

NILSON BASTOS JR

**CONTRIBUIÇÕES AO PROJETO DE SISTEMAS
DE INFORMAÇÃO DE CHÃO DE FÁBRICA
UTILIZANDO REDES DE PETRI COLORIDAS.**

PPGEPS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Pontifícia Universidade Católica do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas.

CURITIBA

2007

NILSON BASTOS JR

**CONTRIBUIÇÕES AO PROJETO DE SISTEMAS
DE INFORMAÇÃO DE CHÃO DE FÁBRICA
UTILIZANDO REDES DE PETRI COLORIDAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Católica do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas.

Área de Concentração: Automação e Controle de Sistemas

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Alves Portela Santos

Co-orientador: Prof. Dr. Marco A. Buseti de Paula

CURITIBA

2007

NILSON BASTOS JR

**CONTRIBUIÇÕES AO PROJETO DE SISTEMAS DE
INFORMAÇÃO DE CHÃO DE FÁBRICA UTILIZANDO
REDES DE PETRI COLORIDAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Pontifícia Universidade Católica do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Marco Antonio Buseti de Paula
Pontifícia Universidade Católica do Paraná

Prof. Dr. Eduardo Alves Portela Santos
Pontifícia Universidade Católica do Paraná

Prof. Dr. Eduardo Rocha Loures
Pontifícia Universidade Católica do Paraná

Prof. Dr. João Antônio Palma Setti
Pontifícia Universidade Católica do Paraná

CURITIBA

2007

Bastos Jr, Nilson

Contribuições ao Projeto de Sistemas de Informação de Chão de Fábrica utilizando redes de Petri Coloridas. 2007, 83p

Dissertação – Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas.

1. Sistemas de Informação de Chão de Fábrica 2. Indicadores de Desempenho 3. Redes de Petri Coloridas 4. UML

I. Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas.

Agradecimentos

Agradeço a minha família por todo o apoio durante a realização deste trabalho.

Aos professores Eduardo Portela, Marco Buseti e Eduardo Rocha Loures, pelo apoio e incentivo nos momentos difíceis do curso.

Aos Bolsistas Rodrigo Pierezan e Felipe Fidelis pela realização dos experimentos necessários para a comprovação e refinamento do modelo proposto.

Aos meus amigos e companheiros de trabalho, especialmente Welington Desan por sempre facilitar o desenvolvimento deste trabalho, possibilitando a realização de horários diferenciados e permitindo desta forma a participação nas disciplinas do mestrado e reuniões de orientação.

Aos novos amigos do programa de mestrado, especialmente Jairo Cantillo Molina, pelo apoio e estudo em grupos desde o início da realização das disciplinas do programa.

A todos os meus amigos, que compreenderam a minha ausência especialmente no período final deste trabalho.

Às demais pessoas que de alguma maneira contribuíram para que a conclusão deste trabalho tenha sido possível.

Resumo

Atualmente, com o mercado extremamente competitivo, as empresas buscam um aperfeiçoamento em seu processo produtivo, para manter-se no mercado. Este trabalho analisa a eficiência global de equipamentos (OEE) envolvidos dentro do processo de produção, visando mensurar a qualidade e eficiência do processo e dos recursos utilizados (máquinas). Para realizar esta análise, o presente trabalho utiliza redes de Petri Coloridas para a modelagem e síntese do Sistema de Informação de Chão de Fábrica (FIS). A rede obtida representa o fluxo de informações necessário para a aquisição dos dados oriundos das máquinas, o processamento destes dados e a geração de índices de desempenho a partir destes dados. Com a rede colorida mostra-se como obter o aparato necessário para a implementação de um FIS. Uma abordagem metodológica de projeto de FIS é proposta no presente trabalho. A aplicação desta abordagem numa planta de manufatura real é apresentada.

Abstract

Nowadays, with the competitiveness of the market, companies are looking for improvements in his productive process to be alive in the market. This work analyze the overall equipment efficiency (OEE) of the equipments involved in the productive process, purposing to measure the quality and efficiency of the process and used resources (machines). To perform this analysis, the present work uses Colored Petri Nets for Factory Information System modeling and Synthesis. The network represents the necessary dataflow for machine's data acquisition and also the data processing with the goal of performance indexes generation. With the colored network is shown how to have the necessary software and hardware for the FIS implementation. The methodological for FIS design is also purposed. Finally the application of this approach in a real manufacturing system is also presented.

Sumário

Agradecimentos	v
Resumo	vi
Abstract	vii
Sumário	viii
Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas.....	xi
Lista de Símbolos	xii
Lista de Abreviaturas	xiii
Capítulo 1	1
Introdução.....	1
Capítulo 2	5
Sistemas de Informação de Chão-de-fábrica	5
2.1 Indicadores de Desempenho	9
2.2 Dados necessários para o cálculo dos indicadores de desempenho	10
2.3 OEE (Overall Equipment Effectiveness)	12
2.4 TEEP (Total Effective Equipment Productivity)	13
2.5 Cálculo do OEE utilizando as fórmulas de Nakajima	13
2.6 Cálculo da OEE e TEEP Utilizando os Tempos Registrados dos Eventos	15
2.7 Cálculo da OEE e TEEP baseado nas Unidades Boas Transferidas	17
2.8 Identificação de Perdas	18
2.9 Resumo do Capítulo.....	20
Capítulo 3	21
Modelos Formais	21
3.1. Redes de Petri.....	21
3.1.1 Definição formal da Rede de Petri	22
3.1.2 Definição de uma Rede Marcada.....	22
3.2 Redes de Petri Coloridas.....	23
3.2.1 Representação formal das RPC	24
3.2.2 Exemplo de uma RPC	25
3.3 Modelo Entidade-Relacionamento (MER).....	29
3.4 Representação UML.....	31
3.4.1 Diagramas de Casos de Uso	32
3.5 Resumo do Capítulo	33
Capítulo 4	34
Modelagem do Sistema de Informação de Chão de Fábrica.....	34
4.1 Arquitetura do Sistema	34
4.2 Fluxo de Informações do Sistema de Informações de Chão de Fábrica	36
4.3 Banco de Dados.....	39
4.4 Sistema Monitor	42
4.5 Equipamento para Aquisição de Dados.....	44
4.6 Resumo do Capítulo	45
Capítulo 5	46
Aplicação do Modelo a um Sistema de Manufatura.....	46
5.1 Ambiente Simulado	46
5.2 Experimento em um Laboratório de Manufatura	50
5.3 Modelagem do Banco de Dados e Escolha do Sistema Gerenciador	55
5.4 Equipamento para Aquisição de Dados.....	58
5.5 Sistema Monitor	60
Capítulo 6	65
Conclusão e Trabalhos futuros	65
Referências Bibliográficas.....	67

Lista de Figuras

Figura 2.1: Ciclo de Informações de chão de fabrica (FAVARETTO, 2001).....	6
Figura 2.2: Informações do Sistema de Manufatura	7
Figura 2.3: Modelo de Gerenciamento (SOUZA <i>et al</i> , 2005 baseado em KURSTEDT, 2000).....	8
Figura 3.1: Representação gráfica da rede de Petri (Cardodo e Valette ,1997).....	22
Figura 3.2: Exemplo de RPC (JENSEN, 1992).....	26
Figura 3.3: Exemplo de Modelo Entidade Relacionamento.....	31
Figura 3.4: Exemplo de Diagrama de Caso de Uso.	33
Figura 4.1: Modelo do Sistema de Informação Fabril (FIS).	35
Figura 4.2: Fluxo de Informações no FIS, destacando a produção sem erros.....	37
Figura 4.3: Ocorrência de erros.....	38
Figura 4.4: Retomada da Peça	39
Figura 4.5: MER referente às informações de Produção das peças.....	40
Figura 4.6: MER referente a informações de paradas de equipamentos.	41
Figura 4.7:Diagrama de Casos de uso para o Operador.....	43
Figura 4.8: Diagrama de casos de uso para o gerente.....	43
Figura 5.1 – Rede de Petri para Simulação.....	47
Figura 5.2 – Interface do Aplicativo Monitor	49
Figura 5.3: Metodologia para projeto do Sistema de informação.....	51
Figura 5.4: Estrutura do Laboratório de Automação de Manufatura I (LAS I)	52
Figura 5.5: Representação da Rede para o LAS I.....	53
Figura 5.6: Modelo Entidade Relacionamento do Banco de Dados (SCHAUENBURG, 2007).....	57
Figura 5.7: Diagrama de Casos de uso para o Operador.....	61
Figura 5.8: Diagrama de Casos de uso do Gerente.....	62
Figura 5.9: Diagramas de caso de Uso para o Administrador.....	62
Figure 5.10:Interface do Sistema Monitor (PIEREZAN, 2007).....	63

Lista de Tabelas

Tabela 5.1: Origem dos dados dos eventos monitorados	55
--	----

Lista de Símbolos

\exists	Existe
Σ	Conjunto de Cores
$\forall t$	Para todo elemento t
\in	Existe
\subseteq	Pertence a determinado conjunto
\wedge	Operador E lógico
M_T	Matriz Transposta
\cup	União de Conjuntos
\cap	Intersecção de Conjuntos
\emptyset	Conjunto vazio

Lista de Abreviaturas

CAAP	<i>Computer Aided Assembly Planning</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAE	<i>Computer Aided Engineer</i>
CLP	Controlador Lógico Programável
FIS	<i>Factory Information System</i>
IHM	Interface Homem Máquina
LAS1	Laboratório de Automação de Manufatura
MER	Modelo Entidade Relacionamento
MRP	<i>Master Resource Plan</i>
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
PUC-PR	Pontifícia Universidade Católica do Paraná
RdP	Rede de Petri
RPC ou CPN	Rede de Petri Colorida (<i>Coloured Petri Net</i>)
SED	Sistemas a Eventos Discretos
SGBD	Sistema Gerenciador de Banco de Dados
TEEP	<i>Total Effective Equipment Productivity</i>

Capítulo 1

Introdução

Com o alto grau de competitividade do mercado, cada vez mais as empresas buscam eficiência em seus processos produtivos. Toda melhoria se inicia por meio de análise de funcionamento do processo fabril bem como dos equipamentos envolvidos, com o objetivo de detectar possíveis pontos de mudança que possam levar ao aumento de eficiência. Portanto, é necessário conhecer o sistema e localizar os problemas, para que seja possível propor melhorias e soluções (DE RON, 2005). Para PORTER (1999), é necessário um entendimento dos principais processos de negócio da empresa, para que seja possível implementar um bom planejamento da produção.

De acordo com PORTER (1996) e LINDAU (1994), existe um aumento considerável na pressão competitiva, o que implica em uma necessidade de melhoria dos sistemas produtivos, pois os clientes cada vez mais buscam produtos personalizados a custos muito baixos. Segundo SOUZA (1999), em sistemas reais de manufatura, ainda existe uma defasagem entre as reais necessidades competitivas da empresa e suas práticas para atingir estes objetivos, que geralmente são medidos por seus indicadores de desempenho.

De acordo com DICESARE *et al.* (1992), o sistema de informação de uma linha de manufatura compreende todos os elementos de dados e informações utilizadas, armazenadas e processadas, que são necessárias para atender usuários e outras aplicações. O Sistema de Informações deve armazenar tudo o que acontece na linha de produção, de forma organizada, para que as informações necessárias possam ser facilmente encontradas.

De acordo com VOLLMANN *et al.* (1993), a gestão da produção requer sistemas informatizados, inclusive em empresas de pequeno porte, devido ao volume de informações a ser processada para se planejar e controlar um sistema de manufatura. Segundo CORRÊA *et al.* (1996), a necessidade de informações precisas, corretas e atualizadas, não pode ser suprida

por meio de um sistema com coleta manual dos dados. De acordo com JEMIELNIAK(1999), em função da demanda por qualidade e rapidez no fornecimento, os sistemas de informação de chão de fábrica passaram a ser uma necessidade.

Para PALVIA (1999), a tecnologia da informação vem avançando com grande velocidade. Este avanço combinado com a globalização e a busca por competitividade tem produzido diversas inovações no campo de Sistemas de Informação. Para se manter competitiva e até mesmo para aumentar sua penetração no mercado, empresas preocupam-se em automatizar o seu processo produtivo, de modo que seja possível controlar melhor o processo e também obter um número maior de informações, possibilitando um melhor entendimento do processo produtivo (DICESARE *et al.*, 1992). Segundo CAETANO *et al.* (1999), o monitoramento das informações de chão-de-fábrica, capaz de fornecer informações rápidas e confiáveis, representa um grande diferencial competitivo para as empresas de manufatura.

Segundo DICESARE *et al.* (1992), a informação é a peça chave para que seja possível a colaboração entre os diversos subsistemas. A informação deve ser armazenada uma única vez, e deve estar disponível no lugar correto e no tempo necessário para os outros subsistemas. Desta forma, o sistema de informação de chão de fábrica, deve estar integrado com os outros subsistemas, de forma que seja possível buscar as informações necessárias para o seu funcionamento, bem como fornecer informações de produção a outros subsistemas que a necessitem. Esta troca de informações normalmente é realizada através de utilização de um mesmo sistema gerenciador de banco de dados, que possibilita que diversas aplicações possam armazenar e buscar informações de um único lugar, ou então pelo estabelecimento de comunicação através de protocolo apropriado em uma estrutura de rede.

Segundo HADAVI (1997), uma vez que o sistema de informações seja implementado, de forma que possa fornecer dados corretos e completos, podem ser implementados procedimentos de análise destas informações para que seja possível fornecer diversas oportunidades em termos de tomadas de decisão para otimização da performance do chão de fábrica e conseqüentemente de toda a cadeia de suprimentos.

Para que seja possível comparar o desempenho de diferentes equipamentos, bem como a eficiência de um mesmo equipamento em diferentes períodos de produção, ou mesmo na produção de peças de modelos diferentes, é necessário o estabelecimento de alguns indicadores. Destacam-se os indicadores de desempenho OEE (*Overall Equipment Efficiency*)

e TEEP (*Total Effective Equipment Productivity*), que já são bastante conhecidos em sistemas de manufatura, especialmente na indústria de semicondutores, onde os custos operacionais de equipamentos correspondem a mais de 50% dos custos totais de produção (CHAKRAVARTHY, 2007). O objetivo da parametrização do comportamento por meio de indicadores é traduzir de maneira numérica a eficiência do equipamento, possibilitando a comparação de valores.

Sistemas de informação de chão de fábrica (*Factory Information Systems - FIS*), são compostos de vários subsistemas que tratam os diversos tipos de informação presente no ambiente da manufatura. A modelagem de um sistema de informação para sistemas de manufatura deve considerar a presença de diversos tipos de informação.

Neste contexto, como um dos subsistemas que compõe o sistema de informação fabril, está inserido o Sistema de informação de chão-de-fábrica, que realiza aquisição dos dados das máquinas que compõem o processo produtivo e armazena estes dados de maneira organizada. A partir dos dados obtidos, é possível gerar relatórios com o valor dos indicadores de desempenho possibilitando a localização de possíveis pontos de melhoria (DICESARE *et al.*, 1992).

O sistema de informação de chão-de-fábrica tem por objetivo o tratamento apenas das informações de produção, como a quantidade total de peças produzidas, os tempos de ciclo de cada equipamento para produzir determinado tipo de peça e a ocorrência de erros durante o processo produtivo. A modelagem do fluxo de informações, possibilitando o cálculo de indicadores de desempenho, torna possível a identificação dos problemas em processos produtivos (DICESARE *et al.*, 1992).

Gargalos de produção ocasionados por falta de matéria-prima, indisponibilidade do equipamento e falta de eficiência do equipamento na execução de determinada etapa do processo produtivo são os principais problemas que podem ser identificados utilizando o sistema de informação de chão-de-fábrica. Modelar o sistema de informação para que seja possível propor melhorias e corrigir os problemas encontrados é o principal objetivo do presente trabalho.

Com o objetivo de que os resultados deste trabalho possam ser utilizados futuramente em sistemas produtivos reais, foram utilizadas as redes de Petri como ferramenta de modelagem, por possuir uma representação gráfica e possibilitar uma fácil interpretação visual, contribuindo para a fácil compreensão do modelo proposto. Ao mesmo tempo esta

ferramenta possui uma semântica formal, o que contribui para sua ampla aceitação no meio acadêmico.

Pela diversidade dos sistemas de manufatura encontrados, adotou-se a utilização de redes de Petri Coloridas para possibilitar a expansão do modelo para os mais variados sistemas, sem a necessidade de uma alteração estrutural. A extensão do modelo pode ser realizada para novos sistemas apenas com a alteração dos conjuntos de cores, conforme será apresentado nos capítulos seguintes.

O objetivo geral deste trabalho é apresentar um modelo baseado em redes de Petri coloridas, Digramas de casos de uso e modelo entidade relacionamento, que auxilie no projeto de um sistema de informação de chão de fábrica. Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Descrever os principais indicadores de desempenho que podem ser utilizados.
- Apresentar as principais características das ferramentas utilizadas.
- Apresentar as vantagens na utilização de Redes de Petri Colorida para a modelagem do sistema de informações.
- Apresentar uma aplicação baseada no modelo proposto.

Esta dissertação está estruturada da em seis capítulos, no primeiro capítulo é apresentada uma introdução ao trabalho e as ferramentas que serão utilizadas para modelagem.

O segundo capítulo apresenta os conceitos sobre sistemas de informação de chão-de-fábrica e os indicadores de desempenho que serão utilizados, bem como as metodologias de cálculo para estes indicadores.

O terceiro capítulo apresenta o embasamento teórico sobre redes de Petri e redes de Petri colorida, bem como diagramas de casos de uso e modelo entidade-relacionamento, possibilitando o entendimento do modelo proposto.

O quarto capítulo apresenta o modelo proposto para o sistema de informações de chão-de-fábrica e os componentes necessários para que ele funcione adequadamente.

O quinto capítulo apresentado o experimento utilizando o sistema proposto no Laboratório de Automação e Sistemas I (LAS I) da PUCPR.

Finalmente o sexto capítulo apresenta as conclusões do trabalho e as sugestões para trabalhos futuros decorrentes da presente pesquisa.

Capítulo 2

Sistemas de Informação de Chão-de-fábrica

Os sistemas de informação de chão de fábrica são fundamentais no suporte ao funcionamento do processo produtivo, e também para análise posterior de determinado período de produção. É um subsistema do sistema de informação fabril que tem por objetivo a aquisição e tratamento de informações referentes à produção.

Na figura 2.1 é apresentado o ciclo de geração e uso de informações de chão de fábrica (Favaretto, 2001). O início do ciclo deve ser realizada no momento em que as ordens de produção são geradas, que é no planejamento da produção. A partir deste ponto são geradas ordens de produção que funcionam como um comando para a manufatura, indicando as quantidades a serem produzidas e o tempo esperado para a realização deste processo. Durante a produção são coletadas informações referentes a processo produtivo, como o cadastro de tempos e indicadores de desempenho como a produtividade. Os dados obtidos nesta etapa contribuirão para o refinamento do planejamento de produção, possibilitando, no mínimo, uma previsibilidade maior dos problemas que podem ocorrer durante o processo de produção de determinado produto, impactando no prazo de entrega ao cliente.



Figura 2.1: Ciclo de Informações de chão de fábrica (FAVARETTO, 2001).

A modelagem de dados em sistemas de manufatura deve considerar a existência de diversos tipos de informações, desde informações estáticas, como os desenhos de um produto, até informações dinâmicas, como a quantidade total de produtos produzidos por determinado equipamento. Um sistema completo de informações deve ser concebido para armazenar todas as informações presentes no ambiente fabril, conforme ilustrado na figura 2.2. A seguir são descritos os subconjuntos de informações de acordo com sua utilização:

1. *Informações de produtos*: são informações de identificação e descrição dos produtos em termos de desenhos, esquemas e lista de componentes. Normalmente as informações de engenharia e o controle de cada versão de determinado produto fazem parte deste subconjunto de informações.

2. *Informações de Processo*: São informações referentes ao processo produtivo, em termos de programas para os controladores numéricos, planos de trabalho, processos de manufatura, atividades e operações. Estas informações descrevem como produzir determinadas peças e produtos.

3. *Informações de Recursos*: Este subconjunto armazena as informações referentes à utilização de máquinas, equipamentos e recursos humanos, incluindo sua capacidade produtiva e disponibilidade.

4. *Informações de Planejamento*: Este subconjunto armazena informações de planejamento de curto, médio e longo prazo, bem como estoques e cronogramas de produção. Pode-se então saber quando cada matéria prima deve ser comprada, e quando e em que quantidade cada produto deve ser produzido.

5. *Informações de Produção ou Informações de chão-de-fábrica*: Este subconjunto de informações descreve o dia-a-dia da manufatura, armazenando variáveis de processo, status de equipamentos, alocação de recursos, quantidade de produtos encomendadas, quantidade de produtos efetivamente produzidos, informações de estoque de produtos acabados e todas as informações provenientes do processo produtivo em si.

6. *Informações Administrativas*: Este subconjunto armazena informações de custo de matéria prima, dados de fornecedores e clientes, ordens de produção e centros de custo.

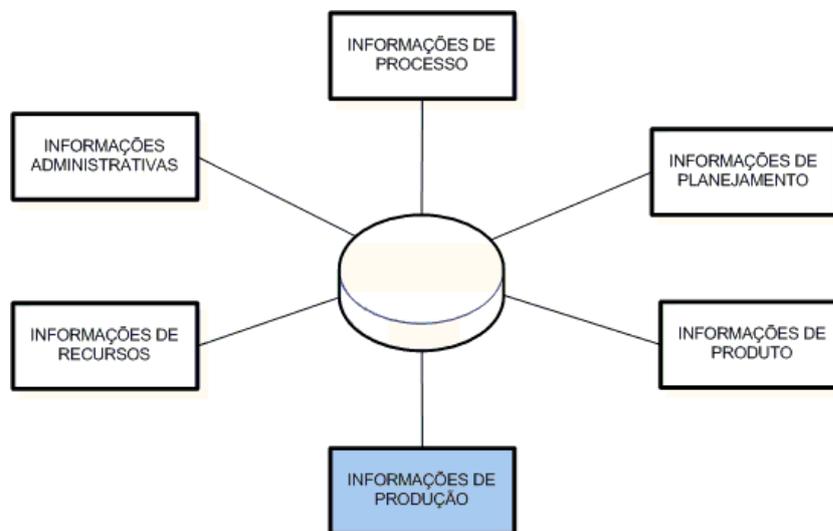


Figura 2.2: Informações do Sistema de Manufatura

Para determinados subconjuntos de informações existem aplicativos capazes de armazenar e organizar a informação de maneira adequada. Pode-se citar como exemplo o CAD (Computer Aided Design) e CAE (Computer Aided Engineering) para informações de produtos, CAAP (Computer Aided Assembly Planning) para definição e planejamento dos processos e o MRP (Material Resource Planning) para planejamento e controle de produção.

Porém, para as informações de chão-de-fábrica, com o objetivo de calcular o desempenho e identificar possíveis problemas, não existem muitas ferramentas no mercado. Segundo CAETANO *et al* (1999), em indústrias de manufatura, os FIS não são amplamente utilizados e suas aplicações são específicas para a resolução de alguns problemas.

A figura 2.3 representa o modelo para gerenciamento de um sistema produtivo, que é responsável por transformar a matéria-prima oferecida pelos fornecedores, e gerar produtos e serviços aos clientes (SOUZA *et al*, 2005 baseado em Kurstedt, 2000). Este sistema produtivo, para que possa funcionar adequadamente, deve ser gerenciado por um subsistema de gerenciamento. Este subsistema consiste de um conjunto de diversos outros subsistemas utilizados para o gerenciamento do processo produtivo, e que necessita de informações atualizadas sobre este, de forma que as decisões possam ser tomadas de modo a possibilitar um ganho para o sistema. Como interface de captura, entre o sistema produtivo e os sistemas de gerenciamento do processo estão os FIS, representados na figura pelo arco *Medidas/Dados*.

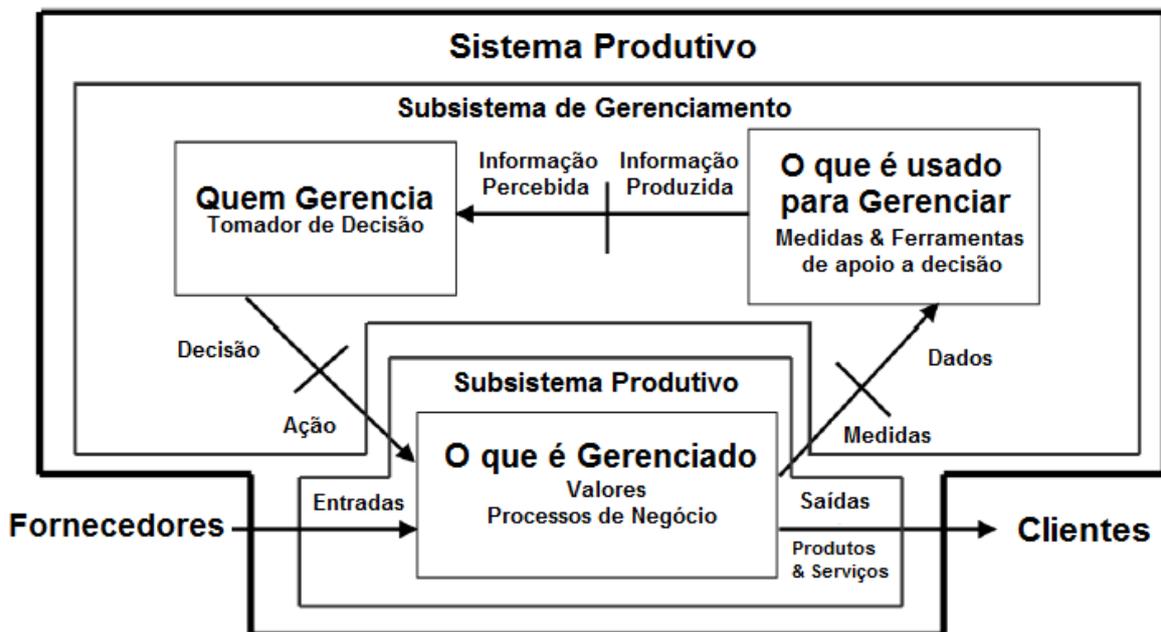


Figura 2.3: Modelo de Gerenciamento (SOUZA *et al*, 2005 baseado em KURSTEDT, 2000).

Neste sistema de gerenciamento utilizado pelas empresas, a produção é dividida em dois níveis. Na camada inferior existe o sub-sistema produtivo, recebendo entrada dos fornecedores, e gerando produtos para os clientes, e em uma camada superior, está o sub-

sistema de gerenciamento da produção. Pode-se observar que existe uma interface entre os dois subsistemas, com medidas e dados vindos do sistema produtivo para o sistema de gerenciamento, e outro arco com decisões e ações atuando sobre o sistema produtivo.

O objetivo do sistema modelado é atuar no arco de medidas e dados, fornecendo informações e dados do chão-de-fábrica, para que com base nestes dados, os outros sistemas de decisão ou mesmo pessoas envolvidas no gerenciamento da produção, possam tomar boas decisões, contribuindo para um aumento efetivo na eficiência do processo produtivo.

Segundo SOUZA(2000), a medição e armazenamento de dados referentes ao processo produtivo, são essenciais para a tomada de uma boa decisão, e o armazenamento dos dados possibilita que o processo seja gerenciado nos diversos níveis hierárquicos e que todos os responsáveis por tomada de decisão tenham acesso ao mesmo conjunto de informações.

2.1 Indicadores de Desempenho

Durante muito tempo, os relatórios financeiros foram utilizados como base para as medidas de desempenho de um sistema de manufatura. Com o passar do tempo, foi comprovado que estes sistemas são inadequados para empresas que necessitam a medição de diversos fatores com o objetivo de obter vantagem competitiva no mercado (WALKER, 1996).

A medição de desempenho tradicional é baseada em indicadores que representam a utilização eficiente de recursos, como o OEE e TEEP. Bons índices nestes indicadores são constantemente perseguidos (SOUZA e PIRES, 1999). Segundo MARTINS e COSTA NETO (1998), os indicadores de desempenho mais comuns são a produtividade, o retorno sobre o investimento e o custo padrão.

Os indicadores de desempenho representam numericamente algumas informações da planta, com o objetivo de traduzir o comportamento dos componentes do processo produtivo, possibilitando uma análise mais detalhada do processo. Utilizando esses índices de forma adequada é possível calcular a capacidade produtiva que esta sendo perdida em função de ineficiência do processo como um todo, bem como identificar quais componentes são responsáveis por estas ineficiências.

Segundo Hansen (2002), para a maioria das melhorias implementadas nos processos produtivos não é necessária a realização de investimentos, e são obtidas por meio de

mudanças em procedimentos operacionais básicos com objetivo de reduzir os gargalos do processo produtivo. Inicialmente devem ser identificados os gargalos de produção, pois a eficiência destes equipamentos limita o processo produtivo como um todo. Deve-se então calcular os indicadores de desempenho destes equipamentos, verificando as possibilidades de melhoria para posteriormente estender isto a todos os equipamentos que compõem o processo.

Uma utilização eficiente de medidas de desempenho requer que sejam adotados procedimentos, que geralmente são apresentados na forma de sistemas (ROLSTADAS, 1998) (MARTINS, 1998)

2.2 Dados necessários para o cálculo dos indicadores de desempenho

O cálculo correto dos indicadores de desempenho é um elemento decisivo para que sua análise efetivamente possa ser convertida em uma melhoria para o processo produtivo. Para que isso seja possível, é fundamental que as informações extraídas do processo sejam corretamente classificadas. A seguir são apresentadas as definições de termos que são utilizadas na apresentação das fórmulas de cálculo com seus respectivos significados (HANSEN, 2002):

Utilização do Ativo → É o percentual do tempo total de calendário em que o equipamento está operando.

Paradas não programadas → São todos os eventos não programados que ocasionam a parada de um equipamento. Estas paradas devem ser classificadas de acordo com o motivo em paradas técnicas, paradas operacionais e paradas de qualidade.

Paradas Técnicas → As paradas técnicas são as paradas de equipamento em função de uma falha tanto no equipamento em si, quanto em equipamentos periféricos. Normalmente são ocasionadas por problemas de manutenção.

Paradas Operacionais → São paradas que ocorrem em função da não observação dos procedimentos de operação, como a operação do equipamento fora das especificações ou mesmo erros humanos por parte do operador.

Paradas de Qualidade → São paradas ocasionadas pela falta de suprimentos e matérias-primas fora das especificações, problemas de controle do processo, realização de

testes não planejados e sujeiras provenientes do próprio processo que possam comprometer a qualidade do produto final.

Tempo excluído → É o tempo programado em que o equipamento não produz. Devem ser incluídos os tempos de manutenção preventiva e paradas de manutenção programadas, reuniões programadas com o operador do equipamento, horários de treinamento, horários de almoço e folgas. Também deve ser considerado neste tempo o período em que o equipamento não estava produzindo por falta de ordens de produção, ou mesmo por ter concluído uma ordem de produção antes do tempo previsto.

Tempo de ciclo teórico → É o tempo de ciclo previsto para que determinado equipamento consiga produzir determinado produto. Este tempo varia de acordo com o produto desejado e de acordo com a complexidade em se produzir este produto em cada equipamento.

Tempo de Carga → É o tempo planejado para a produção. Neste tempo o equipamento deve operar normalmente e produzir as ordens planejadas. Devem ser considerados também os tempos necessários para configuração do equipamento em função da troca do produto a ser produzido.

Eficiência Global do Equipamento (OEE) → É um indicador de desempenho que representa a eficácia do equipamento em produzir produtos de qualidade na velocidade em que ele está programado para operar. Este indicador de desempenho será descrito detalhadamente na próxima seção.

Tempo Operacional → É a porção do tempo de carga em que o equipamento está efetivamente produzindo.

Taxa de Qualidades → É a relação entre o número de produtos produzidos e o total de produtos produzidos.

Quantidade de Produtos Bons → É o total de produtos produzidos que atende às especificações.

Perda de velocidade → É a redução percentual de velocidade, para a qual o equipamento foi projetado, ocasionada pela produção de determinado produto fora das especificações. Representa a relação entre tempo teórico e tempo real de produção.

Tempo de Parada → É o tempo em que o equipamento permanece parado. Este tipo de parada pode ser planejada ou não e deve ser classificada de acordo com o motivo em Paradas Operacionais e Induzidas.

Paradas Operacionais → São paradas planejadas do equipamento em razão de ações de manutenção, configuração do equipamento por motivo de troca de produto, realização de testes padrão e carregamento programado de material.

Paradas Induzidas → São paradas não planejadas ocasionadas por razões externas relacionadas ao equipamento, como a falta de matéria-prima, falta de pessoal para operação do equipamento, falta de informações de produção de determinado produto e reuniões não planejadas.

Tempo Teórico de Operação → É o tempo mínimo para produzir uma determinada quantidade de produtos bons. Este tempo é igual ao tempo de ciclo teórico multiplicado pelo número de peças que se deseja produzir.

Produtividade Efetiva Total dos Equipamentos (TEEP) → É o percentual do tempo total de calendário em que o equipamento opera a uma velocidade ideal, produzindo bons produtos.

Tempo total de calendário → É o tempo total do calendário (por exemplo, para 1 ano, este tempo é calculado multiplicando os 365 dias por 24 horas do dia e ainda por 60 minutos da hora, obtendo-se o tempo de calendário em minutos).

Desperdício → É a taxa total de desperdício do processo. Deve ser incluído aqui o desperdício estrutural, o desperdício por incidentes, o desperdício por testes e também o desperdício por re-trabalho. O desperdício não planejado, ocorrido durante a operação do equipamento, deve ser detectado aqui, apontando inclusive a causa.

2.3 OEE (Overall Equipment Effectiveness)

De acordo com Sheu (2006), o OEE tem sido considerado um indicador definitivo para medida de desempenho de equipamentos. É um indicador muito conhecido e utilizado, especialmente na indústria de semicondutores, onde os custos de equipamento constituem de 66% a 75% do custo total de produção.

Este indicador foi inicialmente concebido no Japão em 1971 e levado aos Estados Unidos por Nakajima(1988). O OEE representa a taxa entre o que é produzido efetivamente e o volume teórico de produção e é normalmente representado em notação percentual. É um indicador de desempenho que está relacionado a um equipamento, portanto deve ser calculado separadamente para cada equipamento que compõe o processo produtivo.

De acordo com Hansen (2002), um equipamento com OEE inferior a 65%, apresenta um fator elevado de desperdício de capacidade produtiva, o que impacta diretamente na lucratividade da empresa. Valores entre 75% e 85% são considerados muito bons, embora o nível Classe Mundial defina um mínimo de 85% para processos em lote e um mínimo de 90% para processos discretos e contínuos. Indústrias que possuem um fluxo contínuo de produção devem obter um OEE superior a 95%.

2.4 TEEP (Total Effective Equipment Productivity)

Enquanto o OEE mede a efetividade das programações de produção planejadas, a Produtividade Efetiva Total dos Equipamentos- TEEP (Total Effectiveness Equipment Performance) mede a efetividade total do equipamento em relação a cada minuto do relógio, ou seja, em relação ao tempo de calendário (HANSEN, 2002). Com os valores de TEEP, pode-se descobrir as oportunidades produtivas utilizando os mesmos equipamentos, alterando apenas turnos de trabalho e tempos de operação de máquinas.

O TEEP classifica todos os eventos durante todo o tempo de calendário, e por este motivo, deve ser a medida utilizada quando se faz necessário o planejamento de um negócio que requer maior capacidade ou aumento de capital. A consideração deste indicador de performance permite que as empresas tomem boas decisões quanto a alocação de tempo para cada recurso disponível, desta forma consegue-se um melhor equilíbrio entre a produção efetiva e a capacidade produtiva da planta.

2.5 Cálculo do OEE utilizando as fórmulas de Nakajima

Nesta seção será apresentado o método original para o cálculo do OEE, proposto por Nakajima(1988). Inicialmente, baseado na folha de dados de produção, ou então nos dados

coletados por um sistema de informações on-line, deve ser calculado o tempo de carga, de acordo com a Equação 2.1.

$$\text{Tempo de Carga} = \text{Tempo Total} - \text{Tempo Excluído} \quad (2.1)$$

Em seguida deve-se calcular o fator de disponibilidade, que também é um indicador importante, pois informa o percentual de tempo que o equipamento esteve disponível para operação.

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{Tempo de Carga} - (\sum \text{Paradas})}{\text{Tempo de Carga}} \quad (2.2)$$

Em seguida deve-se calcular o tempo de ciclo real, que de acordo com as fórmulas de Nakajima, representados na equação 2.3, é calculado pela razão entre o tempo de operação e, o volume produzido.

$$\text{Tempo de Ciclo Real} = \frac{\text{Tempo de Operação}}{\text{Volume Produzido}} \quad (2.3)$$

Posteriormente, deve-se calcular a taxa de velocidade operacional, que indica o percentual da velocidade ideal em que a máquina efetivamente operou. Este valor deve ser armazenado para análises futuras, pois também representa um fator importante para análise do equipamento, e permite adequar às expectativas de prazo de entrega com relação a ordens de serviço.

$$\text{Taxa de Velocidade Operacional} = \frac{\text{Tempo de Ciclo Teorico}}{\text{Tempo de Ciclo Real}} \quad (2.4)$$

Deve-se calcular também a eficiência em performance, que é numericamente igual a taxa de velocidade operacional.

$$\text{Eficiência de Performance} = 1 \cdot \text{Taxa de Velocidade Operacional} \quad (2.5)$$

Deve-se calcular então a taxa de qualidade dos produtos produzidos, considerando a razão entre as unidades boas produzidas, e o total de unidades produzidas. Este valor deve ser utilizado como um indicador de desempenho, pois possibilita mensurar se o equipamento é compatível com a tarefa de produzir determinada peça. No caso de um equipamento possuir um baixo índice de qualidade, deve-se verificar as causas desta baixa de qualidade e procurar corrigir.

$$\text{Taxa de Qualidade} = \frac{\text{Unidades Boas Produzidas}}{\text{Total de Unidades Produzidas}} \quad (2.6)$$

Finalmente calcula-se o OEE utilizando o produto da disponibilidade, a eficiência de performance e Taxa de qualidade, obtendo-se desta forma, um indicador, que considera diversos fatores de eficiência e permite uma comparação entre equipamentos.

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidade} \cdot \text{Eficiência de Performance} \cdot \text{Taxa de Qualidade} \quad (2.7)$$

No método proposto por Nakajima, não é calculado o TEEP.

2.6 Cálculo da OEE e TEEP Utilizando os Tempos Registrados dos Eventos

Neste segundo método (HANSEN, 2002) os indicadores e seus componentes são calculados utilizando os tempos registrados para cada evento. Inicialmente, deve-se calcular o tempo programado, utilizando a diferença entre o tempo total e o tempo excluído. Basicamente a fórmula é a mesma utilizada para o cálculo do tempo de carga no método de Nakajima, alterando-se apenas a nomenclatura.

$$\text{Tempo Programado} = \text{Tempo Total} - \text{Tempo Excluído} \quad (2.8)$$

Em seguida, deve-se calcular a taxa de velocidade operacional. Neste caso considera-se que o operador possui o controle sobre a velocidade do equipamento, ou de alguma forma

pode-se medir a velocidade de operação do equipamento. É efetuada então uma média ponderada, multiplicado-se o tempo de operação em determinada velocidade pelo percentual da velocidade e dividindo-se pelo tempo programado para a operação, conforme mostrado na equação 2.9.

$$\text{Taxa de Velocidade Operacional} = \frac{\sum (\text{Tempo} \cdot \frac{\text{velocidade}}{\text{velocidade nominal}})}{\text{Tempo Programado}} \quad (2.9)$$

Posteriormente deve-se calcular o fator de disponibilidade dividindo-se o tempo de operação pelo tempo programado para a produção.

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{Tempo de Operação}}{\text{Tempo Programado}} \quad (2.10)$$

Do mesmo modo que no método de Nakajima, deve-se calcular a taxa de qualidade do equipamento, dividindo o número de unidades boas produzidas pelo total de unidades produzidas.

$$\text{Taxa de Qualidade} = \frac{\text{Unidades Boas Produzidas}}{\text{Total de Unidades Produzidas}} \quad (2.11)$$

Finalmente, utilizando os valores calculados anteriormente, pode-se calcular o valor do OEE pela multiplicação entre fator disponibilidade, a taxa de velocidade operacional e a taxa de qualidade.

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidade} \cdot \text{Taxa de Velocidade Operacional} \cdot \text{Taxa de Qualidade} \quad (2.12)$$

Para que seja possível calcular a eficiência em relação ao tempo de calendário, deve-se calcular ainda o fator de utilização dos ativos, dividindo o tempo de operação pelo tempo total, conforme apresentado na equação 2.13.

$$\text{Utilização dos Ativos} = \frac{\text{Tempo de Operação}}{\text{Tempo Total}} \quad (2.13)$$

Finalmente, utilizando os valores calculados anteriormente, é possível calcular o TEEP, pela multiplicação entre o fator de utilização de ativos, a taxa de velocidade operacional e a taxa de qualidade, conforme apresentado na equação 2.14.

$$\text{TEEP} = \text{Utilização dos Ativos} \cdot \text{Taxa de Velocidade Operacional} \cdot \text{Taxa de Qualidade} \quad (2.14)$$

2.7 Cálculo da OEE e TEEP baseado nas Unidades Boas Transferidas

O terceiro método (HANSEN, 2002) para cálculo do OEE e TEEP é baseado na quantidade de unidades boas transferidas. É o método mais simples para o cálculo dos indicadores de desempenho, porém capaz de dar a mesma noção sobre a eficiência global do equipamento analisado. Inicialmente deve-se calcular o tempo programado, subtraindo-se do tempo total o tempo excluído, conforme apresentado na fórmula 2.15.

$$\text{Tempo Programado} = \text{Tempo Total} - \text{Tempo Excluído} \quad (2.15)$$

Em seguida, deve-se calcular o tempo de operação teórico, ou seja, o tempo necessário para produzir o total de peças boas que se deseja em função do ciclo teórico de produção, conforme apresentado na equação 2.16

$$\text{Tempo de Operação Teórico} = \frac{\text{Total de Unidades Boas Produzidas}}{\text{Ciclo de Produção Teórico}} \quad (2.16)$$

Finalmente deve-se calcular o OEE por meio da equação 2.17, que representa a divisão entre o tempo de operação teórico, e o tempo programado.

$$\text{OEE} = \frac{\text{Tempo de Operação Teórico}}{\text{Tempo Programado}} \quad (2.17)$$

Em seguida, deve-se calcular o TEEP, que representa a eficiência em relação ao tempo de calendário, com a divisão entre o tempo de operação teórico e o tempo total.

$$\text{TEEP} = \frac{\text{Tempo de Operação Teórico}}{\text{Tempo Total}} \quad (2.18)$$

Independentemente do método utilizado, os valores para OEE e TEEP obtidos serão os mesmos. O que determina a escolha por determinado método é a necessidade de se obter os valores intermediários, e também a maneira como os dados são coletados da planta e são organizados no sistema de banco de dados.

2.8 Identificação de Perdas

Após efetuar o cálculo dos indicadores, é necessário identificar as perdas, pois esta identificação possibilitará a implementação de melhorias. Inicialmente é possível calcular as perdas em função do desperdício. Para se calcular o percentual produtivo perdido em função do desperdício, é necessário inicialmente calcular o tempo perdido para produzir peças defeituosas, e este cálculo pode ser efetuado utilizando a equação 2.19.

$$\text{Tempo Teórico perdido por Qualidade} = \frac{\text{Total de Unidades com Problemas}}{\text{Velocidade Operacional}} \quad (2.19)$$

Em seguida, baseado no valor de tempo perdido por qualidade, deve-se calcular o percentual de capacidade perdida em função do desperdício por meio da equação 2.20.

$$\text{Perda por desperdício} = \frac{\text{Tempo Teórico Perdido por Qualidade}}{\text{Tempo Programado}} \quad (2.20)$$

Em seguida deve-se calcular o percentual do total de perdas por velocidade utilizando-se a equação 2.21.

$$\text{PerdaPorVelocidade} = \frac{\sum (1 - \text{Velocidade de Operação}) \cdot \text{Tempo de Operação}}{\text{Tempo Programado}} \quad (2.21)$$

Em seguida deve-se calcular o percentual perdido em função de Paradas Operacionais Planejadas conforme a equação 2.22.

$$\text{PerdaPorParadaOperacional} = \frac{\sum \text{Tempos de Parada Operacional}}{\text{Tempo Programado}} \quad (2.22)$$

Posteriormente deve-se calcular o percentual perdido em função das Paradas Induzidas, utilizando-se a equação 2.23.

$$\text{PerdaPorParadaInduzida} = \frac{\sum \text{Tempos de Parada Induzida}}{\text{Tempo Programado}} \quad (2.23)$$

Em seguida, deve-se calcular as perdas em função das paradas não programadas, de ordem técnica, operacional e de qualidade, conforme a equação 2.24.

$$\text{PerdaPorParadaNaoPlanejada} = \frac{\sum \text{Tempos de Parada NaoPlanejadas}}{\text{Tempo Programado}} \quad (2.24)$$

Quando efetuada a soma do OEE obtido, com o total de perdas encontradas, deve-se encontrar o valor 1 (100% do tempo de produção. Isto indica que foram encontrados todos os pontos onde existiram perdas de produtividade operacional, e desta forma tem-se uma identificação completa do que ocorreu com o equipamento ou processo durante aquele período produtivo.

O conceito destes indicadores de desempenho foi criado inicialmente para equipamentos, mas podem ser estendidos a células, subsistemas e até mesmo linhas inteiras de produção. Naturalmente para uma análise mais precisa é necessário o cálculo tanto para o subsistema quanto para cada equipamento que o compõe.

2.9 Resumo do Capítulo

Este capítulo apresentou o ciclo de informações de um sistema de manufatura, considerando os diversos eventos presentes no chão-de-fábrica. Cada intervalo de tempo medido, foi conceituado e classificado. Também foram apresentados os principais indicadores de desempenho encontrados na literatura (OEE e TEEP) e foram descritas as diversas maneiras de se calcular estes índices. A classificação inicial de cada evento é fundamental para que seja possível obter indicadores que realmente expressem a realidade do processo produtivo. Finalmente foi apresentado um sistema para conciliação de perdas, baseado na classificação dos eventos, que permite identificar, a partir dos dados coletados, onde existem perdas, e conseqüentemente pontos onde o processo pode ser melhorado.

Capítulo 3

Modelos Formais

3.1. Redes de Petri

As Redes de Petri correspondem a uma ferramenta gráfica e matemática que se adapta adequadamente a modelagem de eventos onde existe a ocorrência simultânea de eventos. É uma teoria relativamente jovem, e foi proposta em 1962 por Carl Adam Petri em sua tese apresentada na universidade de Darmstadt, Alemanha. Com a sua utilização na modelagem de diversos tipos de sistemas, ao longo dos anos foram surgindo extensões das teorias inicialmente propostas por Petri. Uma delas, classificadas como redes de alto nível, são as redes de Petri Coloridas, que permitem a extensão do modelo de maneira relativamente simples.

Segundo Cardodo e Valette (1997), uma das vantagens das redes de Petri em relação aos sistemas tradicionais de representação gráfica, é o fato de que este modelo é uma ferramenta formal e, portanto, diversas características do sistema podem ser analisadas em função das propriedades da rede. Em sua representação formal, uma rede de Petri possui três elementos fundamentais – lugares, transições e arcos – e sua marcação e evolução é representada por fichas, que se deslocam entre os lugares através do disparo das transições.

A representação gráfica de uma rede de Petri é apresentada na figura 3.1, e seus elementos serão descritos detalhadamente na próxima sub-seção.

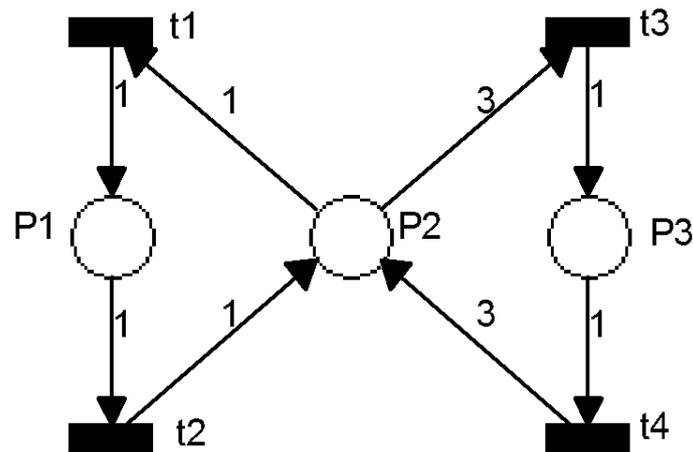


Figura 3.1: Representação gráfica da rede de Petri (Cardodo e Valette ,1997)

3.1.1 Definição formal da Rede de Petri

Formalmente uma Rede de Petri é uma quádrupla conforme representado a seguir:

$$R = \langle P, T, \text{Pre}, \text{Post} \rangle$$

Sendo P um conjunto finito de lugares de dimensão n ; T um conjunto finito de transições de dimensão m ; Pre uma relação representada por $P \times T \rightarrow \mathbb{N}$ e representa a aplicação de entrada; Post é uma relação representada por $P \times T \rightarrow \mathbb{N}$ e representa a aplicação da saída, ou incidência posterior.

Assim, pode-se definir formalmente a rede de Petri apresentada na figura 3.1 da seguinte forma:

$R = \langle P, T, \text{Pre}, \text{Post} \rangle$ sendo:

$$P = \{p_1, p_2, p_3\}$$

$$T = \{t_1, t_2, t_3, t_4\}$$

$$\text{Pre}(p_2, t_3) = 3; \text{Pre}(p_1, t_2) = \text{Pre}(p_2, t_1) = \text{Pre}(p_3, t_4) = 1$$

$$\text{Post}(p_2, t_4) = 3; \text{Post}(p_1, t_1) = \text{Post}(p_2, t_2) = \text{Post}(p_3, t_3) = 1$$

3.1.2 Definição de uma Rede Marcada

Uma rede marcada N é uma dupla, conforme representado a seguir:

$$N = \langle R, M \rangle$$

Sendo R é uma rede de Petri, conforme definido anteriormente, e M é a marcação inicial, pela aplicação $M:P \rightarrow N$.

$M(p)$ é a distribuição de fichas nos lugares, sendo representada por um vetor coluna cuja dimensão é n (número de lugares da rede de Petri).

Desta forma, para a rede apresentada na figura 3.1, pode-se ter uma marcação $M^T = [0, 3, 0]$, representando que a rede possui a marcação de 0 ficha no lugar p_1 , 3 fichas no lugar p_2 e 0 ficha no lugar p_3 .

3.2 Redes de Petri Coloridas

As redes de Petri Coloridas (RPC) correspondem a uma linguagem gráfica para o projeto, especificação, simulação e verificação de sistemas. Este modelo é particularmente útil para o estudo de sistemas onde a comunicação, sincronização e compartilhamento de recursos são relevantes (JENSEN, 1992). O desenvolvimento das RPC se deu a partir do desejo de desenvolver uma linguagem de modelagem que possuísse uma forte fundamentação formal e uma versatilidade que permitisse a utilização em projetos comumente encontrados na indústria. Foram combinadas as fortalezas das linguagens de programação e das redes de Petri. As redes de Petri proporcionam a descrição da sincronização de processos concorrentes, e a linguagem de programação possibilita a capacidade de descrição, definição e manipulação de tipos de dados e seus valores (JENSEN, 1992). Algumas características das RPC são apresentadas:

- Possuem uma representação gráfica, de fácil entendimento, o que proporciona uma maior aceitação por parte dos projetistas de sistemas. Esta representação se assemelha à diagramas de fluxo ou a representação física dos sistemas modelados, facilitando a sua interpretação. A representação gráfica de lugares, estados, ações, fluxo de informação das Redes de Petri ordinárias, são aproveitadas pelas RPC.

- Possuem uma semântica formalmente definida, a qual permite que o comportamento de uma RPC seja definido sem ambigüidades. As linguagens utilizadas para a modelagem de sistemas, em sua maioria, possuem definições específicas para estados ou eventos. Por sua vez, as RPC formal e explicitamente descrevem tanto estados quanto eventos. A semântica

definida também permite a implementação de simuladores, interpretadores de código e métodos formais de análise e estudo.

- É uma ferramenta que pode ser utilizada para a representação e estudo de uma grande e variada quantidade de sistemas. Podem ser utilizados desde a representação de sistemas de produção, com muitos recursos concorrentes, até a representação de algoritmos seqüenciais simples.

- Possuem diversas ferramentas computacionais de representação, análise formal e simulação. Esta característica possibilita a concepção e estudo de modelos de grande porte e complexidade. Existem também ferramentas computacionais para a análise formal do modelo como grafos de ocorrência, cálculos e interpretação de invariantes do sistema, reduções e verificações de propriedades, facilitando a verificação e possíveis mudanças e estudos do sistema.

3.2.1 Representação formal das RPC

Uma RPC formalmente é definida como uma 8-tupla. A definição formal de uma RPC é utilizada para evitar definições ambíguas de sua semântica, assim como para formular definições gerais e provar teoremas. Na prática, uma RPC sempre deverá ser descrita como um grafo (JENSEN, 1992). Uma RPC generalizada é formalmente definida como $CPN = \{\Sigma, P, T, A, N, C, G, E, I\}$ sendo:

- Σ representa um conjunto finito de cores ou tipos (Types). O conjunto de cores ou tipos determina os valores de dados e as operações e funções que podem ser utilizadas nas expressões da rede;

- P representa um conjunto finito de lugares;

- T representa um conjunto finito de transições;

- A representa um conjunto finito de arcos, tal que $P \cap T = P \cap A = T \cap A = \emptyset$. Os conjuntos P, T e A são necessariamente finitos, desta maneira evita-se uma série de problemas técnicos, como a possibilidade de se ter um número infinito de arcos entre dois nodos.

- N representa a função nodo, definida a partir de A em $P \times T \cup T \times U$. A função mapeia cada arco a um par de elementos, sendo o primeiro elemento de origem e o segundo é

o de destino. Os dois nodos devem ser necessariamente de tipos diferentes (um lugar e uma transição);

- **C** representa a função cor, definida a partir de P em Σ . A função mapeia cada lugar, p , a um $Type\ C(p)$. Cada ficha em P deve ter um valor que pertença a $C(p)$;

- **G** representa a função *guard*, definida a partir de T em expressões tal que:

$\forall t \in T: [Type(G(t)) = boolean \wedge Type(Var(G(t))) \subseteq \Sigma]$. A função mapeia cada transição T a uma expressão booleana em que todas as variáveis pertencem a Σ ;

- **E** representa a função expressão de arco, definida a partir de A em expressões tal que $\forall a \in A: [Type(E(a)) = C(p)_{MS} \wedge Type(Var(E(a))) \subseteq \Sigma]$, sendo p o lugar de $N(a)$. A função mapeia cada arco a em uma expressão do tipo $C(p)_{MS}$. Cada expressão de arco deve resultar em multi-conjuntos do tipo do lugar adjacente p ;

- **I** representa a função inicialização, definida a partir de P numa expressão tal que

$$\forall p \in P: [Type(I(p)) = C(p)_{MS}]$$

- O conjunto de todos os elementos de um tipo T é denotado pelo nome T ;

- O tipo de uma variável, v . Denota-se como $Type(v)$;

- O tipo de uma expressão, $expr$. Denota-se como $Type(expr)$;

- O conjunto de variáveis numa expressão $expr$. Denota-se como $Var(expr)$;

- A ligação (binding) de um conjunto de variáveis, V , associando com cada variável $v \in V$ um elemento $b(v) \in Type(v)$

- O valor obtido pela avaliação de uma expressão, $expr$, numa ligação, b – denotada por $expr \langle b \rangle$. É necessário que $Var(expr)$ seja um subconjunto das variáveis de b , e a avaliação é realizada substituindo por cada variável $v \in Var(expr)$ e o valor $b(v) \in Type(v)$ determinado pela ligação.

3.2.2 Exemplo de uma RPC

Apesar de todo o embasamento matemático presente nas RPC, é possível representá-la de uma forma gráfica, o que facilita o entendimento e torna a tarefa de modelar sistemas utilizando estas ferramentas, um pouco mais intuitiva. Na figura 3.2 é apresentado um

exemplo didático, de um protocolo simples (JENSEN, 1992). Inicialmente devem ser definidos os conjuntos de cores referentes às informações que irão trafegar pela rede.

$$\Sigma = \{INT, DATA, INTxDATA\}$$

INT: Conjunto de cores responsável por armazenar o número seqüencial das mensagens a ser transmitida.

DATA: Conjunto de cores necessário para armazenar o conteúdo da mensagem a ser transmitida e recebida

INTxDATA: Conjunto composto pelo numero da mensagem, e o dado correspondente.

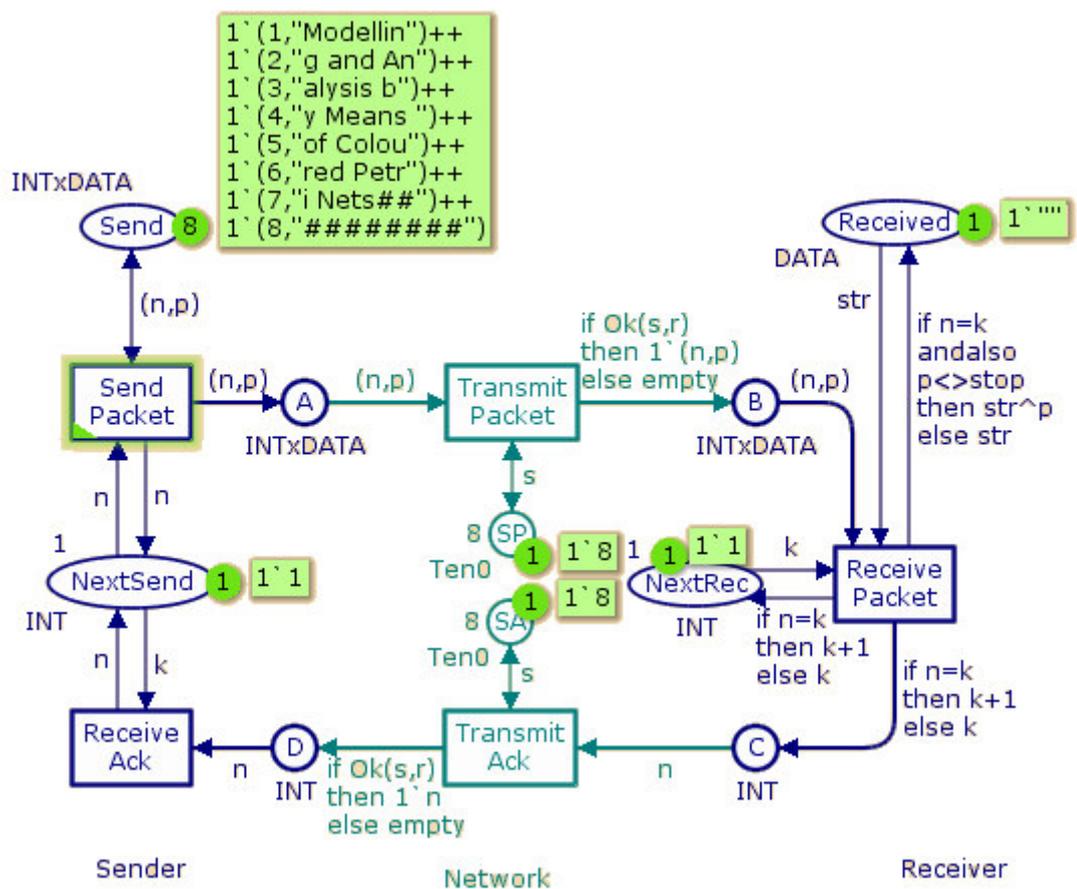


Figura 3.2: Exemplo de RPC (JENSEN, 1992)

De acordo com a marcação inicial apresentada na figura 3.2, tem-se oito fichas do tipo *INTxDATA* no lugar denominado *Send*. As informações com seus respectivos números seqüenciais são apresentadas no quadro posicionado acima da rede. A notação *n*'*informação*, indica a existência de n fichas contendo a informação entre parênteses, no lugar

especificado. Isto pode ser observado no estado *NextSend*, onde aparece a marcação $1'1$, indicando a presença de uma ficha contendo informação do tipo 1, que no caso é a string “Modelli”.

Desta forma, pode-se observar que o estado *Send* possui oito mensagens que devem ser enviadas do transmissor para o receptor de maneira seqüencial, para que, ao final, seja possível obter a mensagem “Modelling and Analysis by Means of Coloured Petri Nets##”. Apenas por definição do protocolo, foi criado um valor de final de mensagem, igual a string “#####”, ou seja, a mensagem representada pelo numero seqüencial 8, é apenas uma mensagem para indicar o final da transmissão.

A representação (n,p) , apresentada em alguns arcos (por exemplo, entre o lugar *Send* e a transição *Send Packed*) representa um fluxo de duas informações, uma do tipo INT e outra do tipo DATA, entre o estado e a transição. Considerando-se o comportamento dinâmico da rede, na transmissão da primeira mensagem a informação do tipo INTxDATA da primeira ficha (1 , “Modellin”) , flui para a transição *Send Packet*. A informação contida no estado *Next Send*, que inicialmente contém uma ficha do tipo 1, garante que a mensagem que sairá do estado *Send* é a que possui o número 1. Isso deve-se ao fato da variável n estar presente nos dois arcos precedentes a transição. Apesar de estarem disponíveis oito mensagens no estado *Send*, o estado *Next Send* consegue prover apenas uma ficha com valor 1 para o disparo da transição.

No momento que a transição *Send Packet* é disparada, surge uma ficha do tipo INT, que armazena informação referente ao número seqüencial da mensagem no estado *Next Send*, que corresponde a uma ficha igual a que foi consumida para permitir o disparo da transição. E, também, uma ficha com a informação completa da mensagem surge no estado A.

Nos estado SP e AS, está representada uma ficha com o valor 8, com o objetivo de controlar o índice máximo de ordem para a mensagem esperada neste modelo (que é o índice de número 8). Os arcos que ligam estes estados às transições são bidirecionais, o que faz com que a marcação inicial deste estado permaneça até o final da evolução da rede, pois para cada ficha consumida, é gerada uma ficha do mesmo tipo no referido lugar.

Existem também funções que são executadas no momento do disparo, e são colocadas sobre os arcos. Por exemplo, entre a transição *Transmit Packed* e B. A representação “If Ok (r,s) then $1'(n,p)$ else empty” representa que uma função chamada *OK*, será chamada no

momento que ocorrer a transição. No caso de um retorno verdadeiro, surgirá no lugar B uma ficha do com as informações (n, p) . Caso contrário, nenhuma ficha surgirá no lugar B .

A variável s vem do estado SP , mas não existe nenhuma ocorrência da variável r . Este foi um artifício encontrado na modelagem para que o usuário possa interagir com o modelo, propiciando casos de pacotes inválidos. Basta que seja colocado um valor de r maior do que o valor esperado para o máximo número seqüencial da mensagem, neste modelo 8, para invalidar o pacote de comunicação, simulando desta forma um ruído.

Considerando que o usuário que está interagindo com o sistema, entrou com um valor válido para r , ou seja, um valor menor do que 8, surge uma ficha no estado B .

Da mesma forma que o estado *Next Send* armazena informações do número seqüencial da próxima mensagem que deve ser transmitida, o estado *NextRec* armazena a informação da próxima mensagem que deve ser recebida, neste caso, para a primeira evolução, a mensagem de numero 1

Ocorrendo a transição *Receive Packet*, sensibilizada pela existência de uma ficha no estado B , a rede evolui. Observando os arcos que saem desta transição, percebe-se que sempre ocorre um teste condicional (if $n=k$), que indica que o pacote recebido é realmente o pacote esperado pelo protocolo. Na ocorrência de um pacote inválido, a rede evolui sem alteração na marcação dos estados *Received*, e *NextRec*. Nesse caso, ocorre apenas o surgimento de uma ficha com o número seqüencial da mensagem esperada, para que seja enviado uma mensagem de *acknowledge*, de forma que o transmissor envie um novo pacote. Isto é necessário apenas para que o protocolo funcione no caso de um pacote se perder em função de ruído no meio de transmissão.

No caso de recebimento de uma mensagem com o número seqüencial esperado, ocorre a evolução com incremento do conteúdo da ficha presente no estado *NextRec*, e também no estado C . É importante observar o que ocorre no arco que liga a transição *Receive Packet* e o estado *Received*. Observado-se o estado *Received* pode-se perceber que é um estado do tipo DATA, ou seja, armazena apenas strings, de forma que ao final do protocolo, espera-se que neste estado haja uma ficha com a mensagem transmitida, de forma completa e sem a mensagem de terminação. Este arco ilustra os artifícios da linguagem ML (MILNER et al. 1997) , utilizada na modelagem utilizando RPC, e sua funcionalidade de operar com strings. Neste arco, está explicitado que se a mensagem foi recebida corretamente ($n=k$), e a mensagem não é um terminador ($p<>stop$), a string de conteúdo da mensagem, será

adicionada ao valor da variável *str*. Na marcação inicial, apresentada na figura 3.2, pode-se observar uma ficha com uma string de tamanho zero. Esta string é consumida para o disparo da transição, e no caso de recebimento de uma mensagem válida, é retornada com a adição da mensagem. O *else*, presente também no arco, indica que caso ocorra o recebimento de uma mensagem inválida, a ficha consumida retorna ao estado *Received* com seu conteúdo intacto.

Prosseguindo com a evolução da rede, a partir do estado C, observa-se o mesmo artifício de modelagem utilizado na transição *Transmit Packet* para a transição *Transmit Ack*. Desta forma, é necessária uma entrada do usuário para simulação de problemas no meio de transmissão, utilizando a variável *r*, que será testada posteriormente para que possa surgir uma ficha no estado D.

Finalmente, com o disparo da transição *Transmit Ack* e o surgimento de uma ficha no estado D, o que sensibiliza a transição *Receive Ack*. Esta transição atualizará o número do pacote que deverá ser transmitido, atualizando a ficha existente no estado *Next Send*. Analisando a evolução da rede exemplificada, pode-se observar que, após diversas evoluções, ter-se-á a mensagem transmitida no estado *Received* e um valor de número seqüencial de mensagem igual a 9, nos estados *NextSend* e *NextRec*, impossibilitando outras evoluções da rede.

3.3 Modelo Entidade-Relacionamento (MER)

O modelo entidade relacionamento tem por base a percepção de que o mundo real é formado por um conjunto de objetos, chamados entidades, e pelo conjunto dos relacionamentos entre estes objetos (SILBERSCHATZ, 1999). Este modelo foi desenvolvido para tornar possível a representação de todo o banco de dados de um sistema, de forma que o relacionamento entre os objetos pudesse ser percebido.

Uma entidade é um objeto do mundo real, que pode ser identificado de forma única em relação a outros objetos, podendo ser algo real ou abstrato, como, por exemplo, um funcionário, uma empresa, um fornecedor, uma ordem de serviço, dentre outros. Cada entidade possui um conjunto de atributos, que correspondem a propriedades descritivas de cada membro da entidade. Pode-se citar como exemplo a entidade funcionário. Nesta entidade pode-se identificar como atributos o número de matrícula, nome, endereço, ramal,

telefone residencial, entre outros. Uma entidade é representada neste modelo por um retângulo contendo seus atributos, e normalmente o termo tabela é empregado para cada entidade.

Toda entidade possui um atributo, ou um conjunto de atributos capaz de identificar, de maneira única, cada um de seus elementos. Este atributo, ou conjunto de atributos, é denominado chave primária, e normalmente é representado nos modelos de maneira destacada e com o texto PK ao lado do atributo, como referência ao termo em inglês *Primary Key* (SILVERSCHEATZ, 1999).

Os relacionamentos entre entidades permitem que os dados de uma tabela possam ser encontrados a partir de uma tabela principal de pesquisa. Por exemplo, considerando-se uma entidade cliente e uma entidade ordens de serviço, pode-se, por meio dos relacionamentos, apresentar-se o resultado de todas as ordens de serviço referentes a determinado cliente.

Os relacionamentos podem ser do tipo um para um, quando cada entidade do tipo A está relacionada a apenas 1 elemento da entidade tipo B. Do tipo um para muitos, quando uma entidade do tipo A pode possuir vários elementos relacionados do tipo B. E do tipo muitos para muitos, onde uma entidade de A pode possuir vários elementos de B, e cada entidade de B pode possuir muitos elementos de A. Neste caso, normalmente opta-se pela criação de uma tabela auxiliar, contendo as chaves primárias das duas tabelas, podendo conter ou não informações adicionais.

Os relacionamentos são representados por uma linha conectando as entidades, com terminação simples ou tripla. A terminação tripla representa um relacionamento múltiplo. Na figura 3.3, por exemplo, pode-se afirmar que o relacionamento entre a tabela usuário e a tabela usuário_permissão é do tipo um para muitos, ou seja, um usuário pode ter diversas permissões. Da mesma forma, observando-se a relação entre as tabelas Permissão e Módulo, pode-se observar que uma permissão está relacionada sempre a um único módulo. O que significa dizer que uma permissão concede acesso a apenas um módulo segundo o modelo apresentado na figura 3.3.

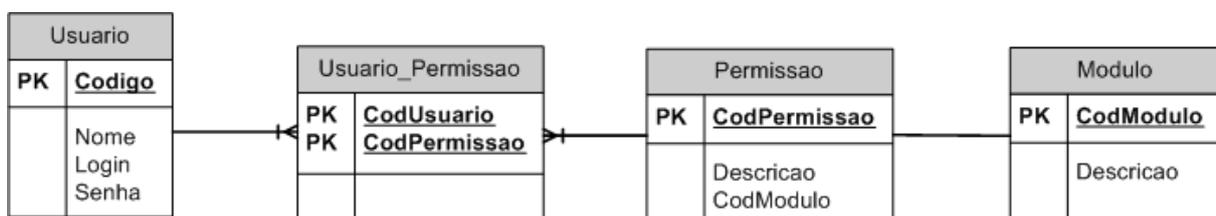


Figura 3.3: Exemplo de Modelo Entidade Relacionamento.

Algumas técnicas para que os dados não sejam armazenados de forma repetitiva, bem como um maior aprofundamento sobre o assunto pode ser encontrado em Silberschatz (1999).

3.4 Representação UML

James Rumbaugh e Grady Booch combinaram suas metodologias: OMT (RUMBAUGH, 1994) e (BOOCH, 2000), respectivamente, através da Rational Corporation, nos Estados Unidos, e criaram um método comum para a modelagem de sistemas: o Unified Method (UM), lançado em 1995. Em seguida, deu-se a adesão de Ivar Jacobson (JACOBSON, 1996), outro grande metodologista, contribuindo com as idéias de sua metodologia. Esses três personagens lançaram, então, a Unified Modeling Language (UML) versão 0.9 em 1996. A UML, versão 1.1, foi submetida ao Object Management Group (OMG) e aprovada como padrão mundial de linguagem de notação de projetos orientados a objeto.

O objetivo da UML é prover uma linguagem padrão que permita modelar um sistema, bem como visa dotar o mercado mundial de orientação a objetos de uma linguagem única de modelagem, que permita a troca de modelos de forma natural entre os construtores de softwares (FUZION, 1999). Com a UML é possível descrever eficazmente requisitos de software, caracterizar a arquitetura (lógica e física) de um sistema, focalizar na arquitetura em vez da implementação e direcionar programadores, aumentando a produtividade e diminuindo os riscos (MATTIAZZI, 1998).

A UML apresenta os seguintes diagramas que, em conjunto, modelam todo o sistema (MATTIAZZI, 1998; FURLAN, 1998; FUZION, 1999):

Diagrama de Classe: utilizado para representar as diversas classes de objetos do sistema, seus atributos e operações, bem como a associação entre cada uma delas (herança, generalização, composição, agregação, etc.).

Diagrama de Caso de Uso: usado para demonstrar o relacionamento entre atores e casos de uso.

Diagramas de Seqüência: tipo de diagrama de interação que apresenta a interação de seqüência de tempo dos objetos que participam na interação.

Diagrama de Colaboração: tipo de diagrama de interação que mostra uma interação dinâmica de um caso de uso e seus objetos relacionados.

Diagrama de Estado: utilizado para demonstrar as seqüências de estados que um objeto assume em sua vida, em função do seu uso no sistema.

Diagrama de Atividade: tipo de diagrama de estado no qual a maioria dos estados são ações. Descreve o fluxo interno de uma operação.

Diagrama de Componente: usado para representar os diversos componentes dos sistemas e suas dependências.

Diagrama de Implantação: utilizado para demonstrar elementos de configuração de processamento run-time.

O uso de um tipo ou outro de diagrama depende, muitas vezes, do grau de detalhamento necessário para o desenvolvimento do sistema. Os diagramas de classe, de casos de uso e de seqüência são os mais utilizados. Neste trabalho são utilizados apenas os diagramas de caso de uso, que será apresentado em detalhes na próxima subseção.

3.4.1 Diagramas de Casos de Uso

Os diagramas de casos de uso têm por objetivo representar a interação de pessoas ou sistemas, chamados de Atores, com as funcionalidades do sistema. Na figura 3.4 é apresentado um diagrama genérico de casos de uso, onde é apresentado um ator (ator1), três funcionalidades principais, e duas subfuncionalidades.

As subfuncionalidades neste caso são apresentadas em separado, para explicitar a maneira como ela deve ser implementada, de modo a facilitar o reaproveitamento de código. Neste exemplo, é possível observar que a subfuncionalidade 1 é utilizada tanto para a funcionalidade 1, quanto para a funcionalidade 2. Para facilitar o entendimento, pode-se imaginar que o Ator1 é o usuário do sistema, a funcionalidade 1 é efetuar o login no sistema, e a funcionalidade 2 é apresentar determinado módulo. Desta forma, pode-se definir como subfuncionalidade1 *validar usuário e senha*, e como funcionalidade 2, *apresentar o módulo desejado*.

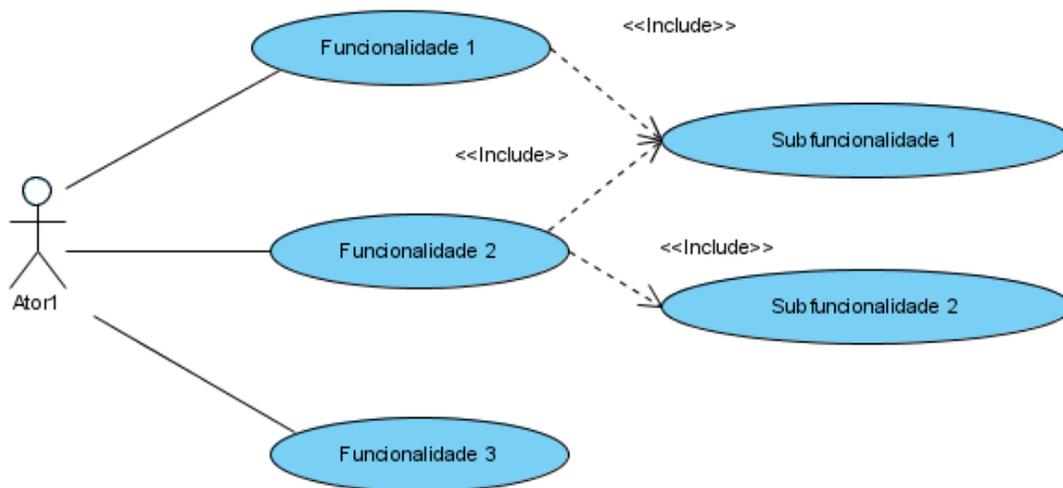


Figura 3.4: Exemplo de Diagrama de Caso de Uso.

3.5 Resumo do Capítulo

Neste capítulo é apresentado os modelos formais que serão utilizados neste trabalho. Inicialmente é apresentada a RPC, conforme Carl Adam Petri a definiu em sua tese de doutorado. Posteriormente foi apresentada a definição de Redes de petri colorida com a apresentação de um pequeno exemplo que ilustra cada elemento presente neste tipo de modelo. Em seguida foi apresentado o Modelo Entidade Relacionamento, que já é um modelo consagrado no segmento de modelagem para bancos de dados, e finalmente apresentada a conceituação de UML, com detalhamento no diagrama de casos de uso, que será utilizado neste trabalho também com propósito de modelagem.

Cada um dos modelos possui pontos fortes para representar diversos tipos de sistema, como por exemplo as Redes de Petri representam bem o comportamento dinâmico, e propiciam um entendimento intuitivo por se tratar de uma representação gráfica.

Modelos Entidade-Relacionamento representam muito bem o relacionamento entre os dados e a maneira como eles são armazenados. Os modelos UML são ideais para definição de aplicações computacionais, pois permite separar as funcionalidades de acordo com os casos de uso do sistema.

Capítulo 4

Modelagem do Sistema de Informação de Chão de Fábrica

Para analisar o desempenho de um processo produtivo bem como de seus componentes, é necessário um sistema capaz de coletar as informações da planta no momento em que os produtos estão sendo produzidos. Este sistema deve estar integrado com outros sistemas que fazem parte do processo produtivo, para que a informação possa ser utilizada por todos os sistemas que necessitam dela. Uma solução possível é o armazenamento dos dados em uma estrutura de banco de dados relacional, de forma organizada, possibilitando o cálculo de indicadores de desempenho em tempo real, de maneira on-line por um sistema monitor, capaz de ler estes dados. A estrutura de banco de dados também deve ser capaz de armazenar os registros de produção com os respectivos tempos e erros que ocorreram no processo para análise futura.

A integração do sistema com o processo produtivo deve gerar a menor interferência possível. Isso significa que o sistema de controle da planta não pode ficar mais lento em função da implementação de um sistema de coleta de dados. Também não devem se fazer necessárias alterações na implementação do sistema de controle para o bom funcionamento do sistema de informações, pois isto tornaria sua implantação extremamente complicada.

4.1 Arquitetura do Sistema

O FIS é descrito em termos gerais na figura 4.1. Esta figura representa uma interface entre os dados, e os diversos sistemas. Buscando suprir as necessidades de gerenciamento apontadas na figura 2.3 pelo arco *Medidas / Dados*, são apresentados os diversos sistemas, acessando os dados da manufatura por meio de uma interface. Isto significa que os dados são

armazenados em um único lugar, mantendo a consistência das informações para todos os sistemas que delas necessitam.

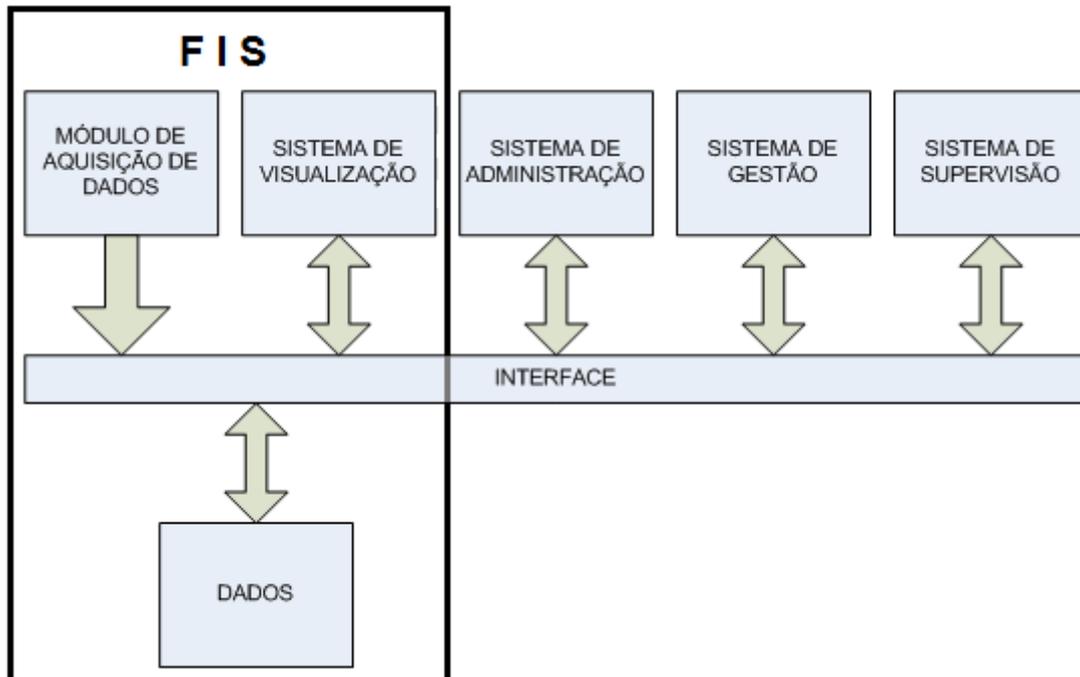


Figura 4.1: Modelo do Sistema de Informação Fabril (FIS).

Os Sistemas de Administração, Supervisão e Gestão, normalmente são escolhidos entre as diversas opções de mercado, buscando atender o sistema de manufatura de maneira adequada. Em geral, eles apresentam diversas possibilidades de integração, possibilitando a gravação dos dados gerados por estes sistemas e a recuperação dos dados necessários, por meio de configuração de acesso a sistemas de bancos de dados.

O Sistema de visualização deverá ser desenvolvido de maneira que seja possível a integração com os outros sistemas. Desta forma, deverá ser utilizada a mesma interface para acesso aos dados.

O Módulo de aquisição de dados é responsável por captar as informações diretamente dos equipamentos que se deseja monitorar. Compreende-se por FIS, o Sistema de Visualização, o Módulo de Aquisição de dados, bem como a estrutura necessária para armazenamento dos dados, e as interfaces para que os diversos sistemas possam utilizar as informações captadas. Desta forma, Sistemas de Gestão, Administração e supervisão não fazem parte do escopo deste trabalho.

4.2 Fluxo de Informações do Sistema de Informações de Chão de Fábrica

O fluxo de informações entre os diversos componentes do sistema é modelado utilizando-se redes de Petri Coloridas. Este modelo de alto nível, conforme descrito no capítulo anterior, possibilita um alto grau de abstração e permite que o modelo possa ser expandido para diversos processos produtivos. As fichas que transitam pelo modelo são capazes de armazenar uma grande quantidade de informações, possibilitando que o modelo fique compacto mesmo para estruturas produtivas complexas.

Para a construção do modelo é necessário inicialmente definir os conjuntos de cores que representam as informações que irão transitar pela rede. Define-se três conjuntos básicos de cores:

PIECES: Responsável por armazenar informações sobre as peças;

MACHINES: Responsável por armazenar informações sobre as máquinas;

ERRORS: Responsável por armazenar informações sobre os erros que podem ocorrer;.

A parte sombreada do modelo apresentado na figura 4.2 representa o fluxo de informações para o processo normal de produção, sem a ocorrência de erros ou paradas.

Na marcação inicial tem-se que todas as fichas que fazem parte do conjunto de cores MACHINES, estão disponíveis no estado *idle machines*, e todas as peças a serem produzidas no estado *production orders*.

A transição *Production Start*, indica que se houver uma máquina disponível no estado *idle machines* e uma peça a ser produzida no estado *production orders*, a produção pode ser iniciada. Nas aplicações reais devem ser feitas considerações sobre quais máquinas podem produzir determinados tipos de peças. Entretanto, para efeito de análise, apenas no modelo de informação estas restrições não serão tratadas. Considera-se que todas as máquinas podem produzir qualquer tipo de peça.

Quando a transição *Production Start* é disparada, é enviada uma mensagem ao Banco de Dados, para que seja registrado o início da produção da peça representada pela ficha consumida de *production orders*, pelo equipamento representado pela ficha consumida de *idle machines*. Com o disparo desta transição surge uma ficha do tipo composto *pieces x machines* no estado *processing*, indicando que existe uma peça em produção.

Apesar de *pieces x machines* não ter sido apresentado na definição dos conjuntos básicos de cores, ele deverá ser definido como a composição entre o conjunto de cores

PIECES e o conjunto de cores MACHINES. Esta composição é necessária para que seja possível transitar pela rede sem perder parte das informações referentes às peças.

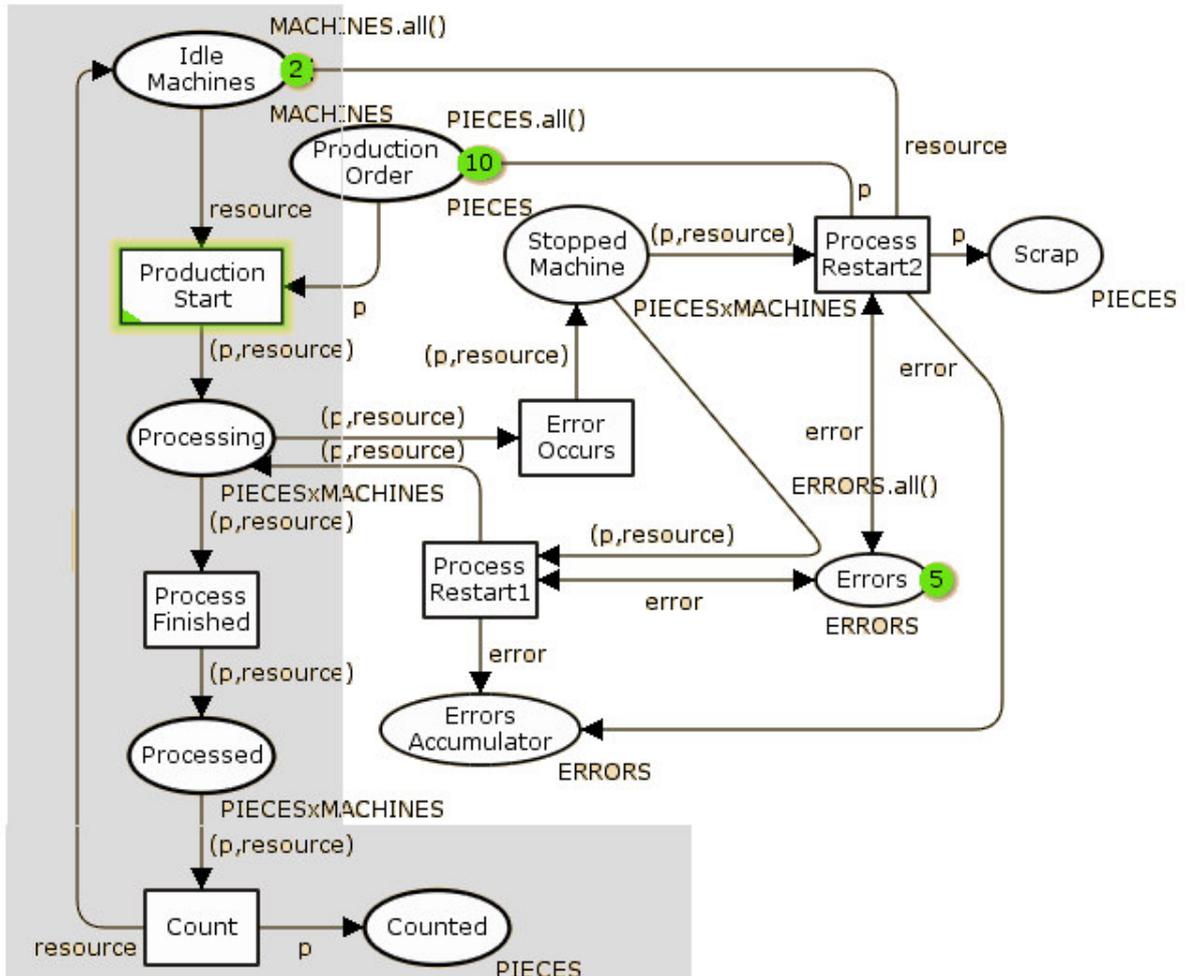


Figura 4.2: Fluxo de Informações no FIS, destacando a produção sem erros

Após o disparo da transição *Production Start*, podem ocorrer dois caminhos distintos. Um deles é o processamento normal da peça sem a ocorrência de erros, e outro é a ocorrência de erros durante a produção.

No caso de processamento normal, sem a ocorrência de erros, ao terminar a produção, a transição *process finished* será disparada, e com isto será enviado ao Banco de Dados a informação de que a peça foi produzida com sucesso, surgindo então uma ficha no estado *processed*. Após este disparo, a peça será contada como produzida com o disparo da transição *count* liberando a máquina utilizada em sua produção, ou seja, será produzida uma ficha em *idle machines* e uma ficha no estado *counted*.

Na ocorrência de um erro, a transição *error occurs* é disparada, conforme representado na figura 4.3, produzindo uma ficha no estado *stopped machine*, que indica que uma máquina que estava produzindo, agora encontra-se inativa e a manutenção sendo realizada para a identificação do problema e reparo do mesmo. Neste momento é informado ao Banco de Dados o momento de parada da maquina e o tipo da peça que estava sendo produzida.

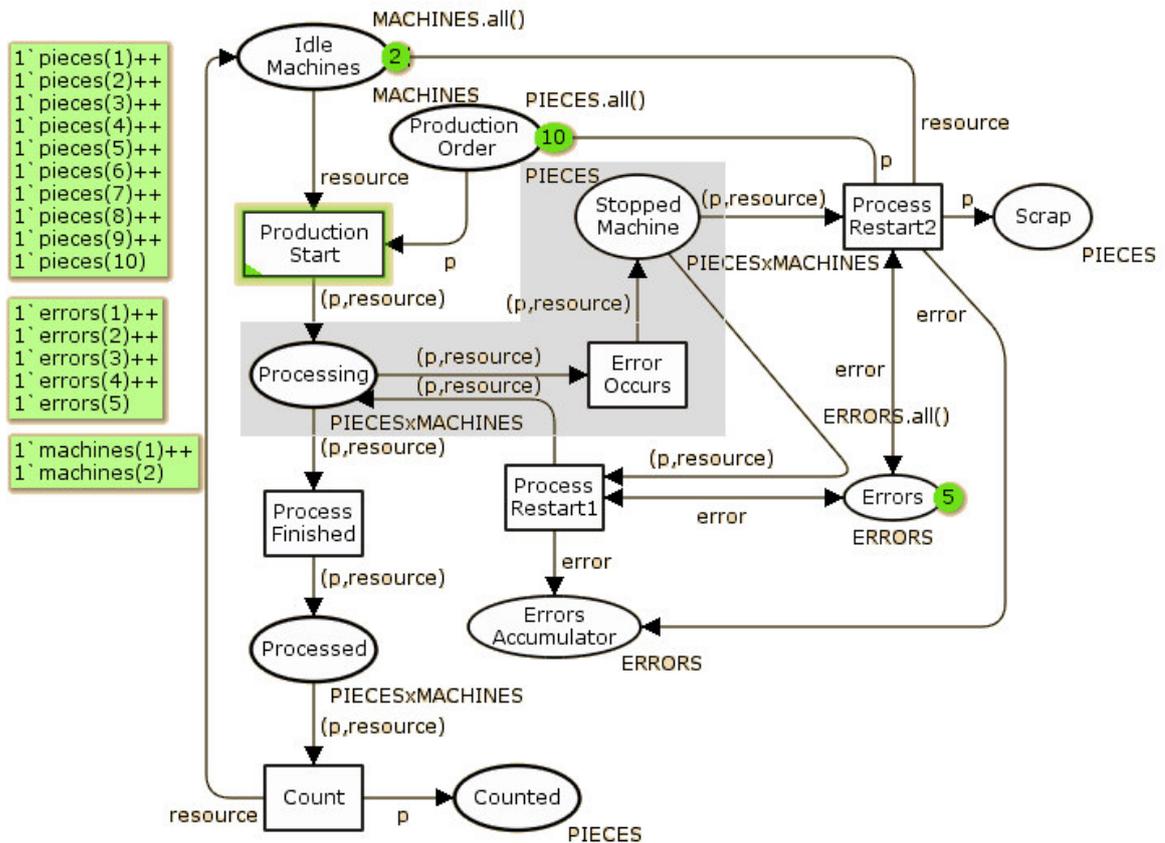


Figura 4.3: Ocorrência de erros.

Após a identificação e reparo do problema, o processo pode ser reiniciado sem perda da peça, disparando a transição *Process Restart1* ou com perda da peça disparando a transição *Process Restart 2*, conforme apresentado na figura 4.4. Em ambos os casos o Banco de Dados é informado que o processo foi reiniciado e qual o motivo de parada, e na rede surge no estado *errors accumulator* uma ficha com o código do erro detectado. Caso o processo seja reiniciado sem perdas, é gerada uma ficha no estado *processing*, e a produção é retomada a partir do momento de ocorrência da falha. No caso de reinício com perda, uma ficha surge no estado *scrap* indicando que uma peça foi perdida.

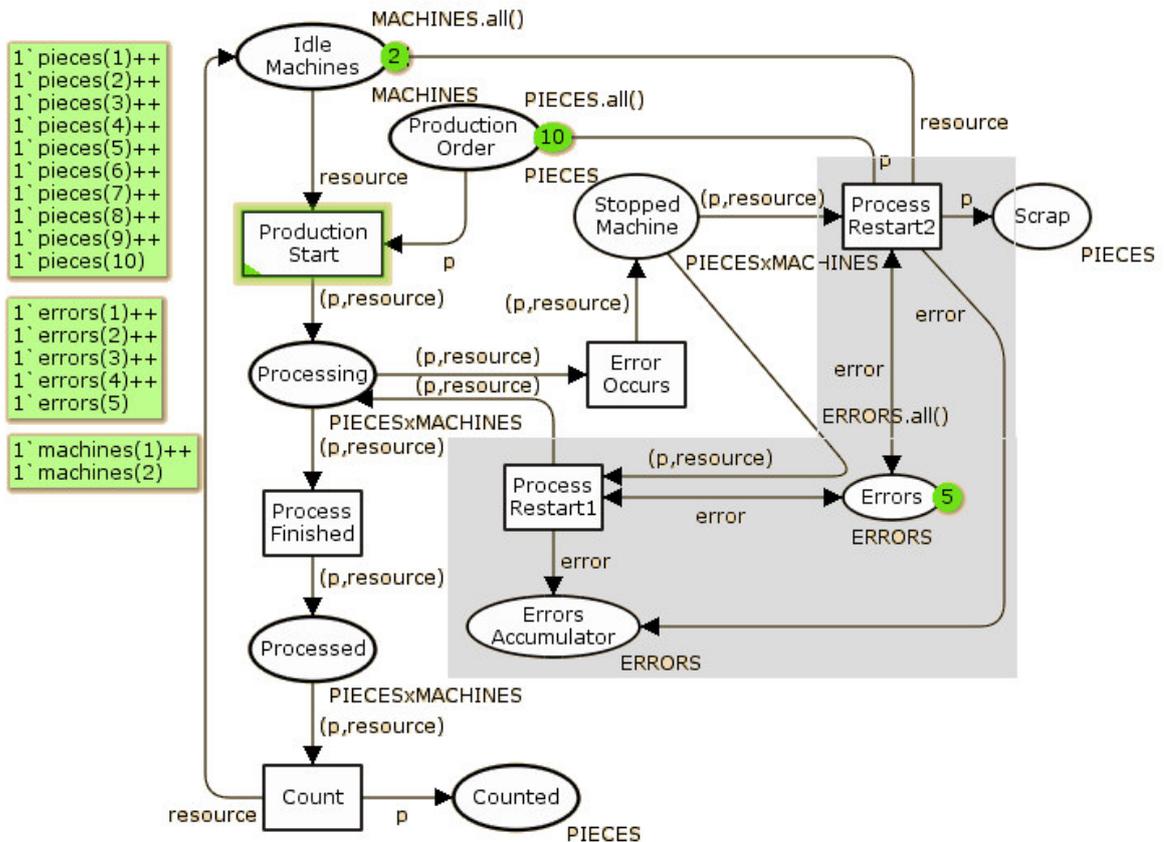


Figura 4.4: Retomada da Peça

4.3 Banco de Dados

Considerando as fórmulas propostas no capítulo 2 para o cálculo dos indicadores de desempenho, é necessário que o banco de dados seja capaz de armazenar os dados necessários para realização deste cálculo. Na figura 4.5 são apresentadas as informações que devem ser armazenadas para que seja possível obter dados referentes a peças produzidas, para realização dos cálculos dos indicadores de desempenho.

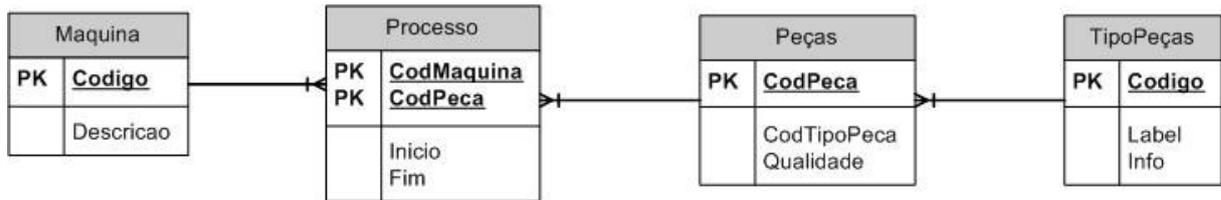


Figura 4.5: MER referente às informações de Produção das peças

Para facilitar o entendimento, a explicação será iniciada pela tabela *processo*. Esta tabela relaciona cada etapa do processo de produção da peça, armazenando o código da peça, o código da máquina que a produziu, a data e o horário de início, e a data e o horário do fim da produção. A tabela de *peças* registra a informação referente ao tipo de peças e também informação sobre a qualidade, indicando se a peça atende às especificações, ou se ela foi rejeitada pelo controle de qualidade. A tabela *TipoPeças* contém todos os tipos de peças que a linha de manufatura pode produzir e seu respectivo código de identificação. Da mesma forma, a tabela *máquinas* contém o cadastro de todas as máquinas presentes na linha de manufatura, bem como seus respectivos códigos.

Baseado apenas nas informações contidas nestas tabelas, uma vez que elas devem ser armazenadas em um banco de dados relacional, é possível, a partir de uma seqüência de pesquisa em tabelas, obter a totalização do total de peças boas produzidas, o total de peças rejeitadas que foram produzidas, bem como os tempos necessários para a produção de cada peça e quais máquinas operaram com cada peça. Desta forma obtém-se a maioria dos valores necessários para o cálculo dos indicadores de desempenho.

Além das informações de produção, é necessário que sejam armazenadas as informações referentes a paradas de equipamentos, tanto programadas, quando não programadas. As tabelas descritas na figura 4.6 têm a função de armazenar as informações referentes a estas paradas.

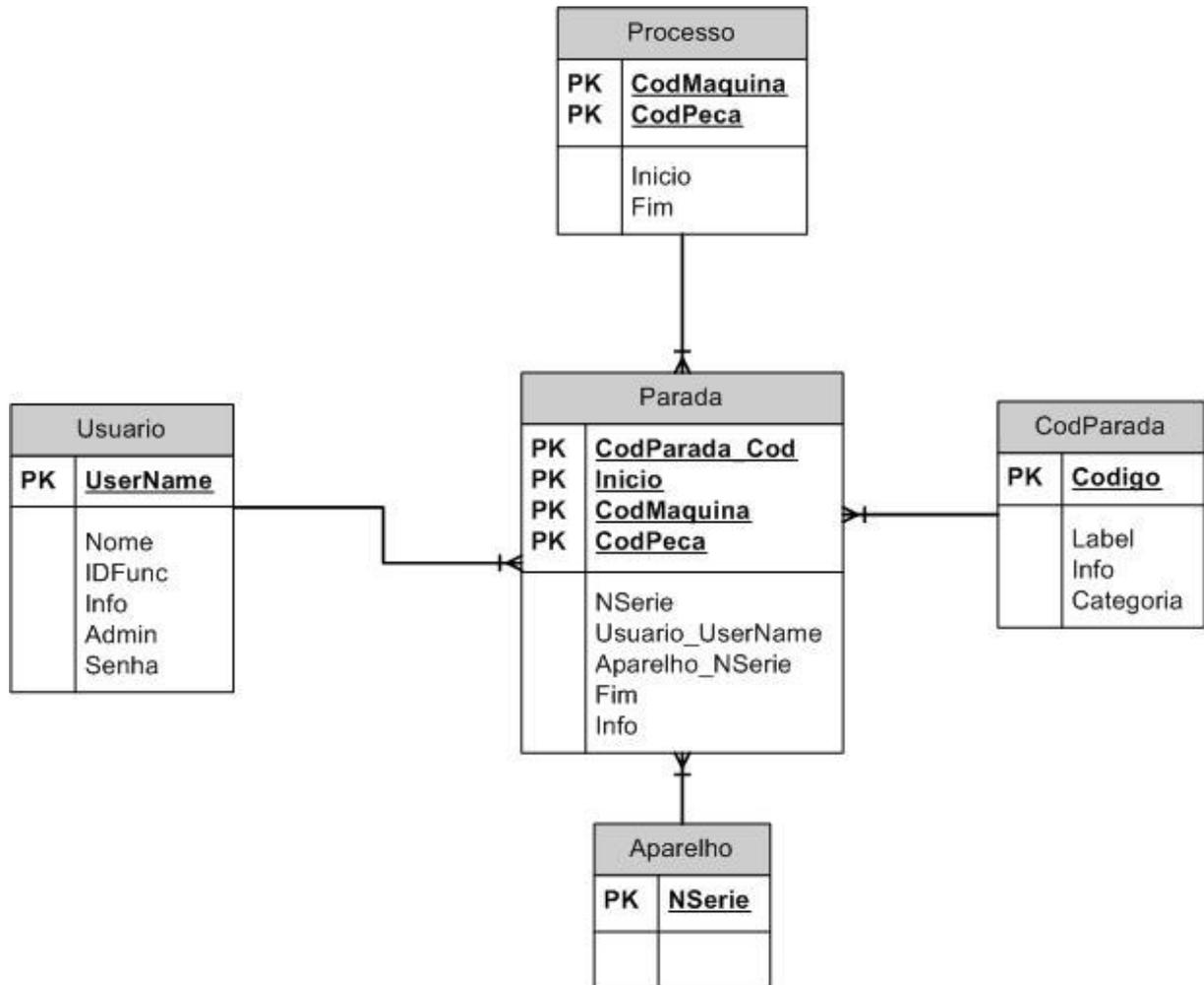


Figura 4.6: MER referente a informações de paradas de equipamentos.

A tabela *Parada* é responsável pelo registro das informações de paradas. Nela devem ficar registrados o código do motivo da parada, o código da máquina que parou, o código da peça que estava sendo produzida quando ocorreu o problema, e o horário de início da parada. Também devem ficar registrados o número serial do Equipamento de aquisição de dados em que o motivo da parada foi registrado, o Usuário que registrou o problema, o horário em que o equipamento foi consertado (também indica o final da parada) e possíveis informações adicionais que possam servir como base para investigação de problemas que ocorrem com frequência no processo produtivo.

No modelo proposto, foi incluída uma tabela para registro dos usuários que efetuarão cadastro de motivos no sistema. Esta tabela possui informações de login e senha, identificação funcional, e uma indicação de privilégios de administrador do sistema para este usuário.

Na tabela *CodParada* deverão ser cadastrados previamente todos os motivos de parada que se deseja monitorar. Cada parada será identificada por um código e deverá ser cadastrada com informações corretas quanto à categoria, pois o cadastro incorreto desta informação poderá comprometer o cálculo dos indicadores de desempenho.

A partir das informações contidas nas tabelas apresentadas nas figuras 4.5 e 4.6, é possível obter todas as informações necessárias para o cálculo de indicadores de desempenho.

A descrição das tabelas apresentadas neste modelo representa apenas as informações necessárias para a obtenção dos indicadores de desempenho de maneira correta. Para implementação em sistemas de manufatura reais, algumas informações poderão ser adicionadas, como, por exemplo, a linha à qual determinado equipamento faz parte.

4.4 Sistema Monitor

O sistema monitor é a interface que possibilitará ao gerente de produção filtrar as informações coletadas no chão-de-fábrica, com objetivo de tirar proveito destas informações para melhorar o desempenho da planta. Como requisito, espera-se que o sistema monitor mantenha-se sempre on-line, calculando os índices de desempenho da planta para determinada ordem de serviço que esta sendo produzida. Para representar o modelo do sistema monitor serão apresentados os diagramas de casos de uso para os atores identificados (operador e gerente).

A figura 4.7 apresenta o diagrama de caso de uso para o operador do sistema. As possibilidades de utilização são: informar o início da parada, identificando o motivo, quando o sistema não conseguir identificar automaticamente; identificar-se, para que o sistema possa registrar todas as ações deste usuário no que diz respeito a cadastro de informação e manipulação de dados; informar o fim de uma parada, identificando o motivo, quando este não pode ser identificado no cadastro do início da parada. Espera-se também que estes casos de uso possam ser atendidos pela utilização do equipamento de aquisição de dados. Espera-se também do modelo conceitual que estas funcionalidades estejam disponíveis no sistema monitor.

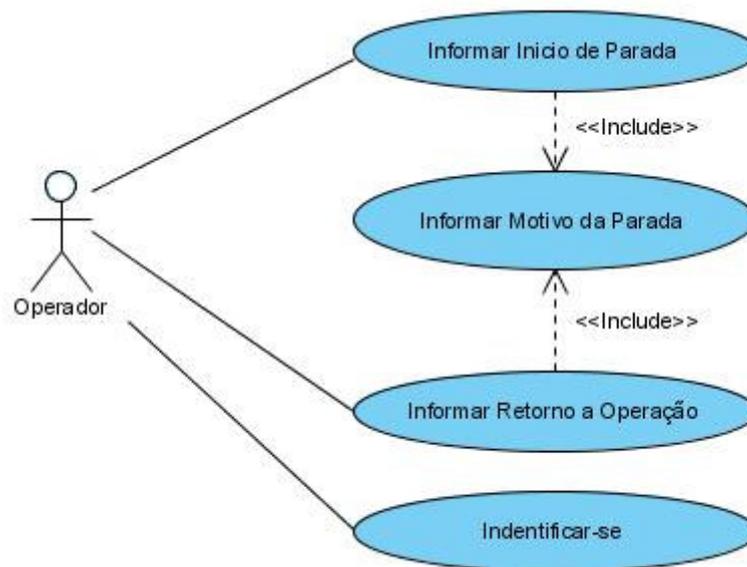


Figura 4.7:Diagrama de Casos de uso para o Operador.

Na figura 4.8 serão apresentados os casos de uso para o Gerente da linha de manufatura.

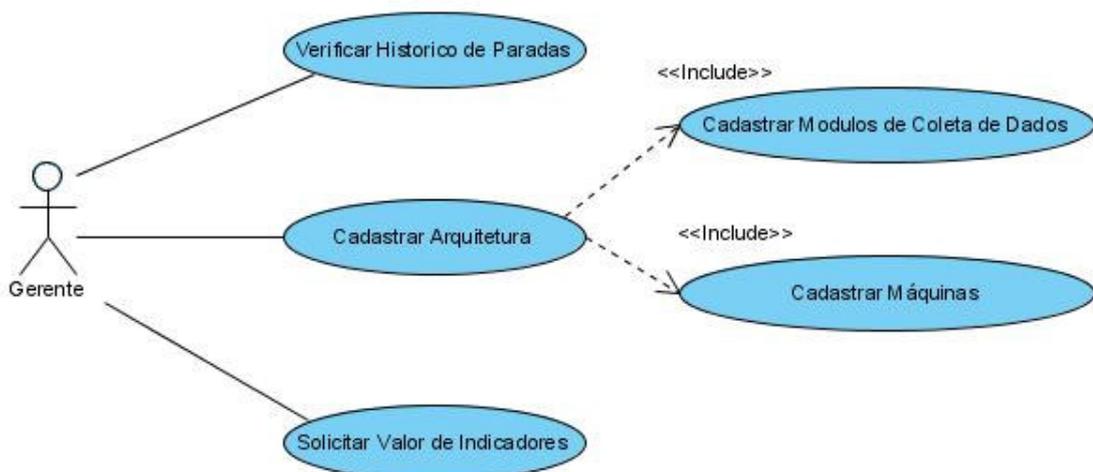


Figura 4.8: Diagrama de casos de uso para o gerente.

Para o gerente deverá estar disponível a funcionalidade de verificar histórico de paradas. Esta funcionalidade permite ao gerente fornecer uma data e hora de início, e uma data e hora de final para consulta, e o sistema deverá retornar um histórico de todas as paradas que ocorreram neste período, fornecendo informações de duração e motivo de paradas.

Outra funcionalidade importante é o cadastro da arquitetura do sistema. Este procedimento é essencial para o bom funcionamento do sistema, e cálculo correto dos indicadores. É aqui que o gerente deverá informar qual é a composição da planta, e qual é a relação entre os equipamentos de coleta de dados e os equipamentos que fazem parte do processo produtivo. Outra funcionalidade é permitir que o gerente calcule os indicadores de desempenho para períodos de tempo determinados por ele. Da mesma forma que se realiza a consulta de paradas, é possível a partir de uma data e horário inicial para consulta, e data e horário final para consulta, efetuar o cálculo dos indicadores de desempenho para aquele período solicitado.

Da mesma forma que o modelo de banco de dados proposto na subseção anterior, na implementação do sistema de informações para sistemas de manufatura reais, novas funcionalidades poderão ser adicionadas. Aqui foram mapeadas apenas as funcionalidades esperadas para que seja possível calcular os indicadores de desempenho, e manter informações referentes ao histórico de produção.

4.5 Equipamento para Aquisição de Dados

O equipamento para aquisição de dados consiste em um dispositivo que deve ser acoplado aos equipamentos do sistema, para que possam ser coletadas informações de maneira automática. As informações relevantes referem-se ao início do processo, bem como as paradas, tanto planejadas, quanto ocasionadas por falha no equipamento, falta de matéria prima, entre outras razões. O equipamento deve possuir também uma Interface Homem-Máquina (IHM), para permitir que as informações sobre motivo de parada possam ser cadastradas no sistema, nos casos em que não é possível detectar os motivos automaticamente.

O módulo de aquisição de dados deve ser ligado ao equipamento ou ao CLP que controla o equipamento, de maneira que seja possível obter os dados desejados, sem interferir em sua operação normal. Desta forma, a implantação do sistema pode ser realizada de maneira simples, sem alterações nos códigos dos programas que realizam as funções programadas para cada equipamento.

4.6 Resumo do Capítulo

Neste capítulo é apresentado um modelo geral para o sistema de informações fabril, bem como um modelo baseado em redes de Petri Colorida para o fluxo de informações. Também é apresentado os elementos da rede que modelam o processo normal de produção, os elementos que modelam as paradas, e os elementos que modelam o tratamento dos erros.

Posteriormente são apresentados modelos para o Banco de Dados necessários para armazenar as informações de chão de fábrica de maneira organizada. Também foi apresentado um modelo para o sistema monitor, baseado em diagramas de caso de uso, e uma breve descrição das funcionalidades do equipamento de aquisição de dados.

No próximo capítulo serão apresentadas as aplicações destes modelos em um ambiente simulado, interagindo com um sistema de manufatura.

Capítulo 5

Aplicação do Modelo a um Sistema de Manufatura

5.1 Ambiente Simulado

Para consolidar o modelo proposto para o FIS e também testar possíveis pontos de inconsistência, foi construído um ambiente de software com o objetivo de simular os equipamentos de aquisição de dados. Este ambiente é por pacotes de softwares. O CPN Tool, que é capaz de simular a rede de Petri colorida definida no processo de modelagem, e também o sistema monitor, utilizado para calcular os indicadores de desempenho OEE e TEEP.

A rede de petri colorida utilizada para a simulação segue o modelo proposto na figura 5.1, com a adição de lugares e ações de transição para controle do fluxo de informação. Pode-se observar ao lado esquerdo da figura 5.1 os lugares *IdleConnections* e *TCPConnection* e as transições *StartComm* e *StopComm*. Esta estrutura foi criada para possibilitar a conexão entre o CPN Tools e o *software* utilizado para monitorar as ações da rede e efetuar o cálculo do OEE. Devido à necessidade de se garantir que a operação da rede seria continuamente monitorada pelo software, esta estrutura foi colocada de forma a impedir a habilitação do início da produção, caso não seja possível estabelecer a conexão com o software monitor.

Um novo conjunto de cores, chamado *COMMRESOURE*, foi criado para representar o único canal de comunicação que deve ser utilizado pela rede. Uma ficha da cor *COMMRESOURE* no estado *IdleConnection* indica que o canal de comunicação esta disponível, possibilitando o início das comunicações.

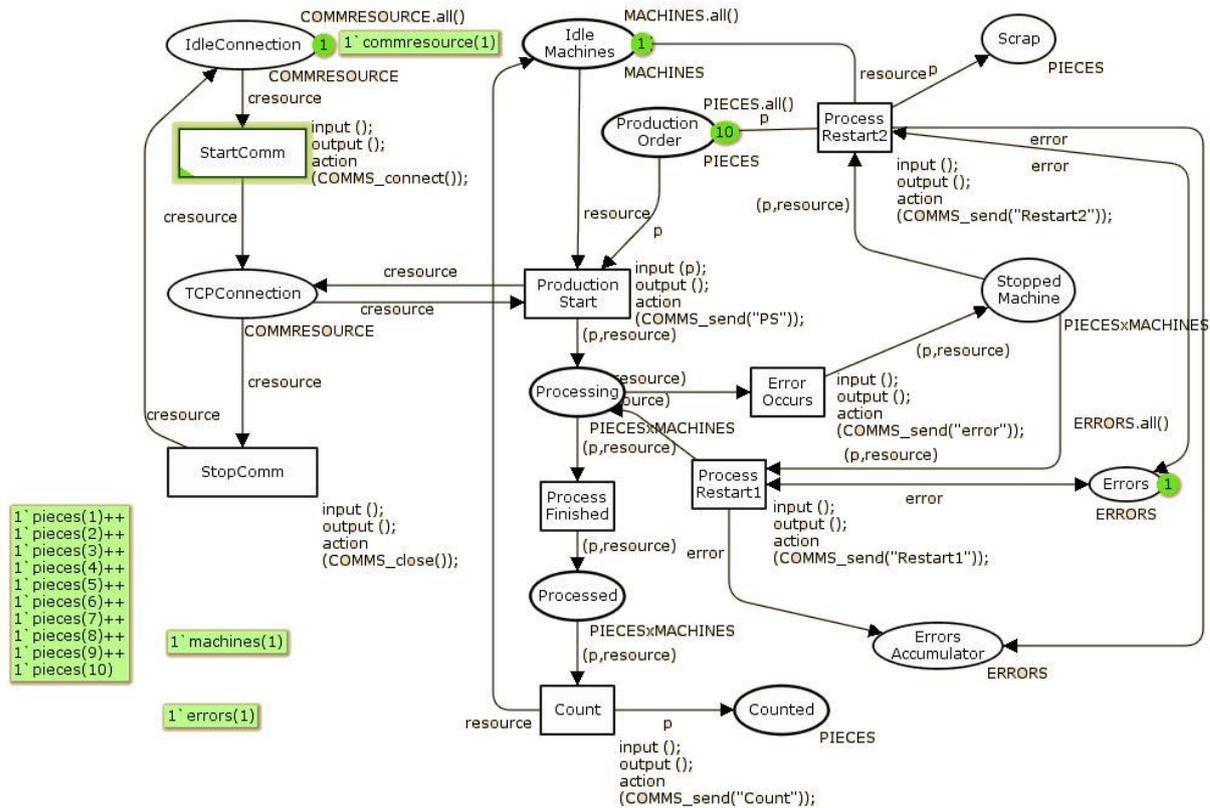


Figura 5.1 – Rede de Petri para Simulação

Na transição *StartComm* é possível observar a abertura da conexão através da interface *action*, que neste caso executa a função `COMMS_connect()`, quando a transição é disparada. Esta função por sua vez, chama a função da biblioteca de comunicação conforme a definição abaixo:

```
Fun COMMS_connect() = _
ConnManagementLayer.openConnection("Conn1", "localhost", 9100);
```

Esta definição colocada no bloco de declarações do modelo indica que toda vez que esta função é chamada, cria-se um canal de comunicação denominado *Conn1*, com o computador *localhost*, ou seja, o mesmo computador em que o modelo esta sendo simulado, utilizando a porta de número 9100 (este valor não precisa necessariamente ser 9100). A única restrição é que seja um número de porta que não esta sendo utilizado por outros aplicativos no computador e, também, que seja o mesmo utilizado no software monitor.

Para a simulação foi utilizado apenas um equipamento de produção, que deveria produzir peças com um tempo de ciclo fixo, estipulado em 4 segundos. Também foi criado um pequeno protocolo, com a definição das mensagens apresentada na tabela 5.1, com os respectivos significados para o software monitor.

Tabela 1 – Protocolo de Comunicação

Message	Significado
PS	Início da Produção
error	Ocorrência de Erro
Restart1	Maquina reparada sem perda da peça que estava sendo produzida
Restart2	Maquina reparada com perda da peça que estava sendo produzida
Count	Peça produzida com sucesso.

Estas mensagens são enviadas ao software monitor pela chamada da função `COMMS_send`, no disparo das transições *Production Start*, *Error Occurs*, *Process Restart1*, *Process Restart2* e *Count*, respectivamente. A função `COMMS_send` deve ser incluída no bloco de declarações do modelo, e apenas chama uma função da biblioteca de comunicação conforme é mostrado em sua definição abaixo:

```
fun COMMS_send(message) =
ConnManagementLayer.send("Conn1",message,stringEncode);
```

A definição representa que a função `COMMS_send` tem um único parâmetro, a mensagem, e esta mensagem é enviada por meio do canal de comunicação previamente aberto `Conn1`.

O aplicativo monitor foi desenvolvido de maneira simples, com o recebimento das mensagens sendo registrado em uma lista de eventos, e o OEE sendo calculado à medida que as mensagens vão sendo recebidas da rede. A interface do aplicativo pode ser observada na figura 5.2.

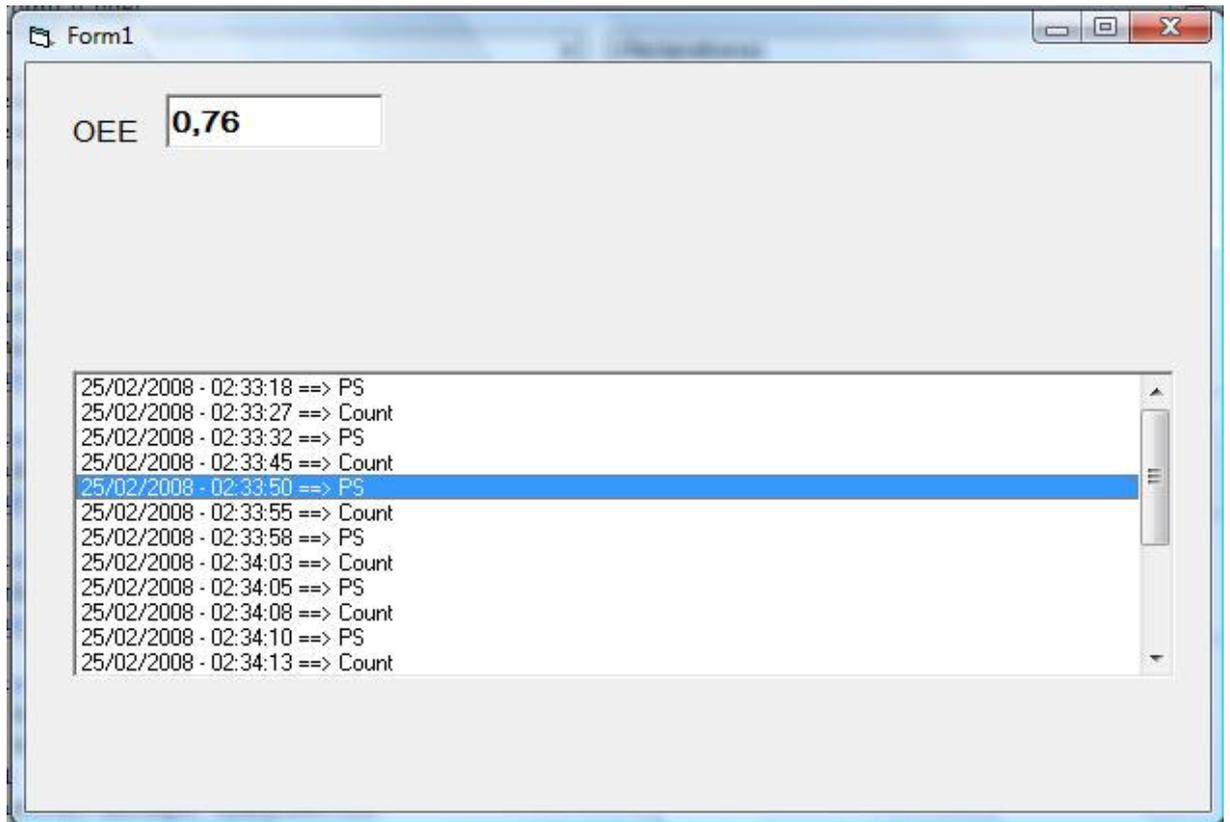


Figura 5.2 – Interface do Aplicativo Monitor

Pode-se observar que o software recebe as mensagens e registra a data e a hora para que seja possível calcular o OEE. Sua implementação segue o terceiro método de cálculo apresentado no capítulo 2, baseando-se apenas nas unidades boas produzidas e no tempo de ciclo teórico, que no caso foi definido para esta simulação em 4 segundos. Ao iniciar o programa, é disponibilizada a porta 9100 para conexão conforme mostrado no fragmento de código abaixo:

```
Private Sub Form_Load()  
    Winsock1.LocalPort = 9100
```

```

Winsock1.Protocol = sckTCPProtocol
Winsock1.Listen
TempoStart = Time
End Sub

```

Este fragmento disponibiliza a porta 9100 do computador local para o recebimento de conexões. A variável TempoStart recebe a data e hora para que seja possível calcular o OEE. A partir deste momento, a cada recebimento da mensagem *Count*, é contabilizada uma peça boa produzida e é calculado o OEE de acordo com o seguinte código:

```

Private Sub Winsock1_DataArrival(ByVal bytesTotal As Long)
Dim Data As String
Winsock1.GetData Data
If Mid(Data, 2) = "Count" Then
TempoFim = Time
BoasProduzidas = BoasProduzidas + 1
Text1.Text = Format((BoasProduzidas /
((Minute(TempoFim) * 60 + Second(TempoFim)) -
(Minute(TempoStart) * 60 + Second(TempoStart))) / TempoCiclo,
"0.##")
End If
List1.AddItem Format(Date, "DD/MM/YYYY") & " - " &
Format(Time, "hh:mm:ss") & " ==> " & Mid(Data, 2)
End Sub

```

A comparação com a string, a partir da segunda posição representada no bloco condicional do código (if), deve-se ao fato de o primeiro caractere da mensagem enviada pelo CPN representar o tamanho em bytes da mensagem transmitida. Por este motivo o primeiro caractere deve ser desconsiderado.

5.2 Experimento em um Laboratório de Manufatura

Para validação do modelo proposto, o experimento de construção de um sistema de informação de chão de fábrica para o Laboratório de Automação de Manufatura I (LAS I) da PUCPR, baseado no modelo proposto, foi planejado conforme a figura 5.3.

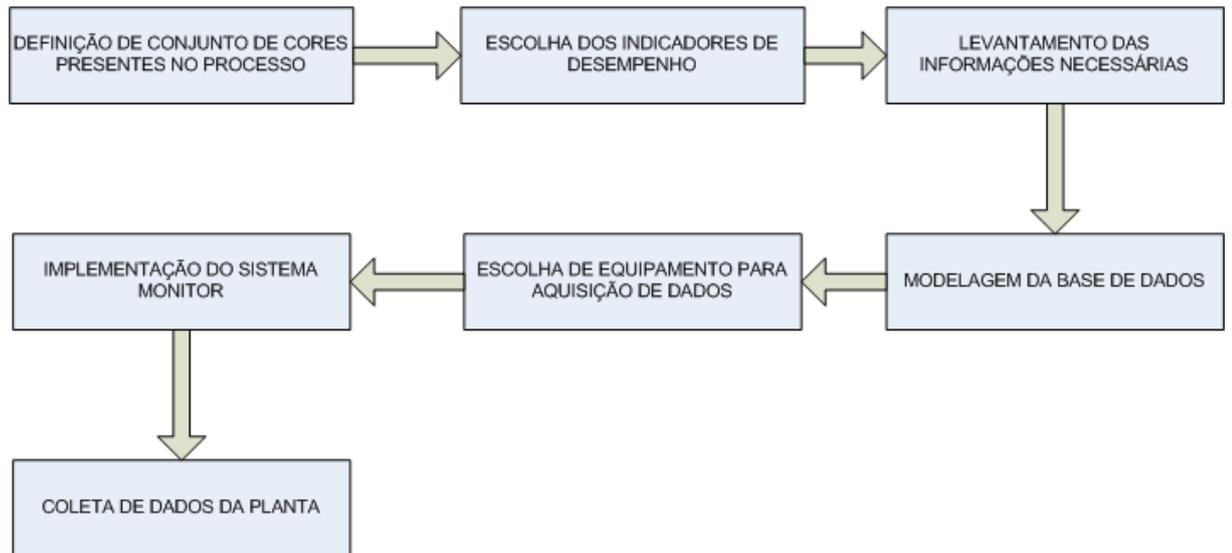


Figura 5.3: Metodologia para projeto do Sistema de informação.

É necessário inicialmente definir o conjunto de cores que deverá transitar pela rede de petri colorida, a partir do conhecimento da planta. Em seguida devem ser definidos quais indicadores de desempenho deseja-se analisar. Deve-se fazer um levantamento das informações necessárias para obtenção destes indicadores de desempenho, para que seja possível modelar a base de dados que irá armazená-los. Em seguida deve-se escolher um equipamento para aquisição dos dados das máquinas, o que no caso do experimento realizado no LAS I, implicou na construção de um Hardware de baixo custo. Finalmente deve-se modelar e implementar o sistema monitor, e então realizar as medidas na planta.

Conforme apresentado na figura 5.4, o Laboratório de Automação de Manufatura I da PUCPR é composto por uma estação de montagem, uma estação de solda, uma estação de torno CNC, uma estação centro de usinagem, e uma estação de montagem. Os *pallets* se movem por meio de um sistema de transporte que de uma estação para outra, possibilitando a produção de produtos na seqüência de estações desejadas, o que lhe dá a característica de uma de uma linha flexível de manufatura real.

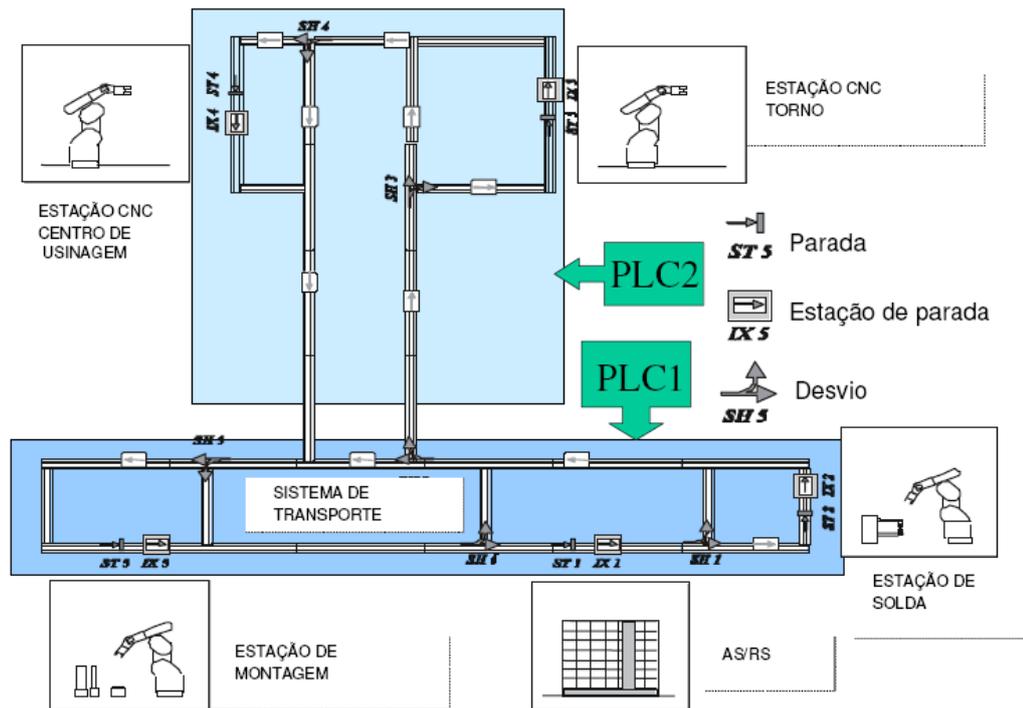


Figura 5.4: Estrutura do Laboratório de Automação de Manufatura I (LAS I)

Baseado na estrutura da planta, foram definidos os seguintes conjuntos de cores:

PIECES = {1-peça-tipo-1}

MACHINES = {1-Montagem, 2-Solda, 3-Torno, 4-Usinagem}

ERRORS = {1-parada-programada, 2-parada-não-programada}

O conjunto de cores é relativamente simples, mas suficiente para a realização do experimento. Em outros processos produtivos, pode-se especificar melhor os diversos tipos de parada que podem ocorrer, bem como os diversos tipos de máquinas que a planta possui, ou ainda, os diversos tipos de peça que ela pode produzir.

A figura 5.5 representa a rede de petri colorida, que modela o fluxo de informações para o experimento, com uma marcação inicial para produzir dez peças. Isso pode ser observado pela marcação inicial do estado *Production Order*, indicando 10 peças(1), o que significa que 10 peças do tipo 1 deverão ser produzidas.

No estado Idle Machines, pode-se observar a existência de uma máquina de cada tipo descrito na definição do conjunto de cores MACHINES, 1 máquinas(1), 1 máquinas(2), 1 máquinas(3), 1 Máquinas(4), que representam a existência de uma estação de Montagem, uma estação de Solda, um torno, e uma estação de usinagem, respectivamente.

A marcação inicial para o estado *Errors*, apresentada como 1`errors(1), 1`erros(2), indica que serão considerados apenas dois tipos de erros, ou paradas: paradas programadas, ou paradas do tipo 1, e paradas não programadas ou paradas tipo 2.

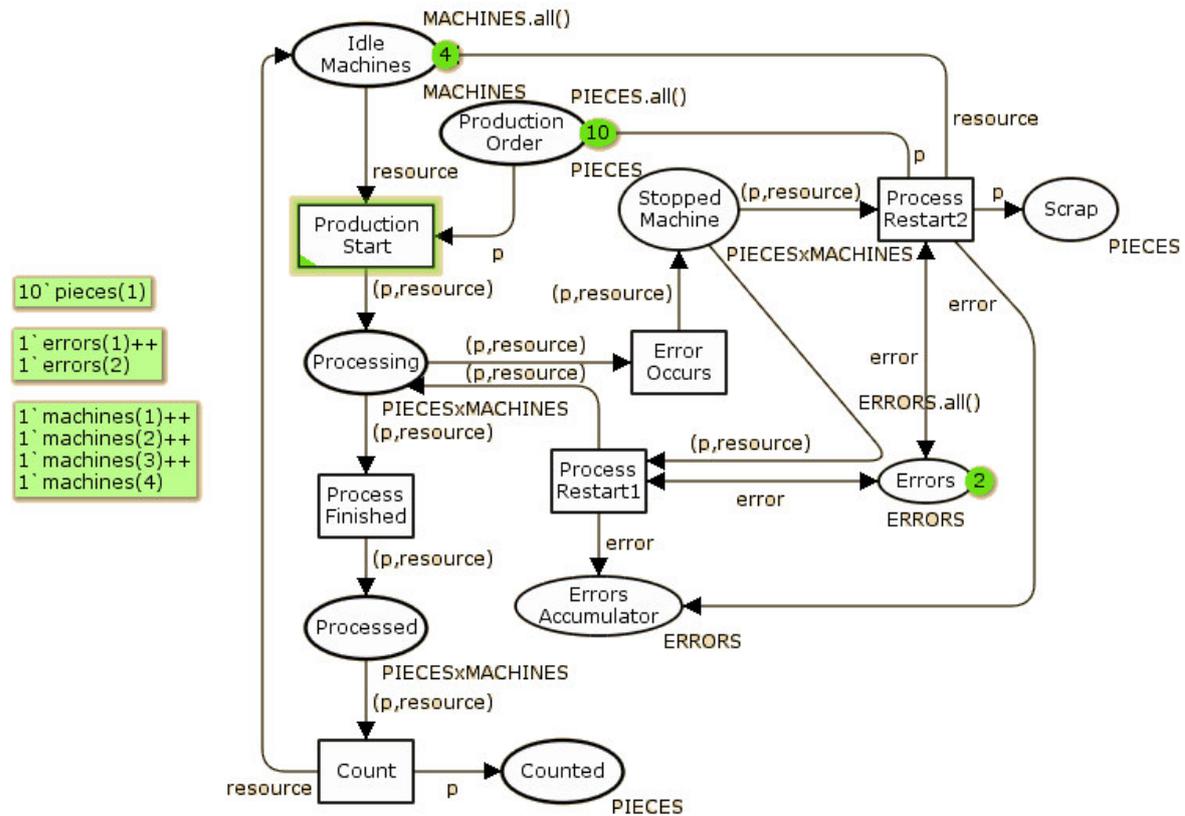


Figura 5.5: Representação da Rede para o LAS I.

Como indicadores de desempenho, foi definido que seriam analisados o OEE e o TEEP, descritos detalhadamente no Capítulo 2. Em seguida, foram selecionados os dados que deveriam ser monitorados, e as fontes de origem das informações deveriam ser coletadas, conforme a tabela 5.2. Esta tabela indica como possível fonte de dados uma interface homem-máquina, manipulada por um operador, representado na tabela simplesmente por IHM, ou então sensores de passagem localizados nos buffers de entrada e saída das máquinas, representados na tabela simplesmente por buffer E/S.

Eventos monitorados	Células – Laboratório de Automação e Sistemas I			
	Torno	Usinagem	Solda	Montagem

Tempo Excluído				
-Início do turno	IHM	IHM	IHM	IHM
-Manutenção (planejada)				
-Parada por falta de programação				
-Paradas contratuais				
-Reunião planejada e programada				
-Tempo de execução de teste	IHM	IHM	IHM	IHM
-Troca de operadores (planejada)				
-Troca para realização de teste				
Stop Time Operacional				
-Limpeza de máquina	IHM	IHM		IHM
-Limpeza de máquina e troca de ferramentas				
-Troca de ferramentas	IHM	IHM		IHM
-Troca de produto				
-Recebimento de documentação				
Stop Time Induzido				
-Esperando por matéria prima	BUFFER E/S	BUFFER E/S	BUFFER E/S	IHM
-Falta de informações				
-Falta de pessoal				
-Reuniões não planejadas	IHM	IHM	IHM	IHM
Downtime Técnica				
-Arranhões (equipamento)	IHM	IHM	IHM	IHM
-Contaminação (causada pelo equipamento)	IHM	IHM	IHM	IHM
-Dispositivos de indução	IHM	IHM	IHM	IHM
-Dispositivos de rotação (elétricos)	IHM	IHM	IHM	IHM
-Dispositivos de rotação (mecânicos)	IHM	IHM	IHM	IHM
-Dispositivos hidráulicos	IHM	IHM		
-Dispositivos ópticos	IHM	IHM		IHM
-Dispositivos pneumáticos	IHM	IHM	IHM	IHM
-Dispositivos térmicos	IHM			
-Erros de manutenção	IHM	IHM	IHM	IHM
-Falha de componentes eletrônicos	IHM	IHM	IHM	IHM
-Falha de comunicação	IHM	IHM	IHM	IHM
-IHM	IHM	IHM	IHM	IHM
-Iluminação	IHM	IHM	IHM	IHM
-Limpeza de sujeira (equipamento)	IHM	IHM	IHM	IHM
-Quebra de ferramenta	IHM	IHM	IHM	IHM
-Testes devido a incidentes causados por equipamentos	IHM	IHM	IHM	IHM
Downtime Operacional				
-Acidente com operador	IHM	IHM	IHM	IHM

-Operação fora das especificações	IHM	IHM	IHM	IHM
-Operador utilizou matéria prima errada	IHM	IHM	IHM	IHM
Downtime Qualidade				
-Limpeza devido ao produto	IHM	IHM		IHM
-Matéria prima empenada	IHM	IHM	IHM	IHM
-Matéria-prima fora das especificações	IHM	IHM	IHM	IHM
-Problemas de controle do processo	IHM	IHM	IHM	IHM
-Testando produto (qualidade)				
-Testes não planejados	IHM	IHM	IHM	IHM
Tempo Total				
-Tempo de calendário	Banco de Dados	Banco de Dados	Banco de Dados	Banco de Dados
Tempo de Ciclo				
-Tempo de ciclo ideal	Banco de Dados	Banco de Dados	Banco de Dados	Banco de Dados
-Tempo de ciclo real	IHM	IHM	BUFFER E/S	IHM
Taxa de Qualidade				
-Total de unidades produzidas (volume real produzido)	PROFIBUS FMS	PROFIBUS FMS	BUFFER E/S	PROFIBUS DP
-Unidades boas produzidas	IHM	IHM	IHM	IHM

Tabela 5.1: Origem dos dados dos eventos monitorados

5.3 Modelagem do Banco de Dados e Escolha do Sistema Gerenciador

Atendendo os requisitos de modelagem para o FIS, foram analisados entre os sistemas gerenciadores de bases de dados de licença livre, o MySQL (PRATT e LAST, 2005), PostgreSQL (KORRY, 2005), Oracle (URMAN et al., 2004) e o Firebird (BORRIE, 2004), dentre os quais foram selecionados dois para um comparativo entre as suas características principais, o MySQL e o PostgreSQL.

O MySQL é um dos sistemas de gerenciamento de banco de dados mais populares entre os sistemas existentes, por ser otimizado para aplicações Web, é amplamente utilizado na internet (PRATT e LAST, 2005). É muito comum encontrar serviços de hospedagem de sites que o oferecem juntamente com a linguagem PHP, justamente porque ambos trabalham muito bem em conjunto. Outro fator que ajuda na popularidade do MySQL é sua disponibilidade para praticamente qualquer sistema operacional, como Linux, FreeBSD, Windows e Mac OS X. Entre as características técnicas do SGBD MySQL, estão: alta

compatibilidade com linguagens como PHP e C/C++, baixa exigência de processamento, em comparação como outros Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados (SGBD), vários sistemas de armazenamento de dados, como MyISAM e InnoDB e recursos como transações, conectividade segura, indexação de campos de texto (PRATT e LAST, 2005).

O MySQL é focado na agilidade: se uma aplicação necessita de retornos rápidos e não envolve operações complexas, o MySQL é otimizado para proporcionar processamento rápido dos dados e tempo curto de resposta sem exigir muito do hardware. O PostgreSQL é um banco de dados relacional e orientado a objetos. Um de seus atrativos é possuir recursos comuns a banco de dados de grande porte, o que o deixa apto a trabalhar com operações de missão crítica. Entre suas características, estão: compatibilidade multi-plataforma, ou seja, executa em vários sistemas operacionais, como Windows, Mac OS X, Linux e outras variantes de Unix, compatibilidade com várias linguagens, entre elas, Java, PHP e C/C++, base de dados de tamanho ilimitado, tabelas com tamanho de até 32 TB, quantidade de linhas de até 1.6 TB ilimitada e campos de até 1 GB (PRATT e LAST, 2005) .

O PostgreSQL é otimizado para aplicações complexas, as quais envolvem grandes volumes de dados ou que tratam de informações críticas. Assim, para um sistema de comércio eletrônico de porte médio/alto, por exemplo, o PostGreSQL é mais interessante por ser capaz de lidar de maneira satisfatória com o volume de dados gerado pelas operações de consulta e venda.

Por exigir menos hardware, disponibilizar retornos rápidos e ser compatível com a grande maioria das linguagens de programação, e também em função da aplicação não requerer grande complexidade computacional para execução de cálculo e relacionamento entre as tabelas, o MySQL foi o SGBD escolhido para gerenciar a base de dados e interagir com a aplicação.

A partir dos estudos de sistemas de manufatura e dos indicadores de desempenho descritos no capítulo 2, foi realizado um levantamento de dados e posterior elaboração de estrutura de tabelas necessária para armazenar as informações de maneira organizada. Foi utilizado um modelo entidade-relacionamento, conforme apresentado na figura 5.6.

O Modelo Entidade-Relacionamento (MER) mostrado na figura 5.6 mostra a seguinte hierarquia de layout: uma planta pode conter varias linhas de produção, estas podem apresentar vários sistemas e células de manufatura, os quais podem ser formados por várias máquinas, as quais também poderiam estar diretamente ligadas às linhas de produção. Os

eventos gerados pelas unidades produtivas estão distribuídos nas três tabelas de armazenamento: “Paradas”, ”TempoCiclo” e ”Unidades”, as quais correspondem respectivamente às classes parada, ciclo de máquina e unidades produzidas, descritas anteriormente. A tabela “Aparelho” representa o módulo responsável pela aquisição destes eventos, o qual está ligado pode ser ligado através de uma relação de muitas para muitas, m:n, à tabela “Maquinas”. Conforme o modelo, todas as plantas estão ligadas, por uma relação m:n, à tabela “Período”, a qual é responsável pelo armazenamento das informações necessárias para o cálculo do Tempo Total.

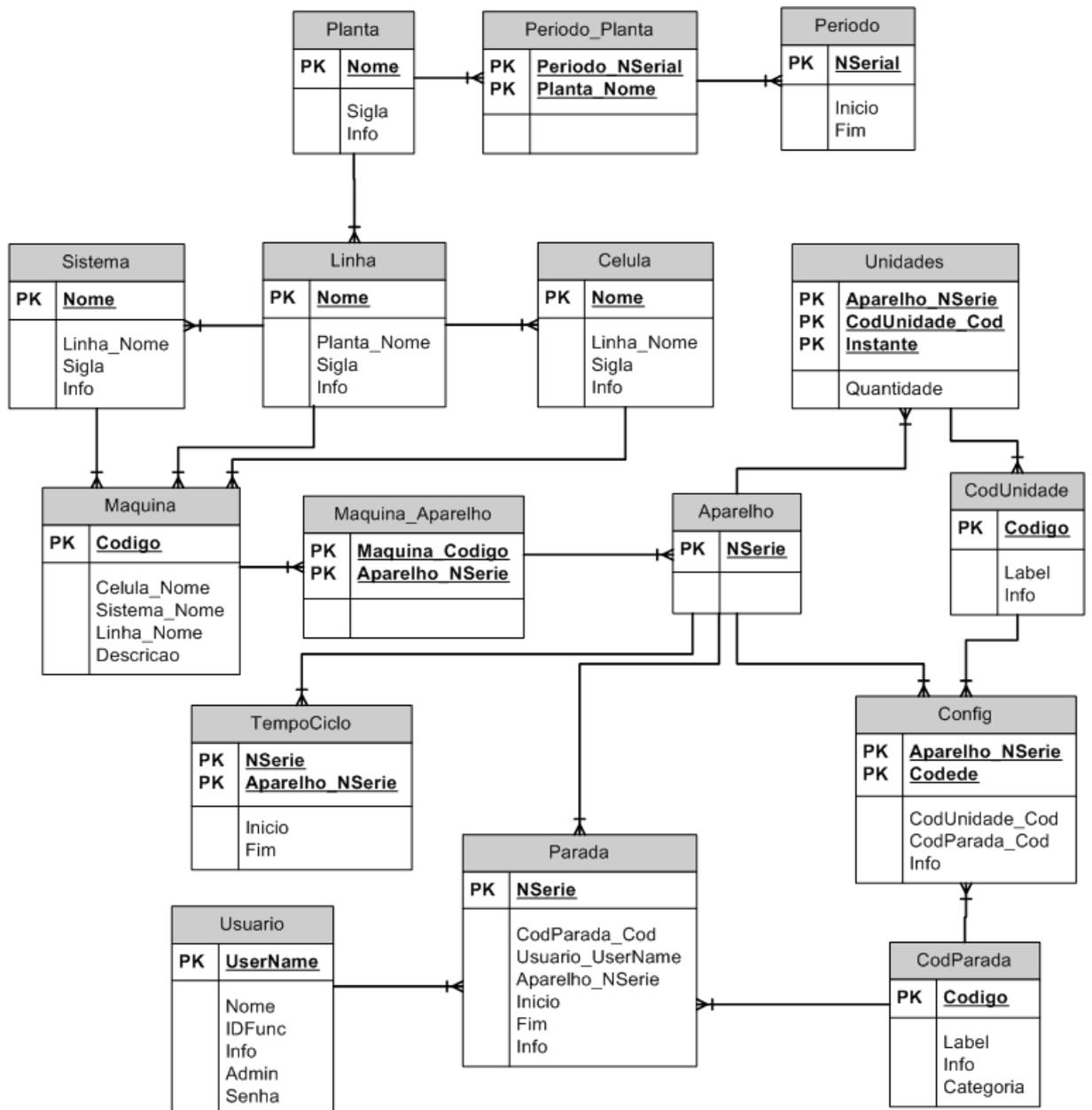


Figura 5.6: Modelo Entidade Relacionamento do Banco de Dados (SCHAUENBURG, 2007).

5.4 Equipamento para Aquisição de Dados

O Equipamento para Aquisição de Dados é responsável por coletar os dados de máquinas e equipamentos envolvidos no processo. O módulo de aquisição de dados de baixo custo possui a finalidade de monitorar os parâmetros de operação de um equipamento e armazenar as informações referentes ao processo em um sistema de banco de dados (PIEREZAN e SCHAUBURG, 2007). As tarefas do módulo foram separadas como se segue:

Monitoramento paralelo: o módulo é composto por uma interface do tipo barramento com 8 pinos em paralelo para o monitoramento sinais em controladores que operam na faixa de 12 a 30V. São oito cabos de 2 metros para conexão. A verificação é feita ciclicamente em intervalos de mili-segundos e os valores lidos são comparados com valores tabelados cadastrados pelo sistema FIS. Estes valores podem representar códigos de erro ou operações incorretas e são informações da paradas coletadas automaticamente.

Ligação com parada de emergência: existe uma ligação que pode ser feita em paralelo à parada de emergência de uma máquina para coletar automaticamente o dado de parada.

Ligação de contadores: existem duas ligações para sensores com contadores internos. São utilizados para coletar informações de produção como o número de peças produzidas e o número de peças descartadas.

Ligação de fonte: ligação feita em paralelo com a fonte do controlador para coletar automaticamente informações de paradas em função de quedas de energia.

Todas as ligações externas operam em faixas de tensão de 12 a 30 V.

Parada Manual: o botão de parada manual deve ser acionado quando ocorre uma parada no equipamento que está sendo monitorado e não existe a possibilidade de verificar automaticamente o estado de parada. Em seguida, é imputado o código de parada.

IHM: a IHM é constituída de um *display* de cristal líquido e cinco botões (unidade, dezena, centena, OK e CANCELAR). É através da IHM que são imputados pelo operador os códigos de identificação e de paradas manuais. É através da IHM que o operador informa o

retorno de operação normal da máquina. No *display* é possível visualizar todas as informações necessárias para a operação do módulo.

Reset e Master Reset: o *reset* é o próprio dispositivo de reinicialização do microcontrolador e deve ser utilizado quando, por algum motivo, existe interrupção no funcionamento do mesmo. O *master reset* constitui no apagamento de todos os dados do módulo e reinicialização com o sistema. É necessário recadastrar o módulo e retransmitir as tabelas de dados.

Comunicação PC: a comunicação com o sistema FIS é realizada automaticamente através do barramento serial protocolo RS-232.

Alimentação: a alimentação do dispositivo é em tensão de 110V / 60Hz da rede elétrica. O módulo possui retificador de onda completo com regulador de tensão interno para ponto de operação dos circuitos integrados.

A programação do módulo está construída na seguinte base: uma vez ligado ao equipamento e ao sistema FIS, deve-se realizar o cadastramento do módulo, através de seu número serial. A seguir é estabelecida uma rotina de inicialização na qual são informados ao módulo, através do sistema FIS, os códigos de desbloqueio de operador e tabela de dados a serem monitorados no barramento paralelo. Uma vez concluída a operação a IHM fornece a mensagem de *standby* e aguarda a confirmação de início de operação.

A operação normal do módulo constitui no monitoramento do barramento paralelo, dos contadores e da fonte de energia. Qualquer parada relativa a este ciclo é coletada automaticamente, informada através da IHM e comunicada ao sistema FIS. Após o retorno de operação normal da máquina, é necessário que o operador inute o código de desbloqueio previamente definido.

Parada de interrupção de emergência sofre o mesmo tratamento das anteriores. No entanto, se ocorrida uma parada manual, é necessário o pressionamento do botão de Parada Manual e em seguida entrada do código de parada pelo operador através da IHM. O retorno à operação normal é realizado da mesma forma que as anteriores.

Mensagens são mostradas na IHM de forma a conduzir em todas as etapas o operador para a correta operação do módulo.

A comunicação com o sistema FIS é realizada segundo um sistema rotativo. O *software* verifica periodicamente cada módulo. Uma vez requisitado o estado do módulo, caso

este seja de operação normal a seqüência é continuada, caso contrário é estabelecida a comunicação entre o sistema e o módulo em questão. Durante esta janela de comunicação são informadas as paradas e códigos de forma a armazenar corretamente as informações no banco de dados. É permitido o sistema requisitar, a qualquer momento, a contagem dos contadores de um módulo.

5.5 Sistema Monitor

O sistema monitor é responsável pelo cálculo dos índices de desempenho e apresentação dos dados ao usuário final. Os cálculos são realizados por meio da interação com a base de dados via SGBD. O sistema monitor também pode transmitir informações para os sistemas administrativos, de gestão e supervisorio, recepção de dados enviados por um módulo de aquisição, interação com a base de dados, no caso via SGBD, cálculo de índices de desempenho e apresentação dos dados ao usuário final.

Com uma visão geral do sistema, foi criado um diagrama de caso e uso que representa as possíveis interações dos atores com a tecnologia a ser criada, como pode ser visualizado nas figuras 5.7, 5.8 e 5.9. Os usuários do sistema são os funcionários de uma planta de produção, neste sistema, o operador, que faria a entrada dos eventos, o gerente de produção responsável pelo monitoramento do sistema e solicitação dos índices a serem gerados, e o administrador, o qual controlaria o acesso dos outros dois a funcionalidades restritas.

Uma vez definida a arquitetura do sistema FIS, utilizou-se dos diagramas de Caso de Uso para identificar as interações que o sistema irá permitir com os diversos atuantes. Foram definidas as seguintes prioridades de acesso ao sistema: operador, gerente e administrador.

O sistema oferece as seguintes possibilidades: o acionamento do módulo por parte do operador, a identificação do operador através de um código, a identificação de paradas de máquina não planejadas segundo os indicadores de desempenho estabelecidos, também através de códigos, e a identificação de retorno de operação normal da máquina.

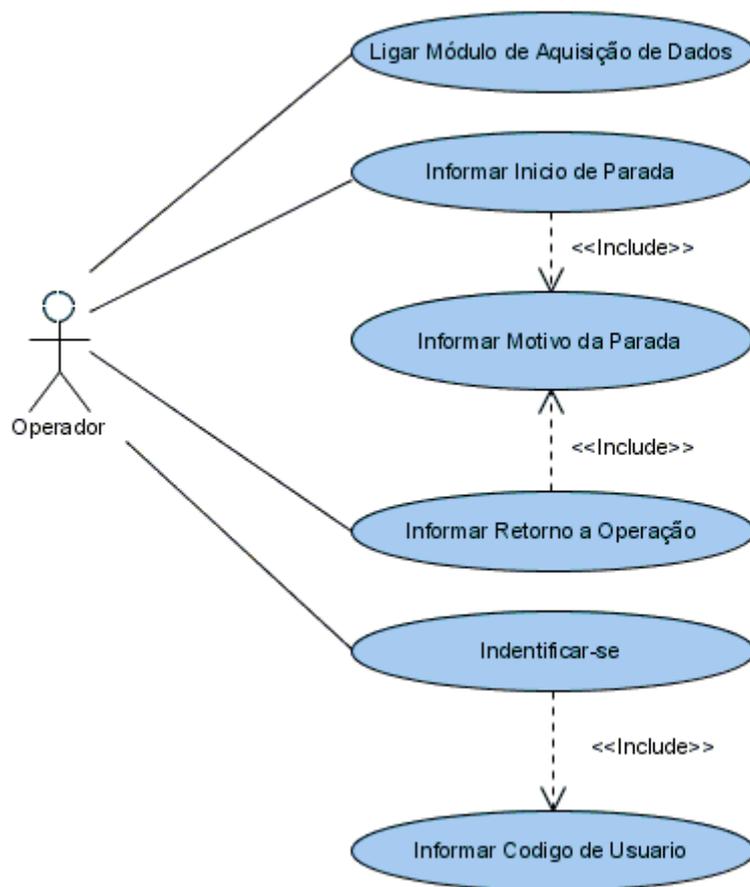


Figura 5.7: Diagrama de Casos de uso para o Operador

O agente operador é o principal atuante no contexto deste projeto de desenvolvimento do módulo de aquisição de dados.

A prioridade de acesso de gerente possibilita a interação, através do *software* de sistema de gestão e do sistema de visualização, para realizar as seguintes operações: visualização dos indicadores de desempenho, histórico de paradas e leitura dos índices segundo tempo e local determinado; é também responsável pelo cadastramento da arquitetura do FIS, etapa decisiva na formação do banco de dados, e cadastramento dos dados a serem filtrados pelo módulo (etapa melhor esclarecida em seqüência). A figura 5.8 apresenta o diagrama de Caso de Uso para o gerente.

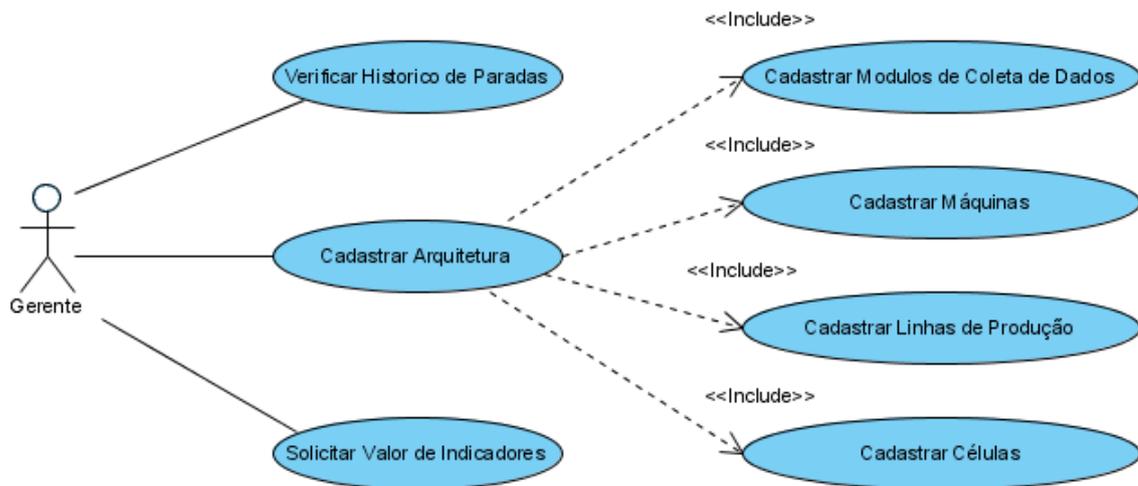


Figura 5.8: Diagrama de Casos de uso do Gerente

O administrador foi concebido como prioridade de controle do sistema FIS, podendo ser ou não admitida à mesma pessoa com prioridade de gerente, conforme mostra a figura 5.9 Cabe ao administrador cadastrar usuários no sistema (administradores, gerentes e operadores) e corrigir qualquer eventual falha na base de dados. O acesso do administrador é realizado pelo sistema de administração.

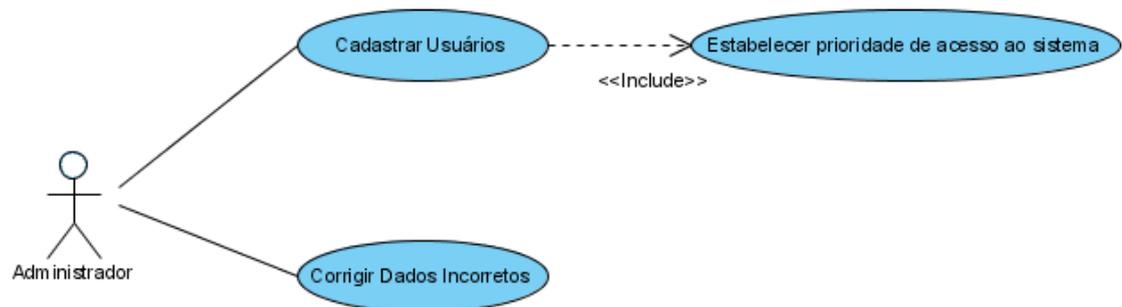


Figura 5.9: Diagramas de caso de Uso para o Administrador

O sistema foi ainda concebido para comunicação com sistemas de gestão e sistemas de supervisão já existentes. Oferecendo uma maior acuidade das informações e interatividade.

A definição da arquitetura e interações do sistema permitiu o desenvolvimento de um diagrama de classes inicial para implementação do *software* do sistema FIS . Neste diagrama, estabelecem-se os fundamentos para a programação do sistema. Optou-se por abstrair o

módulo de aquisição de dados como uma classe para a melhor visualização e compreensão das interações do próprio sistema. Fato permitido pelo uso livre da linguagem UML. No entanto, é válido lembrar que o módulo é um sistema físico e estão representadas apenas as suas funcionalidades.

O processo de desenvolvimento de um sistema orientado a objetos é interativo e estes são apenas primeiros modelos que podem e provavelmente irão sofrer evoluções no decorrer do desenvolvimento do sistema.

Com as informações obtidas nas modelagens anteriores, foi desenvolvido um aplicativo com a linguagem de programação C++, capaz de interagir com o MySQL através de um driver de conexão ODBC, e com o usuário através de uma interface gráfica para ambiente Windows, a tela em que os cálculos dos índices e indicadores são mostrados pode ser vista na 5.10 . O software ocupa 1,08MB de memória de programa, é compatível com o MySQL 4.0 ou superior e pode rodar com um processador 386 ou superior.

The screenshot shows the PIBIC - FIS software interface. The window title is "PIBIC - FIS | User_pierezan". The interface includes a menu bar with "Usuário", "Config", and "Logoff". Below the menu bar are tabs: "Pesquisar", "Cadastrar Máquina", "Alterar Parada", "QEE / TEEP", and "Parada/Unidades/Ciclo".

The "Pesquisar" tab is active, showing search filters for "Período" (Start: 8/8/2007, End: 8/8/2007, Time: 00:00:00 to 23:59:59), "Local" (Aparelho), and "Especificação" (1). A "Calcular" button is present.

The "Resultado" section displays a table of indicators and their values:

Indicador	Tempo
DO	20
DQ	23
DT	28
STI	57
STO	20
TE	56
Total de Unidades	84
Unidades Boas	80
Ciclo Teórico	10
Ciclo Real	21,4444
Tempo Total	9011

Below the table, the OEE and TEEP values are displayed: **OEE= 44,60%** and **TEEP= 44,32%**.

The bottom section shows system status messages and a "Modo de Aquisição ATIVO" indicator with a "Parar" button.

Figure 5.10:Interface do Sistema Monitor (PIEREZAN, 2007)

Com o software é possível criar automaticamente a base de dados descrita no MER da figura 5.6, registrar o início e o fim de eventos ocorridos nas unidades produtivas, configurar os eventos que serão registrados, cadastrar novos usuários assim como as suas restrições, registrar os períodos de monitoramento, solicitar os cálculos dos índices e indicadores de um determinado período e de um determinado local, e editar as informações armazenadas caso elas sejam feitas de forma incorreta.

Capítulo 6

Conclusão e Trabalhos futuros

Com o desenvolvimento deste trabalho, pode-se concluir que os FIS são fundamentais na identificação de problemas existentes nos sistemas de manufatura. A implantação deste tipo de sistemas permite que as pessoas envolvidas no processo conheçam melhor as características da planta, possibilitando uma melhor previsibilidade quanto aos tempos de produção e possíveis falhas. As ferramentas computacionais e tecnologias existentes atualmente possibilitam a coleta de informações o cálculo de indicadores de desempenho praticamente em tempo Real. Isto é um ponto de apoio muito importante no processo de tomada de decisão de uma empresa de manufatura.

A utilização das Redes de Petri coloridas possibilita a construção de um modelo que pode ser compreendido de maneira intuitiva, mas que ao mesmo tempo, devido ao formalismo existe por trás da teoria de Redes de Petri colorida, faz com que o modelo possa ser aceito no meio científico. A ferramenta utilizada propicia, também, uma fácil inserção de novos elementos ao modelo, como a inclusão de novos tipos de peças, novos tipos de erros para monitoramento, ou ainda novos tipos de peças a serem produzidos.

Os modelos propostos têm por objetivo, fornecer as informações necessárias para implementação de um FIS básico, conforme apresentado no capítulo 4, e depois comprovado no capítulo 5. Em casos de implementação real, o modelo deverá ser expandido, para que além das características de cálculo dos indicadores de desempenho, e armazenamento do histórico de produção, possam ser adicionadas funcionalidades que compatibilizem o sistema com o ambiente de produção que os usuários do sistema estão acostumados.

Por meio dos experimentos realizados no Laboratório de Automação de Manufatura I da PUCPR, foi possível comprovar que o modelo apresentado neste trabalho atende o objetivo de armazenar as informação de chão de fábrica e traduzir estas informações em índices de desempenho, possibilitando a comparação entre diversos períodos produtivos e também a

comparação entre tipos diferenciados de equipamentos. Por meio de uma análise mais detalhada seria possível encontrar os pontos onde melhorias poderiam ser implementadas, possibilitando um aumento de eficiência do sistema.

Como sugestão de futuros trabalhos, deve-se considerar a integração do modelo proposto com os diversos pacotes de software que fazem parte do processo produtivo, considerando as opções disponíveis no mercado. A ampliação do modelo considerando linhas flexíveis de manufatura, e desta forma inserindo informações sobre as rotas de produção de cada produto.

Com o objetivo de analisar os processos de manutenção de equipamentos, seria adequado sugerir como trabalho futuro uma melhoria no sistema monitor, possibilitando o cálculo de outros indicadores, como o tempo médio entre falhas, e o tempo médio para reparo, preferencialmente com diferenciação pelo tipo de falha armazenada no sistema.

Finalmente integrando a área de manufatura com a área de gestão sugere-se a implementação de rotinas capazes de identificar automaticamente os problemas encontrados a partir da arquitetura cadastrada no sistema monitor, e dos dados coletados em cada equipamento. Desta forma seria possível otimizar as rotas de produção de acordo com a menor possibilidade de ocorrência de falhas dos equipamentos, propiciando uma produção mais eficiente.

Referências Bibliográficas

BOOCH, G.; “*UML – Guia do Usuário*”, Campus, 2000.

BORRIE, H. “*The Firebird Book: A reference for database developers*”, Apres, 2004.

CAETANO, A.G.L.S.; MEIRELES, G.S.C.; OLIVEIRA, J.F.G; LEÃO E SOUZA, G.W. “*Informação de chão de fábrica num ambiente de manufatura integrada*”, Congresso e exposição internacional da tecnologia da mobilidade (SAE Brasil), SAE Technical Paper Series, 1999.

CARDOSO, J. VALETTE, R. “*Redes de Petri*” Serie Didática Universidade Federal de Santa Catarina, Florianopolis, 1997.

CHAKRAVARTHY, G.R.; KELLER, P.N.; WHEELER, B.R.; OSS, S.V. “*A Methodology for Measuring, Reporting, Navigations and Analyzing Overall Equipment Productivity (OEP)*”, IEEE Advanced Semiconductor Manufacturing Conference pp 303-312, June 2007.

DE RON, A.J.; RONDA, J.E. “*Equipment Effectiveness: OEE Revisited*”, IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing Vol 18 No 1, pp 190-196, February 2005.

DICESARE, F.; HARHALAKIS, G.; PROTH, J.M.; SILVA, M.; VERNADAT, F.B. “*Practice of Petri Nets in Manufacturing*”, First Edition, Chapman & Hall, 1993.

FAVARETTO, F. “*Uma contribuição ao processo de gestão da produção pelo uso da coleta automática de dados de chão de fábrica*”. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo. 2001.

FURLAN, J.D. “*Modelagem de objetos através da UML*”, São Paulo, Makron Books, 1998.

FUZION. “*Introdução a Orientação a Objetos*”, Rio de Janeiro, e-book, CD-ROM, 1999.

FUZION. “*Metodologia Vincer*”, Rio de Janeiro, e-book CD-ROM, 1999.

- FUZION. “*Unified Modeling Language*”, Rio de Janeiro, e-book CD-ROM, 1999.
- GABOURY, P.; KILLEEN, D.; PACCARD, D. “*Managing, measuring and improving equipment capacity and overall equipment efficiency (OEE) using iPlus.*”, IEEE Semiconductor Manufacturing Symposium Preceding, pp 25-28, October, 2001.
- HADAVI, K.C. “*Delivering on-time performance: what’s wrong with planning and scheduling systems*”, APICS Magazine TPA, Vol. 7 No 3, March, 1997.
- HANSEN, R.C. “*Overall Equipment Efficiency (OEE) using iPlus.*”, First Edition, Industrial Press Inc, January, 2002.
- JACOBSON, I.; CHRISTERSON, M.; JONSSON, P. et al. “*Object-Oriented Software Engineering: A Use Case Driven Approach*”, Addison-Wesley, 1996.
- JEMIELNIAK, K; “*Commercial tool condition monitoring system.*”. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, No 15, pp 711-721, 1999.
- JENSEN, K. “*Coloured Petri Nets : Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use*”. 1st EARCS Monographs on Theoretical Computer Science, Springer. 1992.
- KORRY, D. “*PostgreSQL*”, Second Edition, Sams, 2005.
- KURSTEDT, H.A.; “*Management Systems Theory, Applications and Design*”, Blacksburg, 2000.
- LINDAU, R.A.; KANFLO, T.; LUMSDEN, K. “*Impact of real-time information for scheduling a car-body shop – a simulation study*”. International Journal of Operations & Operations Management, Vol. 14, No. 3, pp 114-125. 1994.
- MARTIN, J.; ODELL, J.J. “*Object-Oriented Analysis and Design*”, Prentice-Hall Inc, 1992.
- MARTINS, P.G.; LAUGENI, F.P. “*Administração da Produção*”, Editora Saraiva, São Paulo, 1998.
- MARTINS, R.A.; COSTA NETO, P.L.O. “*Indicadores de desempenho para a gestão pela qualidade total: uma proposta de sistematização.*”, Gestão & Produção, Vol. 5 No 3, pp 298-311, Dezembro, 1998.

- MATTIAZZI, L.D. “*Orientação a Objetos e a UML: Finalmente um Rumo a Seguir*”, Developer’s Magazine, Rio de Janeiro ano III, No 26, p26-29, Julho, 1998.
- MILNER, R.; TOFTE, M.; HARPER, R.; MACQUEEN, D. “*The Definition of Standard ML*”, The MIT Press, 1997.
- NAKAJIMA, S. “*Introduction to Total Productive Maintenance*”, Productivity Press, Cambridge, MS, 1988.
- PALVIA, P.C; BASU, S.C. “*Information systems management issues: reporting and relevance*”, Decision Science, Vol. 30 No 1, Winter pp 273-290, 1996.
- PETRI C.A “*Communication with automata*” Tech report n, RAD-TR-65-377. Versão Inglesa.1996.
- PIEREZAN, R. “*Modelos de Banco de Dados para Sistemas de Chão de Fábrica*”, Relatório do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica, Agosto, 2007.
- POMORSKI, T. “*Managing Overall Equipment Efficiency.*”, IEEE Semiconductor Manufacturing Conference Preceding, pp A30-A36, October, 1997.
- PORTER, J.K.; JARVIS, P; LITTLE, D.; LAAKMANN, J; HANNEN, C.; SCHOTTEN, M. “*Production Planning and control systems developments in Germany*”, International Journal of Operations in Production Management, Vol. 15, No 1, pp27-39, 1996.
- PORTER, K.; LITTLE, D.; PECK, M.; ROLLINS, R. “*Manufacturing classifications: relationships with production control systems*”, Integrated Manufacturing Systems, Vol. 10 No 4, pp 189-198, 1999.
- PRATT, P.J.; LAST, M.Z. “*A Guide to MySQL*”, Course Technology, First Edition, 2005.
- ROLSTADAS, A. “*Enterprise performance measurement*”. International Journal of Operations & Production Management, Vol. 8 No 9/10, pp 989-999, 1998.
- RUMBAUGH, J.; BLAHA, M., PREMERLANI et al.. “*Modelagem e projetos baseados em objetos*”, Rio de Janeiro, Editora Campus, 1994.

- SCHAUENBURG, F.F. “*Implementação de Modelos Teóricos em Hardware de Baixo Custo*”, Relatório do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica, Agosto, 2007.
- SHEU, D.D. “*Overall Input Efficiency and Total Equipment Efficiency.*”, IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, Vol. 19 Issue 4, pp 496-501, November, 2006.
- SILBERSCHATZ,A.; KORTH, H.F.; SUDARSHAN,S. “*Sistema de Banco de Dados*”, Makron Books, 3ª Edição, 1999.
- SOUZA, F. B.; PIRES, S.R.I. “*Análise e proposições sobre balanceamento e uso de excesso de capacidade em recursos produtivos*”, Gestão & Produção, Vol. 6 No 2, pp 111-126, 1999.
- SOUZA, G.W.L.; CARPINETTI, L.C.R.; GROESBECK, R.L.; AKEN, E.V. “*Conceptual design of performance measurement and management systems using a structured engineering approach*”, International Journal of Productivity and Performance Management, Vol 54. No 5/6 pp 385- 399, 2005.
- URMAN,S.; HARDMAN R.; MCLAUGHLIN, M. “*Oracle Database 10g PL/SQL Programming*”, McGraw-Hill, 2004.
- VOLLMANN,T. E.; BERRY, W.L.; WHYBARK, D.C. “*Integrated production and inventory management*”, Business One Irwin, 1993.
- WALKER, K.B. “*Corporate performance reporting revisited – balanced scorecard and dynamic management reporting*”, Industrial Management & Data Systems, Vol. 96 No 3, pp 24-30, 1996.