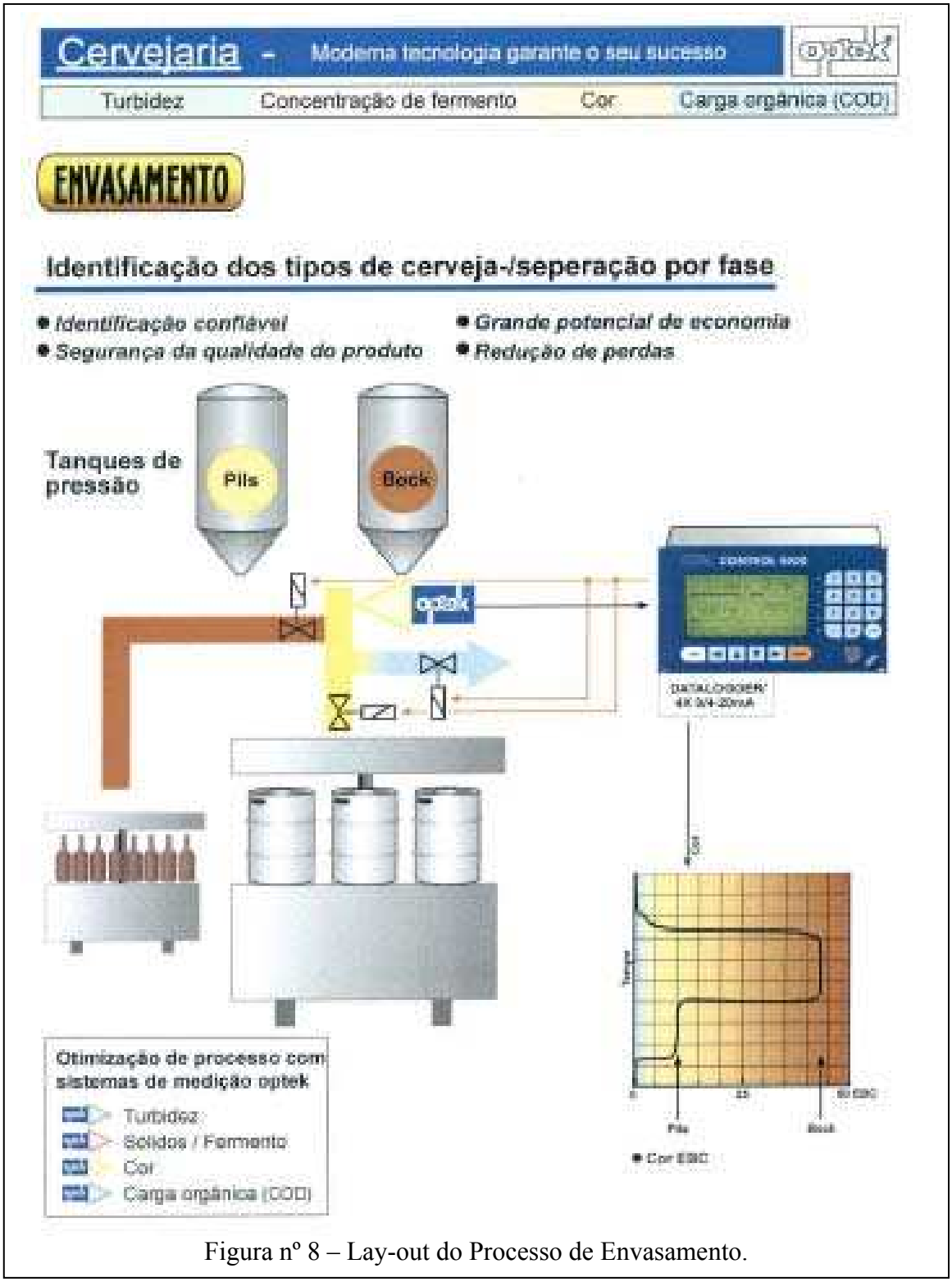


Figura nº 8 – Lay-out do Processo de Envasamento.

## III. 1) A Organização ISA:

A ISA, *The Instrumentation, System and Automation Society*, é uma organização internacional com cerca de 38.000 associados, em dezenas de países, que atua na área industrial com sistemas de automação, instrumentação e eletrônica. Devido as suas iniciativas de fomento à pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias, a ISA, adquiriu, ao longo dos anos, tamanha relevância que, atualmente, é referência mundial para tecnologias relacionadas à área industrial. Regularmente, dentro do âmbito da ISA, comitês técnicos são criados para a elaboração de normas técnicas que são submetidas à aprovação da comunidade técnica. Uma vez aprovada, uma norma técnica auxilia as empresas na padronização de procedimentos e termos, permitindo que todos se beneficiem e que ocorra o desenvolvimento tecnológico do setor [9].

O Departamento ISA de Normas e Práticas está atento à necessidade crescente de atender ao sistema métrico de unidades em geral, e ao Sistema Internacional de Unidades (SI) em particular, na preparação de normas de instrumentação, práticas recomendadas, e notas técnicas. O Departamento está ainda atento aos benefícios aos usuários americanos das normas ISA, ao incorporarem referências adequadas ao SI (e ao sistema métrico) em seus negócios e atividades profissionais com outros países. Para esta finalidade, este Departamento se empenha em introduzir unidades métricas compatíveis com o SI em todas as normas e suas revisões, na maior extensão possível. O "Guia de Práticas Métricas", que foi publicado pelo Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos como ANSI/IEEE Std. 268-1992, e futuras revisões, será o guia de referência para definições, símbolos, abreviaturas e fatores de conversão.

Esta é a política da ISA, encorajar e acolher a participação de todas as pessoas relacionadas e interessadas no desenvolvimento de padrões ISA, práticas recomendadas e notas técnicas [10].

## III. 3) Desenvolvimento da Norma ANSI/ISA S88:

O primeiro esforço bem sucedido no sentido de se obter uma padronização para o gerenciamento de bateladas partiu da NAMUR (Normenarbeitsgemeinshaft für Mess- und Regelungstecknick in der Chemischen Industrie) [20], uma associação alemã

voltada para o desenvolvimento de normas e recomendações a serem usadas em medição e controle de processos para a indústria química. Em maio de 1992 foi publicada a recomendação NE 33 [1], onde são definidos os requisitos a serem atendidos por sistemas para controle de operações baseadas em receitas. Esta recomendação aborda principalmente aspectos conceituais e estruturais do gerenciamento de bateladas [21], não entrando em detalhes de implementação. Seu grande mérito foi estabelecer conceitos claros e uma nomenclatura padronizada, que ganharam rápida aceitação em toda a Europa. Diversos produtos foram desenvolvidos com base nos conceitos definidos pela NAMUR NE 33 (1992) [22]. Um dos principais conceitos definidos na NE 33 é a divisão do problema em três partes distintas, a saber:

a) Definição das instalações, onde são especificados todos os equipamentos disponíveis em cada fábrica ou célula de processo, sua funcionalidade e suas inter-relações;

b) Definição dos procedimentos ou receitas, inclusive com os requisitos funcionais básicos, mas de forma independente das instalações onde a batelada será executada;

c) Associação entre instalações e procedimentos, que levará em conta a funcionalidade dos equipamentos disponíveis e os requisitos definidos nos procedimentos, permitindo a definição detalhada da receita a ser executada em uma determinada instalação.

Para o desenvolvimento da norma de controle de batelada, foi criado um comitê técnico, no final da década de 80, composto de membros de empresas usuárias e fornecedores de sistemas de automação e instrumentação conhecida como SP88 [23].

O comitê SP88 emitiu a norma em diferentes partes ao longo das suas atividades e que são formalmente conhecidas como:

- ANSI/ISA-88.01-1995 – *Batch Control Part 1: Models and Terminology* ;
- ANSI/ISA-88.00.02-2001 – *Batch Control Part 2: Data Structures and Guidelines for Languages* ;
- ANSI/ISA-88.00.03-2003 – *Batch Control Part 3: General and Site Recipe Models and Representation*.

Um outro documento, denominado ISA-TR88.0.03-1996 – *Possible Recipe Procedure Presentation Formats* faz parte dos documentos emitidos pelo SP88. Porém,

neste caso, trata-se de um relatório técnico com objetivo de ilustrar com exemplos a aplicação da parte 1 da norma.

A S88 parte 1, ou simplesmente, S88.01, aborda os dois focos principais da norma como um todo:

· Modelo – apresenta proposta de um modelo universal, a ser adotado tanto por usuários como fornecedores;

· Terminologia – padroniza os conceitos e termos técnicos a serem utilizados na comunicação entre usuários e fornecedores evitando-se erros de interpretação.

É enfatizado que a norma não tem como objetivo sugerir que exista um método único para implementar o controle de batelada e nem que os usuários devam abandonar seus métodos próprios anteriormente desenvolvidos. [11]

A S88.02 define modelos de dados (*data models*) como um conjunto de objetos, atributos e seus relacionamentos que possibilitem o desenvolvimento de interfaces de componentes de software baseado no UML, *Unified Modeling Language* [12]. UML é um método de modelagem de Análise Orientada a Objeto, amplamente utilizado na Engenharia de Software [13]. Além do mais, são descritas tabelas relacionais (*relational tables*), que podem ser utilizadas para a troca de informações entre diferentes sistemas, e, finalmente, são definidas regras e símbolos para uma linguagem gráfica que pode ser utilizada para descrever receitas [12].

A S88.03 define informações adicionais para as receitas *General* e *Site*, anteriormente definidas na S88.01. Menciona as atividades que descrevem o uso destas receitas dentro e fora do âmbito da empresa e o modelo de dados destas receitas.

### III. 4) A Estrutura da Norma ANSI/ISA S88.01:

A norma ISA está estruturada para seguir as orientações da IEC. Portanto, as primeiras três seções discutem o Escopo da norma, Referências Normativas e Definições. Nas demais, 4, 5 e 6, respectivamente, são discutidos Processo em Batelada e Equipamentos, Conceitos de Controle de Bateladas e Atividades e Funções de Controle de Bateladas.

### III. 4.1) O Escopo:

Esta parte da norma sobre Controle de Bateladas define modelos de referência, conforme utilizados nas indústrias de processo, e a terminologia que auxilia a explicar

as relações entre estes modelos e termos. Esta norma pode não se adequar a todas as aplicações de controle de bateladas.

III. 4.2) Referências Normativas:

Os seguintes documentos normativos contêm provisões, que através das referências neste texto, constituem provisões desta parte da norma. Quando da elaboração deste trabalho, as edições indicadas eram válidas. Todos os documentos normativos são sujeitos a revisão e grupos interessados em estabelecer acordos baseados nesta parte da norma são encorajados a investigar sobre a possibilidade de aplicar as versões mais recentes dos documentos normativos indicados abaixo. Membros do IEC e da ISO mantêm registros dos documentos normativos correntemente válidos.

IEC 848: 1988 – Preparações de cartas de função para sistemas de controle. (Estruturas definidas na IEC 848 podem ser úteis na definição de controle por procedimentos e, em particular, na definição de uma fase).

IEC 902: 1987 – Medição e controle de processos industriais – Termos e definições. (Definições encontradas na IEC 902 foram utilizadas como base para definições nesta norma. Onde necessário, a conotação específica de termos utilizados em controle de bateladas foram incluídas como definições nesta norma).

III. 4.3) Definições:

Para os propósitos da primeira parte desta norma internacional, aplicam-se as seguintes definições encontradas no *anexo B*.

III. 5) A Norma ANSI/ISA S88.01:

Baseado no sucesso obtido pela NAMUR com sua recomendação NE 33, a ISA (International Society for Measurement and Control) decidiu complementar este esforço de padronização, através de seu Departamento de Normas e Práticas, formando o comitê S88. Seu objetivo é criar uma norma internacional (a ser adotada pela IEC) que defina os modelos funcionais, terminologias, estruturas de dados e linguagens de programação a serem utilizados em processos em batelada, independentemente de sua complexidade, porte ou grau de automação. A recomendação NE 33 serviu como ponto de partida para a elaboração da Norma S88.

A ISA S-88 é equivalente à IEC 6151 e, juntas, as duas são as normas mais divulgadas para controle de manufatura do mundo, definindo modelos e terminologia,

enfatizando as boas práticas. Mas é bom não esquecer que a base para elas está num trabalho realizado pela Universidade de Purdue (USA, 1984) e na recomendação NAMUR NE 33 (1992) [24]. Essas normas têm em sua origem uma forte influência da tecnologia de informação, como na orientação a objetos. E não por acaso, durante as discussões para elaboração da S-88, criou-se um subgrupo para normatizar a parte de TI, que resultou na ISA S-95.

A primeira parte da Norma S88 (ANSI/ISA-S88. 01), define modelos e a terminologia a serem empregados no controle e gerenciamento de bateladas. A segunda parte da Norma S88 (ANSI/ISA-S88.02), deverá cobrir as estruturas de dados e linguagens de programação. Enquanto que a terceira parte (ANSI/ISA-S88.03), abrangerá representação e receita. Até 2006 devem ser divulgadas orientações a respeito de embalagem e endereçamento de produção.

O principal conceito da S88.01 é a separação entre os equipamentos de processo (parte física) e as operações (procedimentos) que descrevem como produzir o produto final num processo em batelada. Esta separação permite que o mesmo equipamento seja usado de diferentes maneiras para produzir vários produtos, ou realizar diferentes operações no mesmo produto. Desta separação surgem, então, dois modelos: o Físico e o Procedural, conforme definidos nos itens III.5.1 e III.5.2 :

III.5.1) Modelo Físico:

É o modelo hierárquico que descreve a estruturação dos equipamentos físicos de processo. O modelo tem sete níveis:

- *Enterprise* : é uma organização que coordena as operações em um ou mais *Sites* e é responsável pela determinação de quais produtos serão produzidos, em quais *Sites* e em quais *Process Cell* ;
- *Site* : é um componente da *Enterprise* e é identificado por uma segmentação física, geográfica ou lógica desta última. Um *Site* pode conter A*reas*, *Process Cells*, *Units*, *Equipment Modules* e *Control Modules* ;
- *Área:* é um componente do *Site* e é identificado por uma segmentação física, geográfica ou lógica desta última. Uma *Area* pode conter *Process Cells*, *Units*, *Equipment Modules* e *Control Modules*;

Estes três primeiros níveis são utilizados, com freqüência, para outros fins, tais como modelos de negócio, e não são utilizados na S88.01, como comentado no texto da norma [11].

Já os quatro níveis seguintes, conforme mostrado na figura nº. 9, são utilizados na primeira parte da norma S88.

- *Process Cell* : contém todas as *Units*, *Equipment Modules* e *Control Modules* necessários para produzir o produto final através de uma ou mais bateladas;
- *Unit* : é um agrupamento de *Equipment Modules* e *Control Modules,* nos quais uma ou mais operações de processo são executadas em uma batelada ou parte de uma batelada. A regra básica de uma *Unit* é que esta só pode operar uma batelada por vez;
- *Equipment Module* : é um grupo funcional de *Control Modules* e/ou outros *Equipment Modules* que podem executar um número finito de atividades de produção;
- *Control Module* : o nível mais baixo da hierarquia do modelo físico. É tipicamente representado por sensores, atuadores e outros módulos de controle.

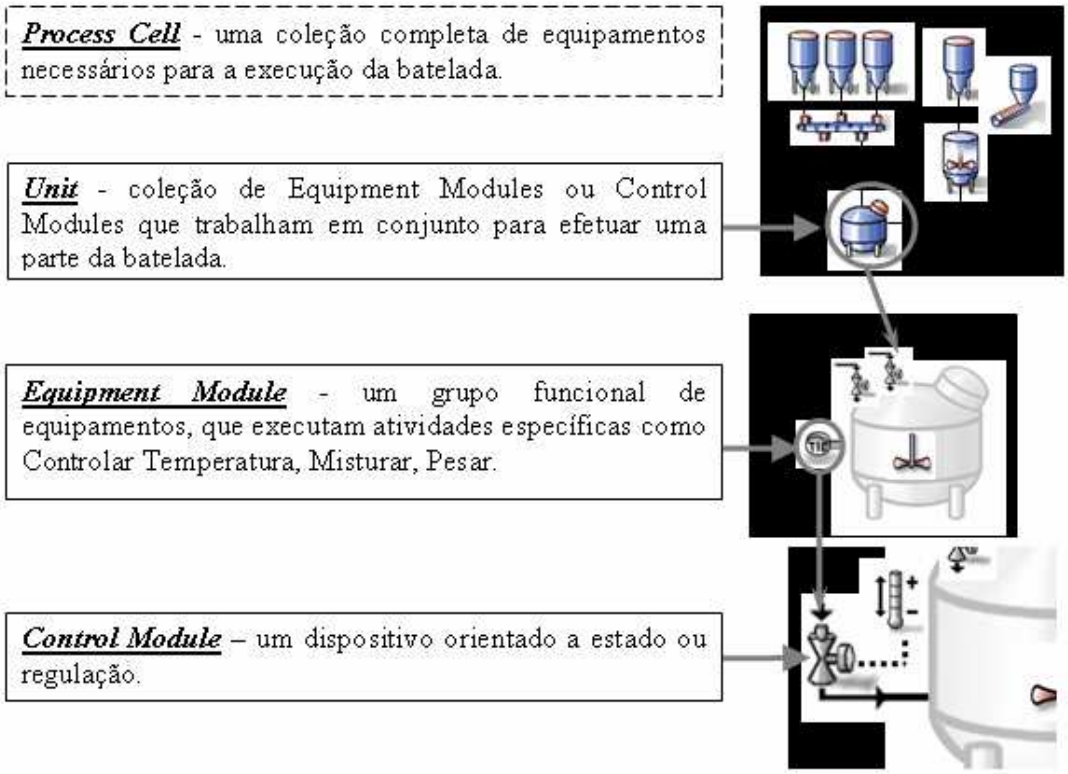


Figura nº. 9 – Apresentação do Modelo Físico – 1º parte da norma.

III.5.2) Modelo Procedural:

É o modelo hierárquico que descreve as ações que devem ser realizadas em uma seqüência ordenada para execução da batelada. O modelo tem os seguintes níveis:

- *Procedure:* é o nível mais alto da hierarquia e define a estratégia para execução da batelada. É composto de *Unit Procedures* . Exemplo de uma *Procedure* é "Produzir uma Cerveja tipo pilsen";
- *Unit Procedure*: define uma seqüência ordenada de Operations que irão executar atividades e funções dentro de uma Unit (modelo Físico). Exemplos de *Unit Procedure* são: "Produção do mosto pilsen (Mosturação)", "Clarificação do mosto pilsen", "Fervura do mosto pilsen";
- *Operation* : define uma seqüência ordenada de *Phases* que processam o material de um estado para outro, na maior parte das vezes, envolvendo mudanças químicas ou físicas. Exemplos de *Operations*: "Mosturação: encher tina de mosturação com 200L de água a 44ºC", "Carga: adicionar malte pilsen moído", "Reação: adicionar 55ml de ácido láctico 88% e 25g de cloreto de cálcio, repousar por 15 min";
- *Phase* : é o menor elemento do modelo procedural que provoca ações no processo, tais como: "Adicionar enzima Termamyl 120L, type L", "Adicionar enzima Cereflo 200L", "Aquecer".

Para compreender o relacionamento entre estes dois modelos, é necessário primeiro conhecer como a S88.01 define RECEITAS.

III.5.3) Receitas:

Quanto às receitas, a norma define quatro tipos básicos: *General, Site, Master e Control Recipe.* À medida que vamos descendo da *General* para a *Control Recipe*, informações mais especificas vão sendo agregadas. Qualquer que seja o tipo de receita, ela sempre deve conter um *Header* (informação administrativa como número de versão, autor, data, etc), uma *Formula* (entradas, parâmetros e saídas do processo), *Equipments Requirements* (lista de equipamentos necessários para a execução) e *Recipe Procedure* (definição do procedimento a ser seguido na execução da receita). Os produtos disponíveis no mercado gerenciam, normalmente, as *Master* e *Control Recipes.* A norma define, ainda, diversos aspectos ligados à programação das bateladas, alocação e arbitragem no uso de equipamentos, modos e estados de operação, relatórios, etc.

Essencialmente, uma receita define uma maneira para descrever produtos e como eles são processados. Existem os seguintes tipos de receitas:

- *General Recipe* : é utilizada no nível *Enterprise* e é a base para todas as demais receitas nos níveis inferiores. Define matéria prima e suas quantidades, bem como o processamento necessário para a elaboração do produto final. Porém, não contém informação a respeito de qual *Site* particular é o mais adequado nem quais equipamentos são necessários para o processamento;
- *Site Recipe* : é derivado do *General Recipe* e leva em conta as condições do *Site*. Exemplos: a) a matéria prima pode ter diferentes qualidades em diferentes países, onde estão localizados os *Sites*, b) a *General Recipe* pode ser modificada levando em conta a língua e padrões de medida locais;
- *Master Recipe* : define exatamente como o produto será processado e em qual *Process Cell*. É derivado do *Site Recipe* e leva em conta os requisitos de equipamentos dentro de uma *Process Cell.* Sem a *Master Recipe*, a receita do nível inferior, a *Control Recipe* não pode ser criada e nenhuma batelada pode ser produzida;
- *Control Recipe* : a cada momento que uma batelada é executada, uma cópia da *Master Recipe* é atribuída a esta determinada batelada e é chamada de *Control Recipe*. Existe apenas uma *Control Recipe* por batelada que, no início, é exatamente igual à *Master Recipe*, porém, pode ser modificada antes de ser executada.

Todas as receitas são compostas de 5 elementos: *Header, Formula, Equipment Requirements* e *Procedures.* Desta forma, receitas fazem uso de *Procedures*, ou seja, utilizam o Modelo Procedural. O relacionamento entre o Modelo Físico e o Modelo Procedural é realizado no nível das *Phases* [15]. A *Phase* define o que uma receita pode fazer com uma *Unit*, ou seja, quais as ações que podem ser executadas nos equipamentos, tais como, adição de material, transferência de produtos, aquecimento, resfriamento, pressurização de um vaso, etc. Enquanto uma receita reside, tipicamente, num software executado num microcomputador, uma *Phase* é implementada através de um equipamento de automação, como por exemplo, um CLP.

Desta forma, se antigamente alterar um programa de controle de batelada em um CLP era uma tarefa complexa, na nova proposta da S88.01 esta tarefa é substancialmente reduzida. O software de controle foi separado em duas partes: uma

parte, referente às receitas, é implementada através de um software executado num microcomputador e a outra parte fica ao encargo do CLP, de controlar as *Phases* [8]. Alterar as receitas torna-se uma tarefa mais amigável e flexível sem necessitar de um especialista em programação de CLP.

### III.5.4) Diagramas de Gantt:

Os Diagramas de Gantt são aplicados para visualizar uma melhor solução para o agendamento da produção. Se não há uma demanda prioritária, a alternativa escolhida é a que apresenta o menor tempo de fabricação (*makespan*), otimizando a produção e proporcionando maior lucratividade [14].

### III.5.5) Políticas de Transferência:

São políticas aplicadas à transferência do material entre os equipamentos durante o processo de produção. Encontramos as seguintes políticas de transferência:

- *Zero-Wait (ZW):* é comumente usada quando não existe nenhum vaso reservatório intermediário para o subproduto ou quando ele não pode ser armazenado, como quando está ocorrendo uma reação, por exemplo. É a política mais restrita.
- *Unlimiteted Intermediate Storage (UIS):* Política de Armazenamento Intermediário Ilimitado, na qual é assumido que a batelada pode ser armazenada sem nenhum limite de capacidade em um vaso reservatório.
- *No-Intermediated Storage (NIS):* não existe vaso reservatório intermediário para o subproduto, que pode ser armazenado no próprio equipamento em que foi realizada a batelada.

Geralmente, a política de *ZW* propicia um maior tempo de *makespan*, já que a transferência de equipamentos deve ser direta, e a freqüência de tempos ociosos é maior. Com a *NIS*, esses tempos ociosos podem ser reduzidos, já que não é necessária a transferência imediata do subproduto entre os equipamentos. A *UIS* geralmente apresenta o menor tempo de *makespan*, pois não necessita de transferência imediata e direta entre os equipamentos, disponibilizando-os mais rapidamente que as outras políticas.

III.5.6) Grafcet:

O *Grafcet* é a sigla de *Grafo De Comando Etapa-Transição*. É uma técnica desenvolvida para facilitar e uniformizar o tratamento de projetos, execução, manutenção e exploração de automatismos seqüenciais, substituindo variadas formas de explicitar a organização de um automatismo por uma linguagem acessível e compreensível a todos. O *Grafcet* é uma representação gráfica de um sistema automatizado, associado ao Modelo *Procedural*. É formado por uma simbologia que interliga etapas e transições através de arcos orientados; por uma interpretação das variáveis de entrada e saída da parte de comando (receptividades e ações); e por regras de evolução que definem formalmente o comportamento dinâmico dos elementos comandos.

A sua filosofia consiste em partir da explanação do automatismo a conceber e decompô-la em etapas e transições.

Nesse projeto, podemos citar alguns itens que farão uso da técnica do *Grafcet*:

- Controle de Nível do Tanque de Água Quente
- Transições do Controle de Nível do TQ de Água Quente
- Controle de Nível do Tanque de Água Fria
- Transições do Controle de Nível do Tanque de Água Fria
- Fornecimento de Água
- Transições do Fornecimento de Água
- Tina de Adjuntos
- Transições da Tina de Adjuntos
- Tina de Mostura
- Transições da Tina de Mostura
- Transferência de Mostura Para Tina de Clarificação
- Transições da Transferência de Mostura Para Tina de Clarificação
- Preparação Para Clarificação
- Partida da Clarificação
- Transições da Clarificação
- Cozimento/Whirlpool
- Transições do Cozimento/Whirlpool
- Resfriamento e Transferência de Mosto Pronto

- Transições do Resfriamento/Tranferência de Mosto
- Cip Etapas  Zero
- Cip Transições da Etapa Zero
- Cip Etapas de Um a Quatro

III.5.6.1) Etapas:

A etapa é um estado em que o comportamento do circuito não se altera frente a suas entradas e saídas. Nas etapas são realizadas as ações. Em cada instante, numa dada seqüência só uma etapa está ativa. Elas são representadas por retângulos numerados, de acordo com a ordem das ações.

III.5.6.2) Transição:

A transição é uma seqüência de acontecimentos necessários para a evolução de uma etapa para outra. Para haver essa transição, é necessária a verificação de uma ou mais condições de transição. Ela é representada por um traço perpendicular aos arcos orientados.

III.5.6.3) Arcos Orientados:

Sua função é colocar em seqüência o *Grafcet*, interligando etapas e transições. O sentido comum de leitura é de cima para baixo, embora outros possam ser empregados.

III.5.6.4) Ação:

É o efeito obtido pelo mecanismo em determinada etapa ("o que deve ser feito"). Pode representar também uma ordem de comando ("como deve ser feito"). Ela é representada no interior de retângulos associados a uma etapa.

III.5.6.5) Receptividade:

É a função lógica de cada transição. Ela ocasiona a ocorrência de uma transição válida quando em estado lógico verdadeiro. Pode ser vista como um elo de ligação entre a lógica combinacional e a lógica seqüencial.

Uma receptividade pode representar variáveis lógicas, vindas de sinais de entrada do sistema, das variáveis internas de controle, de temporizadores, etc.

A aparência de complexidade do *Grafcet* é substituída pela simplicidade da sua leitura, assim como da sua implementação tecnológica. Existem aparelhos especialmente construídos com relés adaptados a esta técnica: os módulos de etapas que se agrupam em seqüenciadores. Também os autômatos programáveis têm um conjunto de instruções com a mesma finalidade.

## Capítulo IV - A Implementação da NORMA ANSI/ISA S88:

Este capítulo apresenta um estudo de caso de uma produção de cervejas na Planta Piloto de Cervejaria do CETEC com a utilização de diagramas de Gantt, com o intuito de fornecer uma maneira para aumentar a eficiência do modelo mostrado, aplicação do Modelo Físico e do Modelo *Procedural* na indústria cervejeira, com a utilização de *Grafcet* para controle do processo.

Como este trabalho trata, fundamentalmente, da análise e implementação da norma no gerenciamento e controle de processo em batelada, para se compreender as dificuldades envolvidas é necessário difinir, inicialmente, o que caracteriza este tipo de processo, e como ele se diferencia dos processos contínuos e discretos.

Os processos em batelada são definidos como sequências de um ou mais passos (fases) que devem ser executados em uma determinada ordem para se obter, ao seu término, uma quantidade finita de produto acabado. Para se obter mais produto, toda a sequência deve ser repetida.

Esta caracteristica diferencia os processos em batelada, ou *batch*, dos processos contínuos e discretos. Nos processos contínuos, os equipamentos operam, idealmente, em uma única condição de regime permanente, executando uma função dedicada. Os materiais passam pelos equipamentos de processo num fluxo contínuo, gerando uma quantidade de produto acabado que é, em última instância, definida pelo tempo de produção. Já nos processos discretos, quantidades especificas de produto (lotes) são transferidos de um posto de trabalho para outro, onde são realizadas, para cada peça do lote, operações específicas, em uma dada sequência.

### IV.1) A Implementação da Norma S88.01:

A Norma descreve os modelos padronizados e as terminologias para definir os requisitos de controle para plantas de manufatura com processos em bateladas. Os modelos e terminologias definidos na norma enfatizam as boas práticas para o projeto e a operação de plantas de manufatura, podendo ser usados para aperfeiçoar o controle independentemente do grau de automação. As operações de batelada sempre tiveram um pouco de tudo: controle discreto, processo contínuo, muitos ingredientes e significativa intervenção do operador. Mesmo assim, a batelada sempre foi tratada como um filho

esquecido porque, se os processos discretos se utilizaram rapidamente dos PLCs e os processos contínuos tinham os DCSs, a batelada sempre teve que adaptar uma ou outra tecnologia. Com a S-88, as bateladas vão se beneficiando cada vez mais de ferramentas e normas feitas sob medida.

Do ponto de vista do controle propriamente dito, a norma estabelece três tipos de controle:

- Controle básico, cujo objetivo é estabelecer e manter um determinado estado para o equipamento e o processo. Inclui o controle regulatório, intertravamentos, controle seqüencial, tratamento de exceções, etc.
- Controle *procedural*, responsável por fazer com que ações específicas em cada equipamento aconteçam na seqüência correta, para se obter o resultado desejado. É um tipo de controle específico dos processos em batelada, e foi organizado, na norma, segundo uma estrutura hierárquica de quatro níveis: *Procedure, Unit Procedure, Operation e Phase.;*
- Controle de Coordenação, responsável por dirigir, iniciar e/ou modificar a execução do controle procedural e pela utilização dos equipamentos. Suas funções típicas são supervisão da disponibilidade de equipamentos, alocação e arbitragem dos equipamentos, seleção dos procedimentos a serem executados, etc.

## IV.2) O Processo de Batelada:

Segundo a S-88, batelada é um processo [23] que conduz à produção de quantidades determinadas através de inputs de materiais ordenados e trabalhados por um determinado período de tempo, usando um ou mais equipamentos. Produção em ordem, uma vez que o processo é repetitivo, vai-se gastar tempo para reduzir custos, tratar do meio ambiente... Mas no processo de bateladas o processo em si precisa estar sempre em observação, porque novas receitas sempre aparecem e, dessa forma, como determinar se uma batelada está sendo feita corretamente, enquanto é feita? Desta maneira, o objetivo é garantir que a batelada seja bem feita de primeira e por isso o controle do processo na batelada é tão importante. A norma S-88 está se tornando um sucesso porque não existem modelos universais de controle para batelada e a configuração dos sistemas é sempre difícil – para usuários e engenheiros.

Os processos em batelada focalizados nesta norma são inerentes à produção de quantidades finitas de produtos, em função de quantidades de materiais de entrada em uma dada ordem e execução de ações definidas de processamento, utilizando-se uma ou mais unidades de equipamentos [25].

Um processo em batelada pode ser organizado através de uma hierarquia, conforme mostrado na figura nº. 10.

MODELO DE PROCESSO

Figura nº. 10 – Organização Hierárquica do Processo em Batelada.

Podemos melhor compreender o diagrama de manufatura conforme mostrado na figura nº. 10, por meio das seguintes definições:

- O Processo – É a seqüência de atividades repetitivas, caracterizada por terem insumos (*input*) mensuráveis, atividades que agregam valor e saídas (*output*) mensuráveis. É a organização de pessoas, que podem utilizar como recursos, procedimentos, equipamentos, informações, energias e materiais, em atividades e decisões de trabalho logicamente inter-relacionadas, que agregam valor para o

cliente, com o intuito de atingir os objetivos do negócio. É importante conhecermos o processo de forma definida, para que possamos entender sua situação atual, identificar os participantes, identificar as interfaces, garantir um entendimento comum do conjunto das atividades que compõe o processo, estabelecer as bases para avaliar o caminho e o resultado da transformação e identificar as oportunidades para melhoria imediata [16].

- Os Estágios de Processo - Um processo é constituído de um ou mais estágios formando um conjunto ordenado, que pode funcionar em série, paralelo ou híbrido. O estágio de um processo funciona independentemente dos demais estágios componentes do processo.
- As Operações do Processo - Cada estágio de um processo é formado por um ou mais conjuntos de operações, que representam as maiores atividades de processo. Estas operações normalmente resultam em trocas físicas ou químicas no material que está sendo processado.
- As Ações do Processo - Cada operação do processo é formada por um conjunto ordenado de uma ou mais ações, que executam os processamentos requeridos de acordo com a operação envolvida. As ações descrevem as menores atividades de processamento que combinadas se constituem numa operação de processo.

## IV.3) O Modelo Físico:

Este modelo descreve a estruturação dos equipamentos físicos do processo de uma empresa, do ponto de vista da própria empresa, locais, áreas, células de processo, unidades, módulos de equipamentos e módulos de controle. Esta estrutura é organizada de maneira hierárquica conforme mostrado na figura nº. 11.

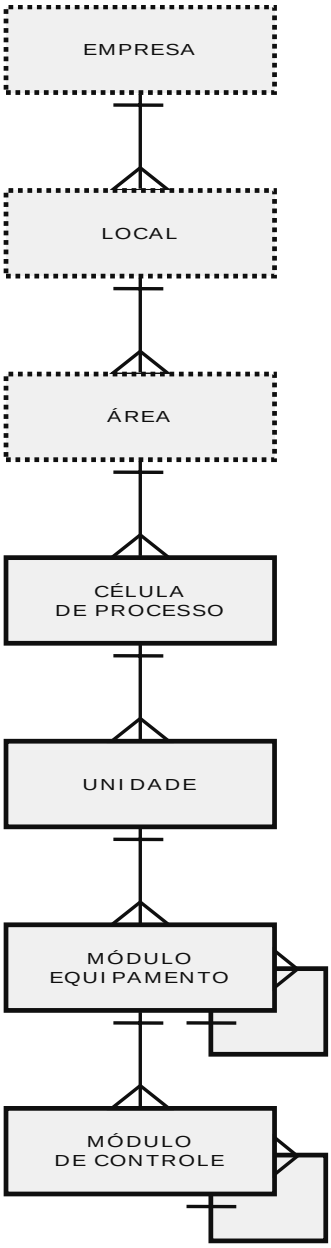


Figura nº. 11 – Organização Hierárquica do Modelo Físico.

O modelo possui sete níveis, começando do topo com uma empresa, uma região e uma área. Os outros quatro níveis mais baixos (células de processo, unidades, módulos de equipamento e módulos de controle), referem-se especificamente aos tipos de equipamentos.

Um tipo de equipamento é constituído por um conjunto de processamentos físicos e equipamentos de controle agrupados para uma finalidade definida.

Estes níveis são definidos por atividades de engenharia.

Os níveis apresentados no modelo físico são definidos como:

- Nível empresa – uma empresa é responsável na determinação de quais produtos serão fabricados, em quais locais e como serão fabricados;
- Nível local – um local é um grupamento físico, geográfico ou lógico determinado pela empresa. Os limites de um local estão baseados em critérios organizacionais ou comerciais;
- Nível área – uma área é um grupamento físico, geográfico ou lógico determinado pelo local. Os limites de um local estão baseados em critérios organizacionais ou comerciais;
- Nível de célula de processo – contém todas as unidades, módulos de equipamento e módulos de controle requeridos para fazer uma ou mais bateladas;
- Nível unidade – uma unidade é constituída por módulos equipamento e módulos de controle. Uma unidade freqüentemente opera a partir de algum ponto na seqüência do processamento desta batelada;
- Nível módulo equipamento – um módulo equipamento pode ser parte de uma unidade ou um equipamento isolado agrupado em uma célula de processo. O escopo do módulo equipamento é definido por algumas tarefas a serem executadas;
- Nível módulo de controle – é constituído por um grupo de sensores, atuadores, outros módulos de controle e associado ao equipamento de processamento.

IV.4) O Modelo *Procedural*:

O controle *procedural* direciona as ações a serem executadas nos equipamentos, numa dada seqüência, para a execução de uma determinada tarefa do processo. Esta estrutura é organizada de maneira hierárquica conforme mostrado na figura nº. 12.

MODELO PROCEDURAL

Figura nº. 12 – Organização Hierárquica do Modelo Procedural.

Os níveis apresentados no modelo *procedural* são definidos como:

- Procedimento – é o mais alto nível da hierarquia, e define a estratégia a ser adotada para a execução das principais ações de processamento;
- Procedimento de unidade – consiste de um conjunto de operações ordenadas numa seqüência de produção contínua a ser executada numa unidade;
- Operação – é um conjunto ordenado de fases que define as seqüências principais de processamento para obter o material que está sendo processado de um estado para outro, normalmente envolvendo uma troca física ou química;
- Fase – é o menor elemento do controle contido em uma tarefa orientada a processo. Uma fase pode estar dividida em pequenas partes.

IV.5) A Conexão entre os Modelos:

A figura nº.13 apresenta o relacionamento geral entre os modelos definidos pela Norma. Nela observamos o mapeamento do controle *procedural* com equipamentos individuais, fornecendo a funcionalidade de processamento descrita no modelo de processo.

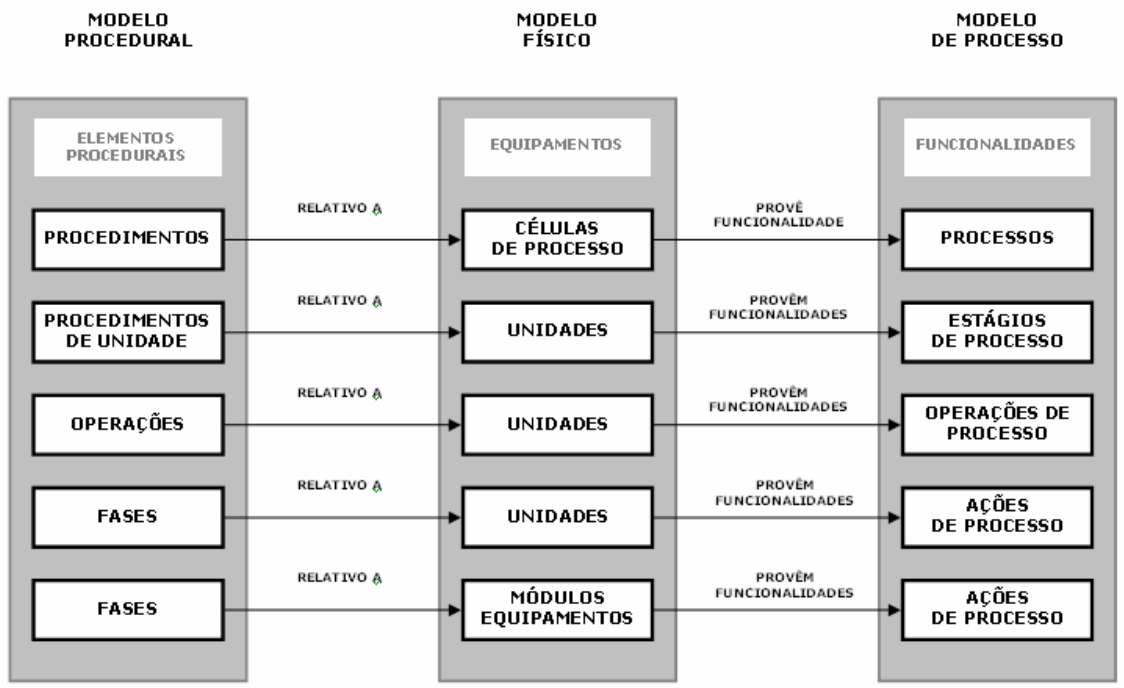

Figura nº. 13 – Diagrama de Conexão entre os Modelos.

IV.6) O Controle de Equipamentos:

Apresentamos a seguir os conceitos envolvendo o controle individual de equipamentos:

IV.6.1) As células de processo:

São as entidades que englobam todo o processamento de uma determinada batelada. Na realização de suas atividades recebem as receitas com os respectivos procedimentos operacionais, parâmetros e a programação de cada batelada (ex: sala de brassagem em uma cervejaria).

IV.6.1.2) O controle nas células de processo:

Este controle define os limites operacionais nas unidades.

IV.6.1.3) O controle procedural nas células:

É o responsável pela execução de inicialização e procedimentos de uma unidade individual.

IV.6.1.4) O controle de coordenação nas células:

É o responsável pela coordenação de execução de vários procedimentos, tais como: alternativas no caminho do movimento das bateladas, arbitração de recursos compartilhados e reservas de recursos com antecipação.

IV.6.2) A unidade:

É a responsável pela coordenação das funções dos módulos de equipamento e módulos de controle (ex: tanque de mostura de uma cervejaria).

IV.6.2.1) O controle nas unidades:

Exerce um controle regulatório e discreto nos módulos de equipamentos e módulos de controle.

IV.6.2.2) O controle *procedural* nas unidades:

Inclui e executa fases de equipamentos, operações em equipamento, procedimentos de unidades e operações de receita.

IV.6.2.3) Controle de coordenação nas unidades:

Esta coordenação inclui algoritmos de gerenciamento de unidades, disponibilização de recursos, arbitração de solicitações de serviços de outras unidades ou células de processo, obtenção de serviços oriundos de recursos fora da unidade e comunicação com equipamentos situados fora dos limites da unidade.

IV.7.3) Módulo equipamento:

A função principal desta entidade é a coordenação de outros módulos de equipamento e parte das funções de módulos de controle (ex: agitador de um tanque).

IV.7.3.1) O controle nos módulos de equipamento:

É geralmente executado por controle regulatório e controle discreto em módulos de controle num módulo equipamento.

IV.7.3.2) O controle *procedural* em módulos de equipamento:

Executa fases de equipamento (ex: aquecer o mosto no cozinhador).

IV.7.3.3) O controle de coordenação em módulos de equipamento:

Executa a coordenação de seus componentes, podendo incluir algoritmos para modos de propagação e para arbitração de solicitações de unidades.

IV.7.3.4) O módulo de controle:

O controle de equipamento normalmente neste nível manipula diretamente atuadores e módulos de controle

IV.7.3.5) O controle em módulos de controle:

Esta função contempla de uma maneira geral, um controle regulatório ou orientado ao estado, podendo também incluir lógica condicional.

IV.7.3.6) O controle *procedural* em módulos de controle:

Não executa controle *procedural*.

IV.7.3.7) O controle de coordenação em módulos de controle:

O controle de coordenação pode incluir algoritmos para modos de propagação e arbitração de solicitações de unidades.

IV.7.4) A estruturação das entidades equipamentos:

A divisão de uma célula de processo em entidades de equipamento determina atividades de processamento específicas ou ações específicas de equipamentos. Esta divisão considera a unidade, o módulo equipamento e o módulo de controle.

IV.7.4.1) A estruturação das células de processo:

A divisão de uma célula de processo obedece aos seguintes princípios:

- A função desempenhada por qualquer entidade equipamento utilizada no processamento do produto deve ser bem clara e única;
- A função desempenhada por uma entidade equipamento deve ser consistente no que se refere à tarefa de processamento;

- Entidades de equipamento subordinadas devem ser capazes de executar suas tarefas independentemente e assincronamente;
- Interações entre entidades equipamento devem ser minimizadas;
- Os limites de atuação das entidades equipamento devem ser bem definidos;
- A entidade equipamento deve ser bem definida e de fácil compreensão pelos usuários;

IV.7.4.2) A estruturação das unidades:

A unidade deve ser definida tomando como base as atividades envolvidas no processo, assim como a operacionalidade dos equipamentos. Para tal devem ser observados os critérios descritos a seguir:

- Uma ou mais atividades principais do processo deve ser executada em uma unidade;
- Unidades podem ser definidas tomando como base a independência na execução de suas atividades em relação às demais;
- Uma unidade opera somente numa batelada por vez.

IV.7.4.3) A estruturação de módulos equipamento:

O módulo equipamento deve ser definido tomando como base as menores atividades envolvidas no processo, assim como a operacionalidade dos equipamentos. O módulo equipamento pode executar um número finito de atividades de processo centrado em um conjunto de equipamentos de processo.

IV.8) A Modelagem do Processo de Brassagem:

Esta célula de processo é constituída pelas seguintes unidades: tina de mostura, tina de adjuntos, tina de clarificação, cozinhador/Whirpool e tanques de água (quente e fria), além dos tanques do CIP *(Clean in Plant)*.

A modelagem do processo de brassagem foi elaborada a partir de um levantamento de campo, que permitiu inicialmente determinar todos os equipamentos envolvidos neste processo, bem como a documentação técnica existente.

Com base no fluxograma de engenharia e suporte técnico do engenheiro químico responsável por esta célula de processo, determinamos: os procedimentos efetuados em

cada unidade, os equipamentos (bombas, trocadores de calor, etc.) e os módulos de controle (sensores, atuadores, válvulas, etc.), a formulação das receitas.

A partir destas informações elaboramos, em conjunto, um documento de análise funcional, que serviu de referência para a elaboração desta modelagem.

Nas figuras nº.14, 15, 16, 17 e 18 apresentamos de forma simplificada cada modelo obtido.

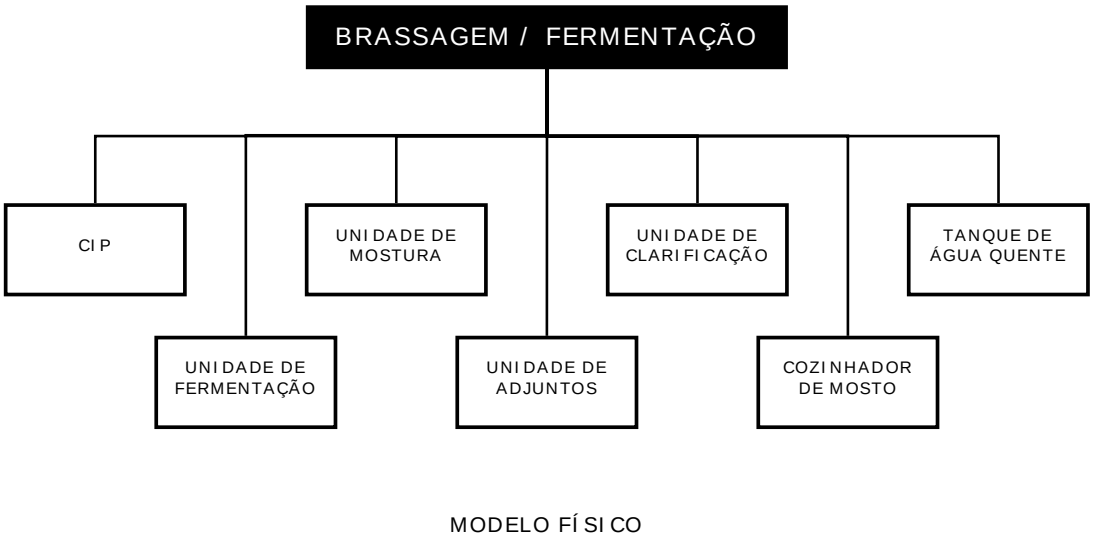


Figura nº. 14 – Modelo Físico do Processo de Brassagem/Fermentação.

Figura nº. 15 – Modelo de Processo – Unidade de Adjuntos.

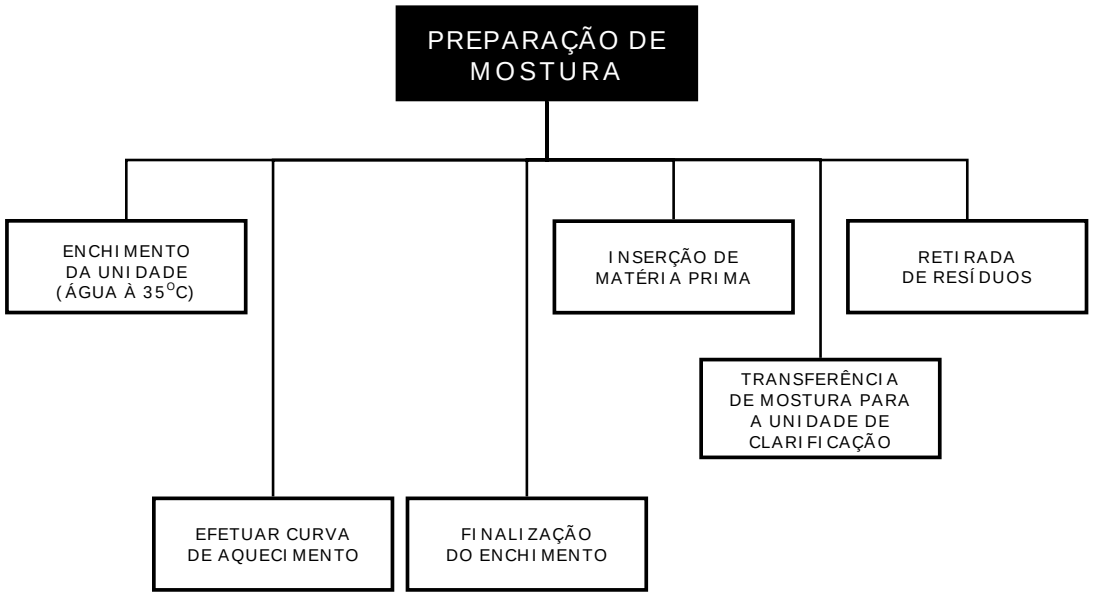


Figura nº. 16 – Modelo de Processo – Unidade de Mostura.

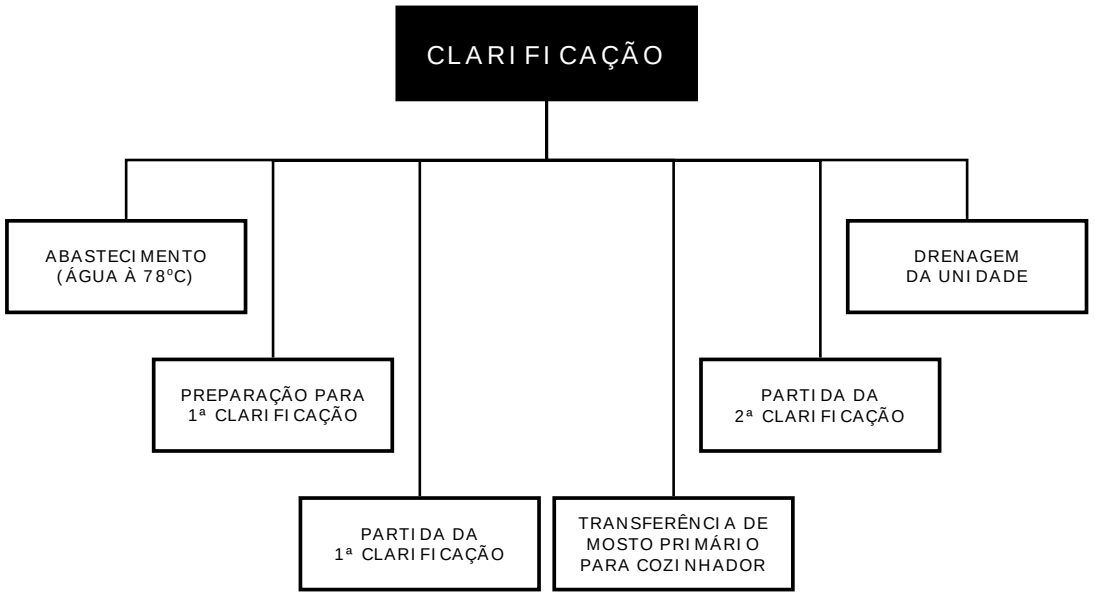


Figura nº. 17 – Modelo de Processo – Unidade de Clarificação.

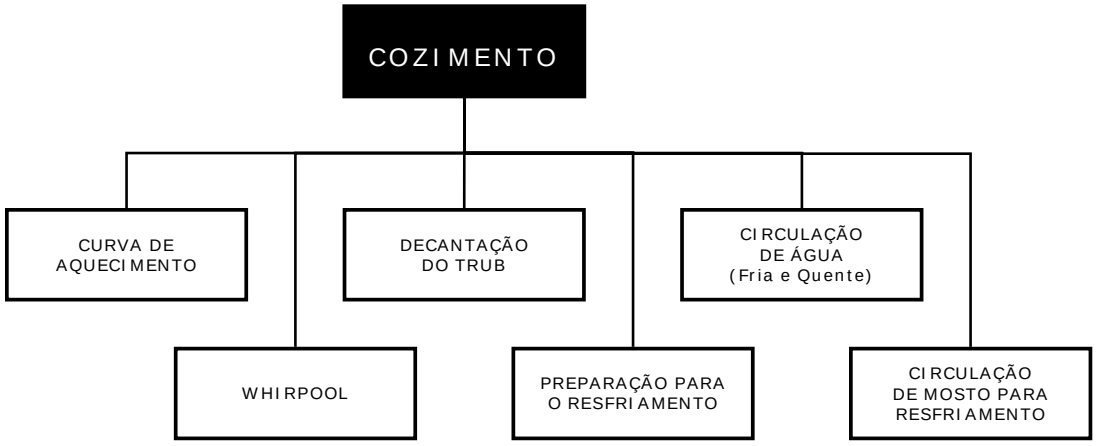


Figura nº. 18 – Modelo de Processo – Unidade de Cozimento/Whirpool de Mosto.

## IV.9) Considerações de Hardware e Software:

A arquitetura do sistema foi elaborada tomando como referência os softwares e hardwares disponíveis no mercado nacional, o número de pontos de entradas e saídas envolvidos no processo e principalmente uma pesquisa sobre os diversos módulos de softwares que implementam o tratamento de bateladas segundo a norma ISA 88.01.

Este ponto é de suma importância tendo em vista o crescente número de projetos baseados nesta norma, podendo ser considerado como uma exigência no mercado internacional nos segmentos de alimentação e laboratórios farmacêuticos. .

Na camada de software, denominada batelada, encontram-se os recursos disponíveis para a criação das diversas receitas a serem utilizadas na fabricação dos produtos. Nela é criada toda a estrutura física da célula de processo, os procedimentos, as operações, as fases, a parametrização de variáveis e os quantitativos de matérias primas dos diversos componentes utilizados no processo.

A operação da batelada se dá exatamente na forma definida pela receita, garantindo a qualidade do produto especificado anteriormente, e registrando todos os eventos ocorridos e as ações tomadas pelos operadores.

### IV.9.1) A Arquitetura do Sistema:

A arquitetura do sistema é retratada na figura nº 19, podendo-se notar uma mesa de comando conjugada. Esta mesa é utilizada atualmente na operação do sistema e permanecerá por mais algum tempo para fins educacionais, e futuramente será substituída por monitores com tecnologia de plasma.

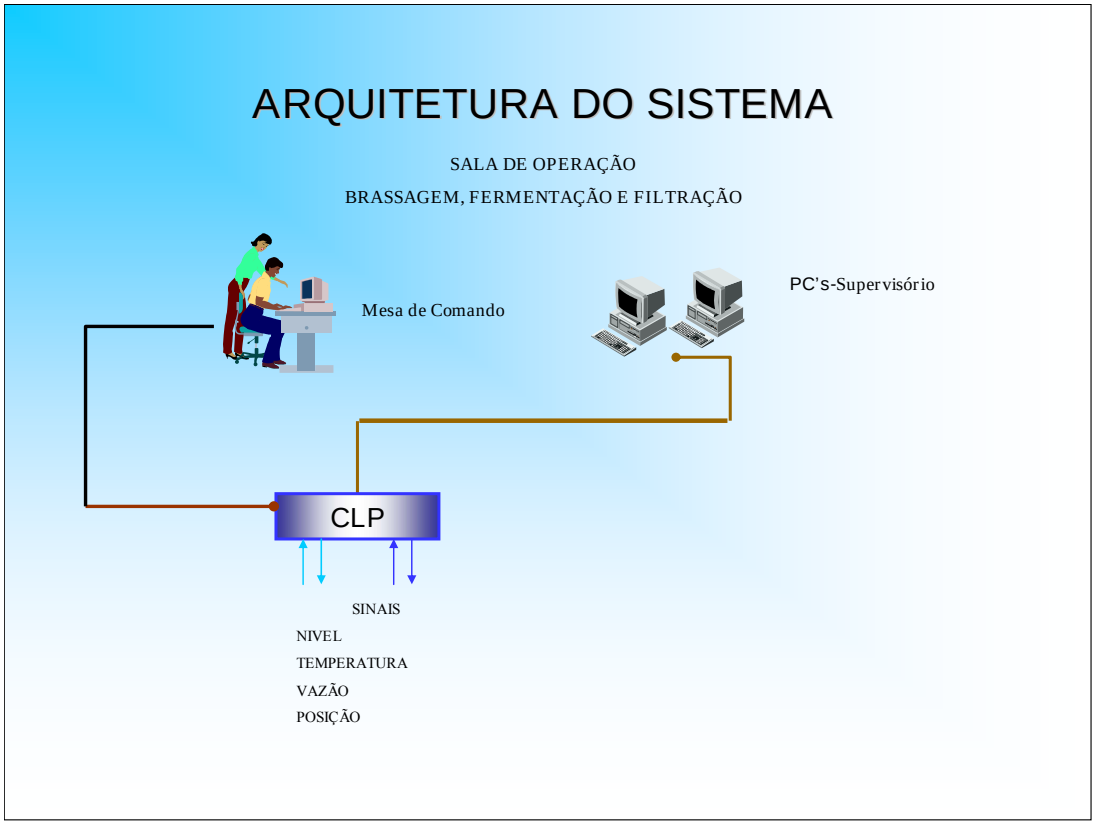


Figura nº. 19 – Arquitetura do Sistema Operacional – Brassagem/Fermentação/ Filtração.

O sistema de controle e supervisão (SCS) da sala de brassagem (sala de produção de mosto de cerveja) é composto por:

- 2 (dois) microcomputadores do tipo PC, contendo a IHM do sistema;
- 1 (uma) Mesa de Comando existente no sistema atual;
- 1 (um) Painel Elétrico, contendo 1 (um) CLP, o I/O de processo inerente, as proteções elétricas, as interfaces de rede.

As características específicas dos principais elementos de hardware que compõem o SCS a serem instalados na sala de brassagem são:

- Estação de Controle (EC), Software Scada e Monitor de Plasma: composto por 2 microcomputadores com sistema operacional Windows 2000 Profissional, com processador 2,6 GHz, 1 Giga de memória DDR 333, Disco Rígido 80Gb, Placa Mãe ASUS P4S533 – MX S/V/R, drive de disquete 1.44, drive de CD ROM 52X, gabinete ATX médio com fonte de 400W, teclado padrão ABNT 2, mouse PS2 e monitor 21", placa de Rede, no-break e porta USB.

- Rack: composto de 1 CPU S7 400, com as seguintes características: Memória Principal 2,8 Mbytes, Suporte a arquitetura mestre/escravo, Expansão possível de até 1024 I/O, Tempo de ciclo de 0,1s, Tempos de processamento: Operações binárias de 0,04 µs, Operações com palavras de 0,04µs, Velocidade de transmissão de 12Mbit/s, 1 fonte de alimentação de 24 VCC e 220VCA, 1 bateria, 32 entradas analógicas, 16 saídas analógicas, 256 entradas digitais, 96 saídas digitais, 1 Software de Programação STEP 7 fornecido em CD-ROM licenciado para o SENAI/RJ - apresentando as seguintes facilidades de programação : Diagrama Ladder (LAD), Bloco Funcional, Lista de Instruções - com as características disponíveis para configurar o sistema para aplicação local, comunicando-se com o Sistema Supervisório, *Grafcet* e simulação de I/O.

- Software Scada: fornecido com a quantidade de 350 TAGS de comunicação e ilimitado para TAGS internos, versão de configuração. Este software, além do uso em tempo real no controle da planta, permite o seu uso em desenvolvimento de novos aplicativos em terminal de engenharia. O software básico do SCS apresenta as seguintes características técnicas:
    - Requisitos para controle em processos em batelada;
    - Permite ao software aplicativo a ser desenvolvido, atender à norma ISA S88.01 - The Standard for Flexible Manufacturing and Batch Control
    - Banco de dados relacional com facilidade de integração com sistemas corporativos;
    - Visualização de processo (IHM);
    - Controle supervisório (SCADA);
    - Segurança baseada em usuário individual;
    - Gráfico de tendência em tempo real;
    - Aquisição e gerenciamento de dados;
    - Gerador de relatórios integrado;
    - Emissão e gerenciamento de alarmes;

- Processamento em rede de comunicação distribuída;
- *Wizards* para desenvolvimento gráfico;
- Configuração *online*;
- Controles para conectividade de banco de dados;
- Programação de eventos e temporizações;
- Coleção histórica de dados e apresentação;
- Ferramenta gráfica orientada a objetos.

O Sistema Supervisório poderá ser monitorado remotamente através da WEB.

### IV.9.2) Procedimento de Implantação do Sistema:

O procedimento tem como obejetivo implantar o novo sistema de controle e supervisão (SCS) em substituição ao sistema atual que está inoperante, respeitando as suas referências técnicas.

O sistema será instalado em etapas até a sua aceitação definitiva e colocação em serviço. A divisão da instalação em etapas tem como finalidade minimizar as eventuais paralisações na planta para instalação do sistema.

#### IV.9.2.1) Instalação do Rack do CLP:

Durante a etapa de instalação do *rack* do CLP, as atividades na área de brassagem da planta deverão ser interrompidas, uma vez que as instalações atuais na mesa de controle serão modificadas. É previsto um prazo de 1 semana para a execução desta atividade.

O planejamento de instalação prevê que nesta primeira etapa o sistema já possa ser operado via mesa de comando e CLP, de forma que a planta possa continuar com as suas atividades operacionais independentemente da implantação do novo sistema.

Esta etapa de instalação inclui além do rack, toda a montagem de cabos entre as réguas terminais existentes e o novo I/O do CLP e os testes ponto a ponto dos equipamentos e/ou dispositivos envolvidos.

Em relação às lógicas de controle, somente os comandos e controles da mesa de comando serão testados nesta etapa.

IV.9.2.2) Implantação do Software Supervisório e Lógicas de Controle:

Tão logo o software supervisório esteja desenvolvido e testado em bancada, o sistema será instalado na planta para dar início à etapa de testes integrados, ou seja, os testes envolvendo o sistema de controle e a instrumentação de campo.

Neste período, deverá estar prevista a paralisação das atividades da unidade de Brassagem. É previsto um prazo de 1 (uma) semana para a execução desta atividade.

Esta etapa de implantação contempla a verificação completa da funcionalidade do software supervisório e das lógicas de controle.

Também permitirá os ajustes necessários e sintonias dos algoritmos de controle (PID´s), de forma a dar ao processo um desempenho ótimo.

Estes testes envolverão unidades (tanques) individuais ou combinadas, de forma a permitir verificar a funcionalidade de cada etapa do processo de batelada e o respectivo desempenho individual dos equipamentos e dispositivos.

IV.9.2.3) Teste Funcional Integrado:

A finalidade deste teste é verificar a funcionalidade completa do sistema através da produção de uma batelada de produto. O teste também contemplará os processamentos das receitas. É previsto um prazo de 1 semana para a execução desta atividade.

IV.9.2.4) Operação Assistida:

Esta etapa estará incluída no período de execução da etapa anterior, e consistir no acompanhamento da produção de algumas bateladas, para verificação da boa funcionalidade do sistema.

IV.9.2.5) Retirada do Sistema Existente:

A retirada do sistema Siemens S5 existente atualmente se dará após a aceitação do novo sistema pela Unidade de Vassouras. O sistema S5 ficará entretanto desconectado a partir da primeira etapa de implantação do software.

IV.9.2.6) Treinamento:

O treinamento do pessoal da cervejaria se dará na própria planta piloto de cervejaria, durante as fases de testes.

O treinamento constará de uma etapa prática na manipulação do sistema e outra teórica em sala de aula.

## IV.10) Diagrama de Gantt na Produção de Cervejas:

Como já foi dito, o controle de bateladas proporcionado por diagramas de Gantt facilitam a diminuição dos tempos ociosos de cada equipamento. Chama-se de campanha a seqüência de produtos na planta. Tomemos como exemplo o tipo de cerveja produzida na planta piloto: *Pilsen Extra,* no qual pode ser elaborada numa seqüência de produção com outros tipos ou com os do mesmo tipo.

## IV.10.1) Receita do Processo de Fabricação:

A seguir, temos a receita de fabricação de mosto tipo *Pilsen Extra*:

Na figura nº 20 (frente) e 21 (verso), consta a planilha de fabricação do mosto pilsen extra, onde podemos verificar os procedimentos de processo da receita.

FIRJAN CIRJ SESI SENAI IEL

CETEC de Alimentos e Bebidas - SENAI/RJ
Área de Bebidas
Planilha de Fabricação de Mosto

FIRJAN CIRJ SESI SENAI IEL

| TIPO | DATA | Nº BRASS. | Nº TANQUE | NOME do TÉCNICO | CLIENTE | TESTE |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Pilsen Extra | 31/5/06 | 60 | 5 | Cláudio Matos | Senai | |

TINA DE MOSTURA (T.M)

| Operações | das (h:m) | até (h:m) | Tempo(m) | Temp. (ºC) | Volume (L) | Iodo (n/p) | pH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Água p/ T.M | 06:35 | 06:55 | 20 min | 30,0ºC | 250 | | |
| Macerar.....ºC | 07:03 | 07:06 | 3 min | 35,0ºC | | | 5,40 |
| Manter.....ºC | 07:06 | 07:16 | 10 min | 35,0ºC | | | |
| Aquecer.....ºC | 07:16 | 07:26 | 10 min | 45,0ºC | | | |
| Manter.....ºC | 07:26 | 07:36 | 10 min | 45,0ºC | | | |
| Aquecer.....ºC | 07:36 | 07:43 | 7 min | 52,1ºC | | | |
| Manter.....ºC | 07:43 | 07:53 | 10 min | 52,1ºC | | | |
| Aquecer.....ºC | 07:53 | 08:03 | 10 min | 62,0ºC | | | |
| Manter.....ºC | 08:03 | 08:23 | 20 min | 62,0ºC | | | |
| Aquecer.....ºC | 08:23 | 08:33 | 10 min | 72,0ºC | | | |
| Manter.....ºC | 08:33 | 08:53 | 20 min | 72,0ºC | | n | |
| Aquecer.....ºC | 08:53 | 08:59 | 6 min | 78,0ºC | | | 5,55 |
| Manter.....ºC | | | | - | | | |
| Transf.T.M ->T.F | 08:59 | 09:07 | 8 min | 78,0ºC | | | |
| Água de Enxague | 09:05 | 09:06 | 1 min | 78,0ºC | 10 | | |

TINA DE FILTRO (T.F)

| Operações | das (h:m) | até (h:m) | Tempo(m) | Temp. (ºC) | Volume (L) | Plato (ºP) | Iodo (n/p) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Água de Lastro | 08:53 | 08:54 | 1 | 78,0ºC | 10 | | |
| Repouso | | | | | | | |
| Circulação | 09:08 | 09:13 | 5 min | 78,0ºC | | | |
| Mosto Primário | 09:13 | 09:57 | 44 min | 78,0ºC | 250,0L | 18,53 ºP | |
| 1º Água Lavagem | 09:57 | 10:27 | 30 min | 78,0ºC | 410,0L | | |
| 2º Água Lavagem | | | 0 min | | | | |
| 3º Água Lavagem | | | 0 min | | | | |
| Total Água Lavagem | 10:35 | 11:02 | 27 min | 78,0ºC | 410,0L | | |

COZINHADOR DE MOSTO (C.M)

| Operações | das (h:m) | até (h:m) | Tempo(m) | Temp. (ºC) | Volume (L) | Plato (ºP) | Iodo (n/p) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Caldeira Cheia | 09:13 | 10:47 | 94 min | 95,0ºC | 580L | 10,1/12 | |
| Caldeira Pronta | 10:50 | 12:00 | 70 min | 98,4ºC | 530L | 13,00 ºP | |
| Dosar Açúcar | | | 0 min | | | | |
| Dosar Al.Maltose | 11:51 | 11:53 | 2 min | | | | |
| Dosar 1º Lúpulo | 11:51 | 11:53 | 2 min | | | | |
| Dosar 2º Lúpulo | 11:45 | 11:47 | 2 min | | | | |
| Dosar Polyclar Brewbrite | 11:45 | 11:47 | 2 min | | | | |
| Dosar Água | | | 0 min | | | | |
| Dosar ZnCl | | | 0 min | | | | |
| Mosto Pronto | 07:03 | 12:57 | 354 min | | 500L | 13,00 ºP | n |
| Whirlpool | 12:00 | 12:05 | 5 min | | | | |
| Repouso | 12:05 | 12:25 | 20 min | | | | |
| Resfriar | 12:25 | 12:57 | 32 min | 12,0ºC | 500L | 13,00 ºP | n |

Figura nº. 20 – Planilha de Processo de Fabricação de Mosto Pilsen Extra (frente).

| Tempo de Processo | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Início | 07:03 | Término | 12:57 | Tempo Total | 05:54 |

| Dosagem de Matéria-Prima | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Dosagem de Adjuntos | | Dosagem de Malte | | Dosagem de Lúpulo | | |
| Produto | Quantidade (kg) | Produto | Quantidade (kg) | Produto | Conc.(%) | Quantid.(g) |
| Arroz | | Malte Pilsen | 80 | Lúpulo Extrato | | |
| Gritz | | Malte Pilsen | | Lúpulo Pellets | 10 | 280 |
| Cevada | | Malte Viena | | Lúpulo em Flor | | |
| Trigo | | Malte de Trigo | | Lúpulo Pré-isom. | | |
| Açúcar | | Malte Preto | | Lúpulo Aromático | 5,9 | 30,0 |
| Maltose | 20 | Malte Caramelo | | Lúpulo Aromático | | |
| ..... | | Malte no Adjunto | | Lúpulo Aromático | | |
| ..... | | ..... | | Lúpulo ..... | | |
| Total | 20 | | 80 | | | 310 |

| Moagem de Matéria-Prima | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Produto | Quantidade (kg) | 1º Moagem (mm) | 2º Moagem (mm) | 3º Moagem (mm) | 4º Moagem (mm) |
| Malte Pilsen | 40 | 1,30 | 1,00 | 0,80 | - |
| Malte Pilsen | 40 | 1,30 | - | - | - |
| | | | | - | - |

| Dosagem de Aditivos | | | |
|---|---|---|---|
| Equipamento | Nome | Especificação | Quantidade |
| Tina de Mostura | Cloreto de Cálcio | - | 28g |
| Tina de Mostura | Ácido Láctico | 85,00% | 61,0mL |
| Tina de Adjuntos | | | |
| Tina de Adjuntos | | | |
| Cozinhador de Mosto | Cloreto de Cálcio | - | 28g |
| Cozinhador de Mosto | Ácido Láctico | 85,00% | 61mL |
| Cozinhador de Mosto | Polyclar Brewbrite | | 80g |
| Cozinhador de Mosto | | | |

| Dados Analíticos Laboratoriais e de Processo | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Extrato Sacarômetro | 13,00% | Cor | | Volume C.Pronta | 530 |
| Extrato Corrigido | | Iodo-Normalidade | n | Taxa Evap-horária | 10,76 |
| Extratro Residual | | Turbidez | | Taxa Evap-tempo.ferv. | 10,76 |
| pH | | Volume Cald.Cheia | 580 | Rendimento | |

Ass. Técnico Cervejeiro

(Nome do Coordenador da Área de Bebidas)

Figura nº. 21 – Planilha de Processo de Fabricação de Mosto Pilsen Extra (verso).

IV.10.2) Diagrama do Processo de Mosturação - Mosto tipo Pilsen Extra:

Na figura nº 22, é apresentado o diagrama do processo de mosturação da fabricação do mosto pilsen extra, cujo objetivo é dissolver as substâncias do malte, além de promover a hidrólise do amido a açúcares, por meio de um processo enzimático com suas correspondentes temperaturas ótimas de transformação.

| Tabela do Processo de Mosturação (Temperatura x Tempo) | | |
|---|---|---|
| Tempo(min) | Real | Planejada |
| 0 min | 35,6°C | 35,0°C |
| 3 min | 35,6°C | 35,0°C |
| 13 min | 35,6°C | 35,0°C |
| 23 min | 45,1°C | 45,0°C |
| 33 min | 45,1°C | 45,0°C |
| 40 min | 52,5°C | 52,0°C |
| 50 min | 52,5°C | 52,0°C |
| 60 min | 62,0°C | 62,0°C |
| 80 min | 62,0°C | 62,0°C |
| 90 min | 72,0°C | 72,0°C |
| 105 min | 72,0°C | 72,0°C |
| 109 min | 76,0°C | 76,0°C |
| trasfega | 0,0°C | 0,0°C |

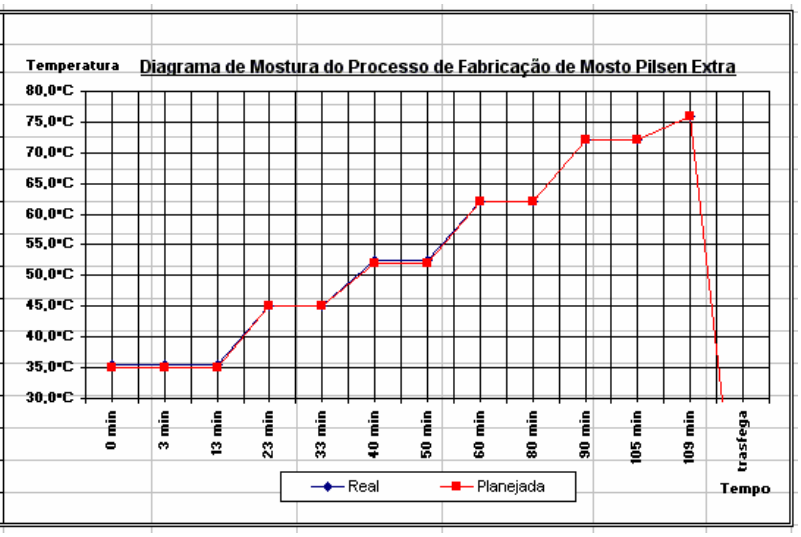


Figura nº. 22 – Diagrama de Mosturaão do Processo de Fabricação de Mosto Pilsen Extra.

Neste capítulo, serão mostrados os benefícios oferecidos pela implementação da Norma ISA S88.01, no que diz respeito à Conservação e Qualidade da Energia Elétrica.

A principio, avaliando superficialmente, parece que não há relação entre um sistema de automação e controle de um processo em batelada e a conservação e qualidade de energia elétrica. Mas quando constatamos que um processo automatizado proporciona a otimização dos procedimentos de manufatura e, consequentemente, implica na diminuição do tempo de elaboração de um determinado produto, quando comparado com um procedimento manual, vemos que há uma relação significativa.

Nos itens que se seguem neste capítulo, veremos como ocorre essa relação entre a automação de processo e a CQEE.

## V.1) A Importância da Economia de Energia:

Nos últimos anos, tem havido muita discussão e foi desenvolvida uma vasta literatura sobre economia de energia elétrica em bombas centrífugas. Maior atenção, entretanto, tem sido dada para uma aplicação genérica de bombas centrífugas - vazão variável, pressão variável. O aspecto dos laços de controle do sistema geralmente não tem sido tratado. Na prática, as aplicações de bombas centrífugas [26] podem ser classificadas em três tipos genéricos:

- Fluxo variável, pressão variável;
- Fluxo constante, pressão variável;
- Fluxo variável, pressão constante.

O tipo efetivo é determinado pelos laços de controle do sistema em questão.

Um usuário que deseje implementar um programa de economia de energia elétrica pelo uso de controle de velocidade ajustável eletronicamente deve selecionar e analisar as aplicações específicas, as quais se enquadram em qualquer das três categorias citadas acima. Cada uma destas aplicações deve ser analisada com enfoques diferentes. Elas não podem ser todas analisadas como sistemas de fluxo variável com pressão variável.

Como na indústria cervejeira faz uso dos três tipos de controle em sua gama de processo, revisaremos as três aplicações gerais existentes para bombas centrífugas e, posteriormente, será escolhido um método de implementação de um programa de economia de energia, analisando cada tipo de sistema.

V.2) Implementação de Economia de Energia - Seleção de Aplicações Potenciais:

O primeiro estágio na implantação de um programa de economia de energia envolve a seleção de aplicações potenciais. Isto pode ser uma tarefa formidável, uma vez que um grande complexo petroquímico chega a ter até 3.000 motores instalados, com 200 a 300 unidades tendo potências entre 15 a 50 HP [27]. Há, contudo, algumas regras genéricas seletivas que podem ser utilizadas para a escolha de aplicações potenciais, salientadas a seguir.

Um estudo sobre energia feito pela Companhia Arthur D. Little [17] em 1978 estimou a população total de bombas centrífugas por potências e a média dos tempos de operação nas indústrias químicas e petroquímicas, conforme pode ser visto na tabela nº. 2. Esta informação pode ser utilizada para focar análises em potências especificas.

Do mesmo modo, a filosofia de implantação de economia de energia pode ser aplicada à indústria cervejeira, pois se sabe que ela faz uso de motores em toda extensão do seu processo em batelada.

| Potência <1 HP | | | |
|---|---|---|---|
| Categoria | Quantidade (Un) | Uso Anual (103h) | Energia Consumida (KWh) |
| Quimica | 150 | 2,0 | 40.2 |
| %Total | 22.9 | 22.8 | 0.1 |
| Petróleo | 50 | 2.0 | 13.4 |
| %Total | 31.4 | 22.8 | 0.1 |

| Potência entre 1.1 - 5 HP | | | |
|---|---|---|---|
| Categoria | Quantidade (Un) | Uso Anual (103h) | Energia Consumida (KWh) |
| Quimica | 200 | 2.0 | 298.3 |
| %Total | 30.5 | 22.8 | 0.6 |
| Petróleo | 40 | 2.0 | 59.6 |
| %Total | 25.2 | 22.8 | 0.3 |

| Potência entre 5.1 - 20 HP | | | |
|---|---|---|---|
| Categoria | Quantidade (Un) | Uso Anual (103h) | Energia Consumida (KWh) |
| Quimica | 160 | 4.0 | 3.197,50 |
| %Total | 24.4 | 45.7 | 6.5 |
| Petróleo | 50.0 | 4.0 | 999.2 |
| %Total | 31.4 | 45.7 | 5.1 |

| Potência entre 21 - 50 HP | | | |
|---|---|---|---|
| Categoria | Quantidade (Un) | Uso Anual (103h) | Energia Consumida (KWh) |
| Quimica | 100 | 8.0 | 13.601 |
| %Total | 15.2 | 91.3 | 27.6 |
| Petróleo | 8.0 | 8.0 | 1.088 |
| %Total | 5.0 | 91.3 | 5.5 |

| Potência entre 51 - 125 HP | | | |
|---|---|---|---|
| Categoria | Quantidade (Un) | Uso Anual (103h) | Energia Consumida (KWh) |
| Quimica | 40.0 | 8.0 | 16.560 |
| %Total | 6.1 | 91.3 | 33.6 |
| Petróleo | 5.0 | 8.0 | 2.070 |
| %Total | 3.1 | 91.3 | 10.5 |

| Potência > 126 HP | | | |
|---|---|---|---|
| Categoria | Quantidade (Un) | Uso Anual (103h) | Energia Consumida (KWh) |
| Quimica | 6.0 | 80.0 | 15.548 |
| %Total | 0.9 | 91.3 | 31.6 |
| Petróleo | 6.0 | 80.0 | 15.548 |
| %Total | 38 | 91.3 | 78.6 |

| Valores Totais | | |
|---|---|---|
| Categoria | Quantidade | Consumo Eixo da Bomba (KWh) |
| Quimica | 656 | 49245 |
| Petróleo | 159 | 19778 |

Tabela nº 2 - População Total de Bombas Centrifugas na Industria Quimica e Petroquimica

Dados mais recentes apresentados no XI Congresso Brasileiro de Energia – 2006 confirmam o uso sistemático dos motores na indústria de alimentos e bebidas, conforme se pode constatar na tabela nº. 3.

| Setor | 1 a 10 cv | 12,5 a 50 cv | 60 a 100 cv | 125 a 250 cv | Total |
|---|---|---|---|---|---|
| Alimentos e bebidas | 1.976 | 241 | 76 | 49 | 2.342 |
| Têxtil | 781 | 401 | 39 | 40 | 1.261 |
| Outros | 124 | 684 | 50 | 34 | 892 |
| Plásticos | 483 | 318 | 41 | 15 | 857 |
| Química | 399 | 218 | 33 | 23 | 673 |
| Metalurgia | 252 | 197 | 76 | 96 | 621 |
| Papel | 87 | 456 | 1 | 1 | 545 |
| Celulose | 223 | 125 | 58 | 18 | 424 |
| Cerâmica | 212 | 132 | 40 | 5 | 389 |
| Fundição | 93 | 242 | 4 | 4 | 343 |
| Siderurgia | | 119 | 105 | 46 | 270 |
| Automotiva | 120 | 11 | 7 | | 138 |
| Calçados | 42 | 12 | 1 | | 55 |
| Pneus | 18 | 23 | 8 | 1 | 50 |
| Pedras | 11 | 25 | 2 | | 38 |
| Cimento - artefatos | 13 | 1 | | 2 | 16 |
| Borracha | 9 | 3 | 1 | | 13 |
| Vidros | 10 | 2 | | | 12 |
| *Total* | *4.853* | *3.210* | *542* | *334* | *8.939* |

Tabela n.º 3 – Relação de Uso dos Motores por Setor e Potência

Na indústria petroquímica potências iguais e maiores que 50 HP representam 6,9% das unidades instaladas e 89,1% da energia consumida; potências iguais e maiores que 125 HP representam 3,8% das unidades e 78,6% da energia consumida. Na indústria química potências maiores que 21 HP representam 22,2% das unidades instaladas e 92,8% da energia consumida; potências entre 51 e 125 HP representam 6,1% das unidades e é a mais larga categoria individual de energia utilizada, 33,6% da total.

Assim, o processo seletivo inicialmente poderia ser focada nas potências iguais ou maiores que 25 HP pelo maior consumo de energia requerido. Adicionalmente estas potências tipicamente operam durante 8.000 horas por ano, o que aumenta o potencial de retorno de capital.

O segundo estágio seletivo envolve a identificação de aplicações com vazões variáveis. Aplicações de bombas centrífugas são candidatas ideais para a realização de economia de energia, uma vez que, teoricamente, para uma dada curva do sistema, a vazão requerida varia proporcionalmente com a velocidade, e a potência varia com o

cubo da velocidade como mostra a tabela nº. 4. A 100% da vazão, 100% da potência é requerida a 100% da velocidade. Se, porém, o sistema solicitar apenas 50% da vazão, teoricamente, somente $(0,5)^3$ ou 13% da potência será consumida.

| Velocidade | Vazão - Volume | Potência Requerida |
|---|---|---|
| 100% | 100% | 100% |
| 90% | 90% | 73% |
| 80% | 80% | 51% |
| 70% | 70% | 34% |
| 60% | 60% | 22% |
| 50% | 50% | 13% |
| 40% | 40% | 6% |
| 30% | 30% | 3% |

Tabela n.º 4 - Características de Cargas Centrifugas

Uma vez que as bombas centrífugas devem ser dimensionadas para atender à demanda de pico do sistema e a maioria dos sistemas não são operados a 100% da vazão constantemente, a potência do sistema deve ser reduzida. Assim sendo, é importante definir-se o ciclo de trabalho do sistema, ou seja, os pontos de trabalho esperados e o tempo de operação nestes pontos. Isto pode ser feito conforme mostra o gráfico da figura nº. 23. É importante notar que se o sistema operar nos seus pontos de pico não há economia de potencial por variação de velocidade. O ciclo de trabalho pode ser frequentemente resumido pelo sistema de instrumentação de vazão e pressão.

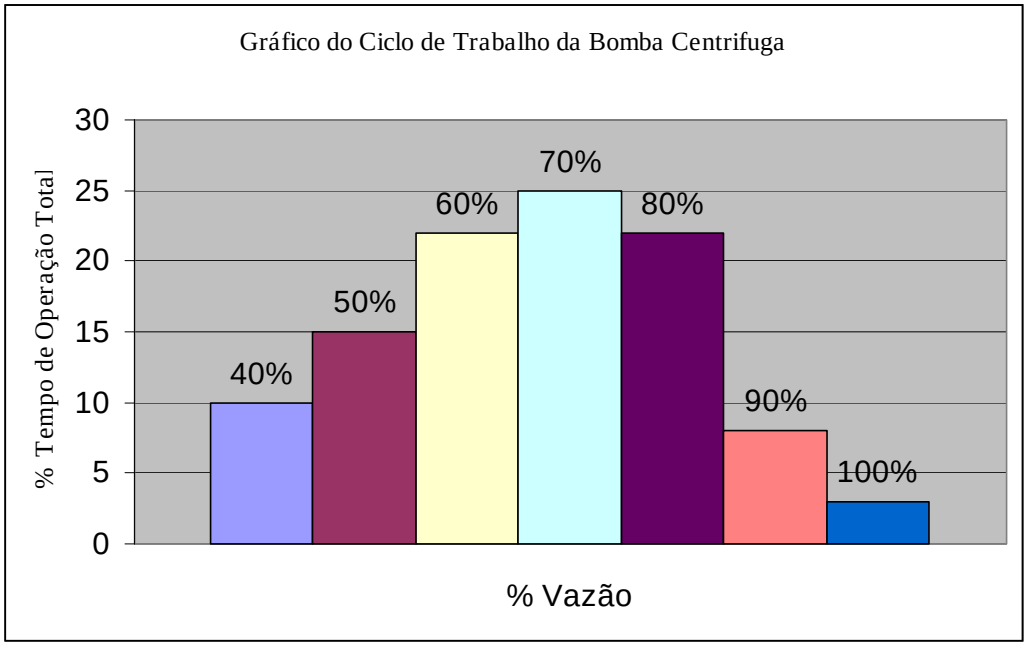


Figura nº. 23 – Ciclo de Trabalho – Bomba Centrifuga.

O próximo passo envolve a identificação dos componentes-chaves do sistema e a classificação do mesmo, com o intuito de se analisar o potencial de economia. Os tipos de sistemas são determinados pelos seus laços de controle, e incluem:

- Sistemas com vazão e pressão variáveis;
- Sistemas com vazão constante e pressão variável;
- Sistemas com vazão variável e pressão constante.

Cada um destes é mostrado nas figuras nº. 24, 25 e 26, respectivamente. Os sistemas são apresentados utilizando válvulas tradicionais de controle por estrangulamento e realimentação para o sistema de pressão constante.

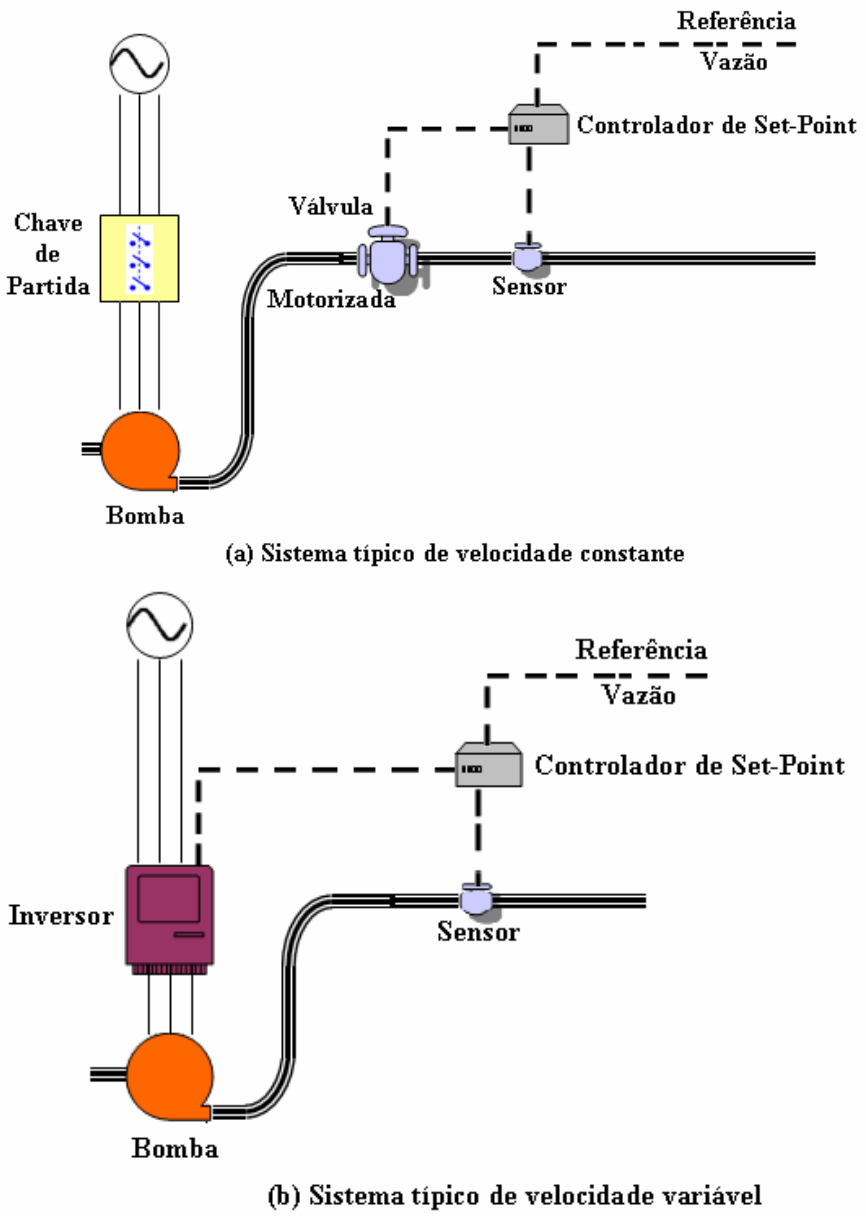


Figura nº. 24 – Sistema de Vazão e Pressão Variáveis.

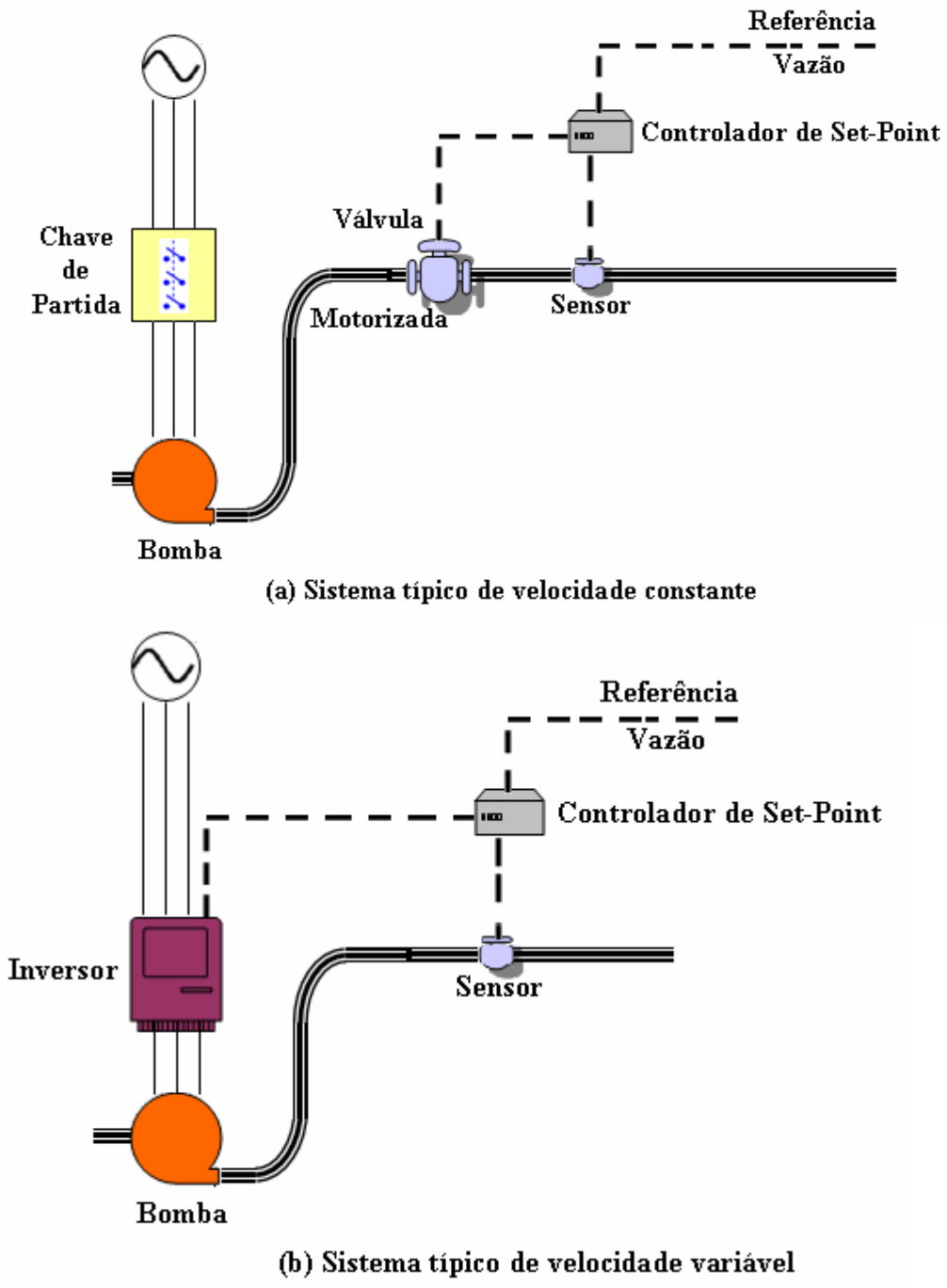


Figura nº. 25 – Sistema de Vazão Constante e Pressão Variável.

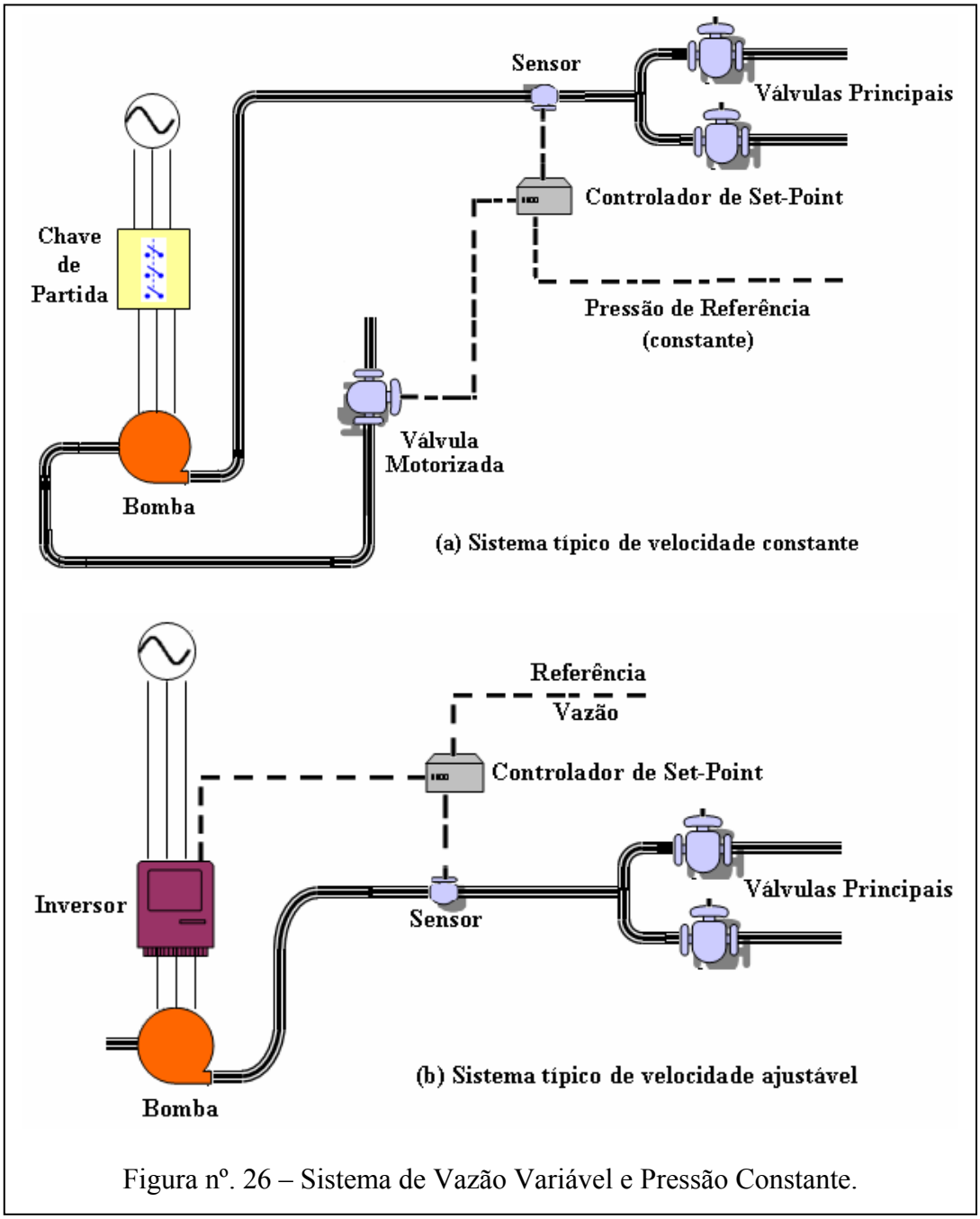


Figura nº. 26 – Sistema de Vazão Variável e Pressão Constante.

Para atender aos objetivos deste capítulo, considera-se que um controlador do ponto de ajuste *(set-point)* é usado em cada sistema. Estes controladores têm tipicamente sinais eletrônicos padronizados na faixa de 4 a 20 mA ou pneumáticos na faixa de 3 a 15 psi, que possibilitam operar válvulas de controle ou acionamentos de velocidade variável.

A fim de analisar a economia potencial, é necessário considerar-se a eficiência do sistema todo, inclusive a válvula de estrangulamento. Muitas das vezes isto é uma tarefa difícil, pois os componentes podem envolver diversas disciplinas. Por exemplo: um engenheiro de instrumentação pode estar envolvido com a realimentação e a válvula de controle; um engenheiro mecânico com a bomba, e o motor e um engenheiro eletricista com a chave de partida ou o acionamento de velocidade variável. Portanto, é necessário compreender o sistema como um todo e ter o entendimento de como seus componentes interagem de forma a determinar a economia potencial. Isto iria, em muitos casos, requerer um esforço considerável de todo o pessoal comprometido com a questão em estudo.

### V.2.1) Análise Detalhada da Aplicação:

Uma vez que diversas aplicações foram selecionadas, é necessário analisar cada aplicação detalhadamente, para se determinar a economia potencial:

- A curva da bomba com dados de eficiência;
- A curva do sistema;
- O ciclo de trabalho do sistema.
- Os métodos de controle e dados de rendimentos.

Uma curva típica de bomba e de sistema é mostrada na figura nº. 27, para uma bomba de 100 HP. A curva da bomba descreve todos os pontos de vazão e altura manométrica potenciais em que ela pode operar para uma dada velocidade. Os pontos de eficiência da bomba também são mostrados ao longo de sua curva. Para se determinar onde a bomba irá trabalhar, é necessário definir a curva do sistema totalmente livre. Isto significa dizer que todas as válvulas do sistema (com exceção de algumas válvulas de *by-pass*) estão totalmente abertas. Esta curva é descrita como: $h_m = h_e + k.Q^2 (1)$ que consiste de duas parcelas:

- Altura Estática – que corresponde à altura física do sistema, medida a partir da linha de centro do rotor da bomba;
- Perda de Carga por Escoamento do Fluído – que é uma curva quadrática, isto é, a pressão varia com quadrado da vazão. A intersecção dessas duas curvas sempre determina o ponto de operação natural da bomba.

Onde:

$h_m \Rightarrow$ Altura manométrica.

$h_e \Rightarrow$ Altura estática.

$K \Rightarrow$ Constante.

$Q \Rightarrow$ Vazão.

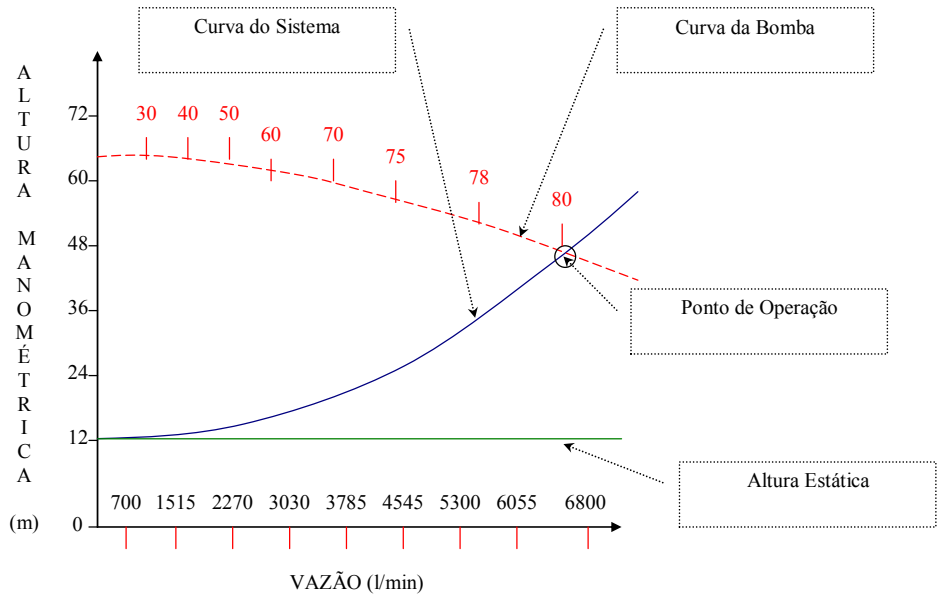


Figura nº. 27 – Curva Típica de Bomba Centrífuga – 100HP.

O ciclo de trabalho do sistema é o elemento-chave na determinação da economia potencial e é, com freqüência, muito variável. Um enfoque usual para a obtenção de um ciclo de trabalho estimativo envolve a análise de registros existentes, verificando-se o tempo total gasto, em diversos pontos de pressão e vazão, dependendo do tipo de sistema. Usualmente, segmentar o ciclo de operação, em 10 segmentos e ponderar o valor médio de cada segmento pelo intervalo de tempo previamente estabelecido dá bons resultados.

Um outro enfoque poderia ser a utilização conservadora do ponto de operação, assumindo-se que o sistema sempre operaria neste ponto. Se, por exemplo, o sistema estiver supostamente variando entre 40% e 80% da vazão, a análise deveria ser feita a 80%, pois se a economia fosse atrativa, qualquer operação abaixo daquele ponto com muito maior vazão aumentaria o retorno de capital.

Antes de iniciar uma análise detalhada de um sistema, é necessário esboçar a configuração do mesmo e os resultados de controle. Isto requer que três elementos-chave sejam considerados:

- Laços de Controle;
- Método de Controle e Componentes de Aterramento;
- Configuração do Sistema.

Os laços de controle que são impostos num sistema determinam como o sistema operará e como o sistema deve ser analisado. Pode haver muitos laços de controle num dado sistema, com vários efeitos, mas na maioria dos casos o sistema pode ser reduzido a um simples diagrama de blocos como mostram as figuras nº. 24, 25 e 26. Para fins didáticos, foi assumido que o controlador de *set-point* seria usado, o que permitiria um ajuste de referência tanto para a vazão como para a pressão, dependendo das necessidades do sistema; aceitaria um sinal de realimentação da variável controlada e proveria um sinal de referência de erro ± para ajuste do elemento de controle, mantendo o processo no ponto de operação desejado.

Os métodos de controle e componentes de acionamento incluem:

- Válvulas de estrangulamento;
- *By-pass*;
- Motores CA;
- Acionamento do tipo escorregamento;
- Acionamento de freqüência variável.

Válvulas de estrangulamento são tradicionalmente usadas para o controle de bombas centrífugas em aplicações de processo industriais. Com o propósito de se analisar um sistema, é necessário definir onde as válvulas estão situadas no mesmo. Para sistemas com pressão constante, os *"by-pass"* são frequentemente utilizados e devem também ser definidos.

A próxima consideração é definir o tipo de motor elétrico que será usado. A figura n.º 28, mostra as curvas típicas do rendimento de um motor de 100HP alimentado através de onda senoidal pura e de um inversor tipo VVI de onda completa. As características de rendimento mudam quando um motor é operado através do inversor

de freqüência e, de fato, são diferentes para cada tipo de tecnologia de inversão de freqüência empregada. É importante levar isto em consideração quando da análise de um sistema.

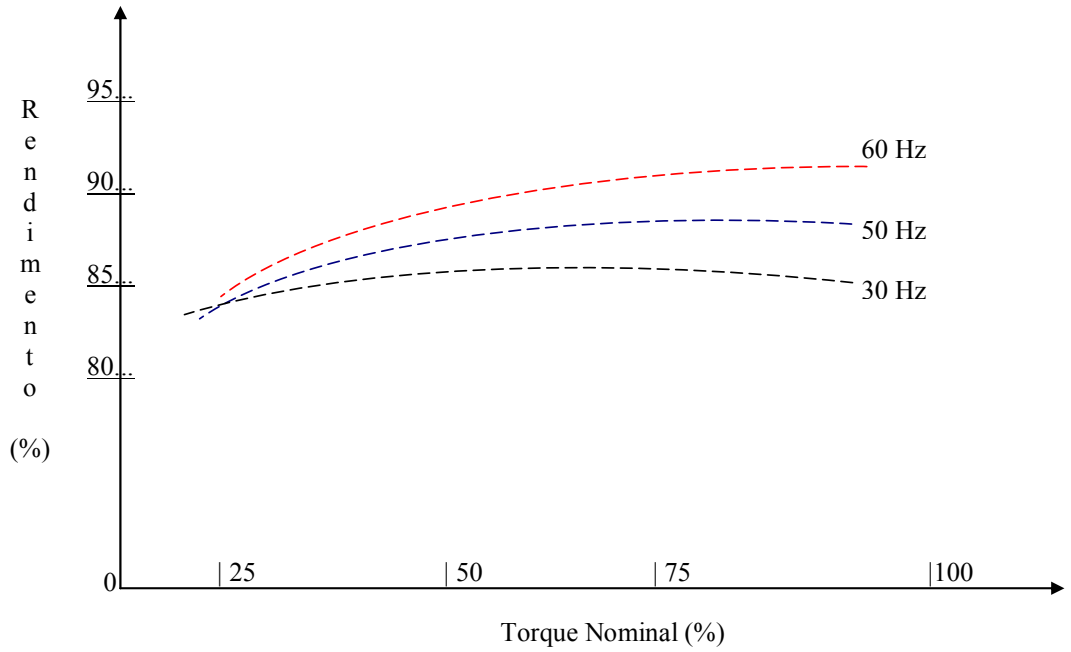


Figura nº. 28 – Curvas Típicas de Rendimento – Motor 100HP – Inversor tipo VVI.

O tipo de acionamento que está sendo considerado também deve ser definido. Os tipos usuais de acionamentos de velocidade variável utilizados na indústria petroquímica para motores AC incluem acionamentos de escorregamento e inversores de freqüência. Os acionamentos de escorregamento incluem os variadores eletromagnéticos e acoplamentos hidráulicos com característica típica de rendimento, como podemos ver na figura n.º 29. O rendimento máximo a 100% de velocidade dependerá da categoria do motor utilizado, mas o rendimento decrescerá linearmente com a velocidade.

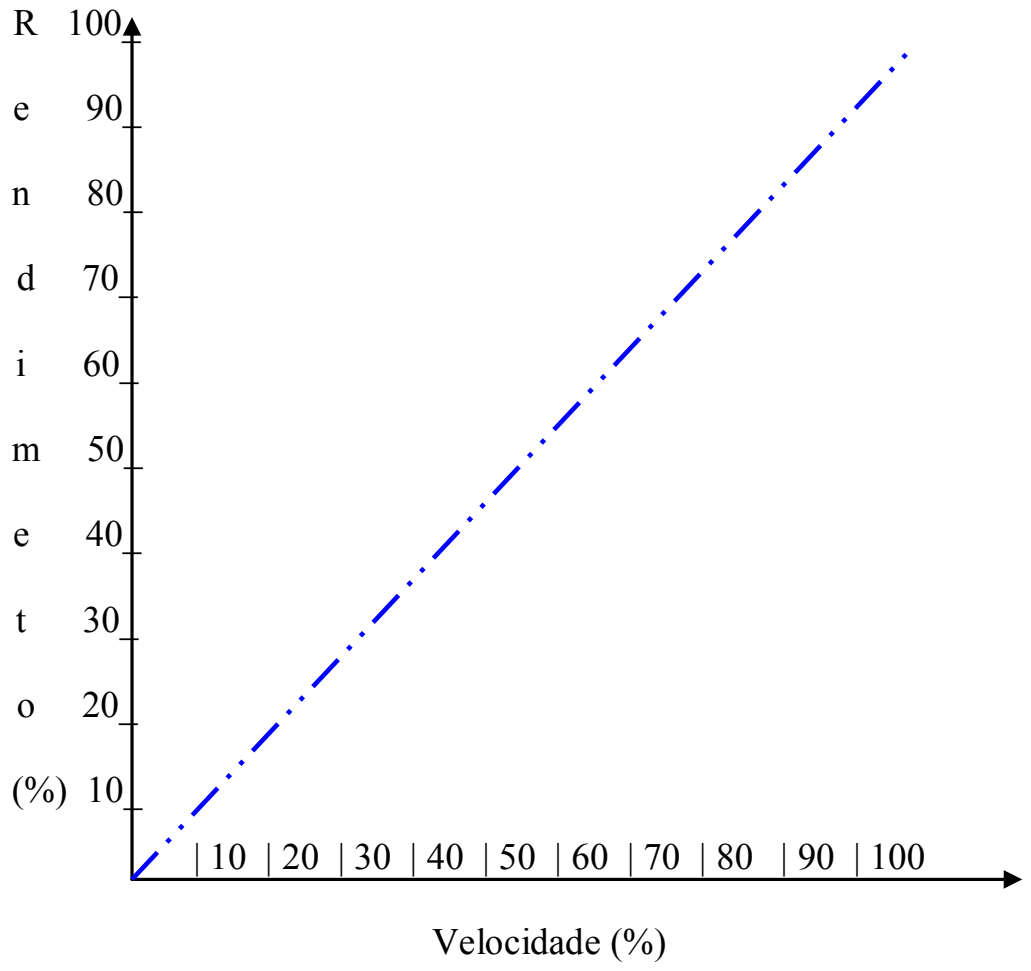


Figura nº. 29 – Rendimento Típico para Acionamentos com Escorregamento.

Há três tipos de inversores de freqüência comumente utilizados: o VVI (tensão variável), o CSI (fonte de corrente) e PWM (largura de pulso modulada). As características de rendimento típicas de um VVI são mostradas na figura nº. 30.

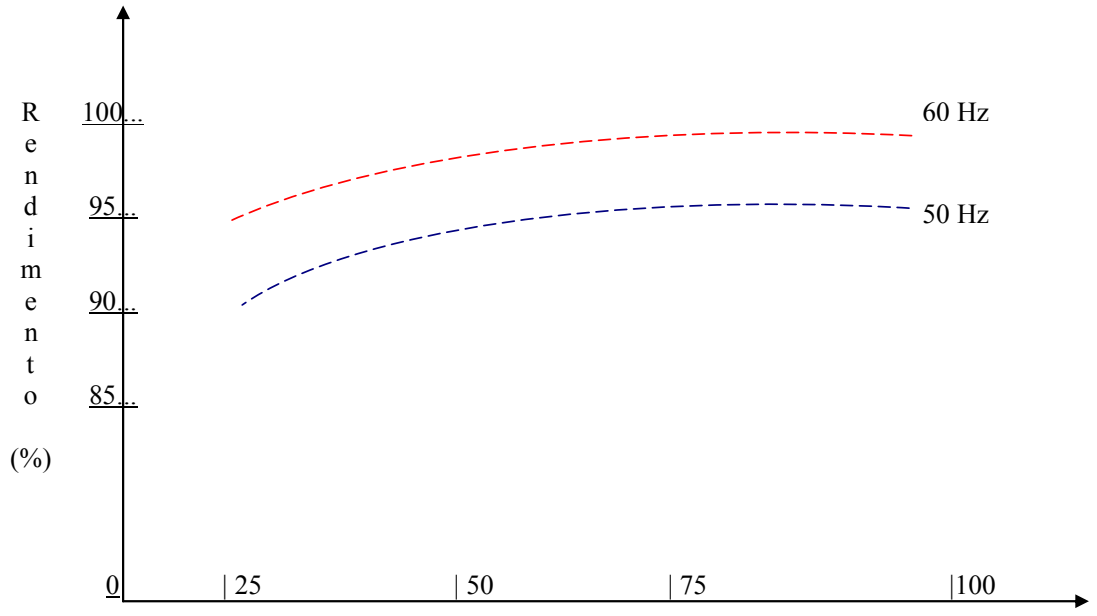


Figura nº. 30 – Curvas de Eficiência Típicas – Inversor VVI – 100HP.

Os rendimentos de cada tipo de inversor são diferentes e o rendimento de cada tipo isoladamente varia dependendo do projeto. Com relação ao rendimento do conjunto motor-inversor a forma de onda do inversor afeta o rendimento do motor e este afeta a eficiência do inversor devido às perdas fixas no inversor. Em face desta alteração é desejável obter-se uma eficiência global do conjunto.

### V.2.2) Análise Detalhada do Sistema:

Após obtenção de todas as informações a potência entregue em cada ponto de operação pode ser calculada com a finalidade de se comparar duas alternativas. Isso poderia ser feito iniciando-se pelo processo e calculando-se a potência entregue requerida pelo sistema, utilizando-se as informações de eficiência de cada componente.

O rendimento da bomba deve ser salientado, será diferente em operação com velocidade variável do que em operação com velocidade fixa. Para velocidade fixa, controle por estrangulamento, o rendimento da bomba é tido diretamente da curva da bomba. Para operação com velocidade variável os rendimentos da bomba da curva da bomba seguem aproximadamente curvas quadráticas passando pela origem conforme a

velocidade é reduzida. Este enfoque poderia fornecer bons resultados em faixas de velocidade de até 3%.

As curvas de bombas em velocidades reduzidas podem ser determinadas utilizando-se as leis de bombas centrífugas:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = K \frac{V_1}{V_2} \qquad (2)$$

$$\frac{P_1}{P_2} = K \frac{(V_1)^2}{(V_2)^2} \qquad (3)$$

$Onde:$

$Q_1 \Rightarrow vazão_1$

$Q_2 \Rightarrow vazão_2$

$K \Rightarrow constante$

$V_1 \Rightarrow velocidade_1$

$V_2 \Rightarrow velocidade_2$

$P_1 \Rightarrow pressão_1$

$P_2 \Rightarrow pressão_2$

Após o cálculo da potência entregue em cada ponto de operação, uma média ponderada de potência entregue pode ser calculada para as várias alternativas. A economia entre duas alternativas pode então ser usada como base de um retorno econômico.

De forma a ilustrar como isto ocorre poderá ser realizada uma comparação, em um ponto operacional, entre cada tipo de sistema, com controle por estrangulamento e com controle por velocidade utilizando um inversor VVI. Uma bomba centrífuga com uma altura manométrica característica capaz de entregar 6435 litros por minuto a uma altura total de 55 m. com um rendimento de 80%, é utilizada como exemplo a seguir. Um resumo dos requisitos de potência de entrada x vazão também é mostrado, assumindo-se um peso específico igual a 1.0.

V.2.2.1) Sistema com Vazão e Pressão Variável:

A figura º 24 mostra um sistema de bombeamento com fluxo e pressão variáveis. O inversor de freqüência substitui a válvula de controle e a chave de partida do motor. O controlador de *set point* é mostrado como um equipamento eletrônico, mas pode ser pneumático. A vazão de referência para este exemplo seria ajustada em função das necessidades do processo.

A intersecção da curva do sistema aberto com a curva da bomba a 100% da velocidade determina o ponto de operação máxima da bomba: 6435 l/min, 55 m e rendimento 80%. O controle por estrangulamento consiste na alteração da curva do sistema pelo fechamento das válvulas de controle. Uma vez que o ponto de operação é determinado pela intersecção da curva do sistema com a curva da bomba a 100% da velocidade, o ponto de operação se move ao longo da curva da bomba resultando em uma vazão reduzida e um aumento da pressão. Para 80% da vazão a curva do sistema é representada na figura nº. 31 pela curva do sistema estrangulado e a bomba operaria a 5150 l/min. com uma altura manométrica de aproximadamente 60m.

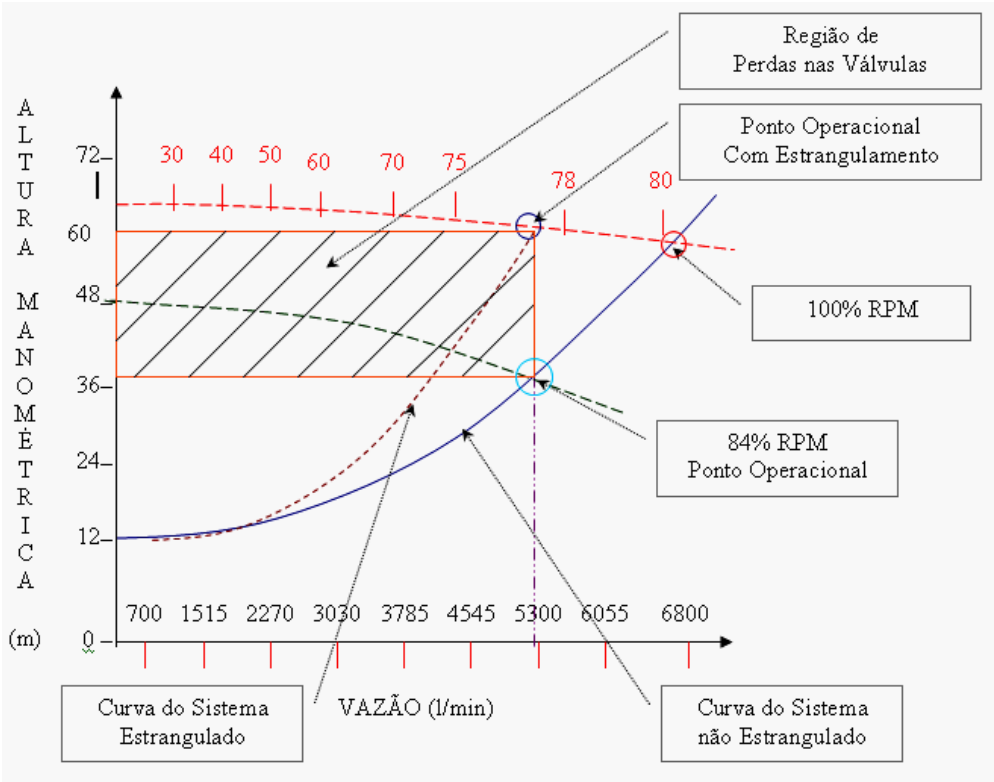


Figura nº. 31 – Sistema com Pressão e Vazão Variáveis
Operação com Válvula X Operação com Velocidade Reduzida.

O controle por variação de velocidade consiste na alteração da curva da bomba pela redução de sua velocidade. As curvas da bomba a velocidade reduzida podem ser determinadas pelas leis da bomba centrífuga. Neste caso o ponto de operação move-se para baixo da curva do sistema, resultando numa vazão e pressão menores. A determinação de velocidade real do motor é um procedimento de tentativa e erro para um sistema com recalque estático. Neste caso, 84% da velocidade resulta em 80% da vazão, devido à existência desta perda. A menor velocidade da bomba exigida para superar esta perda distribuída do sistema é de aproximadamente 45% da velocidade

nominal. Se não houvesse perdas no sistema, 80% da vazão seria obtida com 80% da velocidade nominal.

A diferença de pressão entre a operação ao longo da curva bem como da bomba e da curva do sistema, representa as perdas na válvula e a economia potencial de energia. Para se determinar o potencial de redução da potência requerida, esta pode ser calculada em diversos pontos operacionais sobre a curva da bomba a 100% de velocidade e a curva do sistema. A figura nº. 32 mostra o perfil da potência requerida em ambos os métodos de controle.

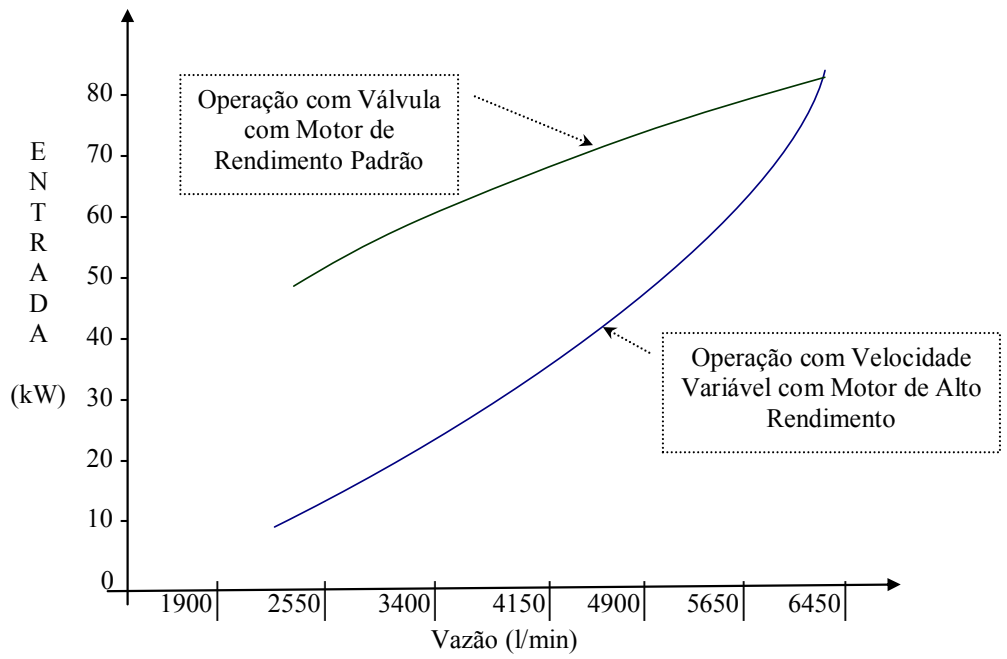


Figura nº. 32 – Perfil de Potência Entregue

V.2.2.2) Sistema com Vazão Constante e Pressão Variável:

A figura nº. 25 mostra um sistema de vazão constante e pressão variável. Os componentes deste sistema são os mesmos do sistema anterior. Este sistema, entretanto, opera diferentemente devido ao fluxo fixo ser usado como *set point*. Este tipo de operação pode ser requerido para manter uma vazão constante em todo o sistema, mesmo com mudanças de suas características. Estes tipos de aplicação iniciam tipicamente com pressão baixa no sistema no começo de um ciclo e requerem pressões mais altas durante a progressão do ciclo.

A figura nº. 33 ilustra os métodos de controle para este tipo de aplicação, considerando-se uma demanda no início do ciclo de 4500 l/min ou 70% da vazão e a curva do sistema sem estrangulamento qualquer.

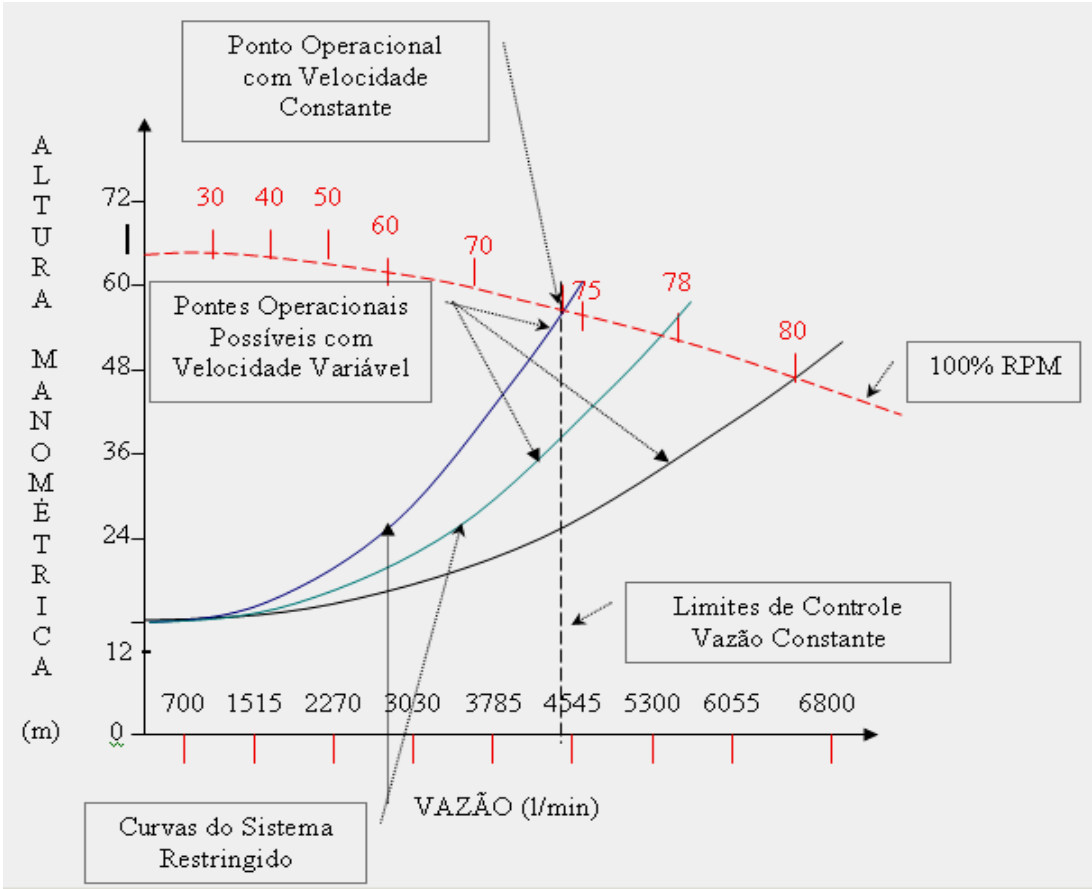


Figura nº. 33 – Métodos de Controle
- Sistema de Vazão Constante e Pressão Variável -

Neste caso, a operação da bomba a 100% da velocidade resultará em uma vazão de 6435 l/min quando apenas 4500 l/min seriam necessários. Utilizando-se controle por estrangulamento a restrição do sistema seria aumentada pelo fechamento da válvula movendo o ponto de operação de volta ao longo da curva de 100% de velocidade da bomba de 6435 l/min para 4500 l/min. Assim que a curva característica do sistema tornar-se mais restrita, forçando o ponto de operação a mover-se para vazões mais reduzidas ainda, a válvula poderia ser aberta para manter o bombeamento no ponto de operação de velocidade constante, como mostra a figura nº 33.

Uma alternativa deste método seria reduzir a velocidade da bomba caracterizando a queda do ponto de operação em várias curvas de sistema resultantes da mudança das características do sistema durante o ciclo. O efeito então seria que o ponto de operação mover-se-ia para cima da linha de controle de vazão constante, a partir da curva do sistema sem estrangulamento qualquer no início do ciclo, em direção ao ponto de operação, a velocidade constante limite do ciclo.

A economia seria representada pela diferença em pressão entre o ponto de operação por estrangulamento, com velocidade constante, e os vários pontos de operação em velocidade reduzida ao longo da linha de controle de vazão constante, como mostra a figura nº 34. É importante notar que com o aumento das perdas de carga do sistema a economia potencial decresce.

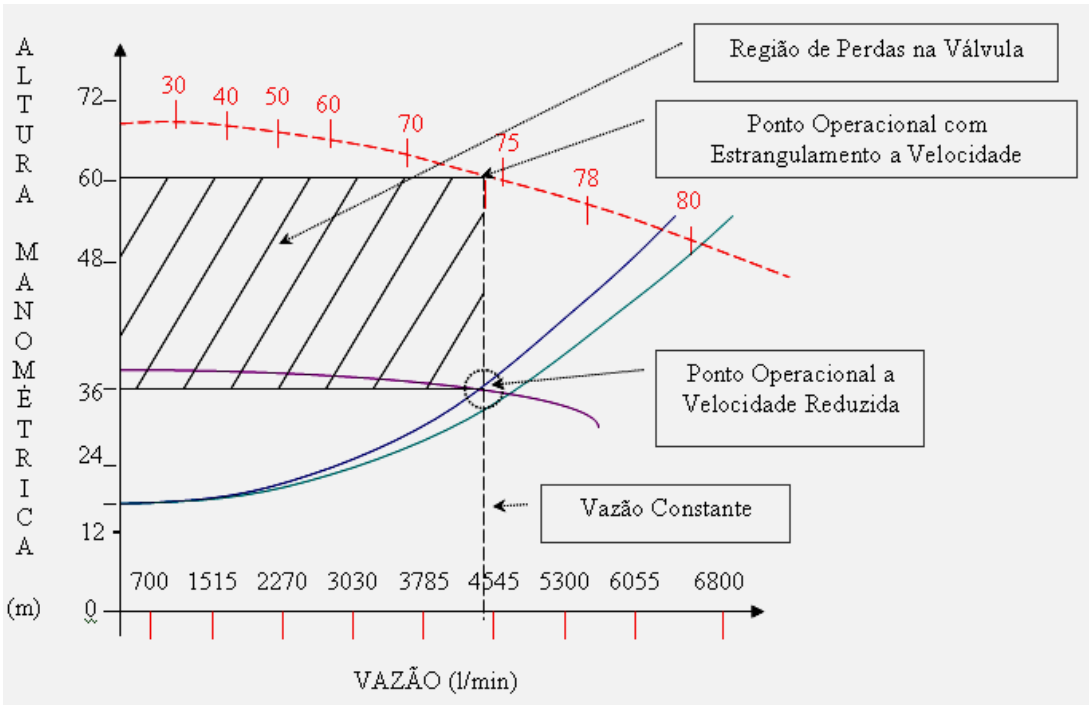


Figura nº. 34 – Sistema de Vazão Constante e Pressão Variável Operação com Válvula X Operação com Velocidade Reduzida.

O perfil da potência entregue é mostrado na figura nº. 35 e é calculado considerando-se o ponto de operação com estrangulamento a velocidade constante e vários pontos ao longo da linha de controle a vazão constante. No caso de controle por estrangulamento, há somente um ponto de operação. Nesta aplicação a pressão do sistema é a variável independente e deve ser definida para a determinação da potência requerida esperada. A potência requerida decresce quase que linearmente com a pressão.

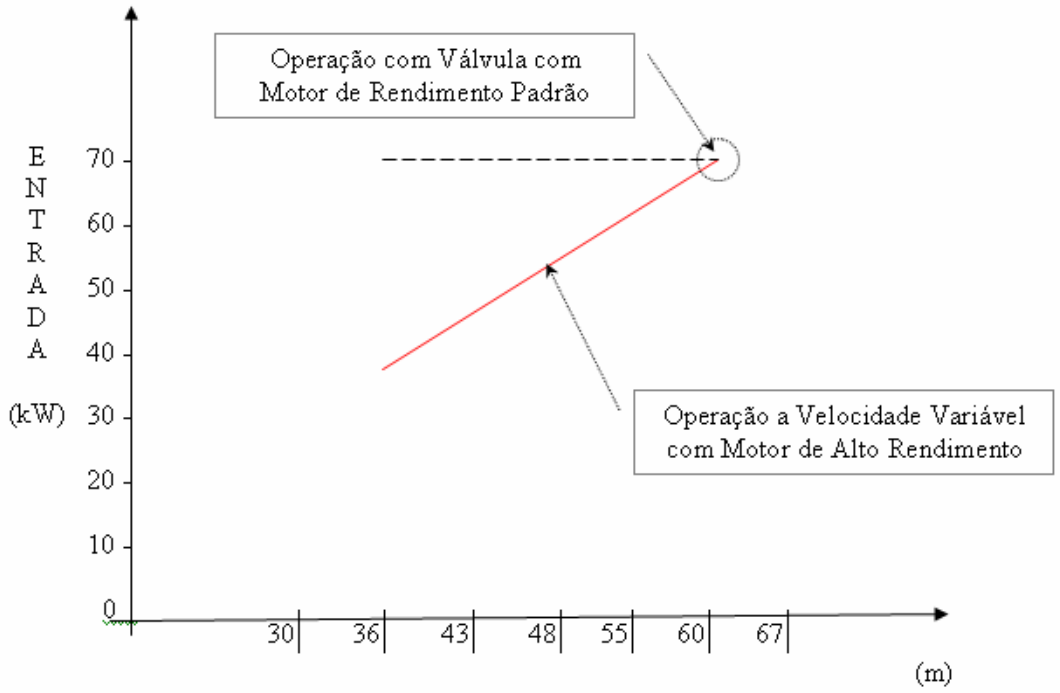


Figura nº. 35 – Perfil da Potência Entregue
- Sistema de Pressão Variável e Vazão Constante -

V.2.2.3) Sistema com Vazão Variável e Pressão Constante:

Este sistema é representado pela figura nº. 26, com *by pass* de retorno para controle de pressão no sistema de velocidade constante. A utilização de um inversor de freqüência elimina a necessidade deste *by pass*, da válvula de controle e da chave de partida do motor. A referência para controlador de *set point* neste caso necessitaria de um sinal de pressão constante.

A fim de se rever a operação deste tipo de sistema, é necessário definir a interação entre a válvula de *by pass* e as válvulas principais como mostrado na figura nº. 26. A curva mostrada na figura nº 36, considera que as válvulas principais estão totalmente abertas e que a válvula de *by pass* está fechada. Sob tal condição a bomba irá transferir 4920 l/min a uma altura manométrica de 61 m. Para a obtenção de uma faixa de controle, o sistema de controle de pressão desejado deveria estar abaixo de 61 m – neste caso assume-se que o sistema exigiria 55 m de altura manométrica constantemente. O ponto de operação da bomba mover-se-ia ao longo da curva da bomba para uma altura manométrica de 55 m e vazão de 6435 l/min, abrindo-se a válvula de retorno. Agora a altura manométrica do sistema seria de 55 m. Com uma altura manométrica do sistema de 55 m e assumindo-se que as válvulas principais

estariam totalmente abertas, a vazão seria dividida entre a linha principal do sistema e a válvula de retorno, como mostrado na figura nº 36. Entretanto, o bombeamento total seria de 6435 l/min a 55 m.

Assim que as válvulas principais estiverem fechadas, a curva do sistema tornar-se-á mais restringida. Para eliminar o acréscimo de pressão do sistema, a válvula de *by pass* seria aberta mais ainda para deslocar o ponto de operação de volta para 55 m de altura manométrica, com 6435 l/min. Isto resultaria na redução de vazão no sistema principal e aumentaria a vazão de retorno como demonstrado. Para todas as combinações de vazão principal e de retorno, a bomba operaria sempre num ponto singular. Porém, assim que a vazão principal decresce, a vazão da válvula de *by pass* aumenta.

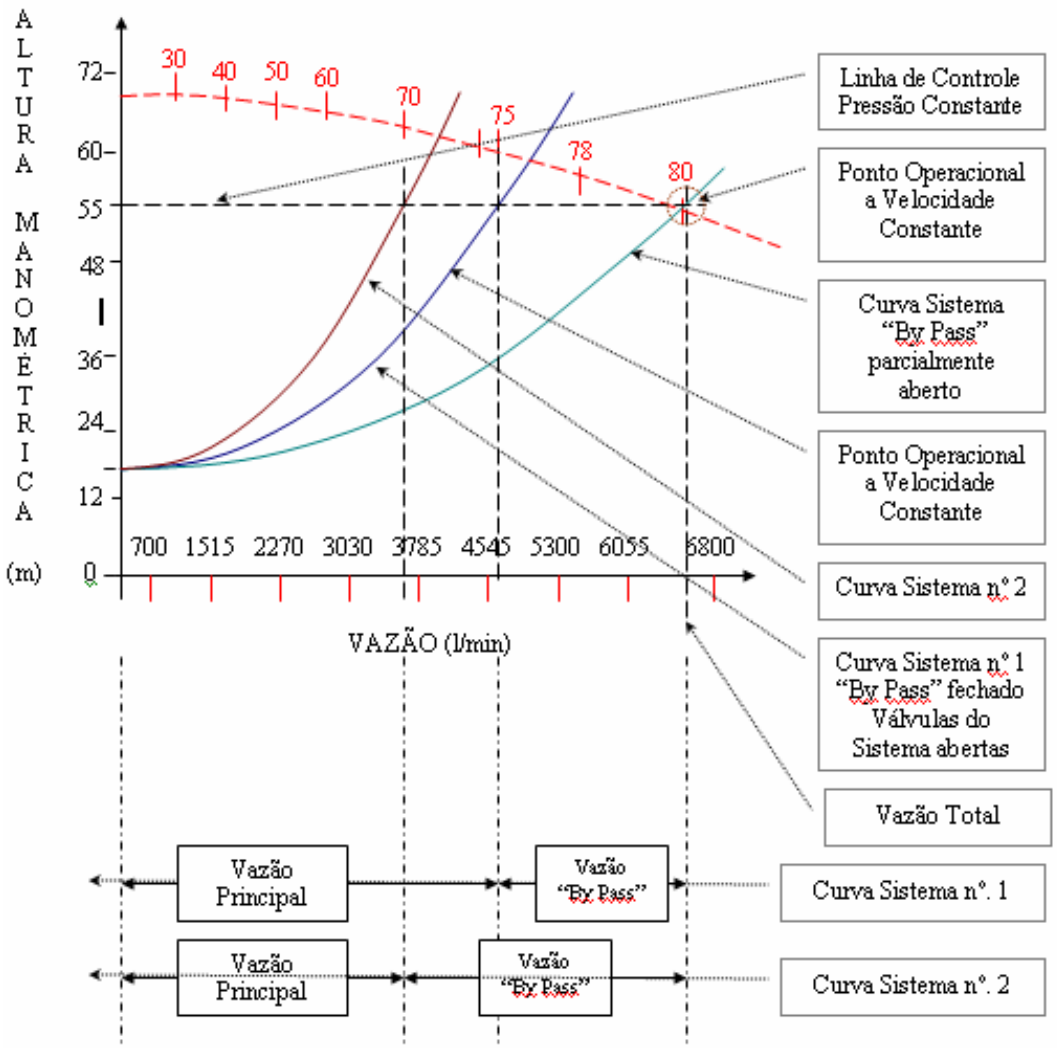


Figura nº. 36 – Operação com Retorno
- Sistema de Vazão Variável e Pressão Constante -

A figura nº 37 mostra como a operação com velocidade ajustável pode ser usada para se obter o mesmo resultado com economia de energia, eliminando-se as perdas da linha de retorno. Assim que as necessidades de vazão são diminuídas, a velocidade da bomba pode ser reduzida de forma que a bomba operaria com altura manométrica de 55 m, com uma vazão reduzida para 60% da nominal, conforme a área hachurada.

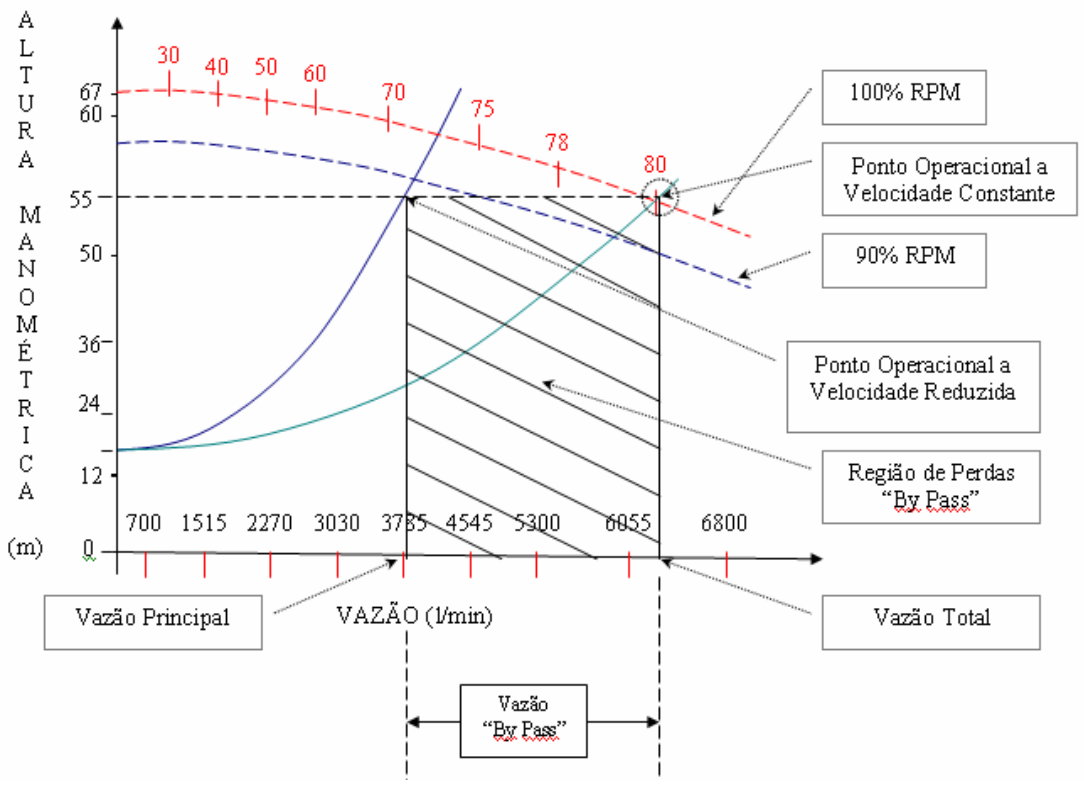


Figura nº. 37 - Operação com Retorno x Operação com Velocidade Reduzida
- Sistema de Vazão Variável e Pressão Constante -

A figura n° 38 mostra o perfil de potência requerida por este sistema. Neste caso, operação com velocidade fixa resulta em um ponto operacional. Pode-se ver que a potência requerida decresce linearmente com a vazão, aproximadamente.

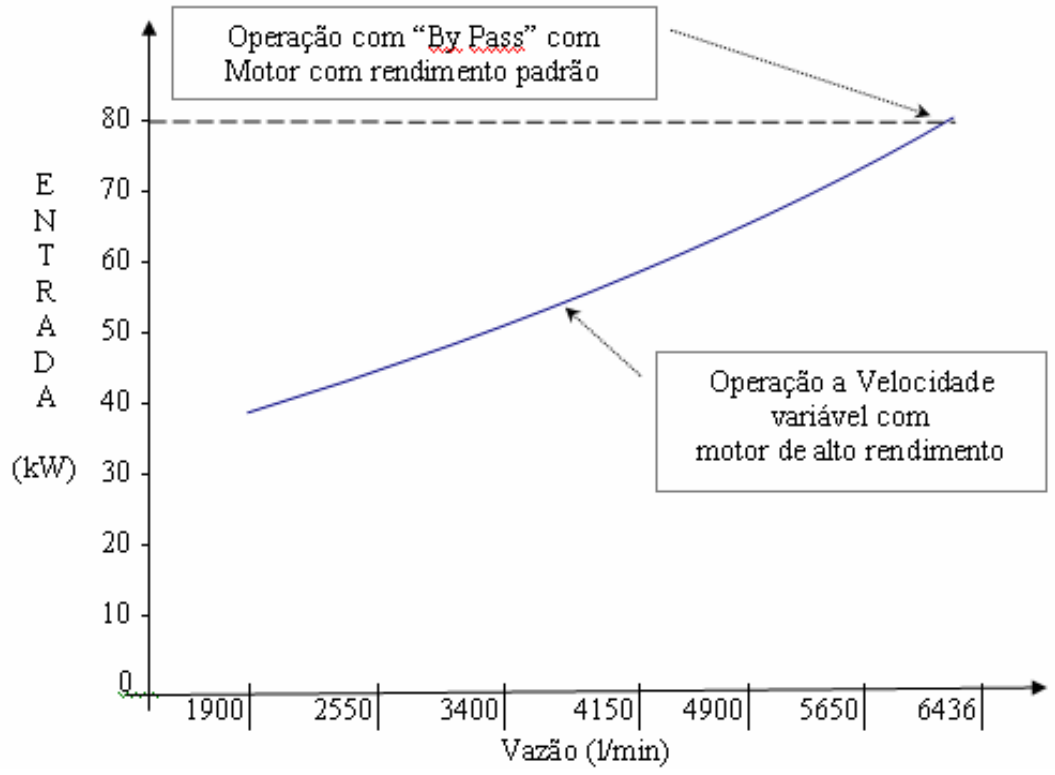


Figura nº. 38 – Perfil da Potência Entregue
- Sistema de Vazão Variável e Pressão Constante -

V.2.3) Análise Econômica:

Após a determinação da economia potencial entre os métodos alternativos de controle, os valores podem ser utilizados como base para uma análise de retorno de capital. A fim de se proceder tal análise, todos os custos de materiais e instalação devem estar definidos. Isto poderá ser simplificado, considerando-se dois casos gerais: a adaptação do sistema de bombeamento existente e novas instalações.

Admitindo-se a comparação entre controle por velocidade ajustável e controle por estrangulamento, no caso de novas instalações, os custos associados a cada alternativa devem ser definidos como segue:

- Velocidade Ajustável:
  - Custo do Inversor de Freqüência;
  - Custo de Instalação;

    - Espaço da Sala de Controle;
    - Requisitos para refrigeração;
    - Sobressalentes.
- Estrangulamento:
    - Custo da Válvula de Controle;
    - Chave de Partida Motor;
    - Tubulação adicional;
    - Custos de Instalação;
    - Espaço na Sala de Controle;
    - Sobressalentes.

Considera-se que os custos do motor e da instrumentação de controle seriam os mesmos para cada tipo de instalação. Para controle por velocidade é necessário considerar o espaço da sala de controle, pois os inversores de freqüência são maiores que a chave de partida. Adicionalmente, requisitos de ventilação devem ser considerados, pois os inversores de freqüência são normalmente dimensionados para trabalhar em temperatura ambiente na faixa de 0 a 40º C. Para o controle por estrangulamento, é desejável considerar qualquer tubulação e os custos de instalação e válvulas a ela associados, que devem ser eliminados com a utilização de velocidade ajustável.

Para uma nova instalação, se o controle por estrangulamento for totalmente eliminado, é necessário justificar o custo adicional do controle de velocidade sobre o controle por estrangulamento. Para a sua adaptação ou reforma, todos os custos associados à velocidade ajustável, inclusive os custos adicionais de engenharia, teriam de ser justificados. Um inversor de freqüência adicionado a um sistema existente poderia ser intertravado com as chaves de partida já instaladas para permitir a operação do motor conectado à rede como controle por estrangulamento. Tanto para uma reforma ou novas instalações, que utilizem sistemas de apoio redundantes, tais custos devem também ser definidos como parte da análise de retorno de investimento.

Uma vez que os custos estejam definidos, dados econômicos adicionais que poderiam ser considerados como parte do estudo de retorno de investimento incluiriam:

- Custos de Energia Elétrica;
- Aumento dos Custos de Energia Elétrica (anual);

- Horas de Operação;
- Vida Útil Estimada;
- Taxas de Juros de Mercado;
- Taxas de Juros Internas;
- Método de Depreciação;
- Custos de Manutenção;
- Lucros Taxáveis;

Outras considerações para a velocidade ajustável, que deveriam ser avaliadas, mas que não são geralmente consideradas devido à dificuldade de qualificação das vantagens, incluem:

- Melhor controle do processo pelo uso de velocidade variável;
- Aumento da vida útil da bomba, mancais e vedações;
- Diminuição dos custos de manutenção;
- Redução de ruído e vibração devido a operações a pressões mais baixas;
- Eliminação do golpe de aríete;
- Otimização do fator de potência;
- Eliminação da alta corrente de partida e redução do pico de demanda (KVA) pelo uso do inversor de freqüência.

## V.3) Implementação na Qualidade de Energia Elétrica :

Sabe-se que há muitas repetições das atividades num processo de manufatura que opera manualmente. Constantemente, elas ocorrem numa freqüência bem maior que o esperado, devidos aos erros operacionais, geralmente provocados pela deficiência no treinamento do operador, ocasionando consequentemente um aumento no tempo do processo de produção. Relacionando esse aumento de tempo com a operacionalização das máquinas, até porque há uma infinidade de manobras elétricas sendo realizadas ao mesmo tempo, temos um acréscimo de produção de ruídos diversos no que diz respeito às suas características eletromagnéticas, além da inserção de harmônicos provocados por cargas não lineares.

No estado da Califórnia - EUA, as empresas de manufatura vêm aumentando o uso de PLC (Controladores Lógicos Programáveis) na sua produção industrial, beneficiando o processo de controle e automação. Entretanto, os distúrbios ocorridos na qualidade de energia estão preocupando a Comissão de Energia da Califórnia (CEC)

[19], pois as potenciais interrupções ocorridas nos controladores lógicos programáveis vêm causando perdas de produção no parque industrial. Para avaliar essa situação, a CEC realizou uma pesquisa para determinar as incompatibilidades relacionadas ao sistema de funcionamento operacional dos controladores lógicos programáveis. A principio, os pesquisadores selecionam cinco tipos de controladores lógicos programáveis de fabricantes diferentes, que são os mais usados no parque industrial dos Estados Unidos. As unidades selecionadas foram da Omron, Siemens, Schneider Electric (Modicon), e Rockwell Automation (Allen Bradley). Um algoritmo comum do teste de qualidade de energia foi programado em cada unidade, e o equipamento foi instalado em uma plataforma do teste. Os testes de queda de tensão, transitórios de chaveamento de capacitor *(capacitor-switching transients)*, harmônicos, e transitórios induzidos por relâmpagos *(lightining-induced transients)* foram conduzidos nos PLCs.

A eletrônica de potência disponibilizou para vários setores, como escritórios, indústrias e residências, diversos equipamentos capazes de controlar o produto final: iluminação variável, velocidade ajustável de motores (por exemplo, o citado inversor de freqüência), etc. Desse modo, podemos afirmar que, aproximadamente, 50% da energia elétrica passa por um dispositivo de eletrônica de potência antes de ser realmente utilizada. Essa eletrônica faz uso de diodos, tiristores, transistores, sendo que praticamente todos eles operam em modo de interrupção. Isto significa que funcionam essencialmente em dois estados: condução e bloqueio. O primeiro estado corresponde ao período em que o dispositivo permite a passagem de corrente elétrica. O segundo estado tem operação inversa ao primeiro, bloqueando a passagem de corrente. Deste modo, a tensão na carga é interrompida pelos semicondutores e deixa de ser senoidal, podendo o usuário variar o instante de condução e consequentemente a tensão e a corrente no circuito.

À primeira vista, podemos até questionar e realmente não atentar para estes detalhes, mas podemos depois visualizar de forma mais profunda que a automação de uma planta de manufatura não somente traz benefícios no processo em si, mas como também na sua malha elétrica de controle, fazendo com que ela fique sujeita numa menor intensidade aos ruídos de ordem eletromagnética e aos harmônicos.

De forma a evidenciar melhor, no que a qualidade da energia pode impactar num sistema de controle e automação de um processo industrial, foi realizado na Empresa ATOS, o experimento descrito a seguir.

### V.3.1) Ensaio de Imunidade a EMI em CLP:

#### V.3.1.2) Introdução:

Atualmente, podemos considerar que dentre as principais áreas de investigação voltadas para o avanço da Engenharia Elétrica, e uma das mais expressivas, é a que envolve as questões voltadas à Qualidade da Energia Elétrica (QEE) [18].

Com o objetivo de conhecer fundamentalmente a natureza e a extensão dos problemas associados a esta questão, é profundamente necessário que os conceitos e definições da QEE estejam bem consolidados, de forma que justifiquemos sua importância através do entendimento dos itens de controle de avaliação da QEE.

A finalidade deste experimento é descrever de forma objetiva os procedimentos realizados na Empresa Atos Automação Industrial Ltda, no que diz respeito aos ensaios de EMI (Interferência Eletro-Magnética) no PLC (Controlador Lógico Programável) modelo MPC 4040, fabricante ATOS, conforme a norma IEC 61000-4-4:1995 – Transitórios Elétricos e Trem de Pulsos. O ensaio foi realizado em 22 de setembro de 2006, no Laboratório de Ensaios de EMI da Atos Automação Industrial Ltda, sob a orientação do técnico - eletrônico Anísio Teles e supervisão do engenheiro João Bottura (Gerentes de Aplicações).

#### V.3.1.3) Descrição do Equipamento de Teste (GERADOR NOISE) e Configurações:

##### V.3.1.3.1) Equipamento de Teste:

O ensaio foi realizado na Bancada de Teste de EMI (Interferência Eletro-Magnética), modelo 1407.00, através das simulações impostas pelo Gerador de Ruídos - *NOISE*.

Na figura nº 39, podemos identificar os terminais e botoeiras que compõem o painel frontal do Gerador de Ruídos - *NOISE*.

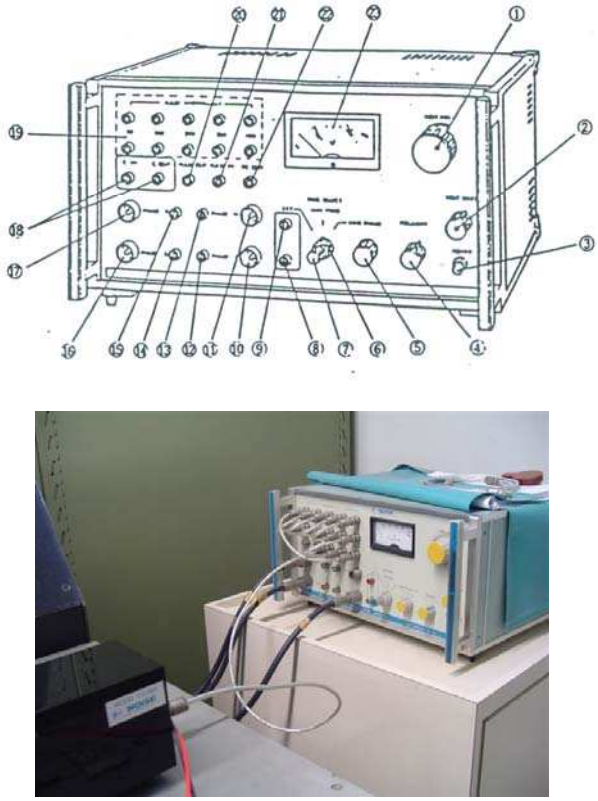

Figura nº. 39 – Gerador de Ruídos – Parte Frontal – NOISE.

Informações detalhadas sobre as partes que compõe esse gerador podem ser encontradas no *anexo* C.

V.3.1.3.2) Configuração do Teste:

As verificações relacionadas nesse tópico devem ser realizadas com o Gerador NOISE desligado. Seguem-se as configurações conforme mostradas na tabela nº. 5.

| Parâmetros | Valores |
|---|---|
| Largura de Pulso | 1µs ±10% |
| Forma de Onda | Quadrada |
| Amplitude | 2000 V ±20% |
| Ampliação do Ruído | Fase R da alimentação ou 0 V da fonte de 24 DC |
| Freqüência | 17ms (meio da escala) |
| Polaridade | Positiva |

Tabela nº. 5 – Configurações do Gerador NOISE (desligado).

Para se obter o pulso de 1μs deve ser observada a seguinte ligação no painel frontal do Gerador NOISE, conforme descrito na figura nº 40.

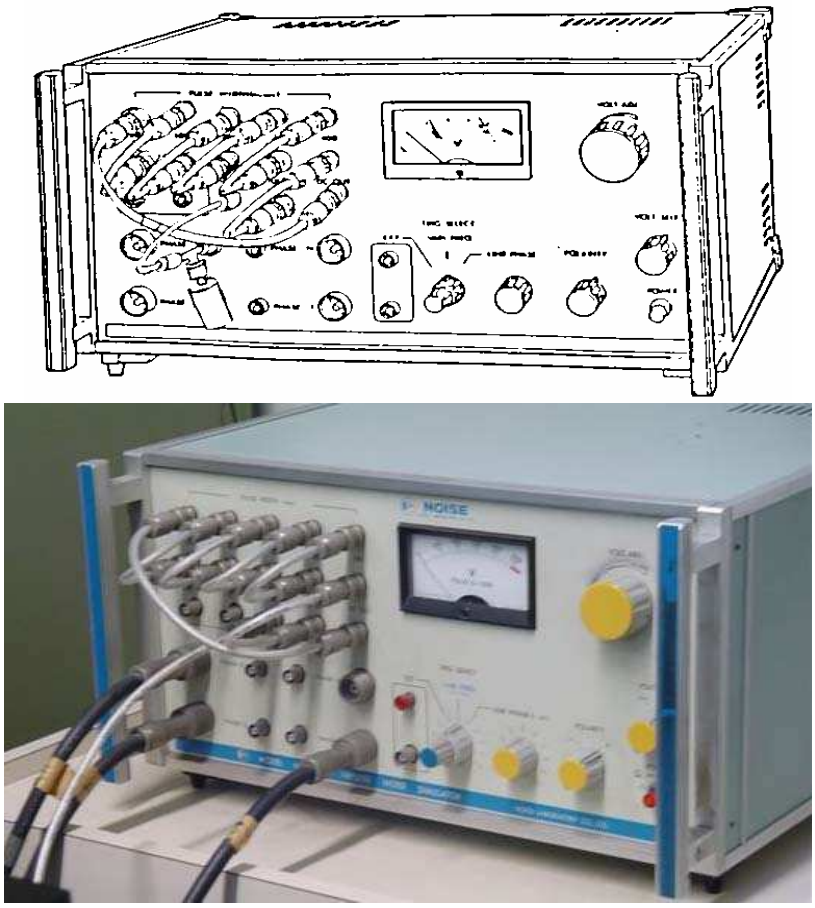


Figura nº. 40– Gerador de Ruídos – Configurações da Parte Frontal – NOISE.

V.3.1.4) Descrição do Equipamento sob Ensaio e Configurações:

V.3.1.4.1) Equipamento sob Ensaio:

O equipamento submetido ao ensaio na Bancada de Teste de EMI (Interferência Eletro-Magnética), foi o PLC modelo MPC 4004, 24 Vdc, conforme pode ser visto na figura nº.41. Durantes o ensaio o PLC permaneceu em operação.

Figura nº. 41 – PLC modelo MPC 4004 – vista frontal.

V.3.1.5) Critérios de Avaliação dos Resultados do Ensaio:

Para efeito da verificação de atendimento dos requisitos de imunidade, as NORMAS da série IEC 61000-4-4 definem os seguintes critérios para avaliação de desempenho:

- Critério A – Durante o ensaio, o equipamento deve funcionar normalmente atendendo às suas especificações técnicas.
- Critério B – É permitido que somente no momento da aplicação do ruído (perturbação), ocorram anormalidades no funcionamento do equipamento. Após a aplicação da perturbação, o equipamento deve voltar à operação normal, atendendo às suas especificações técnicas.
- Critério C – É permitido que durante o ensaio o equipamento apresente funcionamento anormal com perdas de funcionalidade, porém, deve retornar ao funcionamento normal automaticamente ou pela intervenção do operador.

V.3.1.6) Objetivo do Ensaio:

Verificar por meio de teste na citada bancada a imunidade a EMI (Interferência Eletro-Magnética) do PLC.

V.3.1.7) Procedimentos do Ensaio:

Durante o teste EMI, o PLC MPC 4004, 24 Vdc, ficou submetido por durante um tempo de 3 minutos ao regime de máxima perturbação, nas condições de 2000 Vdc com pulso de 1µs, conforme pode ser visualizado na figura nº 42.

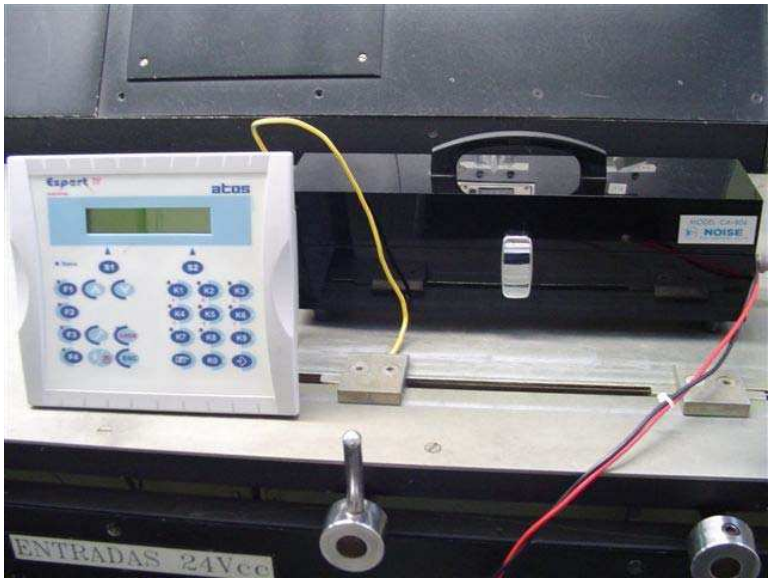


Figura nº. 42 – PLC modelo MPC 4004 – ensaio EMI.

No gráfico mostrado na figura nº 43, podemos visualizar o comportamento do ruído durante a realização do ensaio.

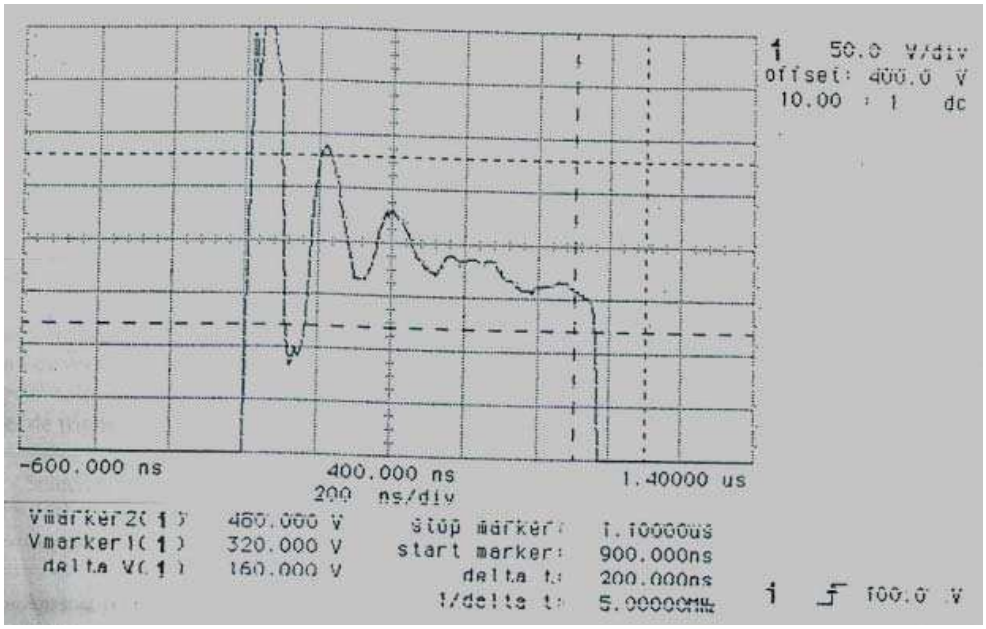


Figura nº. 43 – Comportamento Gráfico do Ruído Gerado (perturbação) – ensaio EMI.

V.3.1.8) Resultados Finais do Ensaio:

Durante o tempo de teste de 3 minutos, sob as condições de ensaio em que o PLC modelo MPC 4004, 24 Vdc ficou submetido, o mesmo foi aprovado. Em momento algum, apresentou algum tipo de anormalidade na sua funcionalidade e nem alteração na freqüência de oscilação dos led´s, suportando a perturbação imposta pelo ensaio, confirmando sua imunidade à EMI (Interferência Eletro-Magnética).

## Capítulo VI - Resultados e Considerações Experimentais:

Este capítulo apresenta alguns resultados conclusivos da implementação de um sistema de controle de processo em batelada, de acordo com as definições da norma ISA S.88, para a automação da área de brassagem da Cervejaria Escola do Senai-RJ, a partir dos equipamentos de processo existentes, com troca de parte da instrumentação, porém sem modernização da parte mecânica, tendo como foco a redução da variabilidade de processo por conta de intervenções manuais e o aumento da repetibilidade do processo, com otimização dos tempos envolvidos.

### VI.1) Benefícios da Implementação:

A norma fornece uma terminologia padronizada e um conjunto consistente de conceitos e modelos que vão aperfeiçoar a comunicação entre todas as partes envolvidas, trazendo como benefícios:

- A redução do tempo necessário para o usuário atingir níveis plenos de produção de um novo produto;
- O suprimento de ferramentas apropriadas para implementar controle de bateladas;
- Dotar os usuários de conhecimentos que permitam melhor identificação de suas necessidades;
- Tornar o desenvolvimento de receitas suficientemente direto para ser efetuado sem os serviços de um engenheiro de sistemas de controle;
- Redução dos custos de automação de processos e redução de esforços de engenharia.

### VI.2) Considerações da Implementação no CETEC:

O projeto ainda está em fase de implementação, principalmente, no que diz respeito à fase de programação de sistema. Devido a algumas mudanças imprevistas no projeto, tivemos atrasos consideráveis em sua execução.

## VI.3) Exemplos da Implementação da Norma S88 na Industria:

Com base nos conceitos definidos na norma S88, diversas empresas estão desenvolvendo produtos que implementam estes conceitos. A grande vantagem destes produtos é que utilizam uma terminologia e um modelo físico e procedural padronizados, o que facilita sua aceitação pelo mercado, e simplificará a portabilidade das aplicações entre sistemas de diferentes fornecedores.

A situação atual de tais produtos ainda não permite uma total portabilidade, até porque a norma ainda está incompleta, dando a cada fornecedor a possibilidade de implementar estruturas de dados e linguagens de programação de sua livre escolha. Uma forte tendência do mercado, pelo menos no tocante às linguagens de programação, é usar a linguagem SFC (Seqüencial Function Chart), definida na norma IEC 1131-3.

As ferramentas para definição dos modelos, tanto físico como *procedural*, variam de produto para produto, indo desde o preenchimento de tabelas hierárquicas até ferramentas gráficas de programação. Uma importante característica presente em alguns produtos é a possibilidade de se definir classes genéricas para os diferentes níveis de objetos (células de processo, unidades, equipamentos, receitas, etc.), e criar os sistemas reais a partir de instâncias específicas destas classes de objetos. Este procedimento orientado a objetos torna o trabalho de configuração mais fácil e flexível.

Outro aspecto importante nos produtos baseados na norma S88 é o uso da terminologia definida na norma. Assim, o estado de cada equipamento e de cada fase, bem como seus modos de operação e transições possíveis são as mesmas, qualquer que seja o produto utilizado.

Temos alguns exemplos de empresas que já se encontram familiarizadas com a filosofia da norma:

- IEL (Instituto Euvaldo Lodi) – CETEC de Alimentos e Bebidas
- GE FANUC Automation Information Centers
- Siemens Brasil
- Pharmaceuticals, Fine Chemicals, Glass and Food & Beverage Industries
- Cervejarias Kaiser Brasil S/A

## VI.4) Os Desafios do Gerenciamento de Bateladas:

Pelas características peculiares aos processos em batelada, seu controle e gerenciamento impõem requisitos bastante específicos. Do ponto de vista de controle, é necessário cuidar de aspectos como o seqüenciamento dos passos (fases), estratégias de controle flexíveis e adequadas a cada fase, programação e rastreamento das operações, relatórios, relatórios sofisticados, interface com operador, para citar apenas as mais importantes. O gerenciamento das bateladas requer, ainda, o cadastramento e alocação dos equipamentos disponíveis, a criação, manutenção e alocação das receitas, a arbitragem de conflitos durante a execução, o registro de cada batelada, etc.

Para tentar atender a todos estes requisitos, diversos sistemas de gerenciamento e controle de bateladas foram desenvolvidos, por fornecedores ou usuários finais, ao longo das últimas décadas. Embora alguns destes sistemas fossem bastante sofisticados, e tenham atingido razoável sucesso, todos padeciam de um mal comum: eram proprietários, e baseados em conceitos definidos especificamente pelo fornecedor ou usuário responsável por seu desenvolvimento. Isto fazia com que o gerenciamento de bateladas se tornasse um problema ainda mais complexo, pois uma empresa que utilizasse sistemas de mais de um fornecedor teria que refazer todo o trabalho de definição e implementação de suas receitas e estratégias de controle para cada novo sistema.

A total falta de padronização entre estes vários sistemas torna o reaproveitamento do trabalho já realizado, ou a migração para um novo sistema, extremamente difíceis, quando não impossível. As diferenças de terminologia e de conceitos entre produtos dificultam ainda mais a integração ou a migração entre tais sistemas. Além disso, muitos dos sistemas existentes solucionam apenas parte do problema, não cobrindo todos os aspectos envolvidos.

A indústria logo percebeu que a única forma de tornar tais sistemas mais amplos, genéricos e compatíveis entre si seria padronizar modelos, terminologias, estruturas de dados e linguagens que pudessem ser usados por todos os sistemas.

## VI.5) Importância da Programação Orientada a Objetos:

Conforme dissemos, a primeira parte da norma S 88 (ANSI/ISA S88.01) define apenas modelos funcionais e a terminologia a ser empregada no gerenciamento e controle de bateladas. Os diversos fabricantes que estão desenvolvendo produtos baseados nesta norma contam, ainda, com um elevado grau de liberdade quanto à forma de implementação, uma vez que as estruturas de dados e as linguagens de programação a serem suportadas somente serão definidas na segunda parte da norma (ANSI/ISA S88.02).

Isto significa que um produto que hoje é compatível com a norma, deverá passar por mudanças maiores ou menores, dependendo de sua forma de implementação, para se adequar às estruturas de dados e linguagens que vierem a ser definidas no futuro. Para assegurar que tal migração ocorra da forma menos problemática possível, é conveniente que todo o software seja desenvolvido usando técnicas de programação orientada a objetos.

Esta técnica de programação vai simplificar o processo de adaptação às normas, pois todas as estruturas de dados definidas no software, bem como seus atributos e processamentos, são definidos em objetos, que apresentam um alto grau de independência. Desta forma, alterações nos objetos que venham a ser afetados pela evolução da norma, não terão impacto nos demais objetos, assegurando um prazo e um custo menor de adaptação, não só para o fornecedor, como também para o usuário final. Além disso, o uso do conceito de objetos facilita também a utilização do produto, pois permite a definição de classes de objetos genéricos, que serve como base para a configuração de aplicações específicas.

## Conclusões Finais:

Embora saibamos que a norma S88 esteja incompleta, ela já representa um importante passo no direcionamento de uma efetiva padronização dos sistemas de gerenciamento e controle de processos em batelada, que futuramente trará incontáveis benefícios para os seus usuários. Atualmente, a simples definição de modelos funcionais genéricos, e de uma terminologia propriamente padronizada, já permite a educação dos seus usuários e a criação de uma cultura universal nesta área de atuação, facilitando a comunicação e a troca de idéias, de projetos e de aplicações entre diferentes empresas e unidades. Além disso, a existência de normas internacionais aceitáveis, torna possível para as empresas pequenas (cervejarias de pequeno porte) e ágeis, colocar produtos no

mercado que estejam baseados nestas normas, e que podem obter rápida aceitação pelo mercado. Isto torna as soluções proprietárias cada vez menos atraentes para os usuários.

A aplicabilidade da norma ISA 88.01 impõe uma padronização ao produto de tal forma que a sua fabricação possa ser produzida em outras áreas (fábricas) obedecendo às mesmas composições e padrões, utilizando-se dos recursos locais existentes.

Com a divulgação da norma criou-se uma linguagem específica para discussão de processos em batelada nos diversos níveis, ou seja, entre integradores, profissionais de processo, fabricantes, etc. Pretende-se que este ambiente de comunicação traga enormes benefícios inerentes à qualidade, segurança e que no geral aumente a confiabilidade nas indústrias nacionais, provocando desta forma um aumento nos nichos internacionais de negócios.

No transcorrer das diversas análises efetuadas para a modelagem e o desenvolvimento do software aplicativo, observamos que na aquisição do sistema, os seguintes cuidados devem ser tomados:

- Deve-se discutir previamente com o fabricante o dimensionamento do sistema, principalmente em relação ao módulo de software de batelada, uma vez que existem restrições em relação ao número de unidades disponíveis para uso;
- Caso o sistema utilize chave de hardware, a sua configuração deve ser discutida com o fabricante em função de sua arquitetura;
- Deve-se verificar se todos os utilitários de software estão incluídos no fornecimento;
- Deve-se verificar o dimensionamento das estações de trabalho em função do dimensionamento do processo envolvido;
- Deve-se garantir um suporte técnico durante a fase de desenvolvimento da aplicação.

Quanto à integração entre as áreas, poderá ser utilizada a filosofia de sistemas integrados de gestão, compostos por módulos que permitem o gerenciamento das informações a nível departamental e de forma corporativa. Cada módulo caracteriza-se pelas regras individuais da empresa que está adotando a norma. Os módulos e funções de integração incluem as áreas comercial, industrial, financeiro, contábil, custos, estoque e recursos humanos.

Concluindo, podemos dizer que existem grandes expectativas quanto à evolução da aplicabilidade pelas indústrias da norma S88 em seus processos produtivos, o que certamente irá beneficiar os negócios na esfera internacional como também permitirá um grande desenvolvimento tecnológico no país. A finalização da norma e sua adoção pelas empresas do setor cervejeiro trarão, num curto espaço de tempo, grandes benefícios para fornecedores e usuários.

Propostas para Trabalhos Futuros:

Os resultados apresentados comprovam os benefícios que a norma traz aos sistemas que operam em batelada, e um novo paradigma deve se impor no mercado com a adoção da norma ANSI/ISA - S88.01, devido a todas as vantagens técnicas já comentadas.

Com isso, espera-se que os temas e trabalhos futuros sugeridos abaixo sejam implementados na indústria cervejeira:

- A política de expansão da Norma S88 nas indústrias cervejeiras;
- A aplicação da Norma S88 nas microcervejarias;
- O uso da Norma S88 na qualidade final do produto;
- Influência da Norma S88 na competitividade de mercado;

De forma a facilitar o desenvolvimento da Norma S88, seria interessante que fosse criado um centro técnico de referência de fomento à aplicação da norma. Com isso, teríamos maiores trocas de experiência entre as indústrias cervejeiras que adotassem a norma como modelo de produção.

Outra sugestão para trabalhos futuros seria a aplicação da Norma S88 na indústria de fabricação de álcool, tendo em vista a perspectiva de utilização do etanol como biocombustível.

Referências Bibliográficas:

[1] Filho, Constantino Seixas . "Industrial Ethernet Networking Strategies". ARC Strategies, August 1999, ARC Advisoty Group.

[2] Paulo Cerione, "UTILIZAÇÃO DA NORMA ISA S88.01 NO MERCADO BRASILEIRO". Tecmatica Engenharia e Sistemas; Utilização da norma ISA S88.01 para controle de processos em Bateladas, ANSI/ISA-88.00.02-2001.

[3] Santos, Eddy; "Understanding S88 Batch Control". AB-Journal, Edição Novembro/2001.

[4] Cardoso, Patrícia Alcântara M. Sc. "Sistema de Monitoramento de Desempenho Aplicado à Logística." Anais do ENEGEP 1999, Rio de Janeiro.

[5] An Introduction to BREWING SCIENCE & TECNOLOGY Série III BREWER'S YEAST – THE INSTITUTE OF BREEING; G.G. Stewart(Herriot-Watt University) and I. Russel (Labatt Brewing Company Limited) . Copyright 1998. Published by: The Institute of Brewing;33 Clarges Street, London W 1 Y 8EE, England.

[6] Engenharia de Software; 5ª Edição, São Paulo, McGraw Hill; Presmann, Roger S 2002.

[7] ALQUAT, Mario. "Automação e Controle". PortoAlegre, 2002.

[8] Ehrhardt; "Envasamento, Fundação Hans Seidl-Brasil" ; CETEC de Produtos Alimentares – SENAI-DR/RJ, Vassouras, RJ, 1996 ;

[9] ANSI/ISA S88 – Batch Standard , A general Overview; ISA Philadelphia – Section – 20 February 2002.

[10] ANSI/ISA-S88.01, Batch Control Part 1: General and Site Recipe Models and Representation, Batch Control, Part 1: Models and Terminology,2003.

[11] ANSI/ISA-88.01 – ISA – The Instrumentation, Systems and Automation Society Batch Control Part 1: Models and Terminology ; ISA.1995.

[12] ANSI/ISA-88.00.02-2001 – Batch Control Part 2: Data Structures and Guidelines for Languages.

[13] Natale, Ferdinando – Automação Industrial – Érica, 1995.

[14] ALMEIDA, P.I.F. "Um olhar Sobre a Norma S88 (S88 como vista pelos usuários)". Intech, 48: 24-30, 2003.

[15] Parshall, Jim; Lamb, Larry, Applying S88: Batch Control froma a User´s Perspective. 1ª Edição, Research, Triangle Park, North Carolina, Estados Unidos, ISA Press, 2000.

[16] Manufatura Integrada por Computador: sistemas integrados de produção: estratégia, organização, tecnologia e recursos humanos/Luiz Sergio Salles Costa, Heitor M. Caulliraux (organizadores). – Rio de Janeiro:Campus:SENAI:COPPE/UFRJ,1995.

[17] U.S. Department of Energy, Assistent Secretary for Conservation and Solar Energy Office of Industrial Programs, "Classification and Evaluation of Electric Motors and Pumps", by Arthur D. Little Co., February, 1980.

[18] - CARVALHO FILHO, J. M.; Qualidade da Energia Elétrica-I : Estudo Dirigido II : Disciplina de Doutorado ECD-97, Itajubá, 1997.

[19] Characterizing the Impact of Power Quality on Programmable Logic Controllers With and Without Power Conditioning Devices, CEC PLC Project Technical Report, EPRI, Palo Alto, CA, California Energy Commission, Sacramento, CA: 2000. 1001072.

[20] NE 33 – Anforderung an Systeme zur Rezeptfahrweise, NAMUR – Version: 31.03.1993.

[21] ISA-s88.01, Batch Control, Part 1: Models and Terminology, ISA – Internacional Society for Measurement and Control – Draft 12 – 1.994.

[22] NA 46 – Beispiel zur Rezeptfahrweise nach NAMUR – Empfehlung NE 33, NAMUR – Version: 11.03.1994.

[23] Openbach Technical Brief, PID, Inc – 1.994.

[24] Batch Standard Help Streamline Engineering Effort, Marcus Webb – Control – August 1.995.

[25] SLACK, Nigel. "Vantagem Competitiva em Manufatura". São Paulo: Atlas, 1993. ISBN 85-224-0981-1.

[26] M..K. Langfeldt, "Economics Considerations of Variable Speed Drives", presented at ASME Energy Tecnology, Conference and Exhibition, February 4, 1980.

[27] W.R. Norton, "Economics of Adjustable Speed Drives in Pumps", Petroleum and Chemical Industriy, Conference Record, 1975.

## ANEXOS

### A. Processo Industrial de Produção de Cerveja:

Neste anexo, estão apresentados com maior profundidade os conhecimentos sobre o processo industrial de produção de cerveja, além de informações históricas na arte de produção da bebida.

Cerveja é a bebida não destilada obtida de fermentação alcoólica de mosto de cereal maltado geralmente malte de cevada. É facultativa a adição de outra matéria-prima amilácea (carboidratos de origem vegetal), de lúpulo ou seu extrato. Em geral o teor alcoólico é baixo, de 3% a 8%. Sob esta designação podem-se encontrar os mais diversos tipos de cervejas, obtidos por processos que vão desde a fabricação caseira até a cerveja de processamento industrial, com tecnologia altamente sofisticada.

A cerveja mais produzida no Brasil é a Pilsen, fabricada com levedura de baixa fermentação, através de um processo que dura no mínimo 7 dias de fermentação. Uma vez que este processo é completo, a cerveja é armazenada durante um tempo mínimo de 10 dias (maturação), entre 0ºC e 1ºC, para adquirir a estabilidade desejada, tornando-se uma cerveja de cor clara, de baixo teor alcoólico, considerada ideal para nosso clima.

Diversas novas tecnologias são empregadas na indústria, como veremos a seguir. Estes aperfeiçoamentos devem ser feitos dia a dia, para que o produto seja de melhor qualidade, visando uma diminuição dos custos e melhor satisfação dos clientes.

A indústria cervejeira utiliza termos e unidades de medida que lhes são característicos. Em razão da grandeza dos volumes empregados, a unidade de volume mais utilizada é o Hectolitro.

O grau alcoólico, em geral é dado em porcentagens em volume (graus Gay Lussac) a legislação brasileira se refere à porcentagem em peso (graus, Instituto Brasileiro de Pesos e Medidas).

Embora no Brasil o mais empregado seja o grau Brix para expressar a concentração de açúcar no liquido fermentescível (mosto), a unidade mais empregada em indústrias cervejeiras é o Plato, que apresenta valores corrigidos para variações de temperatura. Além desses, o grau Baulling e Baume são também utilizados.

O termo técnico malte define a matéria prima resultante da germinação, sob condições controladas, de qualquer cereal. Quando não há indicação subentende-se que é feito de cevada; em qualquer outro caso acrescenta-se o nome do cereal. Assim tem-se malte de milho, trigo, de centeio, de aveia e de outros cereais.

Outro termo técnico muito utilizado é o lúpulo, que se trata do produto obtido de uma planta trepadeira que atinge de 5 a 7 metros de altura, chamada de Humulus lupus. Esta planta é dióica, isto é, possui flores masculinas e femininas em plantas diferentes. O que se utiliza são as flores femininas desta planta que possuem, na sua base um material resinoso denominado lupulina. Este material transmite à cerveja seu amargor típico e contribuem para o aroma característico da cerveja. Hoje em dia, utilizam-se os lúpulos industrializados na forma de pellets e extratos. Existem dois tipos fundamentais de lúpulos, os assim chamados "de amargor" e os "aromáticos", conforme predomine a característica de amargor ou de aroma.

A lupulagem das cervejas é parte importante das formulações técnicas uma vez que afetam, diretamente, as características qualitativas do produto final. O lúpulo de melhor qualidade é produzido na Alemanha.

Tipos de cerveja:

Para uma melhor compreensão das características dos vários tipos de cerveja são necessárias algumas indicações, sobre certos aspectos técnicos, que caracterizam uma determinada cerveja. Assim tem-se:

- Teor de álcool:

É medido pela percentagem de álcool existente na cerveja, o que pode ser feito em termos de percentual em volume ou de percentual em peso.

- Extrato primitivo ou mosto básico:

É a densidade original do mosto, antes de ser fermentado. É medida em porcentagem Plato. (ºP).

- Atenuação:

É o percentual de extrato que foi fermentado na fabricação de determinado tipo de cerveja.

Desta forma o teor de álcool de uma cerveja é função do seu extrato primitivo e da atenuação utilizada no seu processo de fabricação. Por outro lado, as características organolépticas de uma cerveja são diretamente influenciadas:

- Pela natureza e características das matérias-primas utilizadas;
- Pelas características do tipo de levedura usada para sua fermentação;
- Pela condução do próprio processo de fermentação.

Basicamente existem dois tipos de cerveja: as de alta fermentação e as de baixa fermentação.

Cervejas de Alta Fermentação:

São cervejas antigas, isto é, que eram produzidas antes de se dominar a tecnologia de refrigeração. Os principais tipos são:

Ale: com teor de álcool em volume de 3 a 4 %. Densidade de mosto: 7,5 a 12 % Plato. Há diferentes tipos de Ales tais como: Pale Ale, Bitter Ale, Mild Ale, Brown Ale, Light Ale, etc. O tipo Strong Ale tem o extrato primitivo entre 16 e 22 % Plato.

Stout: é uma cerveja preta com 4 % de álcool . A cerveja Guiness é o Stout mais conhecido.

Lambic: fabricada com 60 % de malte e 40 % de trigo. Fermentação espontânea com uma variedade de microorganismos. Atenuação de 90 a 100%. A cerveja Lambic, fermentada durante um a dois anos em "garrafa de champagne", recebe o nome de Gueuze.

Krieken Lambi: é uma Lambic preparada com a adição de cerejas e maturada de um a dois anos.

Trappiste: é produzida com dois tipos de maltes (ambre e caramel). O extrato primitivo varia de 13 a 19º Plato. É produzida em mosteiros da Ordem dos Trapistas.

Weizenbier: produzida principalmente na Baviera, Alemanha, com trigo malteado. Densidade de 12 a 14º Plato. É normalmente servida com levedura em suspensão, isto é, sem filtrar.

Altbier: denominação genérica para cervejas de cor âmbar, contendo de 4,5 a 4,7 % de álcool.

Kolsch: cerveja clara, com 3,7 % de álcool e pouco gás carbônico, típica da região da cidade de Koln, na Alemanha.

Cervejas de Baixa Fermentação: são dos tipos:

Pilsen ou Pils: cerveja com extrato primitivo entre 11 a 13 % Plato, originalmente fabricada com 100 % de malte de cevada. Utiliza água com baixo teor de sais dissolvidos. Esse tipo se espalhou de forma rápida, sendo atualmente o tipo de cerveja mais fabricado e popular, mundialmente.

Dortmund: cerveja clara, menos amarga que a Pilsen original. Extrato primitivo 12 a 14 % Plato. Utiliza água e um teor elevado de sulfato de cálcio.

Light: cerveja clara, com extrato primitivo de 7 a 9 º Plato. A cervejaria Miller, com sua marca Lite, foi a primeira a produzir esse tipo de cerveja, com sucesso nos EUA.

Cervejas sem álcool ou com baixo teor de álcool:

Teoricamente, uma cerveja dita "sem álcool" não deveria conter nenhum teor de etanol. Mas na verdade existe um pequeno teor de álcool remanescente que depende das legislações próprias dos vários países produtores.

A legislação internacional orienta-se no sentido de admitir um teor de álcool máximo de 0,5 % em volume, na cerveja comercializada sob a designação de "cerveja sem álcool".

A qualidade das cervejas sem álcool melhorou muito quando novas tecnologias diminuíram as características negativas no paladar, que eram inerentes aos processos originais de fabricação, com fermentação interrompida.

Atualmente, os processos mais utilizados são aqueles que partem de cervejas normais, separando o álcool, seja através de sua evaporação sob vácuo, seja separando-o com o uso de membranas especiais.

Microcervejarias, Minicervejarias, Cervejarias Piloto e Pequenas Cervejarias:

O uso indiscriminado destas denominações é causa de questionamentos, interpretações equivocadas e conclusões distorcidas quanto ao objetivo e resultados práticos de sua utilização, experimental ou comercial.

Microcervejaria: trata-se de uma instalação de laboratório capaz de produzir mosto a partir de matérias-primas normais de cervejaria e, a partir desse mosto, fermentá-lo para atingir o estágio de cerveja.

O volume dessas instalações se situa entre 5 e 50 litros.

Evidentemente, para a sistemática de fabricação nesta escala não é aplicável a escala industrial.

Os ensaios nestas microcervejarias servem, antes de tudo, para a avaliação grosseira de:

- Novas variedades de cevada;
- Novas matérias-primas amiláceas;
- Novas variedades de lúpulo;
- Efeitos de uma levedura;
- Emprego de algum aditivo, etc..

É preciso ter plena consciência de que os resultados obtidos nesta escala devem ser interpretados com o maior cuidado, evitando-se extrapolações indevidas.

Minicervejarias: sua escala se situa entre 50 e 200 litros. Os resultados obtidos nesta escala permitem, em muitas ocasiões, obter uma cerveja com características próximas a uma cerveja produzida em escala industrial.

Os pontos fracos encontrados nas microcervejarias já são mais atenuados como, por exemplo, os efeitos da relação entre volume do líquido e superfícies, alturas hidrostáticas, agitação, oxidação, etc.

Cervejaria Piloto: situa-se na escala de 200 a 5000 litros. O objetivo de uma cervejaria piloto é o de fabricar uma cerveja que corresponda à que se produz em escala industrial. Praticamente, todos os grandes grupos cervejeiros possuem uma cervejaria piloto para ensaios diversos.

É muito importante conhecer a repetibilidade dos resultados obtidos nesta cervejaria. Para tanto, é importante escolher, sob o ponto de vista de Engenharia de Processo, instalações menores possíveis, que produzam resultados confiáveis e extrapoláveis para a escala industrial.

Pequenas Cervejarias: têm normalmente, a mesma escala das cervejarias piloto, aproximadamente de 600 a 5000 litros, porém com objetivos bem diferentes.

Esse tipo de instalação, chamada de *pub brewery* ou *micro brewery* nos países de língua inglesa, tem como objetivo produzir cervejas próprias, com características bem diferentes daquelas produzidas pelos grandes grupos cervejeiros.

Sua concepção técnica e comercial não objetiva reproduzir cervejas preexistentes, nem prevê flexibilidades operacionais para a realização de ensaios ou desenvolvimentos tecnológicos.

- Tecnologias Especiais:

Sistema High Gravity: este sistema consiste basicamente em produzir mosto com uma densidade maior do que aquela com que os equipamentos preexistentes e dentro do mesmo ritmo de produção, isto é, número de brassagens em 24 horas ( número de fabricações diárias de mosto ). A diluição da cerveja resultante, de modo a colocá-la nas especificações normais, é feita em estágio posterior, isto é, na filtração final do produto.

As vantagens e desvantagens desta tecnologia podem ser assim resumidas:

- Vantagens:
  - maior eficiência no uso das instalações existentes de brassagem e adegas;
  - menos energia gasta por hectolitro produzido;
  - redução na mão-de-obra por hectolitro produzido.

- Desvantagens:
  - requer equipamentos especiais para preparo da água e diluição da cerveja;
  - necessita de adaptações quanto às matérias-primas utilizadas.

A prática adotada normalmente é a de se manter a proporção das matérias-primas (malte x adjuntos), utilizando xarope de milho, adicionando diretamente na caldeira de fervura. Desta forma, as desvantagens que haveria na operação e rendimentos na tina de clarificação, são contornados.

Em uma fabrica já em operação, a capacidade de se utilizar o sistema *high* gravity e o percentual do ganho em volume depende, diretamente, das instalações existentes e da própria capacidade de envasamento.

É crucial nesta tecnologia a etapa de diluição. A água para diluir a cerveja deverá obedecer rigorosamente aos seguintes critérios:

- Estar livre de aromas ou paladares diversos;
- Estar livre de resíduos de cloro;
- Ser microbiologicamente perfeita;
- Não conter oxigênio dissolvido, além dos limites especificados, para evitar oxidação do produto;
- Não conter sais dissolvidos incompatíveis com as características do produto;
- Estar previamente carbonatada, necessitando apenas de acertos finais no produto já misturado.

O grau de concentração no sistema *high gravity* empregado por algumas indústrias cervejeiras é de forma que 25 % a 28 % de água seja adicionada.

É de se notar que, com concentrações ainda mais elevadas, as cervejas resultantes, após a diluição, já se diferenciam significativamente em aroma e paladar das cervejas produzidas com tecnologia normal.

Aspectos vitais para a qualidade das cervejas:

Estabilidade do paladar: a estabilidade do paladar *(flavour)* é a preocupação maior de todas as cervejarias que vendem suas cervejas em âmbito regional, nacional ou internacional e que devem cada vez mais se preocupar em garantir, por períodos cada vez mais longos, a qualidade de suas cervejas sob diferentes aspectos. São eles: estabilidade do paladar, estabilidade coloidal e estabilidade biológica.

Da mesma forma que muitos alimentos, a cerveja não tem uma estabilidade ilimitada. A deterioração da cerveja inicia-se, na verdade, no exato instante que a cerveja é envasada, seja em latas, garrafas ou barris.

As medidas práticas para a melhor conservação do paladar são:

O teor de oxigênio dissolvido na cerveja deve ser menor que 0,1 mg/L medido na entrada da máquina enchedora. O teor de ar no colo das garrafas deve ser menor do que 2,0 mg / L.

A pasteurização deve ser bem controlada. As garrafas, na saída do pasteurizador, não devem estar a uma temperatura alta (idealmente não mais que 25 ºC). A estocagem e o transporte devem ser feitos a baixas temperaturas, o que não ocorre devido ao alto custo.

Tomando-se estas precauções, pode-se esperar uma degradação mais lenta. Sem estas precauções, a velocidade de deterioração se acelera significativamente. A idade conduz inevitavelmente ao desenvolvimento de compostos indesejáveis que estão presentes na cerveja fresca, embora em teor muito baixo, ou na forma de compostos precursores.

Além do tempo, a temperatura de estocagem exerce influência marcante e, particularmente, o oxigênio influencia no aparecimento do paladar envelhecido (*stale flavour*), pois o oxigênio exerce um papel importante no equilíbrio das centenas de compostos químicos existentes na cerveja. Nesse sentido, deve-se sempre lembrar que as reações do oxigênio com compostos orgânicos ocorrem de maneira lenta.

A velocidade destas reações aumenta se houver aporte de energia externa. Esta energia externa pode ser, por exemplo, uma elevação de temperatura ou a incidência de energia luminosa.

Estabilidade Coloidal: uma cerveja recém filtrada, límpida e brilhante, após envasada vai gradativamente perdendo sua limpidez e brilho. A cerveja, após sua filtração, é brilhante mesmo resfriada a 0 ºC. No entanto, após algum tempo, nota-se a formação de uma leve turvação quando se mergulha a garrafa em água gelada. Esta

turvação é designada "turvação a frio" e se redissolve quando a cerveja atinge a temperatura de 20 ºC. Após um tempo mais longo de estocagem, a turvação aparece já à temperatura ambiente. É a chamada "turvação permanente". Com o correr do tempo esta turvação vai evoluindo, eventualmente até o aparecimento de um sedimento na garrafa. Esta evolução é um processo de envelhecimento natural. A velocidade do aparecimento destas turvações varia significativamente de um caso a outro e esse fato preocupa enormemente a indústria cervejeira.

Características das turvações coloidais:

Estas turvações são constituídas basicamente de dois componentes:

- fração de polifenóis;
- fração de proteínas.

Além destas frações, aparecem também, em menores proporções, outros compostos como, por exemplo, carboidratos. Todos estes compostos são constituintes naturais das cevadas, e por conseguinte, dos maltes. O aparecimento mais rápido ou mais lento dessas turvações é influenciado por fatores que podem ser classificados em:

Fatores tecnológicos no processo de malteação e produção da própria cerveja:

- A qualidade da cevada, a germinação e a torrefação (maltaria);
- Processo de brassagem, particularmente a fervura do mosto;
- A retirada do tubo quente do mosto fervido (whirpool);
- Processo de maturação que deve ser longo e a baixa temperatura (-1ºC a 0ºC);
- A filtração deve ser feita a baixa temperatura (-1ºC a 0ºC );
- A incorporação de oxigênio à cerveja deve ser rigorosamente evitada;
- Contato com superfícies metálicas (cobre, ferro, estanho, alumínio).

Fatores Externos (cerveja já engarrafada):

Como fatores externos que influenciam a velocidade da formação das turvações têm-se:

- Temperatura de estocagem:

A turvação se forma de 3 a 5 vezes mais rápida a 40 ºC do que a 25 ºC e de 10 a 30 vezes mais rápida a 60 ºC do que a 25 ºC. Abaixo de 25 ºC a turvação se forma cada vez mais lentamente salvo quando a temperatura se aproxima de 0 ºC, quando então acelera.

- Oxidação:

Quanto maior a oxidação (incorporação de oxigênio) maior a velocidade de turvação. Uma forte oxidação pode acelerar ate 5 vezes este processo.

- Agitação:

A cerveja submetida a agitação chega a turvar 3 vezes mais rápido que a não agitada. Transportes terrestres a longas distâncias prejudicam a estabilidade das cervejas.

- Mudanças de temperatura:

Situações em que a cerveja é submetida a grandes variações de temperaturas, tais como: a cerveja é gelada e depois trazida à temperatura ambiente, se repetidas, aceleram o processo de turvação que rapidamente se torna permanente, produzindo a chamada "cerveja choca".

Evidentemente a conjugação de vários desses fatores acarreta conseqüências mais rápidas e mais drásticas.

Tecnologia para a estabilização coloidal:

As cervejas contêm proteínas de diferentes complexidades e também polifenóis. Estes dois componentes tendem a se combinar lentamente dando origem à turvação coloidal. Esta turvação forma-se em grande parte durante as fases mais frias dos processos de fermentação e maturação e é removida durante a filtração da cerveja. Entretanto, no caso de ainda existirem suficientes quantidades de polifenóis e proteínas solúveis na cerveja, as reações químicas prosseguem mesmo após a filtração.

As técnicas de estabilização objetivam reduzir a velocidade do aparecimento das turvações, removendo os compostos que formam a turvação, ou tornando-os incapazes de reagir e formar compostos insolúveis.

As técnicas de estabilização mais utilizadas são:

- Remoção dos compostos: usam-se meios de adsorção seletiva que agem sobre as proteínas (por exemplo, as bentomitas) ou sobre os polifenóis (por exemplo, PVPP - polivinil polipropileno). As dificuldades práticas operacionais, do uso destas tecnologias variam muito e freqüentemente necessitam de equipamentos especiais como é o caso dos filtros de PVPP ( polivinil polipropileno).

- Tratamento enzimático:esta técnica utiliza enzimas que atacam as proteínas complexas, transformando-as em proteínas mais simples, que são incapazes de reagir com os polifenóis, formando complexos insolúveis.

- Estabilização oxidativa: pequenas quantidades de oxigênio, incorporadas durante os trabalhos nas adegas, na filtração e no envasamento, prejudicam a cerveja. O tratamento nesse caso se resume à adição de um antioxidante de natureza diversa.

Todas as medidas descritas para a melhoria da estabilidade coloidal são preocupações constantes em todas as etapas do processo. No entanto, estas tecnologias devem ser aplicadas de maneira muito cuidadosa porque podem, facilmente, acarretar desequilíbrios na composição da cerveja, particularmente na estabilidade do paladar (*flavour*) e na estabilidade da espuma.

Infelizmente, algumas medidas que beneficiam a estabilidade coloidal têm como contrapartida prejuízos para a qualidade da espuma, e o corpo da cerveja, que tende a se tornar "vazia".

A ciência, neste caso, está em conseguir um equilíbrio entre as características qualitativas da cerveja que se comercializa e as necessidades mercadológicas de uma vida mais prolongada.

Fatores Prejudiciais à Estabilidade:

- Ação da Luz: embora este efeito seja bem conhecido, tanto no aroma e no sabor quanto na sua origem, nem sempre se avalia bem o grau de prejuízo que uma cerveja tem, mesmo com pouca exposição à ação da luz.

As garrafas de vidro transparente não dão nenhuma proteção e, as garrafas verdes muito pouca. As garrafas âmbar dão proteção que varia de acordo com a graduação da cor. Esta é a razão pela qual as garrafas de cor âmbar são utilizadas pelas cervejarias.

Neste aspecto, freqüentemente, há um conflito entre considerações quanto à comercialização e a proteção do produto. O chamado "gosto de luz" *(sunstruck, skunky flavour)* tem como causa principal a substância fenilmercaptana que é formada pela fotodegradação de componentes provenientes dos lúpulos. Apenas os barris, latas e

garrafas, que não deixam passar luz (solar ou de lâmpadas), com comprimento de onda entre 350 e 550 nm, é que estão protegidas, quanto a este defeito.

- Estabilidade biológica: o risco de contaminação microbiológica nas cervejarias é permanente. Isto se deve à própria natureza do produto, cerveja e, muito particularmente, a natureza do mosto, que é um excelente meio de cultura para microorganismos.

A fase de resfriamento de mosto é, neste sentido, a fase mais crítica de todo o processo de fabricação, pois esta é a parte em que o mosto passa de uma temperatura de 98 ºC a uma temperatura de 9 ou 11 ºC, dependendo do tipo de cerveja.

A qualidade técnica das instalações e a qualificação do pessoal estão diretamente ligadas aos problemas microbiológicos que ocorrem em cervejarias. É atribuição direta dos cervejeiros conhecerem, em cada fase da fabricação, qual o grau de risco de contaminação que é inerente as suas instalações e equipamentos.

Para fazer face ao gigantismo das instalações modernas, com tanques de grandes dimensões, as cervejarias possuem sistemas chamados CIP (*cleaning in place*), os quais devem assegurar a sanitização de todas as instalações que têm contato com a própria cerveja.

Felizmente não ocorre em cervejarias o caso de contaminações patogênicas. Porém, as contaminações microbiológicas, que são normais em cervejarias, têm conseqüência direta para a qualidade do produto em todos os seus aspectos, como aroma, o paladar e a aparência. Dependendo da intensidade, a cerveja estará perdida ainda quando estiver nas adegas, de vez que as conseqüências deste problema são irrecuperáveis.

Dentre as contaminações, mais freqüentes, citam-se lactobacillus (produzem ácido lático) e acetobacter (produzem ácido acético). Em nossos dias, são raros os casos de problemas microbiológicos devidos aos cuidados permanentes com a sanitização preventiva e a prática de pasteurização que, se bem executada, viabiliza a estabilidade biológica do produto já envasado.

Fatores de Qualidade:

Espuma: o consumidor de cerveja espera simplesmente que sua cerveja espume. A espuma não é apenas um fator que dá beleza ao copo de cerveja, ela é um sinal de qualidade e uma característica, natural e própria, da cerveja. A cerveja contida em um barril ou tanque parado, em repouso, não espuma. A espuma aparece quando a cerveja é

movimentada ou servida para o consumo. A espuma, neste momento, se forma devido ao gás carbônico contido no líquido que, em pequenas bolhas sobe no copo, uma vez que na cerveja há substâncias dissolvidas que são capazes de formar pequenas bolhas elásticas que seguram o gás, formando como que minúsculos balões. O material elástico destas bolsas se compõe de uma mistura de várias substâncias, muitas delas ainda não analisáveis.

Infelizmente, em cervejaria ocorre o fato de que os fatores que beneficiam uma característica desejável freqüentemente agem no sentido oposto sobre outra característica. Espuma e estabilidade coloidal são exemplos típicos deste fato, pois grande estabilidade coloidal implica em baixa qualidade de espuma e vice-versa. Como em várias outras situações, cabe ao cervejeiro conseguir o equilíbrio para a boa apresentação de seu produto.

Amargor: o amargor de uma cerveja, na realidade, se compõe de fatores que devem ser considerados separadamente:

Quantidade de amargor: pode ser medida analiticamente em laboratório e é de difícil correção na pratica.

Qualidade de amargor: a qualidade do amargor depende de como são feitas as adições de lúpulo durante a fervura do mosto.

O momento da adição dos lúpulos, bem como a quantidade adicionada em cada etapa, tem conseqüências sobre o resultado final do amargor. A natureza dos lúpulos, se de amargor ou aromáticos, também influencia.

As qualidades dos lúpulos utilizados, caso sejam lúpulos velhos, mal estocados, oxidados, influenciam na qualidade do amargor.

Natureza do amargor: por vezes uma cerveja apresenta amargor que não é proveniente dos lúpulos e que pode ter origem em diferentes fases do processo de fabricação. Este amargor é mais bem descrito como adstringência e pode provir, por exemplo, de excessiva lavagem do bagaço de malte objetivando melhores rendimentos de fabricação, ou de um arraste de sedimentos do mosto para a etapa de fermentação.

Diacetil: é o responsável por um aroma e paladar que lembra manteiga. É produzido naturalmente, durante a fermentação, pelo próprio metabolismo da levedura. Portanto, todas as cervejas possuem diacetil, pois sua formação é natural.

Tendo em vista que este paladar não é considerado agradável, o que se objetiva é manter o teor de diacetil abaixo do seu limite de percepção sensorial que, para cervejas tipo Pilsen, é de 0,10 ppm.

Tecnologicamente, o que se tem é a formação de altos teores de diacetil durante as primeiras fases da fermentação, atingindo cerca de 0,50 ppm. Na fase final a própria levedura a reduz, gradativamente, a menos de 0,10 ppm, portanto a um nível aceitável de sabor.

Infelizmente, sem maiores cuidados, é muito fácil, na prática, ultrapassar esse valor máximo. O controle do diacetil implica em cuidados de fabricação bastante rígidos.

Gushing: é a terminologia em inglês para o fenômeno que ocorre quando, ao se abrir uma garrafa, a cerveja transborda espontaneamente, de maneira contínua e com intensidade mais ou menos forte. É o que se chama de "cerveja selvagem".

Trata-se de um problema cíclico, observado em cervejas produzidas de cevadas colhidas em ambientes condições climáticas muito úmidas. As substancias responsáveis pelo gushing são produzidas por várias espécies de fungos que, justamente, se reproduziram devido à umidade excessiva. Nenhum teste rápido tem dado bons resultados para prever esta ocorrência a partir do malte.

Para evitar este fenômeno devem-se tomar medidas preventivas, nas próprias maltarias, das quais se destacam a secagem correta da cevada e as boas condições sanitárias durante todo o processo de fabricação do malte.

É de se notar que certos tipos de características vão sendo mais perceptíveis à medida que as cervejas vão se tornando mais leves, menos encorpadas.

Neste sentido, a redução de características, capazes de encobrir a presença de outras, vai obrigando os aperfeiçoamentos constantes no processo de fabricação e nos controles que lhe são inerentes.

Efeitos Fisiológicos da Cerveja:

Diurese: o efeito fisiológico das cervejas é nitidamente superior ao da água. Vários grupos de compostos orgânicos (ácidos orgânicos, polifenóis e ácidos nucléicos) que favorecem a diurese. A proporção entre potássio e sódio na cerveja, que e de 4:1, é também responsável pelo seu efeito diurético.

Álcool: a cerveja é uma bebida alcoólica, que contem um teor de 3 a 4 %, e quem pensa que por ser baixo é inofensivo, está considerando a questão de maneira superficial. A questão está em que há bebedores que, em curto espaço de tempo, ingerem grande quantidade de bebida, o que acarreta um teor de álcool elevado no sangue. Ao lado do etanol, existem outros compostos voláteis, alguns dos quais

contribuem significativamente no efeito final de embriaguez e nas conseqüências daí decorrentes.

Comparada com os vinhos e bebidas destiladas, a cerveja é a bebida que possui teores mais baixos destes voláteis. Por outro lado, a oxidação do etanol da cerveja é 2 vezes mais rápida do que a do etanol de vinho e 7 vezes mais rápida do que a do etanol do whisky.

A absorção do álcool para o sangue ocorre em média de 15 a 30 minutos se em estado de jejum e de 1 a 3 horas se o estômago estiver cheio. O álcool é metabolizado a uma velocidade de 100 mg / h por kg de peso corporal, ou seja, 7 g / h para um homem de 70 kg.

Atividades da rotina do gerenciamento da produção:

A Fabricação é dividida em Moinho, Sala de Brassagem e Resfriamento de mosto.

Sala de Brassagem: controle do processo de cozimento do malte (mosturação), envolvendo:

- Preparo da água base para mosturação;
- Transferência do malte moído para a água base;
- Medição de pH do mosto inicial;
- Aquecimento do mosto para sacarificação;
- Verificação de açucaração do mosto;
- Medição do teor de açúcares dissolvidos;
- Filtração do mosto primário;
- Medição do extrato residual de açúcares dissolvidos;
- Transferência do mosto filtrado para a sala de brassagem;
- Controle dos parâmetros físicos e químicos, que são:
  - Temperatura da água base entre 43 e 45 ºC;
  - Quantidade (Kg de farinha de malte / HL de mostura);
  - Tempo de repouso a 44 ºC entre 19 a 21 minutos;
  - Tempo de aquecimento entre 9 e 11 minutos;
  - Tempo para atingir a temperatura de sacarificação entre 19 e 21 minutos;
  - Reação do teste de iodo;
  - Temperatura de sacarificação (69 ºC - 73 ºC);
  - Trasfega da tina de mostura para filtração temperatura (75ºC-77ºC);

- Extrato residual 0,5 - 1,0 º Plato;
- Temperatura da água de 75 ºC à 77 ºC.

- Sanitização e limpeza, através do sistema CIP, de todas as instalações que têm contato com o mosto (caldeiras, filtro Meura e tubulações).

Princípios Teóricos do Processo:

Mosturação, que compreende a mistura do malte moído com água e a adição de seu complemento. Este procedimento é realizado para promover a solubilização da maior quantidade possível de matérias hidrossolúveis do malte e dos adjuntos de fabricação empregados, o que se denomina de extrato. Com isso se dá a gomificação e posterior hidrólise do amido a açúcar, o pH e a temperatura interagem para controlar a degradação do amido e das proteínas.

A água é tratada com pH controlado e contém de 20 - 30 mg/L de cloreto de cálcio. O cálcio se complexa com o oxalato existente, mantendo o pH.

O malte a ser utilizado é uma mistura de diversos tipos de malte, com o objetivo de obter um mosto mais padronizado.

A moagem do malte não deve ser muito fina a ponto de tornar lenta a filtração do mosto, ou ao contrário, muito grossa, o que dificulta a hidrólise do amido.

O amido é um polissacarídeo de reserva dos cereais, constituído de vários polímeros, entre os quais a amilose e a amilopectina. A amilose é constituída de moléculas de glicose em ligações alfa 1,4 ; que levam à formação de cadeias retilíneas longas.

A amilopectina é uma molécula de peso molecular elevado, e possui ligações alfa 1,6. As ligações alfa 1,6 , são responsáveis pela configuração ramificada da amilopectina.

Normalmente, o amido dos vegetais é constituído de 30 % de amilose e 70 % de amilopectina. A proporção dos dois principais componentes do amido é de importância crucial na fabricação da cerveja e deve ser levada em consideração, quanto à escolha do complemento, devido ao padrão diferente que oferecem a amilose e a amilopectina face ao ataque das enzimas amilolíticas.

Existem enzimas específicas para cada reação, e todo processo enzimático depende da temperatura, do tempo e do grau de acidez do meio em que atuam.

No processo cervejeiro, as enzimas do malte têm como função transformar o amido em açúcar e solubilizar as proteínas.

A enzima amilase é responsável pela decomposição do amido em dois procedimentos distintos:

- Liquefação do amido, pela alfa amilase;
- Açucararão pela beta amilase.

A enzima peptidase rompe os complexos protéicos do malte proporcionando maior quantidade de proteínas solúveis no mosto.

O malte ainda é o único agente sacarificante permitido na fabricação da cerveja. A gomificação do amido facilita a atuação das enzimas já que expõe as cadeias do polissacarídeo, que em sua forma cristalina é mais resistente ao ataque enzimático.

Procedimento de Processo:

Caldeira de Mostura: primeiramente prepara-se a água base na caldeira de mostura, nela é colocada a quantidade adequada de água e o cloreto de cálcio previamente pesado. A água deve estar com temperatura entre 43 ºC e 47 ºC. Feito isto é informado ao moinho que a água esta pronta, o moleiro já moeu a dosagem do malte a ser utilizada na fabricação. Após a arriada do malte tem-se um repouso de 20 minutos, aproximadamente, para gomificação do amido. Neta fase é feita a medição do pH que deve estar entre 5,3 e 5,5.

A temperatura é elevada até 52 ºC onde irá ter 10 minutos de repouso para peptonização. A temperatura é elevada mais uma vez, para 73 ºC, onde ocorrerá a sacarificação, após a elevação de temperatura é feito o teste de iodo onde se verifica se a sacarificação ocorreu. No teste retira-se uma amostra de mosto, coloca-se em uma superfície branca e goteja-se solução de iodo. Se a coloração for amarela é sinal que houve sacarificação, se a coloração for azul é porque ainda existe amido a ser transformado em açúcar. Feito isto e estando tudo normal, a temperatura é então elevada a 76 ºC para inativação das enzimas. O mosto agora é chamado de primário e está pronto para ser filtrado.

O mosto é então transferido para o Filtro Meura, que retém o bagaço em suas placas filtrantes e libera o mosto filtrado. Após a filtração do mosto primário, é feita uma lavagem no bagaço com água a temperatura de 75 ºC a 77 ºC, com a finalidade de extrair os açúcares e proteínas retidas no bagaço. Nesta etapa é verificada a quantidade de açúcares que ficaram retidos no bagaço pelo teste de extrato residual, que é feito da seguinte maneira: coleta-se amostra da provadeira do filtro meura da água de lavagem e

mede-e com o sacarômetro, sendo que o extrato residual deve estar entre 0,5 e 1,0 º P que é 0,5 - 1,0 g / 100 g de mosto.

A fervura do mosto a 100 ºC com o lúpulo estabiliza sua composição, inativando as amilases e proteases por causar coagulação das proteínas, que se precipitam em flocos denominados Trub. O processo leva em torno de 2 horas.

Outros efeitos da fervura do mosto são a aromatização, a concentração, além da caramelização de alguns açúcares. Também ocorrem diversas reações químicas entre os componentes do mosto, como a coagulação de taninos.

O lúpulo é adicionado quando se atinge a temperatura de 90 ºC, pois os óleos essenciais responsáveis pelo desenvolvimento do aroma são voláteis, podendo perder-se na fervura. Nesta mesma temperatura é adicionado o complemento de açúcar HMS (High Maltose) que é extraído do milho. Há necessidade de se adicionar HMS porque a glicose produzida na sacarificação não é suficiente para se atingir o teor alcoólico utilizado na etapa de fermentação.

O caramelo é adicionado apenas para corrigir a cor do mosto, porém não influencia na concentração de açúcares.

Durante a fervura do mosto é feito o teste de turbibez, retira-se uma amostra de 100 mL, a mesma é diluída em balão volumétrico de 1000 mL e desta solução retira-se aproximadamente 250 mL para o teste realizado no turbidímetro.

No final da fervura é feita a medição do pH que deve estar entre 5,1 e 5,3. A medição do teor de açúcar do mosto pronto é feita com a utilização de sacarômetro e deve estar entre 15,0 e 15,2 º P.

Para realizar a medição da cor, uma amostra do mosto é retirada da caldeira de fervura, filtrada e transferida para uma cubeta. A mesma é colocada no colorímetro que tem cores padrões, sendo assim a amostra é comparada, até se chegar à cor mais próxima da amostra.

Após este procedimento o mosto pronto é transferido para o Resfriamento de Mosto.

<u>Resfriamento de Mosto</u>: controle do processo de resfriamento do mosto envolvendo:

1) Recebimento do mosto pronto da sala de brassagem;

2) Recebimento do mosto para decantação do Trub;

3) Resfriamento de mosto;

4) Transferência do mosto frio para Fermentação;

5) Controle dos parâmetros físicos e químicos:

- Tempo para decantação do Trub entre 20 e 30 minutos;
- Temperatura de resfriamento de 9 ºC a 12 ºC;
- Temperatura de água de resfriamento de 2 ºC a 4 ºC;
- Determinação e ajuste da concentração da solução de ácido nítrico;
- Determinação e ajuste da concentração da solução de soda cáustica;

6) Sanitização e limpeza, através do sistema CIP, de todas as instalações que têm contato com o mosto ( Whirpool, tubulações e pecas);

7) Pedido e transporte de material e bombonas de acido nítrico concentrado no almoxarifado;

8) Limpeza e troca de peças que não funcionam de acordo.

O resfriamento tem como objetivo:

- Fazer o abaixamento da temperatura do mosto de aproximadamente 95 ºC até temperatura entre 9 ºC e 12 ºC, dependendo do tipo de cerveja, ou seja, resfriar até a temperatura correta de início de fermentação;
- Eliminação dos constituintes do mosto que são produtores de turbidez, separação do trub (material sólido em suspensão no mosto);
- Aeração adequada do mosto de maneira estéril e com conteúdo correto de oxigênio, para permitir que a levedura atue devidamente.

Procedimento do Processo de Resfriamento de Mosto:

O mosto lupulado vindo da sala de brassagem entra no tanque whirpool por um tubo que tangencia o mesmo. Isto provoca sedimentação forçada, o que auxilia na decantação do trub.

O trub é formado por complexos de proteínas, resinas e taninos, que não são bem vindos na cerveja, porque provocam a turvação da mesma. O mosto fica em repouso durante 20 a 30 minutos, antes de ser resfriado.

Após o repouso, o mosto ainda quente é transferido para os dois intercambiadores que são trocadores de calor, onde por um lado passa água gelada e por outro mosto quente. A temperatura é regulada automaticamente pelo termógrafo, a vazão e a pressão são controladas manualmente. O mosto frio é aerado automaticamente pelo equipamento Gemu, de acordo com a necessidade do produto.

A assepsia é importante em todas as etapas do processo, porém no resfriamento de mosto sua importância é dobrada, porque os riscos de contaminação são muito maiores, devido à temperatura baixa do mosto que proporciona uma fácil contaminação microbiológica. Sendo assim, há a necessidade de uma circulação com soda cáustica e acido nítrico em toda a tubulação por onde passará o mosto frio, que é chamada de circulação CIP (cleaning in place). A freqüência com que se realiza este processo é a cada 5 fabricações.

Procedimentos realizados para determinação da concentração de limpeza das soluções:

Determinação da concentração da solução de hidróxido de sódio: tem o objetivo de verificar a concentração da solução.

Deve ser seguido o seguinte procedimento: pipetar a solução de hidróxido de sódio a ser analisada (5 mL). Transferir para erlenmeyer de 300 mL, adicionar água destilada (±100 mL) e o indicador fenolftaleína de 3 a 4 gotas. Titular com ácido clorídrico 1,25 Normal até tornar-se incolor. Calcular a concentração que não deve ser maior que 3,0 %, pois caso seja deve-se fazer o acerto da concentração no tanque.

Determinação da concentração da solução de ácido nítrico:

Deve ser seguido o seguinte procedimento: pipetar a solução de ácido nítrico a ser analisada (5 mL). Transferir para erlenmeyer de 300 mL e adicionar água destilada (100 mL). Adicionar o indicador fenolftaleina de 3 a 4 gotas e titular com hidróxido de sódio 0,1 Normal até coloração rósea. Calcular a concentração que deve estar no máximo 1,0 % e no mínimo 0,5 %, caso não esteja, deve-se proceder ao acerto da concentração no tanque.

B. Definições da NORMA ANSI/ISA S88.01:

Neste anexo são apresentadas as definições encontradas na primeira parte da norma internacional ANSI/ISA S88.01.

Alocação: Uma forma de controle de coordenação que vincula um recurso a uma batelada ou a uma unidade.

NOTA – Uma alocação pode se referir a um recurso ou a uma parte de um recurso.

Arbitragem: Uma forma de controle de coordenação que determina como um recurso deverá ser alocado quando existem mais requisições deste recurso que podem ser acomodadas em um dado tempo.

Área: Um componente de um sítio de manufatura em bateladas que é identificado pela segmentação física, geográfica ou lógica dentro deste sítio.

NOTA – Uma área pode conter células de processo, unidades, módulos de equipamento e módulos de controle.

Controle básico: Controle que é dedicado a estabelecer e manter um estado específico de um equipamento ou condição de processo.

NOTA - Controle básico pode incluir controle regulatório, intertravamento, monitoramento, manipulação de exceção e controle discreto ou seqüencial.

Batelada:

1.) O material que está sendo produzido ou que foi produzido pela simples execução de um processo em bateladas.

2.) Uma entidade que representa a produção de um material em qualquer ponto do processo.

NOTA – Lote significa tanto o material, pronto ou durante o processamento, quanto a entidade que representa a produção daquele material. Neste último sentido, batelada é usada como “a produção de um lote.”.

Controle de batelada: Atividades de controle e funções de controle que provêem um meio de processar uma quantidade finita de insumos submetendo-os a um conjunto ordenado de atividades de processamento por um período finito de tempo, utilizando uma ou mais peças de equipamento.

Processamento de batelada: Um processo que leva à produção de quantidades finitas de material pela submissão de quantidades de insumos a um conjunto ordenado de atividades de processamento por um período finito de tempo, utilizando uma ou mais peças de equipamento.

Agendamento de batelada: Uma lista de lotes a serem produzidos em uma célula de processo específica.

NOTA – O agendamento de uma batelada contém tipicamente informações tais como, o que será produzido, quanto deverá ser produzido, quando ou em que ordem os lotes devem ser produzidos e que equipamentos deverão ser utilizados.

Recurso comum: Um recurso que pode prover serviços a mais de um requisitante.

NOTA – Recursos comuns são identificados ou como recursos de uso exclusivo ou como recursos de uso compartilhado (3.22 e 3.54).

Módulo de controle: O mais baixo nível de agrupamentos de equipamentos no modelo físico que podem realizar controle básico.

NOTA – Este termo se aplica tanto ao equipamento físico quanto à entidade equipamento.

Receita de controle: Um tipo de receita que, através da sua execução, define a manufatura de um lote simples de um produto específico.

Controle de coordenação: Um tipo de controle que direciona, inicia e/ou modifica a execução de controle *procedural* e a utilização de entidades equipamento.

Empresa: Uma organização que coordena a operação de um ou mais sítios.

Controle de equipamento: A funcionalidade específica de um equipamento que provê a capacidade real de controle em uma dada entidade equipamento, incluindo controle *procedural*, controle básico e controle de coordenação, e que não é parte básica de uma receita.

Entidade equipamento: Uma coleção de equipamentos de processamento físico e de controle agrupados para executar certa função de controle ou um conjunto de funções de controle.

Módulo de equipamento: Um agrupamento funcional de equipamentos que executam um número finito de atividades mínimas de processo.

NOTAS:

1. Um módulo de equipamento está tipicamente centrado ao redor de uma parte de um equipamento de processo (um tanque de pesagem, um aquecedor de processo, um escovador, etc.). Este termo se aplica tanto ao equipamento físico quanto à entidade equipamento.

2. Exemplos de atividade mínima de processo são dosagem e pesagem.

Operação de equipamento: Uma operação que é parte do controle de um equipamento.

Fase de equipamento: Uma fase que é parte do controle de um equipamento.

Procedimento de equipamento: Um procedimento que é parte do controle de um equipamento.

Procedimento de unidade de equipamento: Um procedimento de unidade que é parte do controle de um equipamento.

Manipulações de exceção: Aquelas funções que lidam com contingências em plantas ou processos e outros eventos que ocorrem fora do comportamento normal ou desejado de um controle de batelada.

Recurso de uso exclusivo: Um recurso comum, o qual apenas um usuário pode utilizar em um dado tempo.

Fórmula: Uma categoria de informação sobre receita que inclui as entradas de processo, os parâmetros de processo e as saídas de processo.

Receita genérica: Um tipo de receita que expressa requisitos de processo independentes de equipamentos e de sítios.

Cabeçalho: Informação a respeito do propósito, da fonte e da versão da receita, tais como identificação do produto, criador e data de emissão da receita.

ID: Um identificador único para o processamento de uma batelada, do lote, operador, técnicos e insumos brutos.

Linha, trem: Veja definição de trem.

Lote: Uma quantidade única de material tendo um conjunto de traços comuns.

NOTA: Alguns exemplos de traços comuns são a fonte de material, a receita mestra utilizada para produzir o material e as propriedades físicas distintas do mesmo.

Receita mestra: Um tipo de receita que leva em conta capacidades de equipamentos e pode incluir informações específicas de células.

Modo: A maneira pela qual a transição de funções seqüenciais é executada dentro de um elemento *procedural* ou a acessibilidade para manipular os estados de uma entidade equipamento manualmente ou por outros tipos de controle.

Operação: Um elemento *procedural* definindo uma atividade independente de processamento sendo constituída pelo algoritmo necessário para inicialização, organização e controle das fases.

Caminho, rota: A ordem dos equipamentos dentro da célula de processo que está sendo utilizado ou será utilizado para a produção de um lote específico.

Proteção pessoal e ambiental:

A atividade de controle que: previne a ocorrência de eventos que levariam ao processo reagir de forma que iria por em risco a segurança pessoal e/ou danificar o meio ambiente; e/ou adota medidas adicionais, tais como partir equipamentos que estavam em estado de espera para prevenir uma condição anormal de evoluir para um estado mais indesejável que iria por em risco a segurança pessoal e/ou danificar o meio ambiente.

Fase: O mais baixo nível de elemento procedimental no modelo de controle procedimental.

Controle procedimental: Controle que direciona ações orientadas a equipamento para ocorrer em uma seqüência ordenada de forma a realizar alguma tarefa orientada a processo.

Elemento procedimental: Um bloco construtivo para controle procedimental que é definido pelo modelo de controle procedimental.

Procedimento: A estratégia para executar um processo.

NOTA - Em geral, isto se refere à estratégia de fazer uma batelada dentro de uma célula de processo. Pode também se referir ao processo que não resulta na obtenção de um produto, como por exemplo, um processo de limpeza de equipamento em linha.

Processo: Uma seqüência de atividades físicas, químicas ou biológicas para conversão, transporte ou armazenamento de material ou energia.

Ação de processo: Atividades mínimas de processamento que são combinadas para compor uma operação de processo.

NOTA – Ações de processo são o menor nível de atividade de processamento dentro de um modelo de processo.

Célula de processo: Um agrupamento lógico de equipamentos que inclui os equipamentos necessários para a produção de uma ou mais bateladas. Isso define a abrangência dos controles lógicos de um conjunto de equipamentos de processo dentro da área.

NOTA – O termo se aplica tanto aos equipamentos físicos quanto às entidades equipamento.

Controle de processo: A atividade de controle que inclui as funções de controle necessárias para prover controle seqüencial, regulatório e discreto e para adquirir e apresentar dados.

Entrada de processo: A identificação e a quantidade de insumos ou outros recursos necessários para a confecção de um produto.

Gerenciamento de processo: A atividade de controle que inclui as funções de controle necessárias para gerenciar a produção de uma batelada dentro de uma célula de processo.

Operação de processo: Uma macro atividade de processo que usualmente resulta em mudanças físicas ou químicas no material sendo processado e que é definida sem considerar a real configuração dos equipamentos necessários.

Saída de processo: A identificação e a quantidade de materiais ou energia que se espera resultar de uma receita de controle.

Parâmetros de processo: As informações que são necessárias para processar um material, mas que não se enquadram nem como entradas de processo nem como saídas de processo.

NOTA – Exemplos de parâmetros de processo são: temperatura, pressão e tempo.

Estágio de processo: Uma parte de um processo que usualmente opera de forma independente de outras partes do processo e que usualmente resulta em uma seqüência planejada de mudanças físicas ou químicas no material sendo processado.

Receita: O conjunto necessário de informações que define de forma única os requisitos de produção para um produto específico.

NOTA – Existem quatro tipos de receitas definidas na norma: A receita genérica, a receita específica, a receita mestra e a receita de controle.

Gerenciamento de receita: A atividade de controle que inclui as funções de controle necessárias para criar, armazenar e manter as receitas genéricas, as receitas específicas e as receitas mestras.

Operação de receita: Uma operação que é parte de um procedimento de receita em uma receita mestra ou de controle.

Fase da receita: Uma fase que é parte de um procedimento de receita em uma receita mestra ou de controle.

Procedimento de receita: A parte da receita que define a estratégia de produção de um lote.

Procedimento de unidade de receita: Um procedimento de unidade que é parte de um procedimento de receita em uma receita mestra ou de controle.

Recurso de uso compartilhado: Um recurso de uso comum que pode ser utilizado por mais de um usuário em um dado tempo.

Sítio: Um componente de uma empresa de confecção em batelada que é identificado por uma segmentação física, geográfica ou lógica dentro da empresa.

NOTA – Um sítio pode conter áreas, células de processo, unidades, módulos de equipamentos e módulos de controle.

Receita de sítio: Um tipo de receita que é específica para um sítio.

NOTA – Receitas de sítio podem ser derivadas de receitas genéricas reconhecendo peculiaridades locais, tais como idioma e disponibilidade de insumos.

Estado: A condição de uma entidade equipamento ou de um elemento *procedural* em um dado instante.

Rota, caminho: Ver definição de caminho.

Trem, linha: Um conjunto de uma ou mais unidades e agrupamentos de equipamentos de mais baixo nível associados que tem a capacidade para ser utilizado para confeccionar um lote de material.

Unidade: Uma coleção de módulos de controle associados e/ou módulos de equipamento e outros equipamentos de processo nos quais uma ou mais atividades maiores de processamento podem ser conduzidas.

NOTA - Presume-se que unidades operem em uma batelada por vez. Unidades operam de forma relativamente independente uma da outra.

Este termo se aplica tanto ao equipamento físico quanto à entidade equipamento.

Exemplos de atividades maiores de processamento são reagir, cristalizar e fazer uma solução.

Procedimento de unidade: A estratégia de realizar processos contíguos dentro de uma unidade. Consiste em operações contíguas e o algoritmo necessário para inicialização, organização e controle destas operações.

Receita unitária: A parte de uma receita de controle que define de forma única os requisitos de produção contígua para a unidade.

NOTA – A receita de unidade contém os procedimentos de unidade e suas fórmulas relacionadas, cabeçalhos, requisitos de equipamentos e outras informações.

Supervisão de unidade: A atividade de controle que inclui as funções de controle necessárias para supervisionar uma unidade e seus recursos.

C. Descrição do Equipamento de Teste – Gerador NOISE:

Neste anexo, estão apresentadas de forma concisa as informações que compõe o GERADOR NOISE.

Conforme visto na figura nº. 44, temos a identificação dos terminais e botoeiras que compõe o painel frontal do Gerador de Ruídos - *NOISE*.

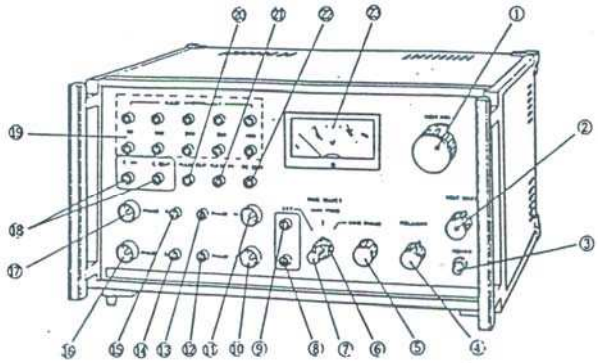

Figura nº. 44 – Gerador de Ruídos – Parte Frontal – NOISE.

Onde:

(1) Volt ADJ – Controle que nos permite ajustar o nível do pulso de tensão.

(2) Volt SELECT – Seleciona a faixa de tensão do pulso nas faixas de 0 à 200V ou 0 à 2000V.

(3) POWER – Botão que permite ligar ou desligar o gerador.

(4) POLARITY SELECT – Botão que seleciona se o pulso tem que ser positivo (+) ou negativo (-).

(5) LINE PHASE SELECT – Botão que seleciona o sincronismo do pulso com a fase da rede elétrica.

(6) TRIGGER SELECT – Botão para selecionar os modos de *trigger*, descritos abaixo (parte externa do botão):

- EXT (chave para a esquerda) – Utilizado quando queremos executar um sincronismo externo, com o limite máximo de 100 Hz.
- VARI FREQ (chave na posição central) – Utilizamos o oscilador interno para o sincronismo do pulso de tensão na freqüência de 28 a 100 Hz.
- LINE PHASE (chave para a direita) – Utilizado para sincronizar o pulso com a rede na freqüência de 50 ou 60 Hz.

(7) VARIABLE FREQ – Usado para selecionar a freqüência do pulso (parte interna do botão). Valido somente quando o TRIGGER SELECT estiver na posição VARI FREQ.

(8) EXT TRIGGER – Terminal para a entrada do pulso de *trigger* externo.

(9) EXT TRIGGER – Botão para gerar um pulso.

(10) TERMINAL DE SAÍDA DA FASE T - (vai para a bancada).

(11) TERMINAL DE SAÍDA DA FASE T.

(12) TERMINAL PARA INJETAR RÚIDO - FASE T.

(13) TERMINAL PARA INJETAR RÚIDO - FASE N.

(14) TERMINAL PARA INJETAR RÚIDO - FASE S.

(15) TERMINAL PARA INJETAR RÚIDO - FASE R.

(16) TERMINAL DE SAIDA DA FASE S - (vai para a bancada).

(17) TERMINAL DE SAIDA DA FASE R - (vai para a bancada).

(18) TERMINAIS PARA A ENTRADA (IN) E SAÍDA (OUT) – Para a onda triangular.

(19) PULSE WITHÁ – 8 Terminais para selecionar a largura do pulso a ser utilizado no teste.

(20) PULSE OUT – Terminal para a saída do pulso.

(21) PULSE IN – Terminal para a entrada do pulso.

(22) DC OUT – Terminal para a saída DC.

(23) INDICADOR DE NÍVEL DE TENSÃO.

Já na figura nº. 45, podemos melhor identificar os terminais e conectores que compõe o painel traseiro do Gerador de Ruídos - *NOISE*.

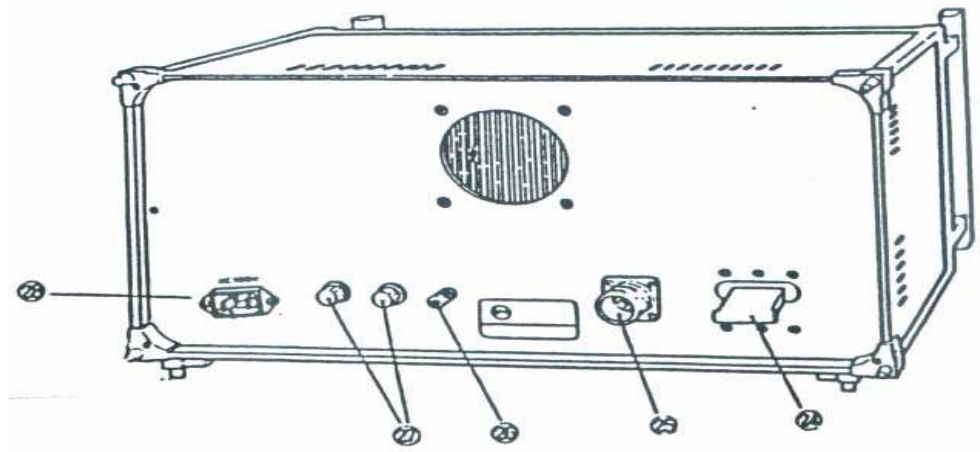

Figura nº. 45 – Gerador de Ruídos – Parte Traseira – NOISE.

Onde:

(24) LINE IN – Quando esta chave está para cima permite a entrada do trifásico ao gerador.

(25) CONECTOR PARA A ENTRADA DO TRIFÁSICO AO GERADOR.

(26) TERMINAL TERRA.

(27) FUSÍVEL DE 2A.

(28) CONECTOR DE ALIMENTAÇÃO DO GERADOR.