

INTEGRAÇÃO DE UMA FERRAMENTA CACSD A UM SISTEMA ERP NO DESENVOLVIMENTO DE CONTROLADORES

MARCO A. BUSETTI, EDUARDO R. LOURES

Pós-Graduação em Informática Aplicada, Laboratório de Automação e Sistemas, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Caixa Postal 6122, 80215-901 Curitiba, PR, BRAZIL

E-mail : busetti@ccet.pucpr.br , loures@ppgia.pucpr.br

Resumo--- Este artigo apresenta a proposta de um ambiente CACSD (*Computer-Aided Control System Design*) integrado a um sistema de Gestão Integrada ou ERP (*Enterprise Resource Planning*) destinado ao estudo, projeto e otimização de controladores para as mais variadas plantas, desde sistemas mecatrônicos à processos industriais. Métodos de otimização, controle e supervisão mais específicos ao ambiente da empresa são necessários já ao nível de chão de fábrica. Neste nível surge a motivação da integração mais expressiva das máquinas e células de produção aos níveis hierárquicos superiores em um sistema ERP. O VIEnCoD (*Virtual Instrumentation-based Integrated Environment for Controllers Design*) ambiente baseado em plataforma de Instrumentação Virtual - LabWindows/CVI e Matlab vem a atender tais objetivos dando suporte integral a todo o Ciclo de Desenvolvimento de Sistemas de Controle, desde a fase de Identificação e Modelagem da planta à Síntese do controlador.

Abstract--- This paper presents the proposal of an CACSD (Computer-Aided Control System Design) environment integrated with an ERP (Enterprise Resource Planning) system, aimed to the study, design and optimization of controllers for the most varied shop floor plants or industrial processes. More specific optimization, control and supervision methods to the the company are very important and necessary at the shop floor level. In this level, the motivation on integrate the machines and production cells to the higher hierarchical levels of the company appears in most expressive way. The VIEnCoD (Virtual Instrumentation - based Integrated Environment for Controllers Design) based on Virtual Instrumentation platform - LabWindows/CVI and Matlab, assist such objectives giving integral support to the whole Control System Development Cycle, from the phase of Identification and Modelling of the plant to the controller's Synthesis.

Key words--- CACSD; ERP; Optimization; Controllers; Hardware-in-the-loop; Virtual Instrumentation.

1 Introdução

Com o advento da informática, sistemas computacionais foram introduzidos nas indústrias para auxiliar e facilitar o uso e gerenciamento de recursos produtivos bem como nos vários outros setores da empresa (finanças, recursos humanos, planejamento da produção, gerência de materiais, vendas, entre outros).

Os Sistemas de Gestão Integrada surgiram pela necessidade de integrar a empresa como um todo, do ponto de vista gerencial, mas deixando a desejar na integração com as máquinas que realmente produzem.

Atualmente as empresas estão com seus interesses voltados à implantação dos Sistemas de Gestão Integrada ou ERP's . Entretanto, após a implantação torna-se necessário a integração com o chão de fábrica, onde são necessários métodos de otimização, controle e supervisão mais específicos ao ambiente da empresa.

Neste contexto, o VIEnCoD figura como elemento de integração dos elementos finais de produção (máquinas) aos níveis superiores em um sistema ERP. Sua concepção foi também motivada pela necessidade de um ambiente que atendesse à objetivos de desenvolvimento e pesquisa em paralelo com finalidades acadêmicas, no estudo, análise e projeto de estratégias de controle clássicas e complexas para as mais variadas plantas, desde sistemas mecatrônicos à processos industriais (E. R. Loures et al.,1995).

Esta flexibilidade e abrangência é o produto da metodologia de integração, em um ambiente amigável, de ferramentas poderosas que dessem suporte a todo o Ciclo de Desenvolvimento de Sistemas de Controle proposto neste trabalho, desde a identificação de sistemas à síntese de controladores.

O suporte de *hardware* (interface com elementos físicos) é proporcionado pelo conceito de Instrumentação Virtual através da plataforma LabWindows/CVI, fornecendo condições ideais de desenvolvimento e configuração para instrumentação eletrônica (VXIbus, placas DAQ,...etc), e sistemas de comunicação com elementos industriais (CLP, Fieldbus, Profibus,...etc), adequados às necessidades do projeto de controle.

O suporte analítico e matemático são propiciados pelas ferramentas Matlab 5.0 / Simulink 2 que são integradas e gerenciadas pelo VIEnCoD de forma transparente no ambiente visual LabWindows.

Este artigo é organizado como segue. O item 2 faz uma breve abordagem do contexto de Sistema de Gestão Integrada onde se insere o VIEnCoD. A descrição da arquitetura do sistema encontra-se no item 3. O item 4 descreve o ambiente operacional . O item 5 descreve a metodologia empregada no Ciclo de Desenvolvimento de Sistemas de Controle. O item 6 apresenta um estudo de caso. Por último, conclusões e futuras implementações serão apresentadas no item 7.

2 VIEnCoD no contexto ERP

Para melhor entendimento da motivação do VIEnCoD inserido em um Sistema de Gestão Integrada é necessário a contextualização do ambiente. A figura 1 ilustra uma Pirâmide Organizacional onde se observam diferentes níveis com específicos graus e formas de integração entre os mesmos.

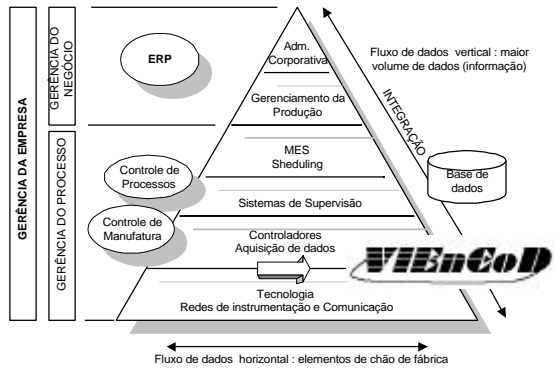


Figura 1 – CACSD no contexto de Gestão Empresarial Integrada

Os dois primeiros níveis da pirâmide encontram-se na gerência do negócio englobando decisões (planejamento) gerenciais a longo prazo tais como : planejamento estratégico corporativo, planejamento de mercado, planejamento financeiro, estratégias de atendimento ao consumidor, planejamento de capacidades e fontes, etc.

Os dois níveis intermediários englobam decisões ou planejamento de curto/médio onde encontra-se os sistemas MES (*Manufacturing Execution Systems*) com suas principais ferramentas : *Scheduling* (Programação Finita da Produção), Gerenciamento de Recursos de Produção e Gerenciamento de Qualidade. *Scheduling* é o problema de determinar de determinar uma alocação de recursos de manufatura no tempo para executar operações em uma fábrica, a fim de minimizar uma certa medida de custo. Ou seja, dado um conjunto de ordens de produção, um sistema de *scheduling* aloca cronologicamente máquinas, materiais, operadores, ferramentas e outros recursos para executar operações fabris de maneira a melhor cumprir os prazos de entrega, minimizar estoques, e maximizar a produtividade e a utilização dos recursos (D. Sipper et al., 1997). Nestes níveis encontram-se um volume maciço de dados transferidos em tempo não crítico.

Nos níveis inferiores da pirâmide encontram-se os equipamentos e sistemas de chão de fábrica responsáveis pela aquisição de dados e otimização de operação da dinâmica de plantas industriais através de controladores. A supervisão e controle consiste em integrar todos os sinais de entradas e saídas dos processos industriais, possibilitando

monitorar suas tendências, parametrizar e reconfigurar remotamente operações de produção. As estruturas de dados são mais completas havendo grande interação entre dispositivos; os dados são intercambiados em base eventual ou cíclica. Neste nível propõe-se um ambiente CACSD com características operacionais e de integração específicas.

A integração e gerenciamento de todos estes dados cujas estruturas são caracterizadas nos diferentes níveis hierárquicos, é feita através de uma base de dados consistente. Esta base de dados fornecerá um canal de comunicação com o VIEnCoD permitindo a interface com diferentes aplicativos de gerenciamento, supervisão, instrumentação e controle (Alsène, A., 1999).

Em acréscimo, esta plataforma agrega as seguintes vantagens : pequeno tempo para readequação do sistema de aquisição acompanhando as mudanças de *lay-out* das plantas ou das linhas de produção; redução das paradas e custos de manutenção; informação *on-line* do *status* da linha de produção. A grande capacidade gráfica do ambiente LabWindows/CVI permite o projeto de todo tipo de gráfico e interface ao usuário (GUI's) disponibilizando maior fluxo de informação *on-line* da produção.

A necessidade da melhora de eficiência na operação de plantas visando produtos com melhor qualidade, rendimentos aumentados, redução no consumo de energia tem levado as indústrias a adotar estratégias de controle de processos avançados.

O projeto e implementação de sistemas de controle baseado em tais estratégias requer um conhecimento profundo do processo a ser controlador, o que geralmente requer a descrição de um modelo. Tal descrição do modelo muitas vezes não se consegue devido a complexidade da planta. Desta forma, é necessário a identificação da planta por métodos que não alterem as condições naturais de operação das mesmas e, portanto, do processo produtivo.

De posse do conhecimento da planta, deseja-se colocá-la em um ponto ótimo de operação para atendimento de índices de desempenho ditados pelas necessidades da produção vindas das camadas intermediárias e superiores da pirâmide.

Neste sentido, a sintonia das malhas de controle a nível de chão de fábrica é fundamental pois afeta de maneira direta ou indireta (através de todas as interfaces dos diversos níveis hierárquicos) fatores produtivos tais como : custos de manutenção dos equipamentos e paradas de emergência pela má operação dos mesmos, redução no consumo de energia, redução no uso de matéria prima, etc.

Em suma, sob o contexto de Gestão Integrada exposto, a proposta do VIEnCoD é possibilitar a identificação das características dinâmicas das diversas plantas ou processos colocando-os em pontos de operação ótimos tornando a sintonia das malhas de controle flexíveis ao atendimento de índices de desempenho ditados pelas necessidades da produção vindas das camadas intermediárias e superiores da pirâmide. Tal flexibilidade deve também atender às perturbações advindas da produção como a variação de demanda.

O VIEnCoD com seu alto grau de flexibilidade e integração agrega de forma mais intensa resultados a nível de gerência de produção, pela atuação a nível de chão de fábrica.

3 Arquitetura VIEnCoD

A arquitetura do VIEnCoD é estruturada sob o conceito de Instrumentação Virtual através de um ambiente de programação baseado em arquitetura VISA (*Arquitetura de Software de Instrumento Virtual*) - o LabWindows/CVI 4.0; e uma plataforma de auxílio na análise e projeto de sistemas de controle - o Matlab 5.0.

O LabWindows/CVI, portanto, é uma ferramenta de desenvolvimento para Instrumentação Virtual baseado em um ambiente de programação visual integrado de 32 bits, com bibliotecas de análise, drivers de instrumentos, protocolos de comunicação e ferramentas de projeto de uma interface gráfica de usuário GUI (*Graphical User Interface*) intuitiva. Desta forma, consegue-se toda a configuração, programação e integração de sistemas de comunicação e dispositivos industriais diversos (CLPs, Fieldbus, Profibus,... etc). Em acréscimo, o LabWindows/CVI 4.0 é compatível com a maioria dos ambientes de desenvolvimento C/C++ de 32 bits para Windows 95 e Windows NT. Isto permite a abertura para o intercâmbio de código fonte e bibliotecas desenvolvidas. Esta última característica é a chave para o gerenciamento das ferramentas e rotinas Matlab adequadas em código C pelo Matlab Compiler, além do desenvolvimento de interfaces com aplicativos baseados em Windows sob uma estrutura de base de dados consistente. A conseqüente eficiência no tempo de execução permite a implementação de estratégias de controle adaptativas em operação on-line.

Para suporte ao Ciclo de Desenvolvimento de Sistemas de Controle, detalhado no item 5, os seguintes componentes do Matlab são necessários:

- Simulink;
- System Identification Toolbox;
- Control Systems Toolbox;

- Optimization Toolbox / Nonlinear Control Design Blockset;
- Matlab Compiler;
- Real Time Workshop.

O Matlab Compiler permite que algoritmos e rotinas dos Toolbox, além dos programas gerados pelo usuário sob a forma de *m-function*, sejam traduzidos do código Matlab para código ANSI C. Analogamente, o Real Time Workshop, traduz os códigos Matlab dos diagramas de blocos implementados no SIMULINK para código ANSI C. Isto permite o gerenciamento destes recursos pelo LabWindows/CVI tornando o ambiente Matlab transparente ao VIEnCoD, que se torna uma poderosa ferramenta CACSD.

A metodologia de integração destas ferramentas é a base da concepção do VIEnCoD e é ilustrado na figura 2. Vale destacar a abertura em termos de interface (*hardware/comunicação*) com a planta ou processo industrial e com os diversos aplicativos nos diferentes níveis hierárquicos através da base de dados do sistema (empresa).

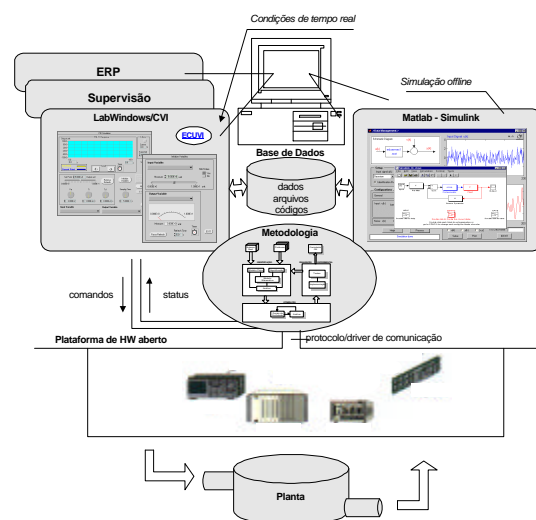


Figura 2 – Conceito VIEnCoD

4 Ambiente VIEnCoD

O principal objetivo do ambiente VIEnCoD é proporcionar acesso amigável a todos os estágios (e sub-estágios) do Ciclo de Desenvolvimento de Sistemas de Controle descrito no item 5. Através de estrutura de menus e botões relacionados a cada estágio do ciclo em um painel principal, interfaces gráficas do usuário (GUIs) e rotinas para desenvolvimento e análise são selecionadas. Todas estas interfaces devem permitir a leitura e escrita de dados, visualização gráfica de resultados, configuração da instrumentação, planta e controlador. A seguir algumas das tarefas permitidas por estas interfaces são apresentadas:

- *Configure System Variables* : configuração da plataforma de hardware/instrumentação, parâmetros físicos da planta e conversão de medidas;
- *Signal Generation and Acquisition*: configuração dos sinais de excitação, visualização gráfica dos dados (*input/output*);
- *Hardware-in-the-loop simulation*: simulação com *hardware-in-the-loop* na qual o controlador obtido é implementado fisicamente pelo VIEnCoD, com a planta ou o processo real inserido na malha (M.C. Zanella, 1996). A figura 3 mostra a GUI responsável por esta tarefa, além de ilustrar o formato adotado pelas demais interfaces do ambiente.

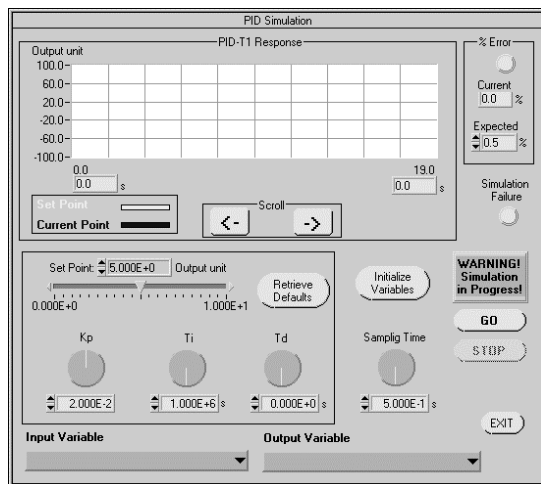


Figure 3. Simulação PID com *Hardware-in-the-Loop*

A modularidade do VIEnCoD permite que esta ferramenta seja acessada individualmente para testes de controladores externos ao obtido no ambiente.

São permitidas a implementação de diversas estruturas de controladores/compensadores - convencionais (PID, avanço) bem como outras estratégias de controle, como por exemplo estratégias de controle adaptativas, controlador fuzzy, dentre outras.

5 Ciclo de Desenvolvimento de Sistemas de Controle

Dado a grande flexibilidade no suporte a variadas estratégias de controle e plantas que o VIEnCoD se propõe, faz-se necessário o cumprimento de diversas etapas dentro de um ciclo de desenvolvimento, conforme mostra a figura 4. A metodologia de integração de ferramentas Matlab está baseado neste ciclo dando suporte matemático e analítico à cada fase.

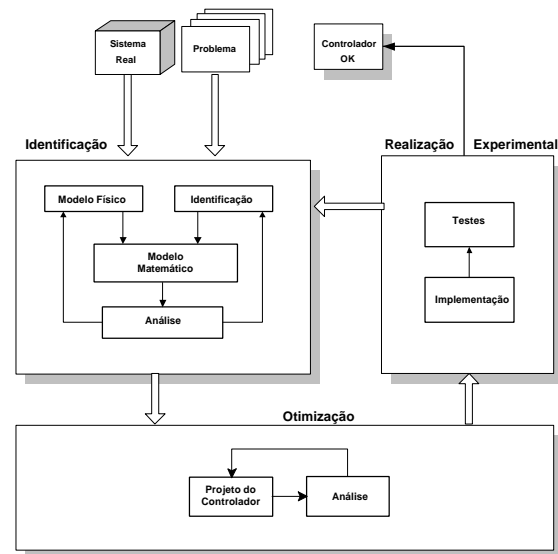


Figura 4. Ciclo de Desenvolvimento

5.1 1ª Etapa : Modelamento e Identificação

Esta etapa corresponde a modelagem do sistema real (planta) através do conhecimento e desenvolvimento de um modelo físico, geração de um modelo matemático para uma descrição compreensível em um ambiente computacional e subsequente solução numérica deste modelo através de simulações para obtenção de parâmetros e índices de desempenho (propriedades) do sistema.

Em muitos casos esta tarefa de obtenção do modelo através de leis físicas torna-se difícil, envolvendo complexos métodos numéricos para lidar com a representação matemática associada. Em acréscimo, estratégias de controle adaptativo requerem a contínua obtenção deste modelo para operação *on-line* (L. V. R. Arruda, 1992b).

Neste contexto, torna-se necessário a determinação das grandezas físicas não observáveis a partir de medidas realizadas. Tal proposta, denominada de Identificação, visa a modelagem matemática de um sistema físico a partir de informações observadas (medidas) deste sistema.

O problema de identificação de sistemas (L. V. R. Arruda, 1992a), ilustrado na figura 5, é suportado integralmente pelo VIEnCoD através do gerenciamento da aquisição de dados pela plataforma de instrumentação (neste estudo de caso, a plataforma VXibus) e da integração de ferramentas Matlab e algoritmos de estimação do Toolbox System Identification. A figura 6 ilustra este gerenciamento e integração. Esta metodologia pode ser encontrada em maiores detalhes em (E. R. Loures, 1999) e (E. R. Loures, 1998).

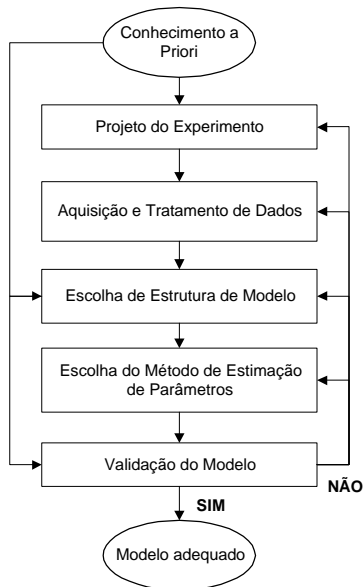


Figura 5. Processo de Identificação

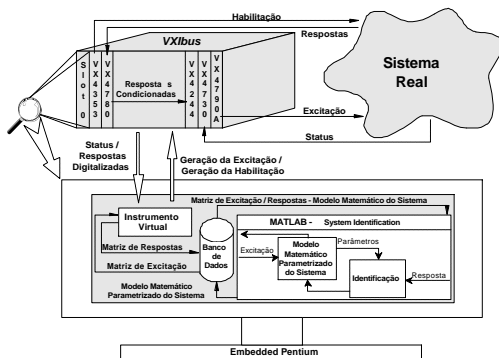


Figura 6. Integração da Fase de Identificação

5.2 2ª Etapa : Otimização

Nesta etapa é proposta uma estratégia de controle parametrizado. Seguindo a proposta de forte interação do ambiente com o usuário do VIEnCoD, utilizou-se as ferramentas Simulink e o NCD Blockset/Optimization Toolbox.

Utilizando-se de diagramas de blocos o usuário pode configurar a malha de controle a ser sintonizada, com elementos lineares ou não, otimizando os parâmetros do controlador. Esta otimização, por exemplo, poderá ser dos parâmetros de um PID (K_p , T_i , T_d), conforme será mostrado no estudo de caso no item 6.

4.3 3ª Etapa : Realização Experimental

O modelo parametrizado do controlador, obtido e simulado na etapa de otimização, é realizado fisicamente e conectado à malha de controle com o sistema real inserido em simulação com *hardware-in-the-loop*, conforme abordado no item 3.

O resultado experimental obtido é armazenado na base de dados para comparação com os

resultados simulados (modelo matemático) através de análises gráficas no domínio da frequência e do tempo. Satisfatório os resultados o controlador é validado; do contrário retorna-se a fase de identificação para realização de novo ciclo.

6 Estudo de Caso

De maneira a comprovar a funcionalidade do VIEnCoD em todo Ciclo de Desenvolvimento de Sistemas de Controle, um protótipo de um sistema de controle de nível de um processo industrial é avaliado. Sua função de transferência é :

Aquisição e Tratamento de Dados

O procedimento de aquisição de dados foi realizado com sinal PRBS (vetor de excitação) e a saída digitalizada e armazenada (vetor de saída).

$$FT(s) = \frac{1.4}{140s + 1}$$

Os dados são analisados, tratados e separada uma parte para o processo de identificação e outra para validação.

Identificação

De posse do *conhecimento a priori* (neste caso já conhecendo o sistema físico) utilizou-se os modelos ARX e ARMAX para $n_a = 1$; $n_b = 1$; $n_c = 1$ e $d = 1$. Os resultados, mostrados na figura 7(A) são bastante satisfatórios.

Otimização

Adotou-se um controle PID para sintonia da malha, sendo seu parâmetros (K_p , T_i , T_d) objeto do processo de otimização baseada em critérios estabelecidos.

Os parâmetros obtidos são utilizados por um algoritmo PID discreto que implementará a realização física do controlador via plataforma VXIbus - LabWindows/CVI.

Realização experimental

O controlador realizado é inserido na malha com a planta real (simulação com *hardware-in-the-loop*) e a resposta obtida, figura 7(B), validando todo o ciclo de desenvolvimento suportado pelo VIEnCoD.

7 Conclusão

O VIEnCod, apresentado neste artigo, teve sua motivação baseada em dois pontos principais :

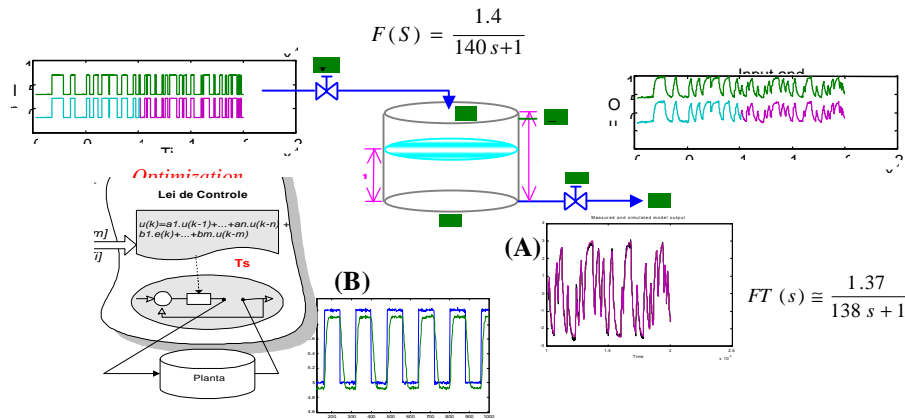


Figura 7. Resultados do sistema

1. No direcionamento à ambientes CACSD das potencialidades de *hardware* e *software* que podem ser obtidas da plataforma baseada em Instrumentação Virtual, integradas às ferramentas e algoritmos Matlab, estado da arte na área de controle;
2. A flexibilidade e facilidade no suporte ao desenvolvimento e implementação de diferentes estratégias de controle à diversos tipos de plantas, desde a identificação de sistemas à síntese de controladores com simulação com *hardware-in-the-loop*;
3. Proposta de integração mais transparente e intensa de uma ferramenta CACSD aos diversos elementos (aplicativos) no contexto de Gestão Integrada em seus diversos níveis hierárquicos.

O trabalho está em fase inicial de desenvolvimento e pretende-se uma contínua realimentação à sua funcionalidade através de implementações de diferentes sistemas de controle. Estratégias de controle adaptativas e controle Fuzzy são propostas para futuros trabalhos; em outra linha, trabalhos destinados ao desenvolvimento de interfaces a sistemas supervisórios e gerenciamento de produção.

Referências Bibliográficas

Alsène, A. (1999). The Computer Integration of the Enterprise. *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 46, n° 1, p. 26-35, February 1999.

D. Sipper, L. R. Bulfin (1997). *Production Planning, Control and Integration*, USA : McGraw-Hill.

E. R. Loures, M. A. Buseti, L. V. Arruda (1998). VIEnCoD - Proposta de um ambiente CACSD no Suporte ao Ciclo de Desenvolvimento de Sistemas de Controle baseado em plataforma VXibus / LabWindows e MATLAB". *Anais*

do 12º Congresso Brasileiro de Automática, Uberlândia, MG.

E. R. Loures (1999). *VIEnCOD - Proposta de um Ambiente CACSD baseado em Plataforma de Instrumentação Virtual e Matlab*, Dissertação de Mestrado, PUCPR.

E. R. Loures, M. R. da Silveira, M. A. Buseti (1995). LEPEC - Laboratório de Ensino e Pesquisa em Energia e Controle : Uma Proposta de Integração, *Anais do XXIII Cobenge*, Vol. I, Recife, pp. 61-69.

L. V. R. Arruda (1992a). Etude d'algorithmes d'estimation robuste et développement d'un système à base de connaissance pour l'identification, *Thèse de Doctorat*, Université de Nice, Sophia Antipolis, France.

L. V. R. Arruda, R. Lüders, W. C. Amaral, S. S. Bueno, A.S. Bárbara, M. A. Silva, H.J. Almeida ans M.C. Castanho (1992b). A CAD package for industrial process identification, *J. Proc. Cont.*, vol. 2, pp. 155-161.

Matlab 5, Simulink 2 (1996). *User's Guide : Control System Toolbox, System Identification Toolbox, Optimization Toolbox, Matlab Compiler, Nonlinear Control Design Blockset, Real Time Workshop*, The Mathworks inc., Prentice Hall.

M.C. Zanella (1996). *Concepção de um Ambiente de Simulação de Sistemas Mecatrônicos com hardware-in-the-loop*, Dissertação de Mestrado, CEFET-PR.