

# SISTEMAS ESPECIALISTAS NOS ALTOS-FORNOS DA USIMINAS<sup>(1)</sup>

Marco Antônio Sydney Horta<sup>(2)</sup>  
Ricardo Mauro Henrique Mascarenhas<sup>(3)</sup>  
José de Sousa Carvalho<sup>(4)</sup>

## RESUMO

O Alto-Forno 3 da Usiminas conta hoje com um Sistema Especialista para auxiliar os operadores na tomada de decisão. Este sistema foi desenvolvido baseado no conhecimento dos especialistas em altos-fornos, e está implementado em um computador de processo que faz parte de um sistema integrado de automação utilizando, como *backbone*, redes *Ethernet*. Encontra-se atualmente em desenvolvimento um segundo Sistema Especialista para o Alto-Forno 1. Este trabalho tem como objetivo mostrar como estão estruturados estes sistemas especialistas, as tecnologias usadas, bem como os benefícios alcançados no Alto-Forno 3 e as melhorias a serem implementadas no Alto-Forno 1.

**Palavras-chave:** Sistemas especialistas. Sistemas baseados em conhecimento. Alto-forno.

- 
- (1) Contribuição Técnica ao VIII Seminário de Automação de Processos da ABM; Belo Horizonte, MG, 6 a 8 de outubro de 2004.
  - (2) Membro da ABM; Engenheiro Eletricista, Gerência de Automação da Usiminas; Ipatinga, MG.
  - (3) Técnico, Gerência de Automação da Usiminas; Ipatinga, MG.
  - (4) Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista, Gerência do Alto-Forno 3 da Usiminas; Ipatinga, MG.

## 1 INTRODUÇÃO

A Usiminas desenvolveu e implantou um Sistema Especialista para o Alto-Forno 3 em 1991 com o objetivo de mantê-lo estável térmica e operacionalmente, otimizando a produção e garantindo uma melhor qualidade dos produtos gerados. Isto vem refletindo positivamente, ao longo do tempo, na marcha operacional deste alto-forno. Obteve-se, como benefícios, a padronização da operação, preservação do conhecimento adquirido, segurança operacional e, como ganho adicional, a disseminação do conhecimento dos operadores experientes aos mais novos.

Baseado no sucesso deste sistema, a Usiminas está desenvolvendo um outro para o Alto-Forno 1, visando ampliar assim os benefícios desta tecnologia a este equipamento.

## 2 SISTEMA ESPECIALISTA

### 2.1 Descrição

Um sistema de inteligência artificial criado para resolver problemas em um determinado domínio é chamado de Sistema Especialista (SE)<sup>1</sup>. Também conhecido como sistema baseado em conhecimento, é constituído de Mecanismo de Inferência, Base de Conhecimento e Interface Homem-Máquina (IHM), figura 1.

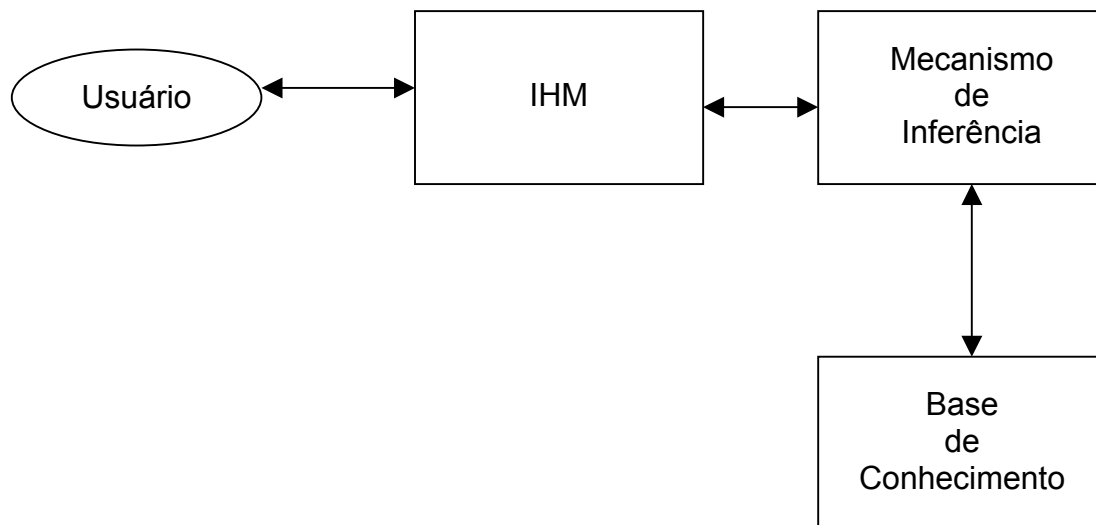


Figura 1 - Sistema Especialista

## **2.2 Mecanismo de Inferência**

Nos sistemas especialistas, o Mecanismo de Inferência representa o meio pelo qual o conhecimento é manipulado, utilizando-se das informações armazenadas na Base de Conhecimento, para resolver problemas. Para os sistemas especialistas dos Altos-Fornos 1 e 3 da Usiminas é usado como mecanismo de inferência o software OPS5<sup>2</sup> desenvolvido pela Carnegie Mellon University, que manipula as regras constituídas pelo conhecimento dos especialistas em altos-fornos.

## **2.3 Base de Conhecimento**

A característica principal de um SE é o uso do conhecimento específico de seu domínio de aplicação através de um programa de raciocínio relativamente simples. Neste sentido, o termo Base de Conhecimento significa a coleção de conhecimento do domínio, ou seja, as informações necessárias para resolver problemas de um domínio específico<sup>3</sup>.

## **2.4 IHM**

A interação com o sistema é feita através da entrada de fatos e dados, e da saída em forma de perguntas, conclusões e explicações.

# **3 SISTEMA ESPECIALISTA DO ALTO-FORNO 3**

## **3.1 Arquitetura**

As variáveis tratadas pelo SE são coletadas pelo módulo de Aquisição de Variáveis de Processo, diretamente dos controladores lógicos programáveis (CLPs), responsáveis pelo controle do alto-forno. A cada 30 minutos, o módulo de Tratamento Periódico é ativado para calcular as médias de cada variável neste período. A figura 2 mostra como foi concebida a arquitetura deste SE.

Antes de serem tratadas pelo Mecanismo de Inferência, as variáveis passam por um Tratamento Lingüístico, que, inseridas no contexto das regras, darão o parecer do estado térmico do alto-forno. Este parecer é visualizado por solicitação do operador em uma IHM através de um emulador de terminal do computador de processo, nas estações de operação.

Para cada parecer do SE, é associado um procedimento a ser seguido pelo operador para manter o alto-forno em condições térmicas e operacionais ideais. O operador tem também, a sua disposição, a explicação de como o SE chegou a tal conclusão, podendo, desta forma, validá-la. Ao longo destes anos foram inseridos novos conhecimentos totalizando atualmente 606 regras.

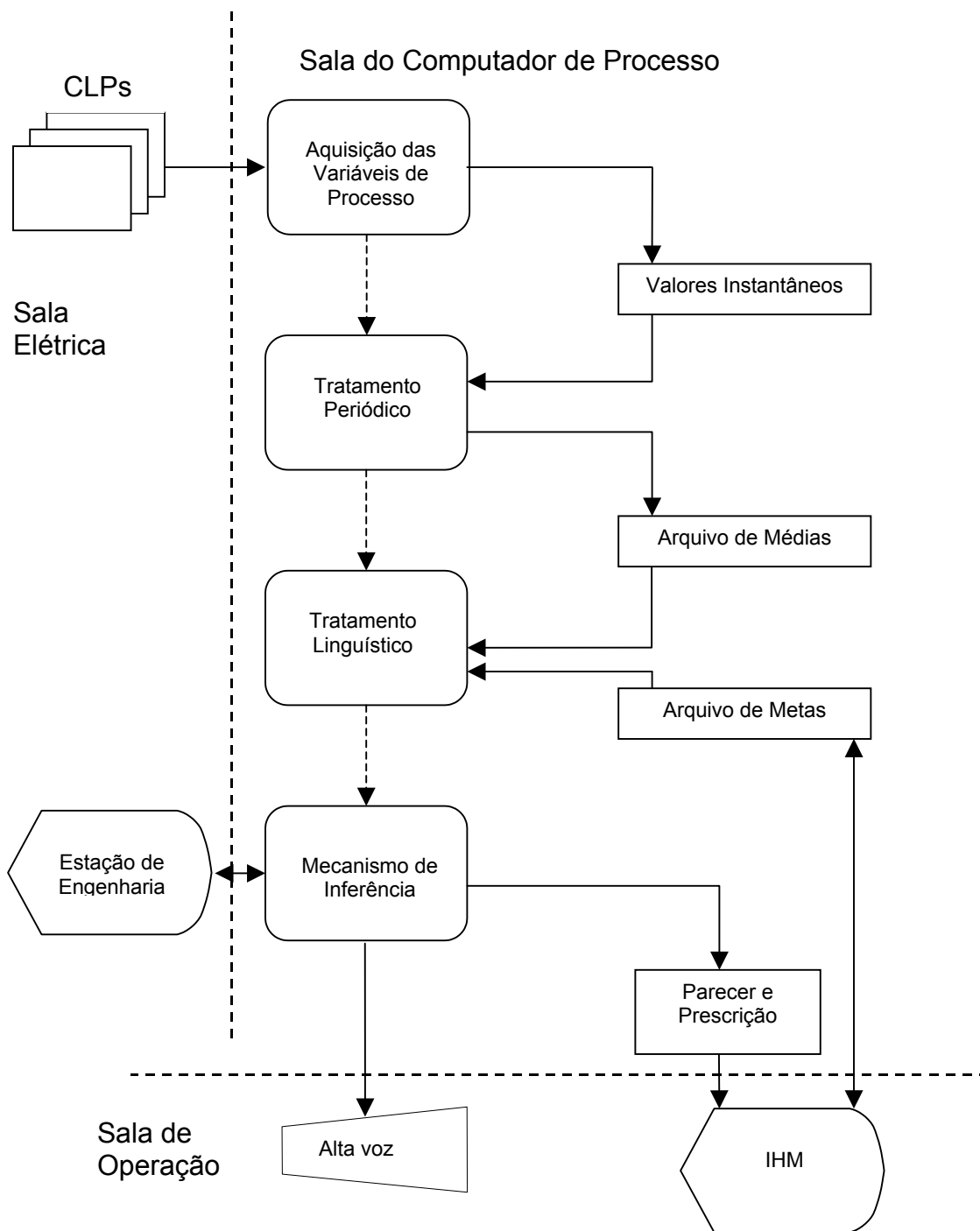


Figura 2 - Módulos do Sistema Especialista do Alto-Forno 3

### 3.2 Aquisição das Variáveis do Processo

As variáveis do processo são adquiridas diretamente dos CLPs e dos arquivos existentes no sistema de otimização dos altos-fornos através deste módulo. Os valores destas variáveis são manipulados e armazenados em arquivos de Valores Instantâneos para posterior utilização pelo módulo de Tratamento Periódico.

### 3.3 Tratamento Periódico

Este módulo lê os valores das variáveis armazenadas no arquivo Valores Instantâneos, calcula a média de cada variável e armazená-as no Arquivo de Médias. Para o cálculo da média, consideram-se apenas a existência de valores válidos para cada variável, baseado no conhecimento dos operadores.

### 3.4 Tratamento Linguístico

Visando transformar os valores numéricos em linguagem natural, foi criado, nesta aplicação, o módulo Tratamento Linguístico. Uma vez adquiridas as variáveis do processo, estas serão interpretadas, comparadas com as respectivas metas e atribuídos valores tais como alto, baixo, normal, etc., valores estes que serão utilizados pelo Mecanismo de Inferência.

### 3.5 Mecanismo de Inferência

O Mecanismo de Inferência OPS5 tem a função de emitir um parecer a respeito da condição térmica e operacional do alto-forno. Para tanto, este recebe do módulo anterior as condições em que se encontra cada variável do processo, armazena-as na memória de trabalho, escolhe quais as regras que casam (*match*) com esta condição, e, de acordo com a regra selecionada no conjunto de conflito, emite o parecer<sup>2</sup>. O conjunto de conflito é uma área de memória, específica do OPS5, onde ficam armazenadas as regras relacionadas ao conteúdo da memória de trabalho. Estas regras são alimentadas pelo engenheiro de automação, em uma estação de engenharia, através de emulador de terminais do mesmo tipo usado na IHM.

A figura 3 mostra um exemplo de uma condição do alto-forno armazenada na memória de trabalho, onde a temperatura do gusa (TGUSA) está alta (ALT), o silício normal (NOR) e já foi feita uma alteração (SIM) no coque-rate (ALCOQ) pelo operador. Esta condição casa com a Regra\_1, que juntas compoem um elemento do conjunto de conflito, que irá executar a ação correspondente a esta regra, a análise de tendência térmica. O mecanismo de inferência verifica novamente a memória de trabalho, que agora apresenta uma temperatura anterior (TGUAN) alta, o silício (SIGAN) alto com tendência decrescente (ALD) e a velocidade de carga (VELCA) alta e estável (ESA). O processo continua executando a regra que casa com o elemento do conjunto de conflito, neste caso a Regra\_n, que executa a ação final. Neste exemplo específico, o parecer do SE é que o alto-forno está com tendência a esquentar.

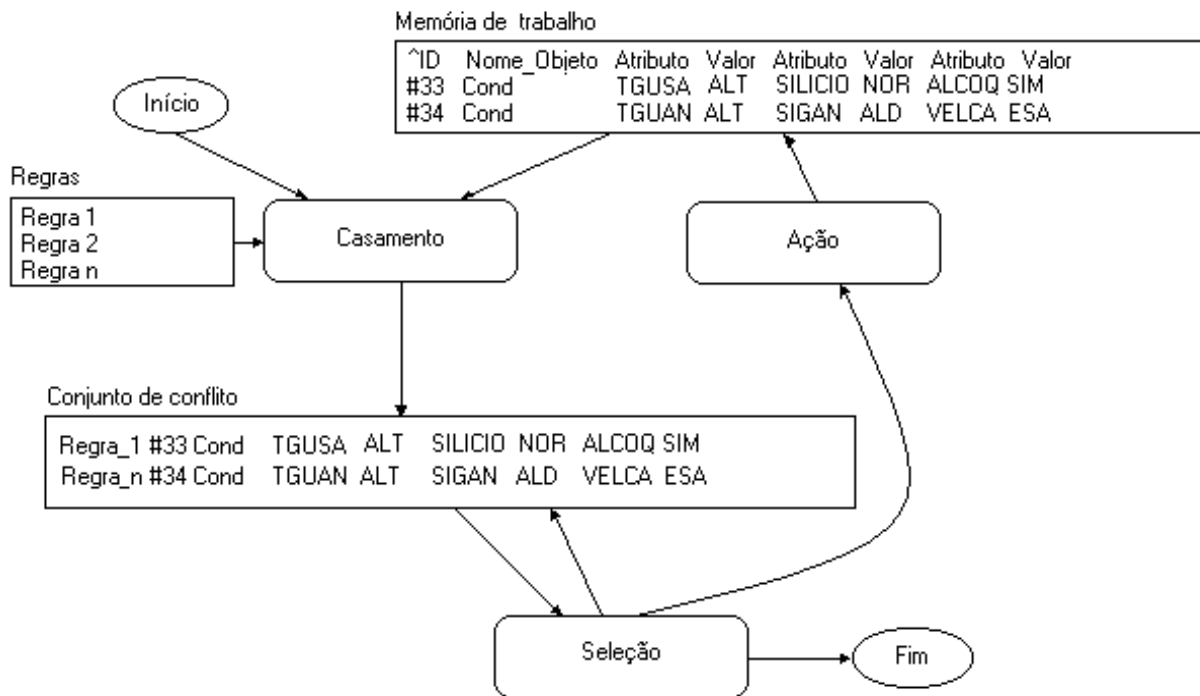


Figura 3 - Mecanismo de Inferência

### 3.6 Parecer e Prescrições

Este módulo permite ao SE emitir seu parecer, através da IHM, quanto ao comportamento do alto-forno, dando sugestões do que alterar na operação do mesmo e explicando porque chegou a um determinado diagnóstico.

### 3.7 IHM

A IHM utilizada pelos operadores na sala de controle do Alto-Forno 3 é implementada através de um emulador de terminais que, através da rede *ethernet*, recebe os dados relativos ao raciocínio do SE<sup>4</sup>. Estão disponíveis as telas prescrição e justificativas do raciocínio, modificação das metas e gráficos para cada variável. Esta IHM está instalada nas estações de operação deste alto-forno. Para cada variável envolvida no raciocínio do SE, existe um gráfico correspondente do tipo tendência, que mostra a curva no período de 48 horas.

### 3.8 Sistema de Alta Voz

Foi implementada uma forma de comunicação com as áreas externas à sala de controle, para que os operadores tomem conhecimento das informações geradas e solicitadas pelo SE, como por exemplo solicitação de medir temperatura do gusa ou informar o seu valor. O sistema de alta voz existente está interligado ao computador de processo para permitir esta funcionalidade.

## 4 SISTEMA ESPECIALISTA DO ALTO-FORNO 1

### 4.1 Estrutura

O SE do Alto-Forno 1 está sendo implementado utilizando-se novas tecnologias. Foi mantida uma configuração similar ao do Alto-Forno 3, tendo sido estruturado em 3 camadas, figura 4.

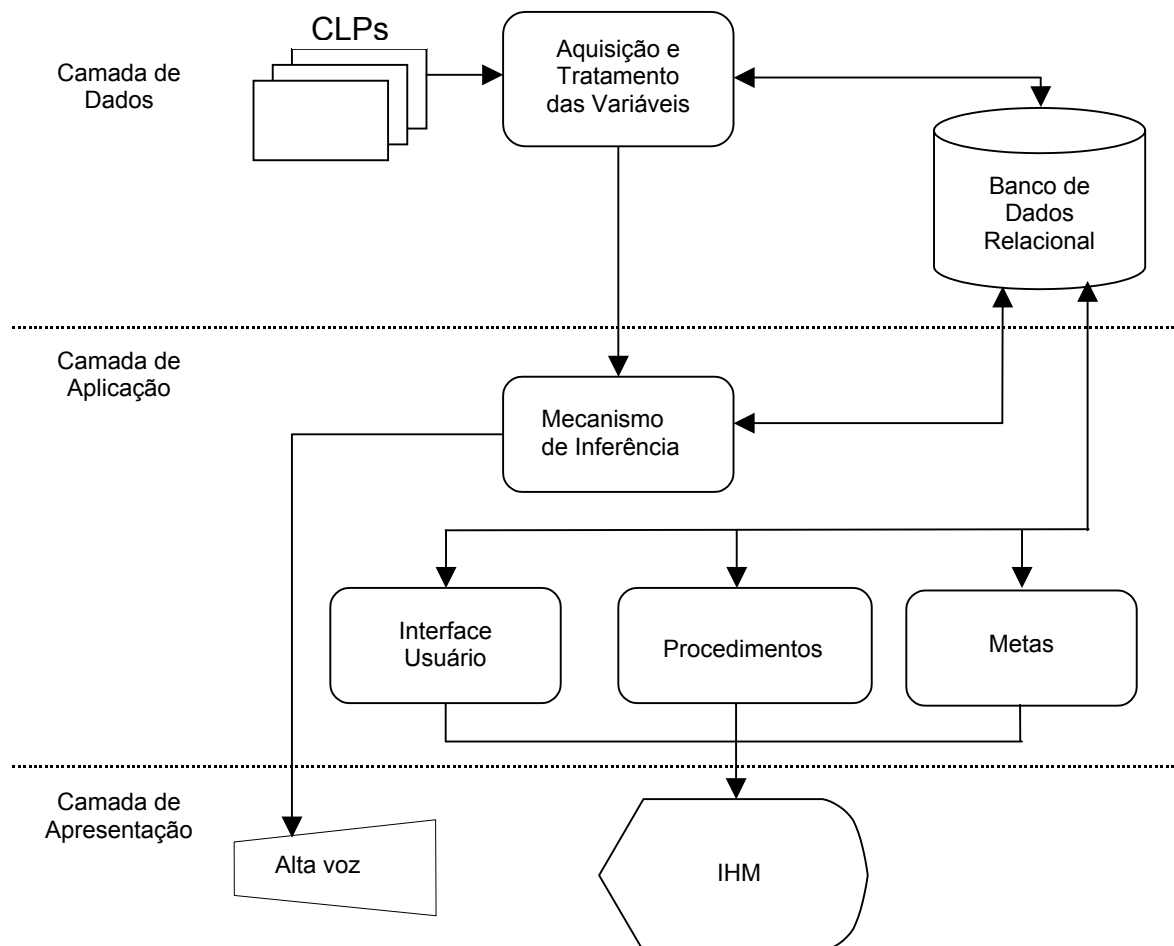


Figura 4 - Módulos do Sistema Especialista do Alto-Forno 1

## 4.1 Camada de Dados

Na Camada de Dados são feitos a aquisição e o tratamento das variáveis lidas dos CLPs. Os valores obtidos são armazenados em tabelas que compõem o Banco de Dados Relacional. Optou-se pelo uso do Banco de Dados Relacional pela facilidade de comunicação entre diferentes sistemas operacionais, o que permite a implementação deste SE em qualquer tipo de plataforma.

## 4.2 Camada de Aplicação

Os módulos Interface Usuário, Procedimentos e Metas estão implementados em um servidor *web*, que busca as informações a serem processadas no Banco de Dados Relacional. Quando o usuário solicita uma tela, o servidor *web* verifica a permissão deste, executa o arquivo correspondente, que por sua vez faz uma consulta ao banco de dados, e o resultado é enviado ao *browser* do usuário solicitante. O módulo Mecanismo de Inferência, tal como no Sistema Especialista do Alto-Forno 3, também está implementado no computador de processo.

## 4.3 Camada de Apresentação

Esta camada está representada pela IHM, seguindo o mesmo padrão utilizado pelos operadores nas estações de operação do Alto-Forno 1. As informações serão visualizadas através do *browser*. Através do menu inicial, o operador poderá selecionar as telas de Estado Térmico, Histórico Térmico, Metas Operacionais e Atualização de Cadastro de Usuários.

Uma vez que o SE tenha sugerido uma ou mais ações a serem tomadas pelo operador, este terá a oportunidade de aceitá-las ou não. Caso não aceite a prescrição dada pelo SE, o operador deverá fazer uma crítica digitando sua justificativa ou sugerindo melhorias no conhecimento do SE. Estas críticas serão posteriormente analisadas pelo engenheiro do conhecimento, e, se aceitas, serão implementadas no sistema.



## 5 CONCLUSÃO

O Sistema Especialista do Alto-Forno 3 fornece hoje aos operadores um guia de como manter este equipamento em uma marcha estável, o que é de suma importância para a operação de altos-fornos, pois reflete diretamente na produtividade destes equipamentos. Foram obtidos grandes benefícios dos quais destacamos padronização da operação, preservação do conhecimento adquirido, treinamento da equipe, segurança operacional e, como ganho adicional, a disseminação do conhecimento dos operadores experientes aos mais novos. O Sistema Especialista do Alto-Forno 1, além das características do Alto-Forno 3, modernizará a interface homem-máquina com o uso do *browser* já bem difundido na comunidade operacional e permitirá a validação das regras implantadas de forma mais eficiente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) LEVINE, R. I.; DRANG, D. E.; EDELSON, B. – Inteligência Artificial e Sistemas Especialistas - McGraw-Hill, 1988
- 2) DEC OPS5 - Digital Research, 1990
- 3) RICH, E. – Inteligência Artificial - McGraw-Hill, 1988
- 4) STARLING, R. A. S.; HORTA, M. A. S.; CARVALHO, J. S. – Sistema Especialista de Suporte a Operação do Alto-Forno 3 da Usiminas – CONAI, Controle e Automação de Processos, Vol. 1, São Paulo, 1992

# **EXPERTS SYSTEMS ON USIMINAS BLAST FURNACE<sup>(1)</sup>**

**Marco Antônio Sydney Horta<sup>(2)</sup>  
Ricardo Mauro Henrique Mascarenhas<sup>(3)</sup>  
José de Sousa Carvalho<sup>(4)</sup>**

## **ABSTRACT**

**Usiminas Blast Furnace #3 has an Expert System to help the operators on their decision making. The system based on blast furnace specialists knowledge was developed and implemented in a computer process which part of an integrated automation system, using, as backbone, the Ethernet. A new Expert System is being developed for Blast Furnace #1. This paper shows how these systems are structured, the technology in use, and benefits reached on the Blast Furnace #3 and the improvements to be implemented on the Blast Furnace #1.**

**Key words: Experts systems. Knowledge-based systems. Blast furnace.**

- 
- (1) Technical contribution to 8<sup>st</sup> Automation Process Seminar of Brazilian Society for Metallurgy and Materials (ABM); Belo Horizonte, MG, Brazil, october 6-8, 2004.**
  - (2) Member of ABM, Engineer, Usiminas Automation Management; Ipatinga, MG, Brazil.**
  - (3) Technician, Usiminas Automation Management; Ipatinga, MG, Brazil.**
  - (4) Member of ABM, Engineer, Usiminas Blast Furnaces Management; Ipatinga, MG, Brazil.**