ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

MARCOS YUKIO YAMAGUCHI

**Sincronização das Bases de Tempo de CLPs Distribuídos
numa Rede de Automação de Processo Industrial**

v.1

**São Paulo
2006**

MARCOS YUKIO YAMAGUCHI

Sincronização das Bases de Tempo de CLPs Distribuídos numa Rede de Automação de Processo Industrial

Trabalho de Qualificação de Mestrado
apresentado à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo.

Área de Concentração: Departamento de
Energia e Automação

Orientador: Prof. Dr. Cícero Couto de Moraes

v.1

**São Paulo
2006**

Para meus pais

AGRADECIMENTOS

À Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, instituição que me formou e na qual passei alguns dos melhores anos de minha vida.

À Rockwell Automation do Brasil, empresa que contribuiu para o meu aperfeiçoamento profissional em automação industrial.

Ao meu orientador Professor Doutor Cícero Couto de Moraes, pela motivação, amizade e orientação neste trabalho de pesquisa.

Aos meus pais Yukinori e Sumie, pelo exemplo, apoio e educação.

À querida Maria Racilda, pela motivação, amizade e apoio.

RESUMO

YAMAGUCHI, M. Y. Sincronização das Bases de Tempo de CLPs Distribuídos numa Rede de Automação de Processo Industrial. 2006. 142 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

Os sistemas de automação se tornam cada vez mais abrangentes e complexos, criando a necessidade de uma estruturação básica durante o seu desenvolvimento de forma a permitir melhor visualização, organização e entendimento destes sistemas.

Este trabalho propõe o desenvolvimento de uma metodologia para análise, implementação e verificação da sincronização das bases de tempo dos equipamentos organizados conforme a estruturação hierárquica CIM (*Computer Integrated Manufacturing*). Esta metodologia é uma ferramenta útil para o desenvolvimento de sistemas de automação integrados e sincronizados.

Inicialmente são apresentadas e analisadas as funções, especificações e utilidade da estruturação hierárquica dos sistemas de automação industrial. Os principais componentes de um sistema moderno de automação são apresentados e para cada um dos equipamentos principais é definido o nível a qual este pertence na pirâmide da automação baseada no modelo CIM.

Na etapa seguinte é realizado o levantamento e a análise da necessidade de sincronização dos diversos sistemas automatizados e proposta uma metodologia que auxilie na análise e implementação da sincronização das bases de tempos nestes sistemas de automação integrados.

No final do trabalho, esta metodologia é aplicada num caso prático para a comprovação da sua validade.

ABSTRACT

YAMAGUCHI, M. Y. Synchronization of Timebases of PLCs Distributed in an Industrial Process Automation Network. 2006. 142 f. Dissertation (Master) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

The automation systems are becoming more and more wide-ranging and complex creating the necessity of using some kind of structuring for their development in order to allow better visualization, organization and understanding of these systems.

This research proposes the development of a method for analysis, implementation and check of synchronization of the equipments timebases in a hierarchical structuring of CIM (Computer Integrated Manufacturing). This procedure is useful for development of integrated and synchronized automation systems.

Initially are presented and analysed the functions, specifications and uses of hierarchical structuring in industrial automation systems. The main components of a modern automation system are presented and for each equipment is defined the level that it belongs in the automation's pyramid based on CIM model.

In the next stage are surveyed and analysed the needs of synchronization of automated systems and proposed a helpful method for analysis and implementation of timebases' synchronization in integrated automation systems.

At the end of this research, this method is applied in a practical case for its validation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Níveis funcionais da estruturação hierárquica de um sistema de automação	23
Figura 2 - Exemplo de estruturação hierárquica dos sistemas de automação numa empresa de manufatura.....	26
Figura 3 - Uma planta siderúrgica segundo o PRM	29
Figura 4 - Uma planta papelreira segundo o PRM	29
Figura 5 - Uma planta farmacêutica segundo o PRM	30
Figura 6 – Macro sistemas funcionais de uma planta industrial na estruturação hierárquica ..	34
Figura 7 – Visão geral da estruturação hierárquica dos sistemas de automação e seus equipamentos.....	36
Figura 8 – Necessidades de software conforme nível hierárquico	45
Figura 9 – As sete camadas do modelo OSI e as três camadas das redes de campo de automação industrial.....	55
Figura 10 – Padrões de redes de banda larga sem fio (<i>wireless</i>).....	60
Figura 11 – Classificação dos protocolos MAC.....	61
Figura 12 – Classificação do tráfego periódico	64
Figura 13 – Classificação do tráfego não periódico	65
Figura 14 – Níveis de redes na estruturação hierárquica da automação.....	66
Figura 15 – As principais famílias de perfil de comunicação da norma IEC 61784.....	67
Figura 16 – Ordem de grandeza das constantes de tempo na pirâmide da automação.....	71
Figura 17 – Sincronização vertical na estruturação hierárquica dos sistemas de automação...	74
Figura 18 – Sincronização horizontal na estruturação hierárquica dos sistemas de automação	75
Figura 19 – Funções e requisitos no tempo do sistema de aquisição de dados	88

Figura 20 – Metodologia de sincronização de bases de tempo e as rotas entre as etapas	90
Figura 21 – Etapa 0 NECESSIDADES da metodologia e seus itens principais	92
Figura 22 – Etapa 1 PROCESSO da metodologia e seus itens principais.....	94
Figura 23 – Etapa 2 AUTOMAÇÃO da metodologia e seus itens principais.....	98
Figura 24 – Etapa 3 EVENTOS da metodologia e seus itens principais.....	103
Figura 25 – Visão externa da planta do Laminador de Tiras a Quente (LTQ).....	106
Figura 26 – Metodologia de sincronização de bases de tempo	107
Figura 27 – Estruturação hierárquica do processo do LTQ.....	110
Figura 28 – O forno de reaquecimento na planta do LTQ.....	111
Figura 29 – O laminador desbastador na planta do LTQ	111
Figura 30 – O trem acabador na planta do LTQ.....	112
Figura 31 – A bobinadeira numa planta do LTQ.....	113
Figura 32 – Arquitetura da automação do forno, do laminador desbastador (RM) e do trem acabador (FM)	119
Figura 33 – Arquitetura da automação da subestação, da ETA e da bobinadeira (DC).....	120
Figura 34 – Sincronização vertical no sistema SCADA.....	132
Figura 35 – Sincronização horizontal no sistema SCADA	134

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Resumo das funções de um sistema de automação integrado	22
Tabela 2.2 - Modelo de automação da empresa no modelo PRM.....	25
Tabela 2.3 - Resumo dos requisitos a serem atendidos pelos sistemas de controle por computador	28
Tabela 2.4 - Divisão do processo produtivo de uma planta de fabricação e processamento de amido industrial	30
Tabela 2.5 – Aplicação da estruturação hierárquica numa planta de processamento de milho segundo o modelo proposto.....	31
Tabela 3.1 – A norma IEC 61131 e as suas 8 partes	50
Tabela 4.1 – PID em malhas de controle para processos	86
Tabela 4.2 – Categorias e características de fenômenos eletromagnéticos dos sistemas de potência.....	88
Tabela 5.1 – Exemplo da estrutura da lista de variáveis da etapa PROCESSO	95
Tabela 5.2 – Exemplo da estrutura da lista de variáveis da etapa AUTOMAÇÃO	99
Tabela 5.3 – Exemplo da estrutura da lista de variáveis da etapa EVENTOS	104
Tabela 6.1 – Quantidade de variáveis aqisitadas pelo sistema SCADA do LTQ.....	114
Tabela 6.2 – Equipamentos principais do sistema SCADA	118
Tabela 6.3 – Redes MODBUS da subestação do LTQ.....	121
Tabela 6.4 – Redes MODBUS das áreas do LTQ, exceto subestação	122
Tabela 6.5 – Resolução e precisão dos relógios dos principais equipamentos do sistema SCADA.....	128
Tabela 6.6 – Referências de data e hora e periodicidade de atualização.....	128

SUMÁRIO

1	Introdução	14
1.1	OBJETIVO	16
1.2	APLICABILIDADE	17
2	Estruturação Hierárquica dos Sistemas Industriais de Automação.....	19
2.1	INTRODUÇÃO	19
2.2	ANÁLISE DE UM SISTEMA DE AUTOMAÇÃO INTEGRADO	19
2.2.1	<i>Funções de um sistema de automação integrado</i>	<i>19</i>
2.2.2	<i>Estruturação hierárquica em níveis</i>	<i>23</i>
2.2.3	<i>Requisitos de um sistema de automação integrado</i>	<i>26</i>
2.2.4	<i>Aplicação do modelo proposto</i>	<i>28</i>
3	Análise dos Sistemas de Automação Industrial	32
3.1	INTRODUÇÃO	32
3.2	SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO DE UMA PLANTA INDUSTRIAL.....	32
3.3	ANÁLISE DOS EQUIPAMENTOS PRINCIPAIS DO SISTEMA	34
3.3.1	<i>Computadores.....</i>	<i>37</i>
3.3.2	<i>Controladores.....</i>	<i>39</i>
3.3.3	<i>Dispositivos de campo.....</i>	<i>42</i>
3.4	ANÁLISE DAS ESPECIFICAÇÕES DE SOFTWARE.....	44
3.4.1	<i>Software do sistema corporativo</i>	<i>45</i>
3.4.2	<i>Software do sistema de produção</i>	<i>46</i>
3.4.3	<i>Software do sistema supervisor IHM (Interface Homem Máquina).....</i>	<i>48</i>
3.4.4	<i>Software do CLP.....</i>	<i>49</i>
3.4.5	<i>Software das redes de comunicação.....</i>	<i>51</i>
3.5	ANÁLISE DAS ESPECIFICAÇÕES DAS REDES DE AUTOMAÇÃO	53
3.5.1	<i>Modelo em camadas: modelo OSI.....</i>	<i>54</i>
3.5.2	<i>Especificação de uma rede de automação.....</i>	<i>56</i>
3.5.3	<i>As principais redes de automação</i>	<i>65</i>
3.5.4	<i>Padronização das redes de campo</i>	<i>66</i>
4	Sincronização dos Equipamentos e Computadores na Mesma Referência de Base de Tempo	69
4.1	SINCRONIZAÇÃO NOS NÍVEIS HIERÁRQUICOS DA PIRÂMIDE DE AUTOMAÇÃO	70
4.1.1	<i>Distribuição das bases de dados na pirâmide de automação.....</i>	<i>71</i>
4.1.2	<i>Sincronização vertical.....</i>	<i>73</i>

4.1.3	<i>Sincronização horizontal</i>	74
4.2	SINCRONIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS	75
4.2.1	<i>Sincronização dos relógios internos dos equipamentos</i>	76
4.2.2	<i>Resolução do relógio e mecanismo de gravação da data e hora do evento registrado</i>	77
4.2.3	<i>Periodicidade da tarefa de sincronização dos relógios</i>	78
4.2.4	<i>Cálculo do tempo total de atraso para a gravação do evento na base de dados</i>	79
4.2.5	<i>Exatidão dos dados aquisitados</i>	80
4.2.6	<i>Validade dos dados aquisitados</i>	82
4.3	FORMAS DE REFERÊNCIA DE TEMPO	82
4.3.1	<i>Referências locais</i>	84
4.3.2	<i>Referências regionais</i>	84
4.3.3	<i>Referências globais</i>	84
4.4	CASOS TÍPICOS PARA ESTUDO DE EVENTOS COM SISTEMAS SUPERVISÓRIOS, CLPs E DISPOSITIVOS DE CAMPO SINCRONIZADOS	85
4.4.1	<i>Processos com malhas de controle</i>	86
4.4.2	<i>Processos do tipo drive system</i>	86
4.4.3	<i>Processos com totalizadores</i>	87
4.4.4	<i>Eventos do sistema elétrico</i>	87
5	Metodologia de Sincronização em Sistemas de Automação Industrial	89
5.1	ETAPA 0 - NECESSIDADES – LEVANTAMENTO, ANÁLISE E DEFINIÇÃO DAS NECESSIDADES DA MANUTENÇÃO, DA OPERAÇÃO E DA ENGENHARIA	90
5.1.1	<i>N1 - Levantamento das necessidades</i>	92
5.1.2	<i>N2 - Análise das necessidades</i>	93
5.2	ETAPA 1 - PROCESSO - LEVANTAMENTO E ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS E NECESSIDADES DO PROCESSO	93
5.2.1	<i>P1 - Estruturação do processo</i>	95
5.2.2	<i>P2 - Definição das variáveis a serem aquisitadas</i>	95
5.2.3	<i>P3 - Levantamento das constantes de tempo de processo</i>	96
5.2.4	<i>P4 - Definição do período de amostragem para cada conjunto de variáveis</i>	96
5.3	ETAPA 2 - AUTOMAÇÃO – LEVANTAMENTO, ESTRUTURAÇÃO E ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS, NECESSIDADES E RESTRIÇÕES DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO	96
5.3.1	<i>A1 - Análise das modificações e ajustes a serem realizados no sistema de automação</i>	99
5.3.2	<i>A2 - Verificação dos dispositivos de campo</i>	99
5.3.3	<i>A3 - Verificação do local da gravação da data e hora para o valor da variável aquisitada no campo</i> 100	
5.3.4	<i>A4 - Análise das necessidades de resolução de tempo do sistema de gravação dos eventos</i>	101
5.3.5	<i>A5 - Análise das necessidades de sincronização dos relógios dos diferentes sistemas</i>	101
5.3.6	<i>A6 - Seleção da referência de data e hora e periodicidade de atualização</i>	101
5.3.7	<i>A7 - Seleção dos locais de armazenamento dos eventos</i>	102

5.4	ETAPA 3 - EVENTOS - VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS EVENTOS ARMAZENADOS	103
5.4.1	<i>E1 - Exatidão dos eventos armazenados</i>	<i>104</i>
5.4.2	<i>E2 - Análise dos eventos</i>	<i>105</i>
6	Estudo de Caso: Sincronização de tempos aplicada ao sistema Elétrico de Alimentação do Laminador de Tiras a quente	106
6.1	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA	107
6.2	ETAPA 0 – NECESSIDADES DO SISTEMA ELÉTRICO DO LTQ	107
6.2.1	<i>N1 - Levantamento das necessidades</i>	<i>108</i>
6.2.2	<i>N2 - Análise das necessidades</i>	<i>108</i>
6.3	ETAPA 1 – PROCESSO DO SISTEMA ELÉTRICO DO LTQ	108
6.3.1	<i>P1 - Estruturação do processo</i>	<i>109</i>
6.3.2	<i>P2 - Definição das variáveis a serem aquisitadas</i>	<i>113</i>
6.3.3	<i>P3 - Levantamento das constantes de tempo de processo</i>	<i>116</i>
6.3.4	<i>P4 - Definição do período de amostragem para cada conjunto de variáveis</i>	<i>116</i>
6.4	ETAPA 2 – AUTOMAÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO DO LTQ	117
6.4.1	<i>Automação do sistema SCADA do LTQ</i>	<i>117</i>
6.4.2	<i>A1 - Análise das modificações e ajustes a serem realizados no sistema de automação</i>	<i>125</i>
6.4.3	<i>A2 - Verificação dos dispositivos de campo</i>	<i>125</i>
6.4.4	<i>A3 - Verificação do local da gravação do evento para cada variável de campo aquisitada</i>	<i>126</i>
6.4.5	<i>A4 - Análise das necessidades de resolução de tempo do sistema de gravação dos eventos</i>	<i>126</i>
6.4.6	<i>A5 - Análise das necessidades de sincronização dos relógios dos diferentes sistemas</i>	<i>126</i>
6.4.7	<i>A6 - Seleção da referência de data e hora e periodicidade de atualização</i>	<i>127</i>
6.4.8	<i>A7 - Seleção dos locais de armazenamento dos eventos</i>	<i>129</i>
6.4.9	<i>Soluções de sincronização adotadas no sistema SCADA do LTQ</i>	<i>129</i>
6.5	ETAPA 3 – EVENTOS DO SISTEMA ELÉTRICO DO LTQ	136
6.5.1	<i>E1 - Exatidão dos eventos armazenados</i>	<i>136</i>
6.5.2	<i>E2 - Análise dos eventos</i>	<i>136</i>
6.6	RESULTADOS OBTIDOS E CONCLUSÕES	136
7	Conclusões finais	139

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas automatizados de monitoração e controle modernos são constituídos por redes de comunicação, dispositivos de campo, diversos tipos de equipamentos e computadores. Os componentes destes sistemas se tornam cada vez mais complexos e poderosos em relação ao processamento e à variedade de padrões, pois a quantidade de marcas e de fornecedores destes tem aumentado.

Estes sistemas industriais modernos automatizados permitem a monitoração e o controle do processo produtivo de forma a garantir a qualidade do produto final desejada. Sem a utilização da automação, não é possível a obtenção da repetibilidade da qualidade da produção em larga escala nos processos produtivos.

A automação pode ser entendida como qualquer sistema que, baseado ou não em computadores, substitua o trabalho humano de forma a potencializar a capacidade de realização de trabalho com o mesmo recurso humano através deste sistema.

A utilização da automação, segundo Moraes e Castrucci (1), contribui na área produtiva nos seguintes aspectos:

1. Possibilidade de redução dos custos de produção;
2. Flexibilidade no atendimento da produção;
3. Redução nos volumes, tamanhos e custos dos equipamentos;
4. Restabelecimento mais rápido do sistema produtivo;
5. Redução da área de fabricação;
6. Realização de tarefas impossíveis ou agressivas ao homem;

7. Multiplicação da força produtiva com a alocação da mesma quantidade de recursos humanos;
8. Repetibilidade e possibilidade de melhoria da qualidade na produção;
9. Possibilidade de introdução de sistemas produtivos interligados.

A automação traz a necessidade de investimentos iniciais elevados e maiores custos de manutenção dependentes de mão-de-obra altamente qualificada, mas contribui com a garantia da qualidade da produção tornando o produto final mais homogêneo de acordo com um padrão pré-estabelecido.

Atualmente, na maioria das empresas automatizadas, a automação implica na utilização e manutenção de sistemas de controle e monitoração, sistemas de banco de dados históricos e dispositivos de campo inteligentes interligados por meio de várias redes de comunicação.

Esta complexidade crescente cria a necessidade da estruturação destes sistemas de automação num modelo que permita a visibilidade de um equipamento ou de todo o processo de produção de uma forma clara, coerente e precisa. O modelo que será utilizado para esta finalidade é o modelo de estruturação hierárquica baseada no modelo CIM (*Computer Integrated Manufacturing*) da Universidade Purdue (2).

Segundo Jovan e Dolanc (3), algumas contribuições da implementação de um sistema de controle integrado da produção baseado no CIM são:

- A uniformidade da produção;
- A melhoria da qualidade do produto;
- A otimização do consumo de energia;

- O aumento da utilização do conhecimento e experiência dos engenheiros de processo.

A constante monitoração das variáveis do processo produtivo em vários níveis hierárquicos, a gravação e o armazenamento dos valores das variáveis em bases de dados históricas torna possível a análise do histórico deste processo produtivo, possibilitando a averiguação dos eventos ocorridos e a utilização destes para análise e otimização do mesmo.

As diferentes áreas de uma planta industrial normalmente possuem diferentes sistemas de monitoração e controle, muitas vezes não permitindo a integração ou troca de dados entre os mesmos. Para permitir a visualização de todo o processo de produção como uma entidade única e coerente, é necessário que as bases de tempo das bases de dados históricas estejam sincronizadas. Isto pode ser realizado através da utilização de um sistema que adquise dados de todos os sistemas de monitoração do chão de fábrica e possua um banco de dados único centralizado, ou através da sincronização das bases de tempos dos diversos sistemas de monitoração existentes na planta.

Os diferentes processos industriais (como por exemplo, sistemas mecânicos, hidráulicos, químicos, etc) apresentam diferentes constantes de tempo. Estes processos podem requerer a gravação dos eventos com precisão de segundos, minutos ou horas. Nos sistemas elétricos (como por exemplo, subestações, painéis de média tensão, etc), o registro dos eventos e a execução de comandos na ocorrência de falhas podem requerer precisão de milisegundos.

1.1 Objetivo

Este trabalho de pesquisa consiste no desenvolvimento de uma metodologia para análise, implementação e verificação da sincronização das bases de tempo de diferentes dispositivos, equipamentos e computadores num sistema de automação baseado em

controladores programáveis. O sistema de automação deverá estar organizado conforme a estruturação hierárquica da pirâmide da automação.

A sincronização das bases de tempo dos diferentes equipamentos numa planta industrial pode trazer inúmeros benefícios como:

- Melhor visibilidade para a tomada de decisões sobre assuntos relacionados à manutenção corretiva e preventiva, ao diagnóstico de segurança e à otimização de processo;
- Melhorias no processo produtivo, eliminando ou diminuindo de maneira confiável as origens dos problemas de parada da produção;
- Menor tempo de parada da linha de produção, por permitir a detecção do evento causador da parada de forma precisa;
- Otimização na realização de manutenção preventiva nas máquinas e equipamentos através da análise de dados reais de causa e efeito.

1.2 Aplicabilidade

Este trabalho pode ser utilizado na análise e na implementação de sincronização de diferentes dispositivos, equipamentos e computadores num sistema de automação organizado conforme a estruturação hierárquica da pirâmide de automação. Para cada sistema de automação deverão ser verificadas as necessidades, as constantes de tempo dos processos e o tempo de resposta dos dispositivos e equipamentos utilizados.

Nos sistemas automatizados, através da metodologia de sincronização proposta neste trabalho, é possível a análise da sequência real da ocorrência dos eventos de um equipamento

individual, de um conjunto de equipamentos ou de todo o processo produtivo. Esta análise permite a melhoria das ações corretivas e preventivas de manutenção e o fornecimento de dados valiosos para a otimização do processo.

Outra aplicação deste trabalho é a sincronização das bases de dados históricas na mesma base de tempo em sistemas elétricos, possibilitando a análise do registro de ocorrências para elaboração dos diagnósticos de falhas.

2 ESTRUTURAÇÃO HIERÁRQUICA DOS SISTEMAS INDUSTRIAIS DE AUTOMAÇÃO

2.1 Introdução

Os sistemas industriais automatizados se tornam cada vez mais complexos, exigindo uma visão organizada e estruturada para auxiliar na análise, no desenvolvimento, na instalação, na operação e na manutenção dos mesmos.

Este capítulo apresenta a conceituação da Manufatura Integrada por Computador CIM (Computer Integrated Manufacturing), as funções dos sistemas de automação integrados, a sua estruturação em níveis hierárquicos e a sua aplicação nos diversos sistemas produtivos.

2.2 Análise de um sistema de automação integrado

2.2.1 Funções de um sistema de automação integrado

A Manufatura Integrada por Computador CIM tem sido desenvolvida desde a década de 80. Entre os modelos de CIM existentes, utilizaremos o modelo PRM (2) (Purdue Reference Model) proposto em 1989 pelo comitê de modelo de referência CIM, que serviu de referência para o desenvolvimento de norma da ISA (The Instrumentation, Systems and Automation Society) S-95. Esta norma S-95 atualmente padroniza a integração dos sistemas de gerenciamento das informações da empresa com os sistemas do chão de fábrica.

A leitura atual da sigla CIM (4) apresenta ênfase na letra I (de integração) e para que as empresas de manufatura atinjam os objetivos de suas estratégias é necessária a integração completa da manufatura através da educação e da metodologia.

Um sistema de automação integrado deve atender a uma série de requisitos através da execução de funções bem definidas. Este sistema deve permitir a operação da planta com segurança e atender aos requisitos de máxima produtividade e mínima utilização de matéria-prima e energia.

De acordo com o PRM, todo sistema de automação integrado deve atender aos seguintes requisitos funcionais:

1. **Visibilidade do processo produtivo** - Monitoração de um grande número de variáveis da planta em diferentes sistemas produtivos e operacionais e do comportamento dos sistemas dinâmicos (histórico). Esta monitoração deverá detectar e compensar as perturbações no sistema, nos casos atuais ou futuros de emergência, e os problemas de produção;
2. **Modelamento e otimização de processos** - Desenvolvimento de modelos de otimização de processos de forma a permitir a geração de comandos de controle corretivos a partir das variáveis monitoradas na planta;
3. **Atuação nos controles** - Transmissão destes comandos de controle corretivos para os sistemas de controle direto da planta (chão de fábrica);
4. **Otimização global** - Otimização de todos os aspectos das operações produtivas da planta com a finalidade de atingir os critérios operacionais e econômicos ótimos;
5. **Modificação de planta** - Reconfiguração do sistema produtivo da planta e/ou do sistema de controle conforme a necessidade e possibilidade para assegurar que o sistema produtivo e de controle atual produzam conforme especificado;

6. **Envolvimento de pessoal** - Manter o pessoal operacional e gerencial informado do estado atual da planta e de cada um de seus processos e produtos, incluindo sugestões para futuras melhorias;
7. **Armazenamento de dados** - Criação de banco de dados histórico (onde serão gravados os dados operacionais, produtivos e de qualidade) para ser utilizado pelos departamentos de operação, de manutenção, de engenharia, de planejamento e de marketing da planta;
8. **Ajuste da programação** - Ajuste da programação de produção da planta e dos produtos a serem fabricados conforme as necessidades dos clientes através do recebimento contínuo de ordens produtivas. Isto permitirá manter a produtividade elevada com baixos custos de produção. Devem ser consideradas também as manutenções preventivas e corretivas;
9. **Ponto ótimo produtivo e econômico** - Determinação e provisão de estoques e níveis de uso de matéria-prima, energia, peças sobressalentes, produtos em produção e produtos em estoque para garantir e manter os aspectos produtivos e econômicos desejados para a planta;
10. **Garantia de disponibilidade** - Garantia da disponibilidade geral do sistema de controle para a execução das atividades definidas. Isto poderá ser realizado através da utilização de combinações apropriadas de técnicas de detecção de falhas, de redundância e de sistemas com tolerância e à prova de falhas;
11. **Interfaces externas** - Manter interfaces com entidades externas que interagem com o sistema produtivo da planta. Estas entidades externas podem ser os departamentos de Gerenciamento Corporativo, de Marketing, Financeiro, de Pesquisa e

Desenvolvimento, de Engenharia, de Logística, de Compras, de Vendas e de Atendimento ao Cliente.

Um resumo das funções com as respectivas descrições das mesmas e a distribuição destas em níveis (ou camadas) é primordial para a elaboração de uma estruturação hierárquica funcional. Este resumo é apresentado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Resumo das funções de um sistema de automação integrado

Item	Função	Descrição	Níveis (Camadas)
1	Visibilidade do Processo Produtivo	Monitoração das variáveis da planta	1 e 2
2	Modelamento e Otimização de Processos	Modelamento do processo Geração de comandos de controle corretivo	2 e 3
3	Atuação nos Controles	Execução de comandos de controle corretivo	1 e 2
4	Otimização Global	Otimização da produção da planta de acordo com os critérios operacionais e econômicos	4
5	Modificação da Planta	Reconfiguração do sistema produtivo conforme produção especificada	3 e 4
6	Envolvimento de Pessoal	Manter o pessoal operacional e gerencial informado sobre o estado atual da planta	3, 4 e 5
7	Armazenamento de Dados	Banco de dados histórico da planta	3 e 4
8	Ajuste da Programação	Ajuste da programação da produção da planta conforme necessidades dos clientes	4 e 5
9	Ponto Ótimo Produtivo e Econômico	Determinação dos níveis de produção e utilização de matéria-prima e recursos	4
10	Garantia de Disponibilidade	Garantia da disponibilidade do sistema de controle	1, 2 e 3
11	Interfaces Externas	Departamentos de Gerenciamento Corporativo, de Marketing, Financeiro, de Pesquisa e Desenvolvimento, de Engenharia, de Logística, de Compras, de Vendas e de Atendimento ao Cliente	3, 4 e 5

Através da análise das funções a serem executadas na planta pelo sistema de automação, nota-se a possibilidade de uma estruturação das funções (agrupadas ou individualmente) em camadas interdependentes. Estas camadas seriam organizadas numa pilha (uma sobre a outra) com troca de informações entre elas. Desta forma, uma estruturação hierárquica dos elementos envolvidos num sistema distribuído baseado em computadores

parece ser a solução ideal para a estruturação do desenvolvimento da automação de uma planta industrial.

2.2.2 Estruturação hierárquica em níveis

O modelo PRM inclui quatro níveis hierárquicos (do nível 1 até o nível 4) excluindo os equipamentos, dispositivos e atuadores do chão de fábrica (nível 0) e o gerenciamento corporativo (nível 5) do modelo. No modelo proposto é incluído o nível 5 e o nível 0, com a condição de que o nível 0 é usado somente para a análise dos sistemas de automação da planta.

A estruturação hierárquica permite uma melhor visualização, organização e entendimento dos sistemas de automação de maior complexidade. Esta arquitetura é conhecida como a “pirâmide de automação” e dividida em cinco níveis, que vão desde o chão de fábrica até o nível corporativo (negócios) da empresa. Na Figura 1 é apresentada a pirâmide de automação.

Figura 1 – Níveis funcionais da estruturação hierárquica de um sistema de automação

Cada nível hierárquico possui seu escopo de controle, com responsabilidade específica, conforme descrito a seguir:

- **Nível 5** – Gerenciamento corporativo através de sistemas como ERP (*Enterprise Resource Planning*) com a função de aquisitar a missão da empresa e gerenciamento de corporação;
- **Nível 4** – Planejamento da produção global da empresa através de sistemas corporativos de gerenciamento da produção com a função de planejar e programar a produção total;
- **Nível 3** – Supervisão e controle da produção, dos recursos e otimização de processo através de sistemas como MES (*Manufacturing Execution System*), LIMS (*Laboratory Information Management System*), PIMS (*Plant Information Management System*), AM (Asset Management) com a função de coordenar a produção, suportar as atividades produtivas e cuidar da obtenção e alocação de recursos para as atividades produtivas;
- **Nível 2** – Coordenação de múltiplas máquinas e operações através de sistemas de supervisão e controle com a função de supervisionar e controlar as atividades produtivas e serviços de suporte à produção no chão de fábrica;
- **Nível 1** – Comando de máquinas, seqüências e equipamentos através de controladores numéricos, CLPs (Controladores Lógico Programáveis) e controladores de processo;
- **Nível 0 (não incluído no modelo PRM)** – Ativação de seqüências e movimentos através de equipamentos, dispositivos, máquinas e atuadores diretos com a função de executar os comandos para os equipamentos do chão de fábrica (atuação direta no processo);

O modelo apresentado está estruturado em camadas (níveis) alocadas uma sobre a outra e permite a troca de dados entre as camadas. A troca de dados entre os equipamentos e sistemas de cada nível (comunicação horizontal) ou entre níveis adjacentes (comunicação vertical) é realizada através de redes de comunicação. A quantidade de dados trafegados em cada nível e entre os níveis diminui do nível 0 para o nível 5. Os níveis 3 e 4 se referem à programação da produção e informação gerencial enquanto os níveis 0, 1 e 2 se referem à parte de execução do controle.

A facilidade de sincronismo das bases de tempo aumenta do nível 0 para o nível 5. Isto é justificado devido ao fato de que nos níveis 3, 4 e 5 temos praticamente apenas computadores, enquanto nos níveis 0, 1 e 2 temos uma variedade grande de equipamentos e dispositivos. Os níveis definidos na estruturação hierárquica são apresentados numa automação de empresa conforme a Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Modelo de automação da empresa no modelo PRM

Nível	Hierarquia	Controle	Funções
5	<u>Empresa</u>	Gerenciamento Corporativo	Gerenciamento Corporativo Finanças Marketing e Vendas Pesquisa e Desenvolvimento
4	<u>Planta</u>	Planejamento da Produção	Projeto de Produtos Engenharia de Produção Gerenciamento da Produção (da Planta) Pedidos (da Planta) Gerenciamento de Recursos (da Planta) Gerenciamento de Manutenção (da Planta)
3	<u>Área</u>	Coordenação da Produção com Alocação e Supervisão de Materiais e Recursos	Gerenciamento da Produção (da Área) Pedidos (da Área) Gerenciamento de Recursos (da Área) Gerenciamento de Manutenção (da Área) Embarque Tratamento de Resíduos
2	<u>Célula</u>	Coordenação de Múltiplas Máquinas, Seqüências e Movimentos	Produção chão de fábrica
1	<u>Estação</u>	Comando de Máquinas, Seqüências e Movimentos	Produção chão de fábrica
0	<u>Equipamento</u>	Ativação de Seqüências e Movimentos	Produção chão de fábrica

A implementação do sistema de automação de manufatura através da estruturação hierárquica é apresentada na Figura 2.

Figura 2 - Exemplo de estruturação hierárquica dos sistemas de automação numa empresa de manufatura

2.2.3 Requisitos de um sistema de automação integrado

Segundo o modelo PRM, todo sistema de automação integrado deve fornecer um sistema final com as seguintes características:

1. **Controle Dinâmico Efetivo** – Um controle eficaz dinâmico de cada unidade de produção da planta para garantir que a mesma opere no máximo de eficiência da capacidade produtiva, da qualidade do produto e da utilização de energia e de matéria-prima. O máximo de eficiência é baseado no nível de produção ajustado pelas funções de programação e supervisão da produção. No caso de uma planta de manufatura com processo discreto, a otimização é realizada através de melhorias na programação da

produção e no caso da produção de uma planta de processo contínuo, a otimização é realizada através de melhorias na programação da produção e no controle do processo. Este é o componente de controle direto do sistema, reagindo diretamente para compensar emergências que possam ocorrer na própria unidade;

2. **Supervisão e Coordenação** – Um sistema de supervisão e controle que determine e ajuste os níveis locais (de cada unidade) de produção de todas as unidades de forma a otimizar a operação conjunta das unidades. Este sistema garante que cada unidade tenha um nível de produção compatível com o nível definido para a área geral e não utilize matéria-prima e energia em excesso. Este sistema coordena a operação das unidades nos casos de existência de problemas ou emergências em uma ou mais unidades, de forma a permitir a redução ou parada coordenada da área através da cooperação dos controles dinâmicos de cada unidade. Também é responsável pela filtragem dos dados provenientes das unidades de controle dinâmico, de forma a armazenar apenas os dados relevantes do ponto de vista produtivo, de processo e gerencial no banco de dados histórico da planta. Este banco de dados servirá para fornecer dados para diferentes departamentos (Qualidade, Engenharia, Marketing, Logística, Financeiro) da empresa.
3. **Controle da Produção Geral** – Um sistema de controle da produção geral com capacidade de definir a programação geral da produção da planta a partir das ordens dos clientes ou das decisões gerenciais. Este sistema deve produzir os produtos necessários para o cumprimento das ordens dos clientes na melhor combinação de atendimento ao cliente e utilização de matéria-prima, de tempo, de energia, de estoque e de recursos humanos expressos em valores financeiros;

4. **Confiabilidade e Disponibilidade** – Métodos que garantam a confiabilidade e disponibilidade do sistema de controle de toda a planta através da detecção de falhas, da tolerância a falhas, da redundância, da utilização de *nobreaks*, do planejamento de manutenção e utilização de outras técnicas.

O resumo dos requisitos de um sistema de automação integrado é mostrado na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Resumo dos requisitos a serem atendidos pelos sistemas de controle por computador

Item	Funções
1	Otimizar cada unidade de produção
2	Coordenar, supervisionar e ajustar a produção para cada unidade
3	Definir os produtos a serem produzidos
4	Assegurar a confiabilidade e disponibilidade do sistema

2.2.4 Aplicação do modelo proposto

Os modelos PRM e o proposto (modelo PRM com os níveis 0 e 5) podem ser utilizados na estruturação de qualquer sistema de manufatura. Apresentamos algumas aplicações possíveis nas plantas siderúrgicas, papeleiras, petroquímicas e farmacêuticas segundo o modelo PRM. É apresentada também a aplicação do modelo proposto numa planta de produção de amido industrial.

O modelo proposto pode ser utilizado na estruturação dos sistemas de automação. A quantidade de níveis utilizados varia de acordo com cada projeto de automação e deve ser ajustada conforme a necessidade. Praticamente todos os projetos de automação dos sistemas do chão de fábrica devem ter os níveis 0, 1 e 2. Caso os projetos de automação envolvam otimização de processo, planejamento, programação e execução da produção, MES (*Manufacturing Execution Systems*) ou integração com o sistema corporativo da empresa, devem ser utilizados os níveis 3, 4 e 5 na estruturação conforme a necessidade.

A aplicação do modelo PRM numa planta siderúrgica é apresentada na Figura 3.

Figura 3 - Uma planta siderúrgica segundo o PRM

A aplicação do modelo PRM numa planta papelreira é apresentada na figura 4.

Figura 4 - Uma planta papelreira segundo o PRM

A aplicação do modelo PRM numa planta farmacêutica é apresentada na Figura 5.

Figura 5 - Uma planta farmacêutica segundo o PRM

O modelo de estruturação hierárquica proposto pode ser utilizado para a estruturação do processo produtivo de uma planta de fabricação de amido industrial conforme apresentado na tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Divisão do processo produtivo de uma planta de fabricação e processamento de amido industrial

Área	Células	Estações
Processo Úmido	Silos	Silos – Milho
	Maceração	Maceração – Milho
	Moagem	Moagem – Canal 1
		Moagem – Canal 2
Reações	Diluição	Diluição – Amido
	Preparação	Preparação – Amido
	Reação	Reação – Amido
	Lavagem	Lavagem – Amido
Processo Seco	Secagem	Secagem – Amido
		Secagem – Farelo
		Secagem – Germe
		Secagem – Glúten

Armazenagem	Armazenagem	Armazenagem – Amido
		Armazenagem – Farelo
		Armazenagem – Germe
		Armazenagem – Glúten
	Ensacamento	Ensacamento – Amido
		Ensacamento – Farelo
		Ensacamento – Germe
		Ensacamento – Glúten

Na estruturação proposta, a planta é dividida em áreas. Cada área é dividida em células, cada célula em estações, e cada estação controla e monitora as máquinas e equipamentos de um processo específico.

A aplicação da estruturação hierárquica numa planta de processamento de milho é apresentada na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 – Aplicação da estruturação hierárquica numa planta de processamento de milho segundo o modelo proposto

PLANTA									
Processo Úmido			Reações				Processo Seco	Armazenagem	
Silos	Macer	Moagem	Diluição	Prepar.	Reação	Lavagem	Secagem	Armazen.	Ensacam.
Milho	Milho	Canal 1	Amido	Amido	Amido	Amido	Amido	Amido	Amido
		Canal 2					Farelo	Farelo	Farelo
							Germe	Germe	Germe
							Glúten	Glúten	Glúten
PROCESSO									

Para cada estação temos os seguintes equipamentos de automação:

- Computadores para monitoração e controle do processo e estações de IHMs (Interfaces Homem Máquina);
- Controladores com módulos de entradas e saídas;
- Módulos especiais: comunicação, posicionamento, contagem, programação e outros;
- Dispositivos de campo: sensores, atuadores, instrumentos de medição, relés inteligentes e acionamentos.

3 ANÁLISE DOS SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

3.1 Introdução

O sucesso no desenvolvimento e implantação de um sistema de automação industrial depende principalmente da estruturação coerente, da análise detalhada do sistema e da integração eficaz dos seus principais componentes. A verificação das condições técnicas para a viabilidade da integração dos equipamentos principais deve ser realizada nas fases de especificação e desenvolvimento do projeto, considerando aspectos importantes como compatibilidade, integração e sincronização.

Para realizar a especificação, o desenvolvimento, a implantação e a manutenção dos sistemas de automação modernos de forma coerente, deve-se possuir a visão macro dos sistemas e a visão detalhada de seus componentes principais. Isto permite que o sistema final desenvolvido e instalado na planta esteja otimizado e integrado com os sistemas de gerenciamento da produção.

Para conseguirmos a visão detalhada dos componentes principais dos sistemas de automação precisamos conhecer os equipamentos principais e as especificações de software e de redes de comunicação.

3.2 Sistemas de automação de uma planta industrial

As atividades principais de uma planta industrial moderna podem ser estruturadas e agrupadas em três áreas funcionais:

- **Área de produção** – abrange todos os processos de fabricação de produtos intermediários e finais. Podem ser processos siderúrgico, petroquímico, químico, farmacêutico, alimentício, automobilístico, papelero e outros;
- **Área de utilidades** – abrange os processos auxiliares que fornecem apoio aos processos de fabricação, criando as condições e a infra-estrutura necessárias para o pleno funcionamento dos processos produtivos. São os sistemas dos circuitos hidráulicos e os sistemas de fornecimento de água, de energia elétrica, de vapor e de ar comprimido;
- **Área de meio ambiente** – abrange os processos responsáveis pela interação do processo produtivo com o meio ambiente, como o tratamento dos resíduos e a redução da poluição produzida pelo processo de fabricação. São os sistemas de exaustão com filtros e os sistemas de tratamento de água, de esgoto e de efluentes.

Na Figura 6 é apresentada uma planta industrial organizada conforme a estruturação hierárquica.

Figura 6 – Macro sistemas funcionais de uma planta industrial na estruturação hierárquica

3.3 *Análise dos equipamentos principais do sistema*

Numa planta industrial moderna, para cada área, normalmente existem diversos sistemas de automação, com equipamentos e dispositivos de diferentes marcas e fornecedores. A diversidade de equipamentos e dispositivos de campo que podem ser encontrados no chão de fábrica de uma planta com diversos processos e áreas normalmente é grande.

Em função desta variedade de equipamentos e dispositivos, a integração passa ser o principal foco dos sistemas de automação. Para que esta integração seja realizada de uma forma coerente, abrangendo toda a planta, é necessária uma estruturação organizada de todos os sistemas a serem implantados ou existentes.

Uma das possíveis alternativas é a utilização da estruturação hierárquica apresentada no capítulo dois deste trabalho. E para a elaboração de uma estruturação hierárquica detalhada dos sistemas de automação, existe a necessidade de conhecermos quais são os equipamentos que compõem cada nível da pirâmide.

Para cada nível hierárquico da pirâmide da automação são utilizados determinados tipos de equipamentos conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Visão geral da estruturação hierárquica dos sistemas de automação e seus equipamentos

Num sistema de automação há os seguintes equipamentos:

- **Computadores** - são os equipamentos responsáveis pela execução de inúmeras funções em diferentes níveis da pirâmide de automação. As principais funções estão relacionadas às atividades de gerenciamento, otimização, armazenamento de dados, monitoração e controle geral dos processos;
- **Controladores** – são os “cérebros” do sistema de automação e executam os programas de monitoração e controle direto dos processos;

- **Módulos de entradas e saídas, de comunicação e especiais** – são as interfaces entre os dispositivos de campo e os controladores;
- **Dispositivos de aquisição de dados do campo** – são as interfaces de leitura das variáveis de campo do processo;
- **Dispositivos de atuação no campo** - são as interfaces de controle das variáveis de campo do processo;
- **Redes industriais de comunicação** – permitem a troca de dados entre os equipamentos e os dispositivos do sistema de automação.

3.3.1 Computadores

São equipamentos que executam diversas funções (gerenciamento, otimização, armazenamento de dados, monitoração e controle geral dos processos) e podem ser utilizados em diversos níveis da estruturação hierárquica.

Nos sistemas de automação em que a sincronização das bases de tempo seja importante, os computadores envolvidos nesta atividade devem possuir a seguinte característica:

- O relógio do sistema operacional utilizado deve ser ajustável. A data e a hora dos relógios dos computadores devem ser ajustáveis através da execução de comandos específicos por aplicativos externos ao sistema operacional.

3.3.1.1 Servidores corporativos - Níveis 4 e 5

São computadores de elevada confiabilidade, elevada capacidade de processamento e com elevada quantidade de memórias cache e RAM (*Random Access Memory*). Possuem

elevada capacidade de armazenamento de dados no disco rígido. Estes servidores possuem um custo elevado na sua aquisição.

São computadores que armazenam e executam os sistemas responsáveis pelo gerenciamento dos recursos e necessidades globais da empresa através do gerenciamento de suas informações.

Devem ser considerados os aspectos operacionais como redundância de máquina, execução de rotinas de manutenção e backup e política de controle de acesso ao servidor.

3.3.1.2 Servidores do processo produtivo - Níveis 3 e 4

São computadores de elevada confiabilidade, elevada capacidade de processamento e com elevada quantidade de memória RAM. Possuem elevada capacidade de armazenamento de dados no disco rígido. Nestes computadores são executados programas de otimização de processo, gerenciamento e acompanhamento da produção de cada unidade de fabricação e mantidos os bancos de dados históricos da produção.

3.3.1.3 Servidores e computadores da engenharia - Níveis 2 e 3

São computadores de média confiabilidade, média capacidade de processamento e com quantidade média de memória RAM. Possuem média capacidade de armazenamento de dados no disco rígido. Nestes computadores são realizadas a configuração e a programação dos aplicativos do CLP, dos aplicativos do supervisório, das redes de comunicação e dos aplicativos de auxílio à operação, manutenção e verificação da produção.

3.3.1.4 Computadores de IHM (estações de operação) - Nível 2

As estações de operação podem ser utilizadas em duas arquiteturas distintas: local ou cliente-servidor. Na arquitetura local cada estação de operação executa o programa aplicativo do supervisório, adquire os dados de processo dos controladores e armazena o histórico de

alarmes, eventos e variáveis analógicas. Na arquitetura cliente-servidor apenas o(s) servidor(es) executa(m) o programa aplicativo do supervisão, aquisita(m) os dados de processo dos controladores e grava(m) os dados no histórico de alarmes, eventos e variáveis analógicas. As estações clientes servem apenas como interface de operação (do programa aplicativo executado no servidor).

Na arquitetura local são utilizados microcomputadores com elevada quantidade de memória RAM, devido à aquisição constante de dados através das redes de comunicação, e com elevada capacidade de armazenamento de dados no disco rígido, para o armazenamento dos dados históricos de variáveis analógicas, alarmes e eventos.

Na arquitetura cliente-servidor, os microcomputadores utilizados como estações clientes possuem quantidade média de memória RAM e baixa capacidade de armazenamento de dados no disco rígido. Os servidores devem seguir a mesma especificação dos servidores do processo produtivo.

Os monitores utilizados nas estações de operação são maiores ou iguais a 17 polegadas e são do tipo LCD (*Liquid Crystal Display*) para evitar interferência eletromagnética.

3.3.2 Controladores

São equipamentos responsáveis pela monitoração e controle direto do processo através da execução de programas aplicativos que contêm a definição de como cada processo será executado. A interface com os equipamentos de campo é realizada através dos módulos de entradas e saídas conectadas ao(s) controlador(es) através de barramentos ou redes de comunicação.

O controlador programável é o principal equipamento de um sistema de automação moderno, sendo responsável pela “inteligência” no controle direto do processo.

Nos sistemas de automação em que a sincronização das bases de tempo seja importante, os controladores envolvidos nesta atividade devem possuir as seguintes características:

- Atualização assíncrona (com relação à execução do scan do mesmo) da base de dados referente às entradas e saídas de campo;
- O relógio interno do controlador deve ser ajustável. Devem existir funções ou comandos que permitam o ajuste da data e da hora do mesmo;
- A prioridade de execução das tarefas deve ser configurável.

Módulos de entradas e saídas conectados ao controlador através de barramentos ou redes de comunicação realizam a interface direta com o campo. A troca de dados com os sistemas supervisórios é realizada através de redes de comunicação.

3.3.2.1 CLP (Controlador Lógico Programável) - Nível 1

São equipamentos de elevada confiabilidade dedicados à execução de programas aplicativos para o controle direto do processo. Estes programas podem ser desenvolvidos em determinadas linguagens de programação.

É indicado para o controle de seqüenciamentos e de intertravamentos de processos discretos e contínuos e execução de malhas de controle simples.

3.3.2.2 CAP (Controlador de Automação Programável) ou PAC (*Programmable Automation Controller*) - Níveis 1 e 2

São controladores que herdaram a elevada confiabilidade de hardware dos CLPs e a elevada capacidade de processamento e quantidade de memória dos microcomputadores.

Permitem rodar programas complexos, elaborados em linguagem de alto nível, conforme as necessidades do sistema de automação.

O controlador pode armazenar, além do programa aplicativo de controle, programas dedicados:

- Programa para comunicação (*drivers*) com diversos equipamentos e dispositivos;
- Programa para execução da sintonia automática de controlador PID (Proporcional Integral Derivativo);
- Programa com malhas de controle avançadas;
- Programa para controle do tipo batelada.

3.3.2.3 SDCCD (Sistema Digital de Controle Distribuído) – Níveis 1 e 2

São equipamentos de elevada confiabilidade que executam rotinas pré-programadas para controle prioritário de malhas de processo complexas.

Normalmente os controladores e os sistemas supervisórios são fornecidos pelo mesmo fabricante. As funções básicas de monitoração e controle de processo já vêm pré-programadas e podem ser customizadas facilmente para utilização destes no controle real de malhas. Possui na sua biblioteca diversas estratégias disponíveis para o controle de processos contínuos.

3.3.2.4 Computadores de controle - Níveis 1 e 2

São microcomputadores industriais que emulam a UCP (Unidade Central de Processamento) de um controlador. Utilizam o processamento do microcomputador para a execução dos programas aplicativos. Possuem baixa confiabilidade de equipamento comparado a um CLP, mas permitem rodar programas com linguagem de programação de alto nível.

3.3.2.5 Módulos de entradas e saídas - Nível 1

Os módulos de entradas realizam a interface com os sinais provenientes do campo. Os módulos de saídas realizam a interface com os sinais enviados ao campo.

Os módulos podem ser de leitura ou de escrita e os sinais, analógicos ou discretos. Os módulos podem ser de 4, 8, 16 ou 32 pontos e os níveis de tensão usuais são 110 Vca ou 24 Vcc. Os sinais analógicos usuais são 4 a 20 mA e 0 a 10 Vcc.

3.3.2.6 Módulos especiais - Nível 1

São módulos dedicados para a execução de funções específicas. São funções que não podem ser executadas pelos módulos de entradas e saídas usuais. Os principais módulos especiais são módulos de contagem de pulsos com entradas rápidas, de posicionamento (*motion*), de conversão de redes (*gateway*), de comunicação e de redundância.

3.3.3 Dispositivos de campo

São dispositivos responsáveis pela monitoração (sensores e instrumentos) e controle (atuadores tipo válvula, motores, equipamentos) direto dos processos no campo.

Nos sistemas de automação em que a sincronização das bases de tempo seja importante, os dispositivos de campo envolvidos nesta atividade devem possuir a seguinte característica:

- Os dispositivos devem permitir, no caso de existência de um registro de eventos, o ajuste do relógio interno através de comandos remotos enviados pela rede de comunicação ou locais.

3.3.3.1 Sensores - Nível 0

São os dispositivos de interface final com o processo de um sistema de automação.

São dispositivos de aquisição de dados instalados no campo e podem ser:

- Discretos – estados de chaves, fins de curso, contatos e sensores de alarme;
- Analógicos – valores de leitura de uma variável analógica de processo.

3.3.3.2 Atuadores - Nível 0

Assim como os sensores, são os dispositivos de interface final com o processo. São dispositivos de atuação instalados no campo e podem ser:

- Discretos – comandos de abertura e fechamento de válvula, partida ou parada de motor;
- Analógicos – valores de referência de abertura ou fechamento de uma válvula proporcional ou de velocidade do inversor.

3.3.3.3 CCM (Centro de Controle de Motores) - Nível 0

O CCM é um conjunto de acionamentos de motores agrupados num mesmo painel elétrico composto por várias colunas e gavetas.

Os acionamentos podem ser do tipo partida direta, tipo relé térmico, tipo “softstarter” (partida suave de motores via esquema estrela-triângulo) ou tipo inversor. Podem possuir módulos de comunicação ou entradas e saídas físicas para troca de dados com os controladores ou computadores.

3.3.3.4 Relés de proteção inteligentes - Nível 0

São utilizados para monitoração e controle dos equipamentos do sistema de energia elétrica. Podem ser monitoradas grandezas elétricas de barramentos, alimentadores, disjuntores, transformadores e motores elétricos.

Estes relés permitem desde a configuração de parâmetros de proteção do sistema elétrico (para execução da seletividade) até a execução de comandos para abertura e fechamento de disjuntores e movimentação de taps de transformadores (seja manualmente ou por falha no sistema elétrico – “trip”). Possuem interfaces de comunicação para diversas redes industriais e possuem capacidade de armazenagem de histórico de dados.

3.4 Análise das especificações de software

Todo equipamento inteligente é composto pela parte física (hardware) e pela parte lógica (software). Somente a correta elaboração e configuração do programa, aplicativo ou não, de cada equipamento permitirá a obtenção dos melhores resultados com o hardware utilizado. Para cada nível hierárquico da pirâmide da automação são utilizados determinados tipos de software do ponto de vista da automação conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Necessidades de software conforme nível hierárquico

3.4.1 Software do sistema corporativo

É constituído por programas complexos baseados em vários bancos de dados com uma grande quantidade de regras de consistência e relacionamento entre as tabelas desses bancos. Estes programas englobam as informações de todas as unidades e áreas da empresa. São os sistemas de gerenciamento das informações e dos recursos da empresa do tipo ERP (*Enterprise Resource Planning*).

Nos sistemas de automação em que a sincronização das bases de tempo seja importante, o software do sistema corporativo envolvido nesta atividade deve possuir a seguinte característica:

- O software deve utilizar a data e a hora do relógio do sistema operacional para o registro dos eventos nos seus bancos de dados históricos.

3.4.1.1 Armazenamento de dados e tomadas de decisões – Nível 5

As informações estratégicas da empresa são armazenadas em sistemas com banco de dados corporativos cujo acesso é restrito e protegido por senhas. Estas informações integradas são analisadas para auxiliar na tomada de decisões estratégicas para a empresa.

3.4.2 Software do sistema de produção

São softwares complexos baseados em bancos de dados que aquisitam e integram os sistemas produtivos da planta. Englobam as informações de todas as unidades e áreas produtivas da empresa. São os sistemas responsáveis pelo:

- Gerenciamento da produção;
- Execução da manufatura;
- Gerenciamento da informação dos processos produtivos e auxiliares;
- Otimização de processo.

3.4.2.1 Softwares de planejamento, programação e acompanhamento da produção – Níveis 3 e 4

São baseados em sistemas de informação (5) para apoio à tomada de decisões táticas e operacionais sobre os seguintes pontos:

- O que, quanto e quando produzir e comprar;
- Com quais recursos produzir.

São os sistemas MPS (*Master Production Schedule*), MRPII (*Material Resource Planning*), MRP (*Material Requirements Planning*), Just-In-Time e OPT (*Optimized Production Technology*).

3.4.2.2 MES (Manufacturing Execution Systems) – Nível 3

É um sistema composto por programas responsáveis pelo gerenciamento das operações e da qualidade da produção e de auxílio à otimização do controle no chão de fábrica. É um sistema integrado de aplicativos, drivers de comunicação e bancos de dados que permite a programação e o controle da produção de uma forma integrada com o sistema corporativo e com os sistemas do chão de fábrica.

3.4.2.3 Otimização de processo – Nível 3

São desenvolvidos estudos e metodologias para a modelagem e otimização do processo com o objetivo de aumentar a produtividade da linha de produção e a qualidade do produto final.

Dados de processo armazenados em bancos de dados históricos são utilizados para testes e validação dos modelos dos processos produtivos através da simulação baseada nestes dados. Com a análise dos resultados são gerados *setpoints* ótimos (de realimentação) para o processo.

3.4.2.4 Gerenciamento da informação dos processos produtivos – Níveis 2 e 3

Os dados históricos mais relevantes devem ser armazenados de forma otimizada e organizada por um período de tempo pré-definido. Isto permitirá a utilização de dados reais de processo para a otimização do mesmo, a análise de ocorrências em períodos anteriores de tempo, a rastreabilidade ou a auditoria de qualidade. São os sistemas de armazenamento, recuperação e visualização de dados baseados em bancos de dados, proprietários ou não,

como o PIMS (*Plant Information Management System*) e o LIMS (*Laboratory Information Management System*).

3.4.3 Software do sistema supervisor IHM (Interface Homem Máquina)

São programas aplicativos com telas gráficas que permitem a operação e monitoração de equipamentos e de sistemas dos processos produtivos e auxiliares. Além de telas do tipo sinótico, existem telas do tipo parametrização, tipo gráfico de tendência histórica e tipo relatório. Estes programas aplicativos realizam a aquisição de dados do processo através de drivers de comunicação, gerenciam a exibição das telas e realizam a gravação de eventos, alarmes e valores de variáveis analógicas nos bancos de dados históricos. Permitem também a execução de programas auxiliares juntamente com o aplicativo principal.

Nos sistemas de automação em que a sincronização das bases de tempo seja importante, os softwares do sistema supervisor IHM envolvidos nesta atividade devem possuir a seguinte característica:

- O software deve utilizar a data e a hora do relógio do sistema operacional para o registro dos eventos nos seus bancos de dados históricos.

3.4.3.1 Forma de aquisição dos dados – Nível 2

Os dados podem ser adquiridos ou recebidos pelo supervisor. O caso mais comum é a aquisição dos dados pelo supervisor por *polling* (varredura) nas bases de dados dos equipamentos solicitados. No caso do sistema supervisor receber os dados de um equipamento, o driver do equipamento grava ou lê os dados na base de dados do supervisor, conforme a necessidade (por exceção) de escrita ou leitura do mesmo.

3.4.3.2 Atualização dos valores na base de dados do sistema supervisório – Nível 2

A atualização dos valores na base de dados do sistema supervisório depende do tempo de atualização definido no driver de comunicação utilizado. A atualização dos valores nas telas depende do tempo de atualização definido para cada tela.

3.4.3.3 Gravação dos eventos e sinais no arquivo ou banco de dados histórico – Nível 2

As rotinas de gravação de eventos, alarmes e variáveis analógicas realizam uma amostragem cíclica na base de dados do sistema supervisório ou executam a gravação do evento a partir da ocorrência de um evento pré-definido.

3.4.4 Software do CLP

Os programas do CLP podem ser de dois tipos:

- **Aplicativo** - são executados na UCP (Unidade Central de Processamento) do controlador e são responsáveis pela monitoração e pelo controle direto do processo;
- **Desenvolvimento** – utilizado para realizar a programação, a configuração e a manutenção dos CLPs.

Os programas aplicativos realizam a aquisição de dados e a atuação no processo através de módulos de entradas e saídas, módulos de comunicação e módulos especiais. O controlador troca dados com estes módulos através de barramentos ou redes de comunicação.

Nos sistemas de automação em que a sincronização das bases de tempo seja importante, os softwares de CLPs envolvidos nesta atividade devem possuir as seguintes características:

- Ajuste da data e da hora do relógio interno do CLP através da execução de comandos ou funções do programa aplicativo ou do programa de configuração do mesmo;

- Priorização da execução de tarefas definidas no programa aplicativo.

A IEC (*International Electrotechnical Commission*) definiu a padronização das linguagens de programação de controladores programáveis (6) na parte 3 da norma IEC 61131. A norma IEC 61131 é composta por sete partes conforme apresentado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – A norma IEC 61131 e as suas 8 partes

Parte	Título	Conteúdo	Publicação
Part 1	<i>General Information</i>	Definição da terminologia e conceitos	2003 (2ª ed.)
Part 2	<i>Equipment Requirements and Tests</i>	Testes de verificação e fabricação eletrônica e mecânica	2003 (2ª ed.)
Part 3	<i>Programming Languages</i>	Estrutura do software do Controlador Programável (CP), linguagens e execução de programas	2003 (2ª ed.)
Part 4	<i>User Guidelines</i>	Orientações para seleção, instalação e manutenção de CPs	2004 (2ª ed.)
Part 5	<i>Communications</i>	Funcionalidades para comunicação com outros dispositivos	2000 (1ª ed.)
Part 6	<i>Reservada</i>		
Part 7	<i>Fuzzy Control Programming</i>	Funcionalidades de software, incluindo blocos funcionais padrões para tratamento de lógica nebulosa dentro de CPs	2000 (1ª ed.)
Part 8	<i>Guidelines for the Application and Implementation of Programming Languages</i>	Orientações para implementação das linguagens IEC 61131-3	2003 (2ª ed.)

Na IEC 61131-3 são definidas cinco linguagens de programação listadas abaixo:

- **Lista de Instruções** (*Instruction List - IL*);
- **Diagrama Ladder** (*Ladder Diagram – LD*);
- **Diagrama de Blocos Funcionais** (*Function Block Diagram – FBD*);
- **Texto Estruturado** (*Structured Text – ST*);
- **Seqüenciamento Gráfico de Funções** (*Sequential Function Chart - SFC*).

3.4.4.1 Atualização da base de dados do CLP – Nível 1

A atualização da base de dados do CLP com os valores provenientes de barramentos ou redes de comunicação pode ser realizada de forma síncrona ou assíncrona em relação à varredura do programa. No caso síncrono os valores são atualizados entre as execuções do programa aplicativo e no caso assíncrono a atualização é realizada conforme o tempo de varredura da rede.

A atualização da base de dados do CLP com os valores calculados e gerados ao longo da execução do programa aplicativo é realizada no exato momento da manipulação do valor pelo programa.

3.4.4.2 Execução do programa aplicativo de controle do processo – Nível 1

O programa aplicativo pode conter determinadas rotinas, programas ou tarefas com prioridades de execução. As rotinas, os programas ou as tarefas mais críticas no tempo devem ser priorizados. No caso de todos possuírem a mesma prioridade de execução, estes serão executados sequencialmente conforme uma ordem pré-definida.

3.4.5 Software das redes de comunicação

São programas de configuração, otimização e manutenção das redes de comunicação. O controlador acessa os dados das redes de comunicação através da utilização do driver de comunicação apropriado para cada rede.

Nos sistemas de automação em que a sincronização das bases de tempo seja importante, os softwares das redes de comunicação envolvidos nesta atividade devem possuir as seguintes características:

- Envio de sinais de sincronismo da data e da hora para cada nó da rede, baseado numa única referência;
- Métodos de comunicação que permitam que todos os nós de uma rede recebam as informações ao mesmo tempo, como por exemplo o método produtor-consumidor;
- Configuração e execução de aplicativos que executem periodicamente a sincronização dos relógios internos de computadores e controladores de cada rede do sistema de automação.

3.4.5.1 Aquisição de dados pelo driver – Nível 1

A aquisição dos registros da base de dados de um equipamento pelo driver pode ser executada por *polling* ou por exceção. No caso do *polling* é executada uma varredura cíclica e no caso de aquisição por exceção os dados são enviados ou recebidos conforme regras pré-definidas na configuração do driver.

3.4.5.2 Protocolo utilizado pelo driver – Nível 1

Para a comunicação com dispositivos e equipamentos o driver deve utilizar o protocolo que seja entendido pelo destinatário.

3.4.5.3 Manipulação dos dados pelo driver – Nível 1

Os dados a serem trocados com os dispositivos e equipamentos numa rede podem ser manipulados por blocos de palavras ou individualmente pelo driver. O objetivo da manipulação de blocos de registros ao invés de registros individuais é a otimização da comunicação e diminuição do tempo de resposta.

3.4.5.4 Tempo de resposta do driver – Nível 1

O driver executará a varredura cíclica para leitura ou escrita dos dados no período de tempo definido na classe de *scan* (varredura) para a variável em questão.

3.5 Análise das especificações das redes de automação

As redes industriais de comunicação permitem a troca de dados entre os diversos dispositivos e equipamentos dos sistemas de automação existentes numa planta moderna. Esta troca de dados pode ocorrer entre equipamentos do mesmo nível hierárquico ou de diferentes níveis hierárquicos, conforme as necessidades de integração.

As redes de comunicação, industriais ou não, utilizadas num sistema de automação serão chamadas de redes de automação. As redes de automação utilizadas no chão de fábrica serão chamadas de redes industriais de campo ou redes de campo.

Segundo Finkel (7), o desenvolvimento de redes industriais de comunicação visa unir os dispositivos destinados ao controle de uma máquina ou processo industrial, de forma a permitir uma interação funcional que aumente o rendimento e permita o surgimento de novas oportunidades de implementação de funções mais avançadas. As principais vantagens são:

- Visualização e supervisão do processo de produção;
- Maior rapidez e eficiência na aquisição dos dados;
- Melhoria no rendimento geral do processo;
- Aumento na velocidade de intercâmbio de dados de processo entre setores e departamentos distintos;
- Execução de programação remota dos dispositivos de chão de fábrica.

3.5.1 Modelo em camadas: modelo OSI

Um modelo de referência para o rápido entendimento das atividades envolvidas numa comunicação entre dois dispositivos numa rede é uma ferramenta essencial para a análise e solução de problemas que possam ocorrer na integração de dispositivos numa rede de comunicação.

3.5.1.1 Descrição do modelo

Com o objetivo de padronizar os modelos adotados pelos protocolos de rede foi desenvolvido o modelo OSI (8) (*Open Systems Interconnection*) pela ISO (*International Organization for Standardization*) em 1977, que descreve os serviços necessários para a troca de dados entre dois equipamentos e serve como modelo de referência para desenvolver padrões de comunicação de dados. A compreensão do modelo OSI auxilia na resolução de problemas de rede, pois permite a visualização organizada de todas as camadas envolvidas numa comunicação entre dois ou mais equipamentos da rede.

O Modelo OSI é composto por sete camadas e o modelo adotado para redes industriais de campo (10) normalmente possui apenas três níveis, conforme apresentado na Figura 9.

Figura 9 – As sete camadas do modelo OSI e as três camadas das redes de campo de automação industrial

No Modelo de Referência OSI (8) as implementações de protocolos devem executar as funções associadas a cada camada do modelo OSI conforme abaixo:

1. **Camada Física** - Define as estruturas de rede físicas, as especificações mecânicas e elétricas para a utilização do meio de transmissão, a codificação de transmissão de bits e regras de sincronização. Mantém a conexão física entre sistemas. Nesta camada estão as topologias de rede;
2. **Camada de Ligação (Link)** – Responsável pela organização dos bits da camada física em grupos lógicos de informações (*frames*), pela detecção e correção de erros, pelo controle do fluxo de dados e pela identificação dos dispositivos da rede. A camada MAC (*Media Access Control*) está incluída nesta camada;
3. **Camada de Rede** - Define a rota e o processo pelos quais os dados se movem pela rede. A função principal da camada é mover os dados para localizações específicas;

4. **Camada de Transporte** - Especifica como manusear os detalhes de uma transferência confiável. Nesse nível, é configurada a distribuição dos endereços dos nós, bem como os métodos de detecção de erros e recuperação;
5. **Camada de Sessão** - Define como as conexões são estabelecidas e desfeitas e como os dados são trocados na rede, facilitando a comunicação entre fornecedores e solicitantes de serviços;
6. **Camada de Apresentação** - Define a sintaxe, transformações e formatação dos dados;
7. **Camada de Aplicação** – Cada protocolo desta camada especifica como um determinado aplicativo utiliza a rede. A camada de aplicação inclui todos os tópicos e funções específicas para cada serviço de rede. É a camada do usuário, pois é através dela que o usuário “enxerga” a rede de campo e a comunicação.

3.5.2 Especificação de uma rede de automação

A escolha da(s) rede(s) de comunicação mais adequada(s) para um determinado sistema de automação deve ser baseada na análise de determinadas características (9) da(s) rede(s), conforme a sua aplicação e finalidade dentro da integração dos equipamentos num sistema de automação. As seguintes características devem ser levadas em consideração na escolha de uma rede de automação:

- Meio físico de transmissão;
- Topologia física da rede;
- Protocolo de controle de acesso ao meio físico de transmissão;

- Velocidade e *throughput*;
- Tipo de transmissão dos dados no tempo;
- Método de comunicação;
- Tipo de tráfego.

Nos sistemas de automação em que a sincronização das bases de tempo seja importante, as redes de automação envolvidas nesta atividade devem possuir as seguintes características:

- Tenha elevada velocidade e elevado *throughput*;
- O tipo de transmissão de dados deve ser determinístico;
- O método de comunicação deve ser do tipo produtor-consumidor. No caso do método ser do tipo origem-destino, este deverá ser *broadcast* ou *multicast*.

3.5.2.1 Meio físico de transmissão

Está relacionado ao meio físico utilizado para a interconexão dos dispositivos. Quanto à conexão física dos nós de uma rede temos:

- **Sem fio (*wireless*)** – através de ondas de rádio ou microondas no ar;
- **Cabos** – através de sinais elétricos transmitidos por cabos. Estes cabos podem ser do tipo par trançado ou coaxial;
- **Fibras** - através de sinais luminosos transmitidos por fibra ótica.

Os meios físicos são selecionados de acordo com a aplicação da rede. A seleção depende da distância entre os dispositivos, da taxa de transferência desejada e do protocolo de rede a ser utilizado.

No chão de fábrica são utilizados principalmente cabos e fibras óticas como meio físico de transmissão de dados das redes de campo. As redes sem fio ainda não podem ser consideradas tão confiáveis e previsíveis no tempo quanto as redes de campo que utilizam cabos ou fibras óticas (11). As características dos canais de transmissão via rádio criam inúmeros problemas que desaconselham a utilização das redes sem fio no chão de fábrica. Os canais de transmissão sem fio são suscetíveis a possíveis erros de transmissão causados por perda de sinal (sinal fraco) e/ou interferência. Além disso, existem os problemas de segurança, de fornecimento de energia e de operação com baixa potência.

Os canais e transmissores sem fio possuem as seguintes características principais (11):

- ***Path Loss*** - Perda da potência do sinal em função da distância entre o transmissor e o receptor;
- ***Half-Duplex*** – Operação *half-duplex* dos transmissores não permitindo a transmissão e a recepção simultânea no mesmo canal;
- **Processamento em excesso na camada física** – São utilizados caracteres adicionais de controle para compensar os ruídos excessivos no canal. O conjunto formado por caracteres de início, checagem e final de mensagem é maior nas redes sem fio.
- **Erros no canal** – Uma onda de rádio pode sofrer reflexões, difração ou distorções ao longo da trajetória entre o transmissor e o receptor.

As consequências das características das redes sem fio (11) são:

- **Problemas de consistência** – num modelo produtor-consumidor, por exemplo, todos os nós da rede devem receber os dados simultaneamente. Neste tipo de rede é difícil se obter as consistências espacial e temporal relativa entre os nós.
- **Problemas nos protocolos com passagem de bastão (*token-passing*)** – Como existe maior possibilidade de falha na transmissão dos dados, existe a necessidade de controle mais elaborado do mecanismo da passagem de bastão;
- **Problemas de protocolos baseados em CSMA (*Carrier Sense Multiple Access*)** – Baseado na transmissão de dados por contenção. No caso de ocorrência de colisões nas transmissões de dois ou mais nós é difícil resolver o problema da colisão com transmissores *half-duplex*, pois não é possível transmitir e receber ao mesmo tempo para detectar a colisão. Isso é resolvido com a utilização dos sinais de *handshaking* RTS/CTS (*Request To Send/Clear To Send*).

As tecnologias de redes sem fio disponíveis para automação industrial são:

- **Tecnologias WPAN (*Wireless Personal Area Network*)** - rede pessoal sem fio com o *Bluetooth* IEEE 802.15.1 e o *ZigBee* IEEE 802.15.4;
- **Tecnologias WLAN (*Wireless Local Area Network*)** - rede local sem fio com a família IEEE 802.11;
- **Tecnologias WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) IEEE 802.16 e 3G (*Third Generation*)** - redes de longo alcance.

Os padrões de redes de banda larga sem fio existentes (12) são apresentados na Figura 10.

	Wi-Fi (WLAN)	WiMAX	3G
Padrão	IEEE 802.11	IEEE 802.16	WCDMA, CDMA 2000
Velocidade máxima	54 Mbps	10 a 100 Mbps	2 Mbps
Operações	Indivíduos	Indivíduos	Companhias de telefonia celular
Licença	Não	Sim/Não	Sim
Área de cobertura	Aproxim. 100 m	Vários km	Vários km
Vantagens	Velocidade, custo baixo	Velocidade, longo alcance	Alcance, mobilidade
Desvantagens	Curto alcance	Interferência	Lento, custo elevado

LEGENDA
 Wi-Fi (Wireless Fidelity)
 WLAN (Wireless Local Area Network)
 WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)
 3G (Third Generation)
 WCDMA (Wideband Code-Division Multiple Access)
 CDMA (Code-Division Multiple Access)

Figura 10 – Padrões de redes de banda larga sem fio (*wireless*)

3.5.2.2 Topologia física da rede

Está relacionada à disposição construtiva da conexão dos dispositivos na rede. As topologias físicas de rede mais usuais são: anel, estrela e barramento.

3.5.2.3 Protocolo do controle de acesso ao meio físico de transmissão

É o conjunto de regras utilizado pelos nós da rede para acessar ou disponibilizar informações na rede. Os protocolos de controle de acesso ao barramento utilizam o acesso por contenção, o controlado ou por divisão do tempo.

Quanto ao método utilizado pelo protocolo de controle de acesso ao meio físico (10) de transmissão/comunicação dos dados (MAC – *Media Access Control*) tem-se:

- **Contenção** - cada dispositivo pode acessar o canal da rede quando ela estiver livre. Colisões podem ocorrer devido ao acesso simultâneo de dois dispositivos ao canal e então mecanismos de recuperação são utilizados. São os protocolos CSMA-CD (*Carrier Sense Multiple Access – Collision Detection*), CSMA-BA (CSMA – *Bitwise Arbitration*), CSMA-CA (CSMA – *Collision Avoidance*) e CSMA-DCR (CSMA – *Deterministic Collision Resolution*).
- **Acesso controlado** - cada dispositivo só pode acessar a rede quando permitido. São os protocolos que utilizam *Token* (passagem de bastão) ou *Polling* (acesso controlado por um mestre);
- **Divisão do tempo para acesso** - cada dispositivo pode acessar o canal da rede numa janela pré-determinada no tempo. São os protocolos STDMA (*Synchronous Time Division Multiple Access*) e ATDMA (*Assynchronous Time Division Multiple Access*).

Na Figura 11 é apresentado o resumo da classificação dos protocolos MAC:

Figura 11 – Classificação dos protocolos MAC

3.5.2.4 Velocidade e *throughput*

A velocidade é a taxa média de transmissão dos dados pela rede em um período de tempo. O *throughput* é a taxa média de transmissão de informações (dados úteis) na rede em um período de tempo. O *throughput* sempre será menor que a velocidade da rede, pois para a transferência de informações pela rede sempre são necessários caracteres, bytes ou bits de controle. Estes elementos de controle (envelopes) não são considerados informações. A taxa de transferência de dados é medida em kilobits ou megabits por segundo (*baud rate*). O *throughput* é medido em bits, bytes ou palavras (16 bits) por segundo.

3.5.2.5 Tipo de transmissão dos dados no tempo

As redes podem ser determinísticas ou probabilísticas. As redes determinísticas são aquelas cuja transmissão de dados ou de informações ocorre em instantes e intervalos de tempo determinados. Redes deste tipo permitem que o tempo de resposta seja acuradamente conhecido, evitando problemas de inicialização e atrasos. As redes probabilísticas permitem apenas calcular a probabilidade da ocorrência da transferência de informações em um determinado intervalo de tempo.

3.5.2.6 Método de comunicação

É o gerenciamento da comunicação de dados entre os pontos de comunicação (nós) da rede. Quanto ao método de comunicação utilizado tem-se:

- **Produtor-consumidor** – os dados são produzidos por um determinado nó e transmitidos pela rede. Cada nó “consome” apenas os dados importantes para o mesmo;
- **Origem-destino** – os dados são produzidos por um determinado nó e enviados para um ou mais nós.

O modelo produtor-consumidor possui as seguintes características:

- **Acesso simultâneo aos dados** - múltiplos nós podem consumir os mesmos dados de um produtor simultaneamente, resultando em maior eficiência de uso da largura de banda;
- **Elevada eficiência** - os dados necessitam ser produzidos apenas uma vez, independente do número de nós;
- **Sincronização precisa** - os dados chegam ao mesmo tempo para todos os nós;
- **Determinismo** – o período de tempo para a entrega dos dados independe da quantidade de nós.

O método origem-destino possui três formas de envio dos dados:

- **Unicast** – o nó originador da mensagem envia a mesma para apenas um nó;
- **Broadcast** - o nó originador da mensagem envia a mesma para todos os nós da rede;
- **Multicast** - o nó originador da mensagem envia a mesma para determinados nós da rede;

3.5.2.7 Tipo de tráfego

O tráfego de dados numa rede de automação industrial pode ser classificado em (10):

- **Periódico** – os dados são transmitidos ciclicamente através da rede. As trocas de dados entre o(s) controlador(es) e os módulos de entradas e saídas devem ser preferencialmente periódicos.

- **Não periódico** – os dados são transmitidos ocasionalmente através da rede, por exceção ou sob demanda.

O gerenciamento do tráfego, periódico ou não, pode ser centralizado ou descentralizado.

No caso do gerenciamento centralizado existe um nó mestre na rede que controla o direito de transmissão de dados de cada nó da rede. No caso do gerenciamento descentralizado, cada nó deve decidir sobre a transmissão de dados na rede.

Na Figura 12 é apresentada a classificação do tráfego periódico com os protocolos de acesso ao meio físico e as redes de comunicação correspondentes.

Figura 12 – Classificação do tráfego periódico

Na Figura 13 é apresentada a classificação do tráfego não periódico com os protocolos de acesso ao meio físico e as redes de comunicação correspondentes.

Figura 13 – Classificação do tráfego não periódico

3.5.3 As principais redes de automação

Para melhor análise das redes de automação, estas serão agrupadas conforme sua utilização dentro de cada nível da estrutura hierárquica. São definidos quatro níveis de redes conforme abaixo:

- **Nível DataBus** – Integração entre servidores e computadores corporativos, computadores de gerenciamento de produção e processo, estações de operação e controladores. Faz parte deste nível a rede Ethernet;
- **Nível ControlBus (ou Fieldbus)** – Comunicação entre estações de monitoração e controle do processo e controladores. Fazem parte deste nível as redes Ethernet IP (*Industrial Protocol*), ControlNet, PROFIBUS FMS (*Process Field Bus - Fieldbus Message Specification*), MODBUS Plus, Foundation Fieldbus H2;
- **Nível DeviceBus** – Comunicação entre controladores , acionamentos inteligentes e módulos de entradas e saídas. Fazem parte deste nível as redes Interbus, MODBUS

RTU, DeviceNet, LonWorks, PROFIBUS DP (*Decentralized Periphery*), PROFIBUS PA (*Process Automation*) e Foundation Fieldbus H1;

- **Nível SensorBus** – Comunicação entre dispositivos de campo como sensores inteligentes e controladores. Fazem parte deste nível as redes CAN (*Controller Area Network*), AS-i (*Actuator Sensor Interface*) e HART.

Os níveis onde as redes interagem são associados a diferentes níveis hierárquicos conforme a Figura 14 abaixo:

Figura 14 – Níveis de redes na estruturação hierárquica da automação

3.5.4 Padronização das redes de campo

As principais normas para redes industriais (10) são definidas pela IEC (*International Electrotechnical Commission*). São as normas IEC 61158 e IEC 61784. Existem também

normas definidas pela ISO (*International Organization for Standardization*) e pela CENELEC (*European Committee for Electrotechnical Standardization*) para redes de campo.

3.5.4.1 Normas IEC 61158 e IEC 61784

A principal norma da IEC é a IEC 61158 que define as especificações da camada física, da camada de ligação (*link*) de dados e da camada de aplicação para redes de campo. A especificação da camada de ligação de dados cobre oito tipos de redes: TR1158, ControlNet, PROFIBUS (*Process Field Bus*), P-Net, Foundation Fieldbus, SwiftNet, WorldFIP (*Factory Instrumentation Protocol*) e INTERBUS.

A norma IEC 61784 define o conjunto completo de protocolos para cada tipo de rede. Cada tipo de rede é definido como uma família de perfil de comunicação CPF (*Communication Profile Family*). As principais CPFs definidas são apresentadas na Figura 15.

Figura 15 – As principais famílias de perfil de comunicação da norma IEC 61784

3.5.4.2 Normatização ISO TC184 SC5

Trabalhos realizados no sentido de definir requisitos e recomendações para a arquitetura de comunicação crítica no tempo TCCA (*Time-Critical Communication Architecture*) e para os sistemas de comunicação críticos no tempo TCCS (*Time-Critical Communication Systems*).

3.5.4.3 Normas CENELEC EN 50170, EN 50254, EN 50325 e EN 50295

As normas da CENELEC para redes de campo têm o objetivo de fornecer padrões internacionais. A EN 50170 padroniza os protocolos P-Net, PROFIBUS FMS, WorldFIP, Foundation Fieldbus, ControlNet e PROFIBUS PA. A EN 50254 padroniza os protocolos INTERBUS, PROFIBUS DP e Device WorldFIP. A EN 50325 padroniza os protocolos CAN, DeviceNet e CANOpen. A En 50295 padroniza o protocolo AS-i (*Actuator and Sensor Interface*).

4 SINCRONIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS E COMPUTADORES NA MESMA REFERÊNCIA DE BASE DE TEMPO

Os sistemas de automação industrial modernos possuem equipamentos e computadores com capacidade para a aquisição, a gravação e o armazenamento de dados históricos dos processos produtivos e auxiliares.

Para que os dados armazenados nestas bases de dados históricas possam ser utilizados de forma integrada numa análise, é necessário que as seguintes condições sejam atendidas:

- Os relógios internos dos equipamentos e computadores, utilizados como referências da data e da hora pelos sistemas de gravação e armazenamento dos eventos, devem estar todos sincronizados numa mesma referência. Caso exista defasagem na data e hora dos relógios, a diferença entre eles deve ser conhecida;
- O mecanismo de gravação dos eventos deve ser conhecido (possíveis atrasos gerados no momento da gravação dos eventos);
- Os valores dos atrasos presentes desde a ocorrência física do evento (no campo) e a gravação do mesmo na base de dados devem ser conhecidos;
- O tempo de resposta das entradas dos instrumentos e dispositivos de aquisição dos eventos e a resolução do relógio utilizado para a gravação do evento devem ser compatíveis.

A análise integrada das bases de dados históricas de equipamentos e computadores sincronizados numa mesma referência de tempo permite:

- Validação do processo durante a implantação do mesmo ou após a realização de modificações;
- Análise da sequência de eventos no nível de célula, área ou planta;
- Planejamento de ajustes e correções nas manutenções corretivas e preventivas;
- Otimização do processo;
- Aumento da segurança operacional da planta.

4.1 Sincronização nos níveis hierárquicos da pirâmide de automação

As necessidades de sincronização das bases de tempo são distintas para cada nível hierárquico da pirâmide de automação. Quanto mais baixo o nível na pirâmide, mais complexa se torna a sincronização, pois as constantes de tempo diminuem e a variedade de equipamentos e dispositivos aumenta.

Na figura 16 apresentamos as diferentes constantes de tempo dentro da pirâmide de automação do ponto de vista produtivo.

Figura 16 – Ordem de grandeza das constantes de tempo na pirâmide da automação

Dentro da pirâmide, a referência de data e hora para a sincronização dos equipamentos principais pode ser transmitida na direção vertical e horizontal.

4.1.1 Distribuição das bases de dados na pirâmide de automação

O tamanho das bases de dados aumenta da base para o topo da pirâmide de automação, enquanto a quantidade e variedade de tipos de bases de dados diminuem. A frequência de amostragem dos dados de campo diminui da base para o topo da pirâmide, e a capacidade de armazenamento de dados históricos aumenta.

Quanto à concentração de dados históricos na pirâmide de automação, as bases de dados podem ser classificadas em centralizada e distribuída. Considera-se que a base de dados é centralizada nos níveis 3, 4, 5 e distribuída nos níveis 0, 1 e 2 da pirâmide.

4.1.1.1 Base de dados centralizada

Os sistemas de gravação e armazenamento de dados são baseados em bancos de dados instalados em servidores e centralizam a aquisição e gravação dos dados. Os dados do chão de fábrica precisam “subir” diversos níveis da pirâmide até serem armazenados nestes bancos.

A base de dados centralizada apresenta as seguintes desvantagens:

- Inserção de sucessivos atrasos até o momento da gravação final dos eventos do chão de fábrica no banco de dados do sistema de gravação e armazenamento;
- Perda de confiabilidade nos dados do chão de fábrica armazenados.

A base de dados centralizada apresenta as seguintes vantagens:

- Facilidade na análise dos dados, pois os dados necessários para a mesma estarão concentrados em poucas bases de dados;
- Semelhança de formatos dos dados a serem analisados;
- A busca dos dados deve ser realizada numa quantidade pequena de computadores.

4.1.1.2 Base de dados distribuída

Os sistemas de gravação e armazenamento de dados são baseados em bases de dados pequenos, provenientes de equipamentos, controladores e microcomputadores. Os dados do chão de fábrica não precisam “subir” vários níveis na pirâmide de automação até os sistemas de gravação e armazenamento.

A base de dados distribuída apresenta as seguintes desvantagens:

- Dificuldade na análise integrada dos dados, pois os dados necessários para a mesma estarão concentrados em diversas bases de dados de diversos equipamentos, controladores e microcomputadores;
- Variedade de formatos dos dados a serem analisados;
- A busca dos dados deve ser realizada numa quantidade elevada de bases de dados.

A base de dados distribuída apresenta as seguintes vantagens:

- Os atrasos inseridos até o momento da gravação dos eventos são pequenos;
- Elevada confiabilidade dos dados do chão de fábrica armazenados.

4.1.2 Sincronização vertical

Este tipo de sincronização ocorre quando existe a necessidade de análise através da comparação de eventos armazenados nas bases de dados de diferentes níveis hierárquicos da pirâmide de automação. Como exemplo, podemos citar a análise integrada dos dados armazenados na base de dados histórica de relés inteligentes e dos dados armazenados em servidores de histórico de dados de processo. A sincronização vertical ocorre quando a referência de data e hora é transmitida na direção vertical dentro da pirâmide, abrangendo o envio da referência entre os diferentes níveis. Este movimento pode ser ascendente ou descendente, conforme apresentado na Figura 17.

Figura 17 – Sincronização vertical na estruturação hierárquica dos sistemas de automação

4.1.3 Sincronização horizontal

Este tipo de sincronização ocorre quando existe a necessidade de análise através da comparação de eventos armazenados nas bases de dados de equipamentos ou dispositivos presentes no mesmo nível hierárquico da pirâmide de automação. Normalmente este tipo de sincronização ocorre entre equipamentos de mesmo tipo como microcomputadores, controladores ou dispositivos inteligentes de campo. A sincronização horizontal ocorre quando a referência de data e hora é transmitida na direção horizontal dentro da pirâmide, correspondendo ao envio da referência aos equipamentos do mesmo tipo num mesmo nível. Na Figura 18 é apresentada a sincronização horizontal.

Figura 18 – Sincronização horizontal na estrutura hierárquica dos sistemas de automação

4.2 Sincronização dos equipamentos

Para uma sincronização eficaz das bases de tempo de diferentes equipamentos de um sistema de automação, devem ser verificados os seguintes pontos:

1. Sincronização dos relógios dos equipamentos;
2. Resolução do relógio e mecanismo de gravação da data e hora do evento registrado;
3. Periodicidade da tarefa de sincronização dos relógios;
4. Cálculo do atraso total para a gravação do evento na base de dados;

5. Exatidão dos dados aquisitados;
6. Validade dos dados aquisitados.

4.2.1 Sincronização dos relógios internos dos equipamentos

Os relógios internos dos equipamentos, que fornecem as referências de data e hora para a gravação dos eventos, devem estar todos sincronizados numa mesma referência. Os equipamentos com os relógios internos a serem sincronizados podem ser do mesmo tipo ou de diferentes tipos. Podem também estar em diferentes níveis hierárquicos e estarem ou não conectados através de redes de comunicação.

A operação de sincronização dos relógios pode ser realizada de maneiras distintas conforme listado a seguir:

- **Operação manual individual** – cada equipamento ou dispositivo do sistema de automação tem o seu relógio sincronizado manualmente um a um através da intervenção de um operador;
- **Operação manual por grupo** – os relógios de um conjunto de equipamentos ou dispositivos do sistema de automação são sincronizados manualmente e simultaneamente através de uma rede de comunicação com a intervenção de um operador;
- **Automático individual** – a data e hora do relógio do equipamento ou dispositivo é atualizada automaticamente na ocorrência de um evento pré-definido no sistema de automação;

- **Automático por grupo** - os relógios de um conjunto de equipamentos ou dispositivos do sistema de automação são sincronizados automaticamente e simultaneamente através de uma rede de comunicação na ocorrência de um evento pré-definido. Este tipo de ajuste é facilitado quando a rede de comunicação envolvida utiliza o método de comunicação do tipo *broadcast*, *multicast* ou produtor-consumidor.

No caso da ausência de redes de comunicação integrando os equipamentos, a operação de sincronização será manual.

4.2.2 Resolução do relógio e mecanismo de gravação da data e hora do evento registrado

A resolução do relógio interno do equipamento e a precisão do mecanismo de gravação da data e hora do evento registrado são importantes para que as diferentes bases de dados históricas estejam coerentes em termos de base de tempo. A resolução do relógio interno utilizado como referência para a data e hora do sistema de gravação deve ser a melhor possível. Desta forma, o mecanismo de gravação conseguirá uma resolução igual ou pior à do relógio na gravação da data e hora dos eventos.

A resolução dos eventos armazenados nas bases de dados deve ser melhor que a resolução requerida na análise. Se na análise for exigida uma resolução de 1 segundo, todas as bases utilizadas deverão estar com uma resolução de data e hora de no máximo 1 segundo.

O mecanismo de gravação poderia melhorar a resolução dos eventos dividindo a menor unidade de tempo do relógio interno do equipamento em vários períodos. Para isso, o mecanismo de gravação deverá utilizar um segundo relógio interno que consiga dividir o período de tempo fornecido pelo relógio principal e usar frações menores deste na gravação da data e hora.

No caso do mecanismo de gravação não conseguir realizar uma operação de gravação do evento na menor unidade de tempo do relógio principal, a resolução da gravação dos eventos será determinado pelo desempenho do mecanismo de gravação.

4.2.3 Periodicidade da tarefa de sincronização dos relógios

Após um determinado período de tempo, diferentes equipamentos e dispositivos, do mesmo tipo ou não, têm os horários dos seus relógios internos defasados entre si. Estas defasagens surgem em função da diferença de precisão dos relógios de diferentes tipos de equipamentos, de forma que é necessário o envio da data e hora de referência para os mesmos periodicamente.

Para o ajuste do relógio de cada equipamento temos dois casos distintos conforme apresentado a seguir:

- **Relógio Adiantado** – O relógio a ser ajustado está adiantado com relação ao horário de referência e será atrasado no ajuste. O sistema de gravação pode sobrescrever os dados já armazenados, criar um período de tempo adicional na base de dados dos eventos ou entrar em falha e travar o sistema de gravação. No caso do sistema sobrescrever eventos já gravados, ocorrerá a perda dos eventos gravados durante o período sobrescrito e impossibilitará a análise durante o período apagado. No caso da criação de um período adicional, perde-se a consistência temporal dos eventos durante o período adicionado.
- **Relógio Atrasado** – O relógio a ser ajustado está atrasado com relação ao horário de referência e será adiantado no ajuste. O sistema de gravação não será afetado, mas ocorrerá uma lacuna no tempo de registro dos eventos, onde não existirá nenhum evento gravado neste período de tempo entre o horário anterior e o ajustado.

A periodicidade da atualização da data e da hora de cada equipamento deve ser definida em função da defasagem do relógio e da resolução de tempo necessária na gravação dos eventos.

4.2.4 Cálculo do tempo total de atraso para a gravação do evento na base de dados

O registro de um evento é o registro de um fato físico ocorrido com um horário associado a ele. O registro de evento deve conter a data e hora da ocorrência, a identificação da variável envolvida e qual o estado ou valor da mesma.

O período de tempo entre a sensibilização da entrada de um módulo (via cabos) de entrada digital ou analógica pelo evento físico e a gravação da mesma numa base de dados, deve ser calculado ou estimado para permitir a avaliação da precisão do sistema. Deve ser verificado se o valor deste atraso na gravação do evento é variável ou fixo e se está dentro de uma margem de erro aceitável.

Para o cálculo do atraso total temos os seguintes componentes principais:

- **T_módulo_e_s** - Tempo de processamento interno dos módulos ou dispositivos de entradas e saídas. É o período de tempo gasto para a conversão do sinal elétrico em um valor binário ou inteiro na base de dados do módulo ou dispositivo pelos conversores analógico-digitais;
- **T_barram_rede_e_s** - Tempo de atualização do barramento ou rede de comunicação. É o período de tempo gasto para que os dados dos módulos ou dispositivos de campo sejam atualizados na base de dados do controlador ou computador. Este tempo depende do tipo de rede, dos mecanismos de acesso à mídia e dos métodos de

comunicação utilizados pela mesma e do mecanismo de troca de dados utilizados pelos barramentos de comunicação (*backplane* do *rack*);

- **T_controlador** - Tempo de processamento do dado pelo controlador. É o período de tempo gasto no controlador para que os valores dos dados recebidos através dos barramentos ou redes de comunicação sejam copiados para a área de comunicação com o sistema supervisor. Este tempo depende da execução das rotinas do programa aplicativo, que podem ser executados conforme o *scan* ou por interrupção através da definição de prioridades de execução;
- **T_rede_sup** - Tempo de aquisição do dado pelo sistema de gravação do evento. É o período de tempo gasto pelo *driver* de comunicação da rede para realizar a leitura e a atualização dos valores dos dados solicitados pelo sistema supervisor. Estes podem ser adquiridos de controladores, relés inteligentes ou dispositivos de campo;
- **T_gravação** - Tempo de processamento do mecanismo de gravação do evento. É o período de tempo gasto pelo mecanismo de execução do log de eventos e gravação do evento na base de dados histórica.

Temos o tempo de atraso total **T_atraso_total** conforme abaixo:

- $$\mathbf{T_atraso_total} = T_módulo_e_s + T_barram_rede_e_s + T_controlador + T_rede_sup + T_gravação.$$

4.2.5 Exatidão dos dados adquiridos

A data e a hora do evento será mais exata quanto melhor for a resolução do relógio e quanto mais preciso for o mecanismo de gravação do evento. É importante que a duração da

operação de gravação tenha uma variabilidade baixa, garantindo o determinismo e a repetibilidade da operação.

A exatidão dos eventos depende basicamente dos seguintes fatores:

- Resolução do relógio;
- O período de tempo gasto pelos circuitos eletrônicos do módulo de entrada para a conversão do sinal elétrico em dado digital;
- A precisão do mecanismo de gravação dos eventos;
- O valor do atraso entre a percepção da mudança do estado digital referente ao fato ocorrido pelo sistema de gravação do evento e a efetiva gravação do mesmo na base histórica de eventos.

Podem ocorrer dois casos distintos de perda de exatidão:

- **Melhor resolução do relógio que a do mecanismo de gravação** - O relógio possui elevada resolução (por exemplo, 1 milissegundo) mas o mecanismo de gravação demora alguns segundos ou décimos de segundos nas operações de percepção da mudança de estado de uma variável, leitura da data e hora e da gravação do evento na base de dados histórica;
- **Melhor resolução do mecanismo de gravação que a do relógio** - O mecanismo de gravação é rápido, consumindo milissegundos nas operações de percepção da mudança de estado de uma variável, leitura da data e hora e da gravação do evento na base de dados histórica, mas a resolução do relógio é de 1 segundo.

Deve existir a coerência entre a resolução do relógio e a velocidade do mecanismo de gravação na realização das operações citadas acima.

4.2.6 Validade dos dados aqisitados

Deve-se verificar se os dados aqisitados são realmente úteis para uma análise. Os dados aqisitados e armazenados devem ser importantes e suficientes para se chegar a um diagnóstico preciso sobre as causas e efeitos de algum acontecimento importante do ponto de vista da operação, da manutenção ou da otimização do processo produtivo.

Os dados aqisitados e registrados na forma de eventos serão validados para a sua utilização em uma determinada análise quando atenderem os seguintes requisitos:

- **Importância** – Todos os eventos aqisitados devem ser importantes para o objetivo da análise. Eventos que não são importantes só servirão para consumir recursos de processamento e de memória em disco.
- **Suficiência** – A amostragem utilizada é suficiente e a quantidade de variáveis aqisitadas também.

A validade dos eventos gravados é de primordial importância, pois de nada adianta possuir o menor atraso, o melhor relógio (sincronizado e de elevada resolução) e o melhor mecanismo de gravação, se os eventos armazenados forem inúteis em termos de conteúdo (se as variáveis aqisitadas não forem importantes).

4.3 Formas de Referência de Tempo

A operação de sincronização dos relógios internos dos dispositivos deve utilizar uma referência confiável e com resolução melhor ou igual a dos relógios a serem sincronizados.

Uma sincronização de bases de tempos de diferentes equipamentos e dispositivos num sistema de automação só pode ser validada se a referência de tempo utilizada for confiável. Se não for utilizada a referência de tempo correta, nunca haverá exatidão no processo de sincronização. De nada adianta os relógios a serem sincronizados terem elevada resolução e as metodologias e as técnicas de sincronização serem as melhores, se a referência de tempo utilizada for errada. Uma referência de tempo é considerada inválida quando sua contagem de tempo não é constante (variação na frequência de oscilação do dispositivo que fornece a referência para a contagem do tempo) ou se sua resolução é baixa (por exemplo, um relógio com resolução de um segundo para sincronizar relógios com resolução de milisegundos).

Para que uma referência seja válida ela deve atender os seguintes requisitos:

- **Elevada resolução** – a resolução do relógio deve ser maior ou igual a do relógio mais preciso a ser sincronizado;
- **Alcance geográfico adequado** – quando os relógios a serem sincronizados estiverem geograficamente dispersos, a referência a ser utilizada deverá ser comum. As referências devem estar sincronizadas com uma determinada precisão;
- **Acessibilidade e utilização** – é necessário que os dados do relógio de referência sejam acessíveis (data, hora, pulso de sincronismo) e possam ser utilizados de alguma forma.

Do ponto de vista geográfico, as referências de tempo podem ser classificadas em três grupos:

- **Referência de tempo local** – quando a referência é utilizada por equipamentos e dispositivos presentes dentro de um mesmo prédio;

- **Referência de tempo regional** - quando a referência é utilizada por equipamentos e dispositivos presentes dentro de diferentes prédios, mas fisicamente próximas (por exemplo, dentro de uma planta com vários prédios);
- **Referência de tempo global** - quando a referência é utilizada por equipamentos e dispositivos localizados em qualquer lugar do planeta. Esta referência também pode ser utilizada como referência local.

4.3.1 Referências locais

Será utilizado um relógio central como referência para todo o prédio via rede ou via rádio.

4.3.2 Referências regionais

Será utilizado um relógio central como referência para toda a planta via rede ou via rádio. Este relógio pode estar sincronizado via GPS (*Global Positioning System*) ou com o horário fornecido pelo Observatório Nacional brasileiro onde fica localizado o padrão primário brasileiro de tempo e frequência. O relógio atômico de Césio 133 do Observatório Nacional possui um erro de mais ou menos 1 segundo em 63.400 anos (13).

4.3.3 Referências globais

São os sistemas GPS (*Global Positioning System*) e Galileo (em implantação) ou relógios atômicos. Estes sistemas são capazes de fornecer referência de tempo com precisão de até 1 μ s (dependendo do receptor utilizado) e capacidade de sincronização do relógio a cada segundo. Para utilizar esta referência global é necessário que o equipamento ou dispositivo possua um receptor GPS integrado.

4.3.3.1 Sistema de Posicionamento Global GPS (Global Positioning System)

O GPS é um sistema de rádio-navegação, baseado em satélite, desenvolvido e operado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos (14). O sistema GPS permite aos usuários determinar sua posição tridimensional, velocidade e horário, 24 horas por dia, sob qualquer condição climática e em qualquer local do mundo com uma resolução de período de tempo de um milissegundo. O conceito da operação do sistema GPS é baseado na distância do satélite. Os receptores dos usuários determinam sua posição medindo sua distância ao grupo de satélites no espaço. Os satélites atuam como pontos de referência precisos. Os receptores de GPS (15) coletam sinais dos satélites visíveis e exibem a posição, a velocidade, a data e hora do usuário.

Devido a sua característica de elevada precisão no fornecimento de referências de data e hora sincronizadas (base de tempo comum ajustada com relógios atômicos) em diferentes pontos geográficos do planeta, esse sistema é uma interessante opção para aplicações em sistemas de automação que exijam sincronismo de relógios com precisão de um milissegundo entre equipamentos localizados em diferentes pontos geográficos.

4.4 Casos típicos para estudo de eventos com sistemas supervisórios, CLPs e dispositivos de campo sincronizados

O estudo de eventos com sistemas supervisórios, CLPs e dispositivos de campo sincronizados numa mesma base de tempo é relevante para os processos com as seguintes características:

- Execução de malhas de controle;
- Processo tipo *drive system*;
- Execução de totalizações em diversas áreas da planta;

- Monitoração do sistema elétrico.

4.4.1 Processos com malhas de controle

As necessidades e os requisitos para a sincronização das bases de tempo em sistemas automatizados com malhas de controle devem ser baseados nos tempos de resposta necessários para a execução das mesmas. O tipo de controle PID (Proporcional Integral Derivativo) é o mais utilizado em sistemas industriais, devido à sua facilidade de implementação. O ganho proporcional, as constantes de tempo integral e derivativo dos controladores tipo PID para diferentes processos (16) são apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – PID em malhas de controle para processos

Propriedade	Proporcional	Integral	Derivativo
Vazão e Pressão de Líquido	1 a 5	0,3 a 3 s	Não utilizado
Pressão de Gás	2 a 10	0,1 a 2 min	Não utilizado
Nível de Líquido	Sem referência	1 a 10 min	Não utilizado
Qualidade de Produto	10 a 1000	1 min a 2 h	0,1 a 20 min
Temperatura e Pressão de Vapor	1 a 10	0,2 a 60 min	0,1 a 20 min

4.4.2 Processos do tipo *drive system*

Nas indústrias de manufatura, a necessidade de sincronização pode aparecer em qualquer processo automatizado que tenha necessidade de históricos de eventos confiáveis e integrados. Os casos mais típicos são os sistemas tipo *drive system*, onde as constantes de tempo são pequenas. Neste caso estão os laminadores, máquinas de papel e linhas de estanhamento eletrolítico e zincagem. Nas linhas mais rápidas, com velocidades de 400 m/min, a constante de tempo crítica pode ser de 150 milisegundos (considerando o tempo necessário para a passagem de 1 metro de material na linha).

4.4.3 Processos com totalizadores

A sincronização das bases de tempo das bases de dados históricas é importante quando existe a necessidade de totalização dos valores armazenados em diferentes locais. Caso ocorra diferença de dias, horas ou minutos no fechamento diário das totalizações, o consumo total, calculado através da somatória das totalizações de diferentes áreas, não estará coerente no tempo.

As totalizações podem ser de consumo de matéria-prima e de utilidades (energia elétrica, água, vapor e ar comprimido). Também podem ser totalizados os volumes de produção para o cálculo da produtividade.

4.4.4 Eventos do sistema elétrico

Na área elétrica, esta metodologia pode ser aplicada aos sistemas (17) de supervisão do sistema de potência, de automação de subestações, de automação de usinas e de automação da distribuição que utilizam CLPs e têm necessidade de sincronização. Os sistemas que possuem SER (*Sequence of Events Recorder*) também necessitam de sincronização.

Um caso interessante é a utilização do sistema GPS (18) como referência de tempo para os gravadores da sequência de eventos de uma linha de transmissão, onde, devido à precisão do sincronismo de eventos com GPS é possível a utilização do método tipo D (análise da viagem dos transitórios pela linha) para a localização da falta ocorrida.

O sistema de aquisição de dados de um sistema de automação de subestação (17) tem requisitos diferentes quanto ao tempo e à velocidade de processamento dependendo das funções implementadas, conforme apresentado na Figura 19.

Figura 19 – Funções e requisitos no tempo do sistema de aquisição de dados

As necessidades e os requisitos para a sincronização das bases de tempo de sistemas elétricos automatizados devem ser baseados na duração típica dos fenômenos elétricos (19) que serão monitorados. As categorias e características de fenômenos eletromagnéticos dos sistemas de potência são apresentadas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Categorias e características de fenômenos eletromagnéticos dos sistemas de potência

Categoria	Tipo	Duração típica
Variações de frequência		< 10 s
Flutuações de tensão		Intermitente
Desbalanço de tensão		Estado contínuo
Variações de longa duração	Interrupção	> 1 min
	Subtensão	> 1 min
	Sobretensão	> 1 min
Variações de curta duração	Temporário	3 s a 1 min
	Momentâneo	30 ciclos a 3 s (500 ms a 3 s)
	Instantâneo	0.5 a 30 ciclos (8,3 a 500 ms)
Transientes	Impulso	Nano, micro ou milisegundo
	Oscilatório	Baixa frequência (ms)
		Média frequência (μs)
		Alta frequência (μs)

5 METODOLOGIA DE SINCRONIZAÇÃO EM SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

A metodologia proposta é composta por uma sequência de atividades a serem executadas para o desenvolvimento de uma sincronização de bases de tempo coerente, funcional e válida num sistema de automação. Esta metodologia pode ser utilizada também para a verificação da validade da sincronização de bases de tempo em sistemas já existentes.

O objetivo desta metodologia é auxiliar na elaboração de um sistema de automação com bases de dados sincronizadas no tempo permitindo a utilização destas para melhoria das atividades de operação e manutenção do processo automatizado.

A metodologia é constituída por quatro etapas principais:

- **Etapla 0 - NECESSIDADES** - Levantamento, análise e definição das necessidades da manutenção, operação e engenharia com relação ao armazenamento de eventos em bases de dados históricas;
- **Etapla 1 - PROCESSO** - Levantamento, estruturação e análise das características e necessidades de processo;
- **Etapla 2 - AUTOMAÇÃO** - Levantamento, estruturação e análise das características, necessidades e restrições do sistema de automação;
- **Etapla 3 - EVENTOS** - Verificação e validação dos eventos armazenados.

Cada etapa é acessível através da etapa anterior ou da etapa de necessidades. Isto existe para que possíveis ajustes e correções necessárias sejam realizados durante a execução

de qualquer etapa. Na Figura 20 é apresentada a visão geral da metodologia com todas as etapas envolvidas e os possíveis caminhos que podem ser percorridos entre as mesmas.

Figura 20 – Metodologia de sincronização de bases de tempo e as rotas entre as etapas

5.1 Etapa 0 - NECESSIDADES – Levantamento, análise e definição das necessidades da manutenção, da operação e da engenharia

O objetivo desta etapa é realizar o levantamento, a análise, a definição e a aprovação das necessidades da manutenção, da operação e da engenharia com relação ao armazenamento de eventos em bases de dados históricas com as bases de tempo sincronizadas. As definições das necessidades devem ser verificadas em todas as etapas, para que estas sejam cumpridas plenamente.

Algumas necessidades da manutenção com relação ao armazenamento de eventos em bases de dados históricas com as bases de tempo sincronizadas são:

- **Dados de equipamentos para manutenção preventiva** - Histórico dos equipamentos para elaboração do plano de manutenção e troca dos mesmos. A detecção das causas

reais dos problemas ocorridos nos sistemas produtivos e auxiliares permite o planejamento mais eficaz da manutenção dos equipamentos;

- **Dados de processo e de equipamentos para manutenção corretiva** - Verificação da sequência real de eventos numa eventual parada do processo. As correções e os ajustes são realizados com maior rapidez e conseqüentemente com menor tempo de parada da produção.

Algumas necessidades da operação com relação ao armazenamento de eventos em bases de dados históricas com as bases de tempo sincronizadas são:

- **Dados de processo para monitoração e verificação** - Acompanhamento e monitoração do funcionamento do processo para validação (na partida do sistema) e realização das correções e dos ajustes necessários;
- **Dados de processo para otimização** - Otimização dos processos através da execução de simulações dos modelos otimizados com os dados armazenados;
- **Dados de totalização** - Totalizações e consumos de matérias-primas e utilidades.

Algumas necessidades da engenharia com relação ao armazenamento de eventos em bases de dados históricas com as bases de tempo sincronizadas são:

- **Dados de processo e de equipamentos para otimização** - Otimização do processo através da implantação de melhorias;
- **Dados de processo e de equipamentos para validação** - Validação do processo instalado e entregue para a operação.

Nesta etapa devem ser executados os seguintes itens:

- **Item N1** - Levantamento das necessidades;
- **Item N2** - Análise das necessidades.

Na Figura 21 é apresentada a visão geral da etapa 0 NECESSIDADES com os itens a serem executados na mesma.

Figura 21 – Etapa 0 NECESSIDADES da metodologia e seus itens principais

5.1.1 N1 - Levantamento das necessidades

O levantamento permite conhecer as necessidades de cada departamento com relação a um determinado processo automatizado e é realizado através das seguintes atividades:

- Solicitação de lista das necessidades para cada departamento;
- Realização de reuniões com os responsáveis de cada departamento;
- Realização de pesquisas com o pessoal da área através de questionários e entrevistas.

Todas as informações obtidas são compiladas numa lista geral de necessidades solicitadas.

5.1.2 N2 - Análise das necessidades

A lista das necessidades solicitadas é analisada quanto à viabilidade do conjunto das solicitações e da real necessidade destas. Eventuais conflitos de solicitações entre os departamentos são solucionados. São realizadas reuniões com os responsáveis de cada departamento e com os operadores, engenheiros e técnicos para a revisão da lista.

Ao final é gerada uma lista das necessidades aprovadas.

5.2 *Etapa 1 - PROCESSO - Levantamento e análise das características e necessidades do processo*

O objetivo desta etapa é analisar o processo de forma estruturada e detalhada dos pontos de vista macro e micro, separando o processo em elementos menores e levando em consideração os detalhes de cada elemento. Esta etapa deve gerar uma lista com as variáveis principais de cada parte do processo e o período de amostragem necessário para cada variável.

Nesta etapa devem ser executados os seguintes itens:

- **Item P1** - Estruturação do processo;
- **Item P2** - Definição das variáveis a serem aquisitadas;
- **Item P3** - Levantamento das constantes de tempo de processo;
- **Item P4** - Definição do período de amostragem para cada conjunto de variáveis.

Na Figura 22 é apresentada a visão geral da etapa 1 PROCESSO e os itens a serem executados na mesma.

Figura 22 – Etapa 1 PROCESSO da metodologia e seus itens principais

Esta etapa deve gerar uma lista com as variáveis principais de cada parte do processo.

A estrutura da lista é mostrada na Tabela 5.1 e deverá conter os seguintes campos:

- **Tag** – Nome de identificação da variável;
- **Descrição** – Descrição da variável;
- **Constante de tempo crítica** – Valor da menor constante de tempo relacionada à variável;
- **Período de amostragem** – Valor do período de amostragem da variável definido em função da constante de tempo crítica da mesma;

- **Tipo** – Tipo da variável. Esta pode ser discreta ou analógica;
- **Área** – Área para a qual pertence a variável;

Tabela 5.1 – Exemplo da estrutura da lista de variáveis da etapa PROCESSO

Tag	Descrição	Constante de tempo crítica	Período de amostragem	Tipo	Área

5.2.1 P1 - Estruturação do processo

Para a estruturação do processo, pode ser utilizado o modelo hierárquico CIM apresentado no capítulo 1 deste trabalho. Para cada elemento do processo (tanques, máquinas, reatores, equipamentos grandes) devem ser listadas todas as variáveis envolvidas numa lista geral de variáveis. É recomendável a utilização de diagramas do tipo PI&D (*Process and Instrumentation Diagram*) para o levantamento de todas as variáveis envolvidas fisicamente no processo.

Na lista geral de variáveis, os equipamentos deverão estar separados por cada área do processo.

5.2.2 P2 - Definição das variáveis a serem aqisitadas

Verificar, dentro da lista geral de variáveis, quais são realmente importantes e necessárias para o processo. As variáveis selecionadas devem permitir a execução da análise baseada na sequência dos eventos e atender às necessidades da manutenção, da operação e da engenharia.

Os valores das variáveis de processo selecionadas serão aqisitados, gravados e armazenados em bases de dados históricas.

5.2.3 P3 - Levantamento das constantes de tempo de processo

Deve ser realizado o levantamento das menores constantes de tempo de cada etapa do processo. Estas constantes de tempo devem ser associadas às variáveis listadas no item 5.2.2.

Deve-se verificar se as necessidades de amostragem das variáveis não mudam com o tempo em função da execução de diferentes operações num mesmo elemento de processo. Neste caso, a situação mais crítica (menor constante de tempo) deverá ser considerada. Para cada uma das variáveis deve ser anotada a menor constante de tempo.

5.2.4 P4 - Definição do período de amostragem para cada conjunto de variáveis

Com base na lista de variáveis e suas constantes de tempo, deve-se agrupar as variáveis em classes de amostragem pré-definidas. Para facilitar a automação, as variáveis devem ser divididas em analógicas e digitais e ordenadas conforme o valor das constantes de tempo.

O período de amostragem de uma determinada variável deve ser menor que a constante de tempo da mesma.

5.3 *Etapa 2 - AUTOMAÇÃO – Levantamento, estruturação e análise das características, necessidades e restrições do sistema de automação*

O objetivo desta etapa é analisar o hardware, o software e as redes de comunicação do sistema de automação de forma estruturada e detalhada. Esta análise é realizada dos pontos de vista macro e micro, dividindo o sistema de automação em elementos menores e levando em consideração os detalhes de cada elemento.

Nesta etapa devem ser executados os seguintes itens:

- **Item A1** - Análise das modificações e ajustes a serem realizados no sistema de automação;
- **Item A2** - Verificação dos dispositivos de campo;
- **Item A3** - Verificação do local da gravação do evento para cada variável de campo aqusitada;
- **Item A4** - Análise das necessidades de resolução de tempo do sistema de gravação dos eventos;
- **Item A5** - Análise das necessidades de sincronização dos relógios dos diferentes sistemas;
- **Item A6** - Seleção da referência de data e hora e periodicidade de atualização;
- **Item A7** - Seleção dos locais de armazenamento dos eventos.

Na Figura 23 é apresentada a visão geral da etapa 2 AUTOMAÇÃO e os itens a serem executados na mesma.

Figura 23 – Etapa 2 AUTOMAÇÃO da metodologia e seus itens principais

Esta etapa deve gerar duas listas a partir da relação das variáveis especificadas na etapa PROCESSO:

- Lista das variáveis atendidas pelo sistema de automação;
- Lista das variáveis não atendidas pelo sistema de automação e as razões da impossibilidade do atendimento.

A estrutura da lista com as variáveis principais do sistema automatizado de cada parte do processo é apresentada na Tabela 5.2 e deverá conter os seguintes campos:

- **Tag** - Nome de identificação da variável;

- **Período de amostragem** - Valor do período de amostragem definido;
- **Dispositivo de campo** – Dispositivo responsável pela variável no campo;
- **Local de armazenamento** – Equipamento ou computador onde será armazenado o histórico da variável;
- **Resolução de gravação** – Resolução de tempo na qual deverá ser gravado o valor da variável pelo mecanismo de gravação.

Tabela 5.2 – Exemplo da estrutura da lista de variáveis da etapa AUTOMAÇÃO

Tag	Período de amostragem	Dispositivo de campo	Local de armazenamento	Resolução de gravação

5.3.1 A1 - Análise das modificações e ajustes a serem realizados no sistema de automação

O sistema de automação pode ser existente, já controlando e monitorando um processo industrial, ou novo. As modificações a serem realizadas devem levar isso em consideração. No caso do sistema já existente, devem ser verificadas as restrições impostas quanto à introdução de novas modificações. No caso do sistema novo a ser implantado, devem ser verificadas as restrições quanto aos controladores, equipamentos, dispositivos, redes de comunicação, drivers e programas aplicativos a serem utilizados.

5.3.2 A2 - Verificação dos dispositivos de campo

Os sensores e os instrumentos de campo devem atender às solicitações da lista de variáveis gerada na etapa PROCESSO.

Devem ser verificados os seguintes pontos:

- **Existência dos sensores e instrumentos no campo** - Estes devem existir no campo para possibilitar a aquisição dos valores das variáveis desejadas;
- **Tempo de resposta dos dispositivos** – O tempo de resposta destes deve ser menor ou igual ao solicitado na lista de variáveis gerada na etapa PROCESSO.

Para o cálculo do tempo de resposta deve ser feita a verificação das parametrizações dos dispositivos de campo, dos barramentos de comunicação e dos módulos de entradas (digitais e analógicas).

5.3.3 A3 - Verificação do local da gravação da data e hora para o valor da variável aquisitada no campo

A definição do local de gravação da data e hora é muito importante, pois definirá as especificações de resolução e ajustes dos relógios dos equipamentos e computadores que realizarão a gravação do evento.

Deve ser definido o local de gravação da data e hora para cada variável da lista de variáveis gerada na etapa PROCESSO. Deve ser analisado também o tempo de atraso da chegada da informação gerada no campo até o local de gravação do evento. São importantes os tempos de respostas dos conversores analógico-digitais nos módulos de entrada, dos barramentos e redes de comunicação, dos controladores, dos drivers de comunicação e do mecanismo de gravação do evento na base de dados histórica.

Existem três pontos importantes quanto à localização:

- O local de aquisição da variável a ser lida, como por exemplo, módulos de entradas digitais e analógicas;

- O local de gravação da data e hora do evento relacionado à variável, como por exemplo, módulos especiais de entrada digital, CLPs ou sistemas supervisórios;
- O local de armazenamento dos eventos, como por exemplo, arquivos ou bancos de dados históricos.

5.3.4 A4 - Análise das necessidades de resolução de tempo do sistema de gravação dos eventos

Devem ser avaliadas as necessidades de resolução através da referência cruzada entre os períodos de amostragem solicitados pelo processo e as resoluções fornecidas pelo sistema de automação. São definidas as resoluções de todas as variáveis.

Para cada variável, a resolução fornecida pelo mecanismo de gravação deve ser melhor que a resolução solicitada pelo processo através do período de amostragem.

5.3.5 A5 - Análise das necessidades de sincronização dos relógios dos diferentes sistemas

Verificação e definição de quais relógios devem ser sincronizados na mesma referência de base de tempo. Esta atividade é realizada através da análise de quais bases de dados dos processos produtivos têm necessidade de serem sincronizadas.

É definido também como deve ser implementado e executado o sincronismo dos relógios e qual a verificação a ser realizada após a sincronização.

5.3.6 A6 - Seleção da referência de data e hora e periodicidade de atualização

Deve ser selecionada a referência de data e hora para cada sistema a ser sincronizado, o modo de sincronização e a periodicidade de atualização.

É realizada também a verificação das possíveis interferências sobre o sinal de referência, como por exemplo, a influência da ionosfera no sinal do GPS, o humor e a boa vontade das pessoas numa sincronização manual ou a interferência eletromagnética em sinais de rádio.

O modo de sincronização dos relógios deve ser automático, através de uma rede de comunicação, e com o ajuste simultâneo da data e hora dos mesmos.

A periodicidade da atualização da referência deve ser definida em função da precisão e da exatidão dos relógios envolvidos.

5.3.7 A7 - Seleção dos locais de armazenamento dos eventos

O tamanho das bases de dados depende da quantidade de dados armazenados nas mesmas. O período de tempo máximo de armazenamento dos dados mais antigos na base de dados histórica depende dos seguintes pontos:

- Capacidade de armazenamento dos dados no disco rígido do computador onde está armazenada a base de dados;
- Quantidade de variáveis aquisitionadas;
- Frequência de amostragem de cada variável.

Os locais de armazenamento devem ser selecionados levando em consideração:

- O tamanho previsto das bases de dados;
- A confiabilidade do equipamento ou computador no qual serão armazenados os dados;
- A facilidade de acesso aos dados armazenados;

- A disponibilidade de ferramentas para realização de backup das bases de dados históricas periodicamente.

5.4 Etapa 3 - EVENTOS - Verificação e validação dos eventos armazenados

O objetivo desta etapa é a análise da validade dos dados armazenados nas bases de dados históricas.

Nesta etapa devem ser verificados os seguintes itens:

- **Item E1** – Exatidão dos eventos armazenados;
- **Item E2** – Análise dos eventos.

Na Figura 24 é apresentada a visão geral da etapa 3 EVENTOS com os itens a serem executados na mesma.

Figura 24 – Etapa 3 EVENTOS da metodologia e seus itens principais

A estrutura da lista para a validação das variáveis principais do sistema automatizado é apresentada na Tabela 5.3 e deverá conter os seguintes campos:

- **Tag** - Nome de identificação da variável;
- **Dispositivo de campo** – Dispositivo responsável pela variável no campo;
- **Local de armazenamento OK** – Verificação se os valores realmente estão armazenados nas bases de dados especificadas;
- **Resolução de gravação OK** – Verificação se a resolução de tempo na qual é gravado o valor da variável pelo mecanismo de gravação está correta;
- **Valor OK** – Verificação se o valor armazenado na base de dados está coerente com o valor de campo.

Tabela 5.3 – Exemplo da estrutura da lista de variáveis da etapa EVENTOS

Tag	Dispositivo de campo	Local de armazenamento OK	Resolução de gravação OK	Valor OK
-----	----------------------	---------------------------	--------------------------	----------

5.4.1 E1 - Exatidão dos eventos armazenados

Deve ser verificado se os dados de todas as variáveis definidas na etapa AUTOMAÇÃO estão sendo realmente gravados e armazenados com a exatidão necessária nas bases de dados históricas. Isto pode ser realizado através das simulações dos sinais de campo.

Devem ser definidos os testes para validação da gravação dos eventos e qual o erro máximo permitido.

5.4.2 E2 - Análise dos eventos

A utilização dos eventos validados pode ser realizada através da análise manual ou de algoritmo dedicado para o processo industrial em questão. Os programas de simulação de processo podem ser alimentados com os dados válidos armazenados.

A validação final é realizada nesta etapa e qualquer discrepância observada deverá ser encaminhada para a etapa NECESSIDADES, onde serão realizados os ajustes e as correções necessárias.

6 ESTUDO DE CASO: SINCRONIZAÇÃO DE TEMPOS APLICADA AO SISTEMA ELÉTRICO DE ALIMENTAÇÃO DO LAMINADOR DE TIRAS A QUENTE

A metodologia apresentada no capítulo 5 é utilizada para a análise, verificação e validação da sincronização das bases de tempos dos sistemas de automação, tanto para sistemas existentes como para sistemas novos.

Neste estudo de caso será analisado um sistema de automação existente com o objetivo de verificar se a sincronização foi realizada de forma coerente, funcional e válida. Isto será realizado através da verificação de todos os itens da metodologia no sistema elétrico de alimentação do LTQ (Laminador de Tiras a Quente).

O sistema elétrico de alimentação é identificado como sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) neste estudo. Esta identificação foi utilizada no projeto de desenvolvimento e instalação do mesmo.

No projeto do sistema SCADA foi realizada a sincronização das bases de tempo de todos os servidores, estações de monitoração e controle, CLPs e relés inteligentes da planta. Na Figura 25 é apresentada uma visão externa da planta do LTQ.

Figura 25 – Visão externa da planta do Laminador de Tiras a Quente (LTQ)

6.1 Aplicação da metodologia

A metodologia é aplicada ao sistema SCADA do LTQ existente. São checados todos os itens da metodologia, conforme apresentado na Figura 26, com o objetivo de analisar e verificar a validade do sistema de sincronização instalado na planta.

No final do estudo de caso serão apresentadas as considerações e as conclusões sobre o sistema de sincronização analisado.

Figura 26 – Metodologia de sincronização de bases de tempo

6.2 Etapa 0 – Necessidades do sistema elétrico do LTQ

A sincronização das bases de dados históricas do sistema SCADA do LTQ foi realizada devido à necessidade de visualização dos eventos armazenados em diversas bases de dados numa mesma referência de tempo.

6.2.1 N1 - Levantamento das necessidades

As necessidades foram solicitadas apenas pelo departamento de Manutenção. As seguintes funcionalidades foram solicitadas:

- Comparação na mesma base de tempo dos dados históricos de processo e do sistema elétrico. Estes dados estão armazenados em diferentes bases de dados espalhados pela planta do LTQ;
- Comparação na mesma base de tempo dos dados históricos armazenados nos diferentes relés inteligentes de proteção na planta do LTQ (exceto subestação);
- Comparação na mesma base de tempo dos dados históricos armazenados nos diferentes relés inteligentes de proteção da subestação do LTQ.

6.2.2 N2 - Análise das necessidades

As necessidades listadas na etapa N1 foram todas aceitas. As solicitações eram coerentes e foram bem justificadas. Não houve conflito de necessidades, pois havia apenas solicitações do departamento de Manutenção.

A melhoria na análise de falhas na planta, tanto na manutenção corretiva como preventiva, foi apresentada como justificativa das solicitações.

6.3 *Etapa 1 – Processo do sistema elétrico do LTQ*

Nesta etapa é apresentado o processo do Laminador de Tiras a Quente, a sua estruturação em áreas e as suas características básicas. É realizada a verificação do levantamento das constantes de tempo de processo e da definição do período de amostragem das variáveis realizados no projeto do sistema SCADA.

O processo do LTQ (20) consiste em transformar placas de aço, através do aquecimento e sucessivas deformações das mesmas, em bobinas. As placas de aço, com espessura de 200 a 250 mm, são aquecidas no forno de reaquecimento a uma temperatura de aproximadamente 1250 °C. Estas placas aquecidas sofrem a redução inicial de espessura através de passes sucessivos no laminador desbastador. Estes passes reduzem a espessura da placa para 26 a 40 mm, transformando a placa original numa longa tira de aço. Esta tira é encaminhada ao trem acabador, constituído por seis cadeiras de laminação, onde a mesma sofre a redução final de espessura atingindo a especificação final entre 1,2 a 16,0 mm. No final da linha, a tira sofre resfriamento e é enrolada nas bobinadeiras.

6.3.1 P1 - Estruturação do processo

O processo do LTQ é constituído por seis células listadas a seguir:

- **Célula 1 – Subestação** (*Substation – S/S*);
- **Célula 2 – Pátio de placas e Forno de reaquecimento** (*Slab Yard and Furnace – SY&FCE*);
- **Célula 3 – Laminador desbastador** (*Roughing Mill – RM*);
- **Célula 4 – Trem acabador** (*Finishing Mill – FM*);
- **Célula 5 – Bobinadeira** (*Downcoiler – DC*);
- **Célula 6 – Estação de Tratamento de Água – ETA** (*Water Treatment Plant – WTP*).

A estruturação hierárquica do processo é apresentada na Figura 27.

Figura 27 – Estruturação hierárquica do processo do LTQ

6.3.1.1 Célula 1 – Subestação (Substation – S/S)

Esta área é responsável pelo fornecimento da energia elétrica utilizada na planta do LTQ. É constituída por uma subestação 138/34,5 kV para alimentação dos principais motores da planta (motores R1 superior e R1 inferior do laminador desbastador e motores F1 a F6 do laminador de acabamento) e por uma subestação 138/13,8 kV para alimentação dos demais sistemas da planta.

6.3.1.2 Célula 2 – Pátio de placas e Forno de reaquecimento (Slab Yard and Furnace - SY&FCE)

O pátio de placas é o local onde são armazenadas as placas que serão laminadas. O forno de reaquecimento realiza o aquecimento das placas a uma temperatura ideal para o processo de laminação a quente. Na Figura 28 é apresentada a localização do forno de reaquecimento na planta do LTQ.

Figura 28 – O forno de reaquecimento na planta do LTQ

6.3.1.3 Célula 3 – Laminador desbastador (Roughing Mill – RM)

No laminador desbastador é realizado o ajuste inicial da espessura e da largura da placa através da passagem da mesma diversas vezes (passes) pelo laminador. A passagem da placa de aço aquecida entre o conjunto de cilindros do laminador acarreta a diminuição da espessura e da largura, e o conseqüente aumento do comprimento da mesma. Após a saída do laminador desbastador, a placa de aço inicial passa a ser chamada de tira de aço. Na Figura 29 é apresentada a localização do laminador desbastador na planta do LTQ.

Figura 29 – O laminador desbastador na planta do LTQ

6.3.1.4 Célula 4 – Trem acabador (Finishing Mill – FM)

O trem acabador é constituído por seis cadeiras de acabamento, onde a tira de aço sofre sucessivas reduções de espessura através da passagem da mesma entre o conjunto de cilindros de cada cadeira. É nesta etapa que a tira atinge a especificação final de espessura e largura. Na Figura 30 é apresentada a localização do trem acabador na planta do LTQ.

Figura 30 – O trem acabador na planta do LTQ

6.3.1.5 Célula 5 – Bobinadeira (Downcoiler – DC)

A tira proveniente do trem acabador passa pelo sistema de resfriamento e é enrolada em bobinas (produto final da linha) na bobinadeira. Esta é a etapa final do LTQ e as bobinas de aço produzidas são armazenadas no pátio de resfriamento de bobinas. Na Figura 31 é apresentada a localização da bobinadeira na planta do LTQ.

Figura 31 – A bobinadeira numa planta do LTQ

6.3.1.6 Célula 6 – Estação de Tratamento de Água – ETA (Water Treatment Plant - WTP)

Nesta planta é realizado o processo de tratamento da água utilizada no LTQ. São efetuados os controlos da qualidade (através das bacias de sedimentação, dosagem química e filtros), da temperatura e da quantidade de água fornecida para o processo de laminação de tiras a quente.

6.3.2 P2 - Definição das variáveis a serem aqisitadas

Para cada tipo de equipamento foi definida a aquisição de um conjunto de variáveis, conforme listado a seguir:

- Monitoração dos estados, das proteções e das grandezas elétricas dos disjuntores e contadores;
- Monitoração das proteções (alarmes) dos transformadores;
- Monitoração dos estados dos relés de proteção inteligentes Multilin da GE (*General Eletric*);

- Monitoração dos estados, da velocidade, da temperatura e da vibração dos motores.

No sistema SCADA são aqisitadas aproximadamente 2700 variáveis. São 2000 variáveis digitais e 700 analógicas, conforme o resumo apresentado na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Quantidade de variáveis aqisitadas pelo sistema SCADA do LTQ

Tipo de Variável monitorada	Quantidade de variáveis (através de redes de comunicação)	Quantidade de variáveis (através de módulos de entradas e saídas)
Digital	Aprox. 1000	Aprox. 1000
Analógica	Aprox. 500	Aprox. 200

6.3.2.1 Variáveis dos equipamentos do sistema elétrico

Os dados relativos aos estados, às proteções e às grandezas elétricas dos disjuntores e contadores, às proteções (alarmes) dos transformadores e aos estados dos relés Multilin são aqisitados através das redes MODBUS RTU.

São aqisitados dados dos seguintes tipos de relés Multilin nas redes MODBUS RTU:

- SR745 - gerenciamento de transformador;
- SR750 - gerenciamento de disjuntor;
- PQM - monitoração de energia;
- SR469 - gerenciamento de motores;
- F35 - gerenciamento de vários contadores e disjuntores.

São monitoradas as seguintes grandezas elétricas de cada disjuntor e contator:

- Correntes das fases R, S e T;
- Tensões das fases R, S e T;
- Frequência;
- Fator de potência;
- Potência ativa, reativa e aparente;
- Energia ativa e reativa.

São monitoradas as seguintes proteções elétricas e estados de cada disjuntor:

- Sobrecorrente instantânea de fase;
- Sobrecorrente temporizada de fase;
- Sobrecorrente instantânea à terra sensível;
- Sobrecorrente temporizada à terra sensível;
- Falha do disjuntor;
- Falha do transformador de potencial;
- Estado geral do relé;
- Estado das entradas do relé;
- Estado das saídas do relé;
- Estado da bobina de fechamento;

- Estado da bobina de trip.

6.3.2.2 Variáveis de motores

As seguintes grandezas elétricas e físicas são monitoradas para os motores principais (R1 superior, R1 inferior, E1 lado drive, E1 lado operador, F1 a F6, tesoura de pontas, bobinadeiras 1 e 2 e bombas de média tensão da ETA):

- Temperatura dos enrolamentos do estator;
- Temperatura dos mancais;
- Vibração dos mancais;
- Corrente RMS (exceto bombas média tensão da ETA);
- Torque (exceto bombas de média tensão da ETA);
- Velocidade (exceto bombas média tensão da ETA).

6.3.3 P3 - Levantamento das constantes de tempo de processo

Não existe nenhum registro sobre o levantamento das constantes de tempo de processo no projeto SCADA do LTQ, indicando que esta etapa não foi executada no desenvolvimento do mesmo.

6.3.4 P4 - Definição do período de amostragem para cada conjunto de variáveis

Não existe nenhum registro sobre as definições do período de amostragem para cada conjunto de variáveis no projeto SCADA do LTQ, indicando que esta etapa não foi executada no desenvolvimento do mesmo. Como a etapa anterior P3 não foi executada, não existem

dados de referência para a definição dos períodos de amostragem de cada conjunto de variáveis.

As solicitações existentes e documentadas, com relação à atualização dos valores nas bases de dados, são:

- Todos os valores das variáveis adquiridas pelos sistemas supervisórios do sistema SCADA devem ser atualizados a cada 1 segundo nas bases de dados dos mesmos;
- Todos os valores das variáveis de campo adquiridas pelos CLPs devem ser atualizados a cada 1 segundo nas bases de dados dos mesmos;
- As bases de dados históricas de todos os relés Multilin da subestação devem estar sincronizadas no tempo com precisão de 1 milissegundo.

6.4 Etapa 2 – Automação do sistema elétrico do LTQ

A finalidade básica do sistema SCADA do LTQ é a monitoração dos sistemas elétricos e de utilidades da planta. A importância da sincronização das bases de dados na mesma referência de tempo neste sistema de monitoração, com bases de dados históricas espalhadas pela planta, é muito grande.

6.4.1 Automação do sistema SCADA do LTQ

A análise inicial da automação do sistema SCADA será composta pelos seguintes itens:

- Arquitetura geral do sistema;
- Redes de comunicação;

- Características de desenvolvimento do projeto.

6.4.1.1 Arquitetura geral do sistema

Os principais equipamentos de automação do sistema SCADA são os CLPs e os computadores das estações de operação e manutenção. Estes equipamentos são apresentados na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 – Equipamentos principais do sistema SCADA

Área	Equipamento	Descrição
Subestação	CLP	CLP SCADA Subestação
Forno de Reaquecimento	CLP	CLP SCADA Forno
	Estação de operação	IHM SCADA Forno
Laminador Desbastador	CLP	CLP SCADA RM
	Estação de Operação	IHM SCADA Mecânica
	Estação de Manutenção	IHM SCADA Manutenção
Trem Acabador	CLP	CLP SCADA FM
	Estação de Operação	IHM SCADA Trem Acabador
Bobinadeira	CLP	CLP SCADA DC
Estação de Tratamento de Água	CLP	CLP SCADA ETA
	Estação de Operação	IHM SCADA ETA
	Estação de Manutenção	IHM SCADA ETA Manutenção

Os CLPs do sistema SCADA (exceto subestação) são do tipo ControlLogix da Rockwell Automation e o sistema supervisor é o InTouch da Wonderware. O sistema operacional utilizado nos computadores é o Windows NT.

A Figura 32 apresenta as arquiteturas dos sistemas de automação do forno, do laminador desbastador e do trem acabador.

Figura 32 – Arquitetura da automação do forno, do laminador desbastador (RM) e do trem acabador (FM)

A Figura 33 apresenta as arquiteturas dos sistemas de automação da subestação, da Estação de Tratamento de Água (ETA) e da bobinadeira (DC).

Figura 33 – Arquitetura da automação da subestação, da ETA e da bobinadeira (DC)

6.4.1.2 Redes de automação

No sistema SCADA são utilizadas as seguintes redes de comunicação:

- **Ethernet TCP/IP** – para a comunicação entre os CLPs e destes com as estações de operação e manutenção;

- **ControlNet** – para a comunicação dos *racks* locais com os *racks* remotos de entradas e saídas do CLP ControlLogix;
- **DeviceNet** – para a comunicação dos CLPs com os CCMs;
- **MODBUS RTU** – para a comunicação dos CLPs com os relés de proteção inteligentes.

Os tipos e a quantidade de equipamentos de cada rede MODBUS da subestação são apresentados na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 – Redes MODBUS da subestação do LTQ

Área	Rede	Equipamentos escravos	Quantidade
Subestação	SE MODBUS#1	Relé SR750	4
Subestação	SE MODBUS#2	Relé SR745	1
Subestação	SE MODBUS#2	Relé SR750	3
Subestação	SE MODBUS#3	Relé SR750	3
Subestação	SE MODBUS#3	Relé SR745	1
Subestação	SE MODBUS#4	Relé F35	1
Subestação	SE MODBUS#5	Relé SR750	4
Subestação	SE MODBUS#6	Relé SR750	4
Subestação	SE MODBUS#7	Relé SR750	4
Subestação	SE MODBUS#8	CLP ControlLogix	1
Subestação	SE MODBUS#8	Relé MGE-144	1
Subestação	SE MODBUS#8	CLP (Gerador Diesel USCAMAQ)	2

Os tipos e a quantidade de equipamentos de cada rede MODBUS da planta do LTQ (exceto subestação) são apresentados na Tabela 6.4.

Tabela 6.4 – Redes MODBUS das áreas do LTQ, exceto subestação

Área	Rede	Equipamentos escravos	Quantidade
Forno de Reaquecimento	FCE MODBUS#1	Relé SR750	1
Forno de Reaquecimento	FCE MODBUS#1	Relé PQM	2
Forno de Reaquecimento	FCE MODBUS#2	Relé SR750	2
Forno de Reaquecimento	FCE MODBUS#3	Relé PQM	1
Forno de Reaquecimento	FCE MODBUS#3	Relé MGE-144	5
Área	Rede	Equipamentos escravos	Quantidade
Laminador desbastador	RM MODBUS#1	Relé SR750	4
Laminador desbastador	RM MODBUS#2	Relé SR745	2
Laminador desbastador	RM MODBUS#2	Relé SR469	4
Laminador desbastador	RM MODBUS#3	Relé MGE-144	5
Laminador desbastador	RM MODBUS#4	CLP GE	1
Área	Rede	Equipamentos escravos	Quantidade
Trem Acabador	FM MODBUS#1	Relé SR750	4
Trem Acabador	FM MODBUS#2	Relé SR750	4
Trem Acabador	FM MODBUS#3	Relé SR750	4
Trem Acabador	FM MODBUS#4	Relé SR750	2
Trem Acabador	FM MODBUS#4	Relé MGE-144	8
Trem Acabador	FM MODBUS#5	Relé MGE-144	7
Área	Rede	Equipamentos escravos	Quantidade
Bobinadeira	DC MODBUS#1	Relé MGE-144	4
Área	Rede	Equipamentos escravos	Quantidade
Estação de Tratamento de Água	ETA MODBUS#1	Relé SR745	1
Estação de Tratamento de Água	ETA MODBUS#1	Relé SR750	3
Estação de Tratamento de Água	ETA MODBUS#2	Relé PQM	8
Estação de Tratamento de Água	ETA MODBUS#3	Relé PQM	7
Estação de Tratamento de Água	ETA MODBUS#4	Relé PQM	8
Estação de Tratamento de Água	ETA MODBUS#5	Relé PQM	2
Estação de Tratamento de Água	ETA MODBUS#6	Relé MGE-144	8

As variáveis de campo que não são aquisitadas pelos CLPs através das redes de comunicação, são aquisitadas através de entradas e saídas físicas.

6.4.1.3 Características de implementação do projeto SCADA

As principais características da automação deste sistema são:

- **Aquisição de dados** - A aquisição dos dados é realizada pelos CLPs e os dados atualizados são disponibilizados para os sistemas supervisórios das respectivas áreas. As grandezas elétricas, as proteções e os estados de cada disjuntor, contator e transformador são aqisitados através da rede MODBUS (dados dos relés SR745, SR750 e PQM). Os estados das proteções (alarmes) dos transformadores são aqisitados através de módulos de entradas digitais no CLP. As grandezas elétricas, físicas (como por exemplo, temperatura e vibração) e os estados dos motores principais são aqisitados através de módulos de entradas analógicas e digitais do CLP, através da rede MODBUS (dados dos relés SR469) e através da rede Ethernet (dados de outros CLPs ControlLogix e TOSHIBA) com o objetivo de permitir a monitoração de todos os motores de média tensão e todos os CCMs (Centros de Controle de Motores) da planta;
- **Controle dos disjuntores e outros equipamentos de média tensão (34,5kV / 13,8kV / 3,45kV)** - Permite a operação dos equipamentos dos seguintes subsistemas no modo remoto manual através das estações do sistema supervisório: subestação 34,5/13,8/3,45 kV, painel de média tensão do forno 3,45 kV, painel de média tensão do laminador desbastador 13,8 kV, painel de média tensão do trem acabador 13,8 kV e painel de média tensão da estação de tratamento de água 3,45 kV. A operação via sistema supervisório facilita a operação dos mesmos para manobras de operação e manutenção;
- **Troca de dados com o nível 3** – Os valores de potência dos motores principais da planta (R1 superior, R1 inferior, laminador vertical E1, F1 a F6) são aqisitados pelo

sistema do nível 3 da planta através de um *gateway*. O sistema do nível 3 envia a data e hora para os CLPs da planta para a sincronização de todos os CLPs e sistemas supervisórios. Neste sistema são sincronizadas a data e a hora dos CLPs ControlLogix e das estações do sistema supervisorio. A referência de data e hora é um servidor de otimização de processo e todos os equipamentos principais da planta do LTQ estão sincronizados com este servidor;

- **Integração de dois sistemas supervisórios** - Integração de dois sistemas supervisórios que funcionam em plataformas totalmente distintas (ALSPA da ALSTOM em OpenVMS e InTouch da Wonderware em WindowsNT 4.0) aquisitando dados de um mesmo CLP 364 da GE para o sistema da subestação;
- **Aquisição de dados e envio de comandos em MODBUS RTU com a taxa de atualização da rede em 1 segundo** - Aquisição de dados via relé Multilin através da rede MODBUS com uma taxa de aquisição de aproximadamente um segundo. São aquisitados dados de 135 relés inteligentes distribuídos em diversas redes MODBUS. Execução de comandos de abertura/fechamento de disjuntores via relé Multilin através da rede MODBUS em aproximadamente um segundo. A taxa de aquisição de um segundo para uma rede MODBUS é considerada rápida, pois a velocidade máxima de comunicação dos relés integrados era de 19,2 kbps com aquisição de aproximadamente 50 Bytes de dados de cada nó;
- **Aquisição de dados de diferentes modelos de CLPs pelo sistema supervisorio** - Integração em campo de diferentes plataformas de CLPs sob o mesmo sistema supervisorio InTouch. Foram integrados CLPs da TOSHIBA, GE e Rockwell num mesmo sistema. O sistema supervisorio aquisita dados dos CLPs 364 da GE, ControlLogix da Rockwell e Toshiba da TOSHIBA;

- **Integração de 135 relés inteligentes** - Foram integrados 3 relés SR745, 56 relés SR750, 1 relé F35, 29 relés PQM, 4 relés SR469 da GE e 42 relés MGE-144 da ABB através de diversas redes MODBUS.

6.4.2 A1 - Análise das modificações e ajustes a serem realizados no sistema de automação

O sistema SCADA foi implantado em 2003 como um projeto novo. O projeto novo tem a vantagem de possibilitar maiores modificações no sistema, comparativamente a um existente, respeitando-se os aspectos econômico, gerencial e técnico do mesmo.

Foram verificadas todas as condições necessárias quanto aos controladores, equipamentos, dispositivos, redes de comunicação, drivers e programas aplicativos para a aquisição de todas as variáveis solicitadas. Todos os sinais solicitados foram disponibilizados no campo e as devidas modificações foram realizadas para a aquisição dos mesmos.

Como o objetivo básico do projeto do sistema SCADA era a monitoração dos sistemas elétricos e auxiliares da planta, todas as solicitações de monitoração tiveram que ser atendidas.

6.4.3 A2 - Verificação dos dispositivos de campo

Todos os sensores e instrumentos de campo necessários foram instalados no campo.

As únicas variáveis consideradas críticas quanto ao tempo de resposta eram as variáveis dos relés de proteção da subestação e dos painéis de média tensão. Para as demais variáveis, o período de amostragem de 1 segundo seria suficiente.

6.4.4 A3 - Verificação do local da gravação do evento para cada variável de campo aquisitada

Todos os dados do sistema SCADA seriam concentrados nas bases de dados históricas dos sistemas supervisórios numa resolução de 1 segundo. Os tempos de atraso não foram calculados no projeto.

As variáveis mais críticas, que exigissem melhor resolução, seriam armazenadas nas bases de dados históricas dos sistemas supervisórios (com resolução pior) e dos relés de proteção inteligentes Multilin (com resolução melhor).

6.4.5 A4 - Análise das necessidades de resolução de tempo do sistema de gravação dos eventos

Não existe nenhum registro sobre a análise das necessidades de resolução de tempo do sistema de gravação dos eventos no projeto SCADA do LTQ, indicando que esta etapa não foi executada no desenvolvimento do mesmo.

A solicitação existente é a atualização dos valores das variáveis do sistema SCADA em 1 segundo nas bases de dados dos sistemas supervisórios.

6.4.6 A5 - Análise das necessidades de sincronização dos relógios dos diferentes sistemas

No sistema SCADA existem duas bases de tempo para as bases de dados históricas:

- **Base de tempo das bases de dados históricas dos relés Multilin da subestação -**

Todos os relés Multilin da subestação estão sincronizados com a precisão de 1 milissegundo, para a análise da sequência de eventos de diferentes equipamentos;

- **Base de tempo das bases de dados históricas dos relés Multilin do LTQ (exceto subestação) e dos sistemas supervisórios** - Todas as estações de operação e manutenção da planta do LTQ e os relés Multilin (exceto subestação) estão sincronizados na mesma base de tempo, para comparação dos dados históricos de processo e do sistema elétrico.

6.4.7 A6 - Seleção da referência de data e hora e periodicidade de atualização

Foram selecionadas 3 referências de data e hora para a sincronização de diferentes equipamentos:

- **Servidor de processo do nível 3** – Este computador é o “mestre” da data e hora, “servindo” a referência para todos os equipamentos da planta do LTQ;
- **CLP ControlLogix** – Este CLP “mestre” recebe a data e hora do servidor “mestre” e fornece esta referência para os demais CLPs ControlLogix e relés Multilin (exceto subestação) da planta;
- **Sistema GPS** – A referência de data e hora é recebida pelo receptor GPS e a sincronização é realizada através da utilização do sinal IRIG-B nos relés Multilin da subestação.

A resolução e a precisão dos principais equipamentos (21),(22),(23),(24) do sistema de automação do projeto SCADA são apresentadas na Tabela 6.5.

Tabela 6.5 – Resolução e precisão dos relógios dos principais equipamentos do sistema SCADA

Equipamento	Tipo	Resolução do relógio	Precisão do relógio
SR750 e SR745	Relé de proteção	1 ms	Com IRIG-B ± 1 ms Sem IRIG-B ± 1 min/mês
SR469	Relé de proteção	10 ms	± 1 min/mês
PQM	Relé de proteção	10 ms	± 1 min/mês
Estação de operação	Computador	Não verificado no projeto	Não verificado no projeto
CLP	Controlador	Não verificado no projeto	Não verificado no projeto

As referências de data e hora utilizadas e a periodicidade de atualização dos equipamentos principais são apresentadas na Tabela 6.6.

Tabela 6.6 – Referências de data e hora e periodicidade de atualização

Referência de data e hora	Equipamentos sincronizados	Periodicidade de atualização	Horário de sincronização	Forma de sincronização
Servidor do nível 3	CLP	24 h	00:20:00 (HH:MM:SS)	Rede Ethernet através de mensagens enviadas pelo servidor
CLPs	CLPs	24 h	00:25:00 (HH:MM:SS)	Rede Ethernet com comandos <i>Message</i>
CLPs	Estações de operação	24 h	00:30:00 (HH:MM:SS)	Rede Ethernet via <i>script</i> no supervisório InTouch
CLPs	Relés Multilin do LTQ (exceto subestação)	10 min	A cada 10 min	Rede MODBUS com comandos <i>broadcast</i>
GPS	Relés Multilin da subestação	1 ms	A cada 1 s	Rede com sinal IRIG-B

A sincronização dos relógios é automática por grupo em todas as sincronizações realizadas no sistema SCADA, exceto a do CLP sincronizado pelo servidor de processo do nível 3, que é automática individual.

6.4.8 A7 - Seleção dos locais de armazenamento dos eventos

Os eventos foram armazenados nas bases de dados históricas dos seguintes equipamentos:

- **Relés de proteção Multilin da subestação** – armazenamento de dados históricos correspondentes aos últimos 30 dias com resolução de gravação de 1 ms e precisão de ± 1 ms (com IRIG-B);
- **Relés de proteção Multilin do LTQ (exceto subestação)** – armazenamento de dados históricos correspondentes aos últimos 30 dias com resolução de gravação de 1 ms e precisão de ± 1 min/mês;
- **Sistemas supervisórios** – armazenamento de dados históricos correspondentes aos últimos 60 dias com resolução de gravação de 1 segundo.

6.4.9 Soluções de sincronização adotadas no sistema SCADA do LTQ

Neste sistema de automação foram desenvolvidas, instaladas e testadas três sincronizações:

- **Sincronização 1** – Sincronização vertical envolvendo o servidor de data e hora do nível 3, o *gateway*, o CLP, a estação de operação e os relés inteligentes de proteção;
- **Sincronização 2** - Sincronização horizontal de CLPs e estações de operação;
- **Sincronização 3** - Sincronização horizontal de relés de proteção inteligentes Multilin.

Estas sincronizações de relógios permitiram que diferentes bases de dados pudessem ser comparadas numa mesma base de tempo.

6.4.9.1 Sincronização 1 – Vertical - Servidor de data e hora, gateway, CLP, sistema supervisório e relés inteligentes de proteção

O objetivo desta sincronização é a troca de dados entre o nível 3 e o sistema SCADA.

A troca de dados entre o servidor de processo do nível 3 (responsável pelo envio da referência de data e hora) e o CLP SCADA do sistema RM (laminador desbastador) é realizada através da rede Ethernet TCP/IP com a utilização de um *gateway*, devido à incompatibilidade dos protocolos da camada de aplicação entre os dois equipamentos. Este converte o protocolo da camada de aplicação utilizado pelo servidor de processo no protocolo de aplicação do CLP ControlLogix da Rockwell.

Para o envio de dados do servidor de processo do nível 3 para o CLP SCADA RM, temos os seguintes passos:

- **Passo 1** - O servidor envia mensagens através da rede Ethernet em TCP/IP (plataforma UNIX) para o gateway;
- **Passo 2** – O gateway (plataforma Windows 2000) interpreta os dados recebidos e converte os mesmos em dados no padrão de aplicação do CLP ControlLogix através da utilização da biblioteca do software RSLinx da Rockwell;
- **Passo 3** – O gateway escreve os dados enviados pelo servidor na base de dados do CLP ControlLogix do sistema SCADA RM.

Para a leitura dos dados do CLP SCADA RM pelo computador central de processo, temos os seguintes passos:

- **Passo 1** - O gateway (plataforma Windows 2000) lê os dados especificados pelo servidor na base de dados do CLP ControlLogix do sistema RM SCADA;

- **Passo 2** - O gateway interpreta os dados adquiridos via Ethernet do CLP ControlLogix através da utilização da biblioteca do software RSLinx e converte os mesmos para mensagens em TCP/IP;
- **Passo 3** - O gateway envia as mensagens em TCP/IP para o computador central de processo (plataforma UNIX).

São enviados pelo computador de processo nível 3 para o CLP SCADA do sistema RM (Laminador desbastador) os dados de data (no formato AAAAMMDD) e hora (HHMMSS) diariamente às 00:20:00. É também enviado um sinal de verificação (live message) a cada 5 segundos para checar se a conexão entre o computador de processo nível 3 e o CLP SCADA do sistema RM está ativa e funcionando corretamente.

O procedimento de envio da referência diariamente pelo computador de processo nível 3 (que já realiza o sincronismo de todos os CLPs TOSHIBA da planta) para o CLP ControlLogix do sistema RM SCADA, permitiu o sincronismo da data e hora de todos os CLPs ControlLogix da planta em diversas áreas (ETA – Estação de Tratamento de Água, sistemas hidráulicos, sistema elétrico SCADA). Isto permitiu também o sincronismo das estações de operação e dos relés de proteção inteligentes Multilin das respectivas áreas. Esta sincronização é apresentada na Figura 34.

Figura 34 – Sincronização vertical no sistema SCADA

6.4.9.2 Sincronização 2 - Horizontal - CLPs e estações de operação

O sincronismo de data e hora efetuado entre o servidor de processo do nível 3 e o CLP SCADA RM permite que todos os CLPs ControlLogix da planta do LTQ sejam sincronizados através da realização de broadcast da referência pelo CLP SCADA RM para os demais CLPs. Este broadcast (distribuição de data e hora para outros CLPs) é realizado através do envio de comandos de mensagens (*MESSAGE*) via Ethernet para os CLPs a serem sincronizados. O

ajuste do relógio interno com a utilização da referência recebida é realizado por cada um dos CLPs envolvidos. Esta sincronização é apresentada na operação 2 (em amarelo) da Figura 35.

O CLP de cada área é responsável pela referência da data e hora para a sincronização das estações de operação correspondentes. Cada estação de operação executa um script do InTouch diariamente para a leitura da data e hora no respectivo CLP ControlLogix e ajusta a data e hora do sistema operacional Windows NT. Os sistemas supervisórios das estações de operação em questão utilizam a data e hora do sistema operacional. Esta sincronização é apresentada na operação 1 (em azul) da Figura 35.

Figura 35 – Sincronização horizontal no sistema SCADA

6.4.9.3 Sincronização 3 - Horizontal - Relés inteligentes de proteção Multilin

É realizado o sincronismo da data e hora de todos os relés de proteção inteligentes Multilin da planta do LTQ.

Foi realizada a sincronização de data e hora dos relés Multilin da planta do LTQ (exceto subestação) através da análise de documentação (manuais dos relés GE) e posterior

implementação de comandos de sincronismo de data e hora via rede MODBUS pelos CLPs ControlLogix. Esta sincronização é apresentada na operação 3 (em verde) da Figura 35.

Os seguintes modelos de relés estavam envolvidos na sincronização:

- SR745 - gerenciamento de transformador;
- SR750 - gerenciamento de disjuntor;
- PQM - monitoração de energia;
- SR469 - gerenciamento de motores;
- F35 - gerenciamento de vários contadores e disjuntores.

Cada CLP SCADA realiza o sincronismo dos relés Multilin conectados fisicamente via rede MODBUS ao mesmo através do envio de comandos específicos de sincronização de data e hora (em protocolo MODBUS RTU) para cada relé conectado. Esta sincronização é realizada a cada 10 minutos e permite o sincronismo das datas e horas de todos os relés inteligentes Multilin da planta de Laminação de Tiras a Quente. Desta forma todos os dados da base de dados histórica dos relés são sincronizados de forma a permitir a análise de dados históricos na mesma referência de tempo para todos os relés.

Para os relés da subestação, a sincronização foi realizada através de um receptor GPS (*Global Positioning System*) com saídas IRIG-B. Os relés da subestação foram conectados em duas redes IRIG-B. Os relés sincronizavam a data e hora a cada 1 segundo em função de pulsos enviados pelo receptor GPS através do sinal IRIG-B.

6.5 Etapa 3 – Eventos do sistema elétrico do LTQ

6.5.1 E1 - Exatidão dos eventos armazenados

Foi verificado que os dados de todas as variáveis definidas na etapa AUTOMAÇÃO são gravados e armazenados com a exatidão de 1 segundo nas bases de dados históricas dos sistemas supervisórios.

Não foram realizadas simulações dos sinais de campo. A verificação ocorreu com as mudanças dos estados e valores das variáveis no campo devido ao funcionamento da planta.

6.5.2 E2 - Análise dos eventos

As bases de tempo das bases de dados históricas do sistema elétrico (centro de cargas e transformadores) foram sincronizadas com as do sistema produtivo (forno de reaquecimento, laminador desbastador, laminador de acabamento e bobinadeira).

Os dados históricos do sistema elétrico e do processo, disponibilizados na mesma base de tempo, são comparados através da análise manual. É realizada a referência cruzada para a verificação da sequência real da ocorrência de eventos numa parada do processo.

6.6 Resultados obtidos e conclusões

Os principais problemas detectados na implementação da sincronização das bases de tempo do sistema SCADA foram:

- Não levar em consideração as necessidades de processo. As constantes de tempo do processo não foram verificadas;

- As definições sobre a resolução de aquisição, gravação e armazenamento dos dados não são baseadas nas reais necessidades do processo;
- Foco na sincronização dos relógios. O foco do sistema deveria ser no processo, ou seja, na sincronização das bases de tempos das bases de dados históricas;
- Impossibilidade da validação da sincronização instalada, pois o desenvolvimento da sincronização não seguiu um procedimento formal.

Neste estudo de caso percebe-se que:

- A sincronização de data e hora dos sistemas do chão de fábrica é complicada de ser realizada, devido à diversidade e quantidade de equipamentos encontrados. Isto atesta a importância de uma metodologia para tal finalidade no chão de fábrica;
- As sincronizações horizontal e vertical podem ocorrer de forma combinada, originando uma sincronização “diagonal”;
- Necessidade da verificação das constantes de tempo do processo para a validação formal do sistema de sincronização implementado. No caso da validação informal, não haverá garantia de que o sistema esteja otimizado;
- Aplicabilidade da metodologia em sistemas de sincronização existentes.

No projeto, a sincronização das bases de tempo viabilizou a análise da sequência de eventos dos dados históricos de diferentes áreas da planta e conseqüentemente uma análise histórica mais precisa em termos de causa e efeito dos problemas ocorridos. Esta análise precisa conduz à realização de ajustes no sistema de controle de forma a evitar ou minimizar novas ocorrências dos mesmos problemas, à diminuição do tempo de parada da linha de produção e ao aumento de produtividade.

Viabilizou também a análise da seqüência de eventos dos dados históricos de diferentes sistemas elétricos da planta. A análise da seqüência de eventos permite uma verificação histórica mais precisa em termos de causa e efeito dos problemas ocorridos no sistema elétrico e conduz à realização de ajustes na seletividade do sistema elétrico de forma a evitar ou minimizar novas ocorrências dos mesmos problemas. Acarreta também a diminuição do tempo de parada da linha de produção devido às falhas no sistema elétrico.

7 CONCLUSÕES FINAIS

Este trabalho de pesquisa consiste no desenvolvimento de uma metodologia para aplicação na sincronização das bases de tempo de diferentes bases de dados históricas num sistema de automação industrial.

Após a introdução apresentada no Capítulo Um, o Capítulo Dois apresenta e analisa as funções, as especificações e a utilidade da estruturação hierárquica nos sistemas de automação industrial. Esta visão estruturada dos sistemas facilita a análise integrada e coerente da sincronização.

O Capítulo Três expõe os principais componentes de um sistema moderno de automação. São apresentados os equipamentos, as especificações de software e de redes de comunicação. Cada componente é localizado na pirâmide de automação, complementando a visão macro proporcionada pela estruturação hierárquica com a visão detalhada de seus componentes.

O Capítulo Quatro expõe as principais considerações sobre sincronização de bases de tempo em sistemas de automação. Inicialmente são analisados a pirâmide de automação e os equipamentos sob os aspectos da sincronização. Em seguida, o capítulo apresenta as formas de referência de tempo.

O Capítulo Cinco apresenta a metodologia proposta. Esta é dividida em quatro etapas que analisam os aspectos de necessidades, de processo, de automação e de eventos. As quatro etapas são detalhadas neste capítulo.

O Capítulo Seis apresenta a aplicação prática da metodologia proposta. É realizada a análise e verificação da sincronização implementada no sistema SCADA de uma planta do LTQ.

A metodologia se mostrou muito útil na análise e verificação do sistema existente, apresentando o formalismo necessário para este tipo de atividade. Ela serviu de guia para a análise.

Esta metodologia pode ser utilizada como uma ferramenta auxiliar na análise de investimento para o desenvolvimento de sistemas de sincronização, pois permite analisar e detectar as reais necessidades destes. Existe também o aspecto didático deste trabalho, que pode ser utilizado como material complementar no estudo dos sistemas de automação industrial.

Assim sendo, este trabalho de pesquisa acredita ter atingido os objetivos propostos inicialmente que eram basicamente o de desenvolver uma metodologia de sincronização das bases de tempo em sistemas de automação industrial e indicar novos estudos na área como:

- Aplicação da metodologia na fase de especificação de um sistema de sincronização;
- Otimização das bases de dados históricas para a execução de algoritmos de análise de faltas elétricas e falhas de processo;
- Desenvolvimento de metodologias para a análise de outros aspectos dos sistemas de automação industrial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 MORAES, C. C. ; CASTRUCCI, P.L. **Engenharia de Automação Industrial**. Rio de Janeiro: LTC, Editora, 2001. 295p.

- 2 WILLIAMS, T. J. **A Reference Model for Computer Integrated Manufacturing (CIM)**. CIM Reference Model Committee, Internacional Purdue Workshop on Industrial Computer Systems, ISA, Purdue Reserach Foundation, Second Printing, 1991. Disponível em: <http://iies.www.ecn.purdue.edu/IIES/PLAIC/PERA/ReferenceModel/> .Acesso em 05 de abril de 2005.

- 3 JOHAN, V. ; DOLANC. G. **Process Control as an Element in a CIM Concept – A case study**. IEEE Conference Proceeding. Eletrotechnical Conference,1998. MELECON 98. 9th Mediterranean. 18-20 May, 1998, p. p. 226-230, vol. 1.

- 4 AMATO NETO, J. **Manufatura Classe Mundial: Conceitos, Estratégias e Aplicação**. São Paulo: Editora Atlas, 2001. 232 p.

- 5 CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N.; CAON, M. **Planejamento, Programação e Controle da Produção**. 4^a edição. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2001.

- 6 FONSECA, M. O. **Norma IEC 61131 – Colocando em prática as melhoras práticas**. Revista Intech, São Paulo, v. 81, p. 33-39, abr. 2006.

- 7 BEGA, E. A.; DELMÉE, G. J.; COHN, P. E.; BULGARELLI, R.; KOCH, R.; FINKEL, V. S. **Instrumentação Industrial**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência e Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás (IBP), 2003. 541p.

- 8 COMER, D.E. **Computer Networks and Internets**. Second Edition. New Jersey: Prentice Hall, 1999.

- 9 LOPEZ, R. A. **Sistemas de Redes para Controle e Automação**. Rio de Janeiro: Ed. Book Express,2000.

- 10 THOMESSE, J, P. **Fieldbus Techonology in industrial automation**. Proceedings of the IEEE, Volume 93, Issue 6, June 2005. p. p. 1073-1101.

- 11 WILLIG, A.; MATHEUS, K.; WOLISZ, A. **Wireless technology in industrial networks**. Proceedings of the IEEE, Volume 93, Issue 6, June 2005. p. p. 1130-1151.

- 12 JINDAL, S.; JINDAL, A.; GUPTA, N. **Grouping WI-MAX, 3G and WI-FI for wireless broadband**. IEEE CNF. The First IEEE and IFIP International Conference in Central Asia on Internet, Sept. 2005. 5 p.

- 13 **Relógios Atômicos de Césio**. Site do Observatório Nacional. Disponível em: <http://pcdsh01.on.br/> .Acesso em 20 de junho de 2006.
- 14 LOGSDON, T. **The Navstar Global Positioning System**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 256p.
- 15 ROCHA, J. A. M. R. **GPS Uma abordagem prática**. 4^a edição. Recife: Bagaço, 2003. 232p.
- 16 SHINSKEY, F. G. **Process Control Systems**. Fourth Edition. New York: McGraw-Hill, 1996.
- 17 JARDINI, J. A. **Sistemas Digitais para Automação da Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica**., 1^a edição. São Paulo: FCA Gráfica e Editora, 1996. 237p.
- 18 GALE, P. F. **The Use of GPS for Precise Time Tagging of Power System Disturbances and in Overhead Line Fault Location**. IEE Conference Proceeding. 1994. p. p. 5/1-5/2.
- 19 DUGAN, R. C.; MCGRANAGHAN, M. F.; BEATY, H. W. **Electrical Power Systems Quality**. New York: McGraw-Hill, 1996.
- 20 **Fluxo de Produção**. Site da CST (Companhia Siderúrgica de Tubarão). Disponível em: <http://www.arcelor.com/br/cst/> .Acesso em 30 de junho de 2006.
- 21 **750/760 Feeder Management Relay – Instruction Manual**. Manual P/N: 1601-0044-AK (GEK-106293). GE Power Management, 2000. 504p.
- 22 **745 Transformer Management Relay – Instruction Manual**. Manual P/N: 1601-0070-B2 (GEK-106292). GE Power Management, 2001. 408p.
- 23 **469 Motor Management Relay – Instruction Manual**. Manual P/N: 1601-0057-D8 (GEK-106289). GE Power Management, 2001. 314p.
- 24 **PQM Power Quality Meter – Instruction Manual**. Manual P/N: 1665-0003-CF (GEK-106296). GE Power Management, 2000. 286p.