

PROPOSTA DE MODERNIZAÇÃO EM INSTALAÇÃO INDUSTRIAL DE MOAGEM DE ESCÓRIA

*Francisco Carlos Parquet Bizarria¹
José Walter Parquet Bizarria²
Gil Augusto de Carvalho³
gilaugusto@uol.com.br*

Resumo: Este trabalho apresenta uma proposta de modernização para instalação industrial de moagem de escória em fábrica de cimento, com atualização tecnológica (*retrofit*) nos principais componentes do referido processo, voltada à implementação de arquitetura de automação com operação remota. Atualmente a instalação dessa moagem utiliza a tecnologia da década de sessenta e não está automatizada, estabelecendo situação que exige a realização de ajustes manuais para o seu funcionamento. Além disso, a planta está desprovida de sistema para realizar a supervisão remota da operação. A continuidade dessa situação tem potencial suficiente para comprometer a segurança, prejudicar a produção e aumentar o nível de estresse físico e psicológico dos operadores. Nesse contexto, este trabalho propõe uma arquitetura de automação para efetuar a supervisão, o comando e a operação remota da instalação, a qual é baseada em solução técnica moderna, inovadora e de investimentos moderados. A validação do sistema proposto é realizada por meio de testes em protótipo que adota os principais componentes da aludida arquitetura. Os resultados satisfatórios obtidos nos testes realizados indicam que a proposta apresentada neste trabalho é viável e adequada para a finalidade que se destina.

Palavras-chave: Automação. Fábrica de Cimento. Moagem de escória. Modernização.

Abstract: This paper presents a proposal for upgrading the mill slag industrial facility in a cement plant, with technology upgrade (*retrofit*) of the main components of that process, focused on implementation of automation architecture with remote operation. Currently the installation of this mill uses the technology of the sixties and is not automated, a situation that requires manual adjustments to its operation. Besides, the plant is devoid of a system for remote monitoring of that operation. The continuation of this hazardous situation has potential to compromise safety, crippling production and increasing the level of physical and psychological stress of workers. In this context, this work proposes automation architecture to perform supervision, control and remote operation of the facility, which is based on modern technical solution, innovation and moderate investments. The validation of the proposed system is performed by testing prototype that takes the main components of the aforementioned architecture. The good results obtained indicate that the proposal presented is feasible and appropriate for the purpose intended.

Keywords: Automation. Cement Factory. Grinding slag. Modernization.

¹ Universidade de Taubaté (UNITAU), Departamento de Engenharia Mecânica - Taubaté, SP, Brasil - bizarria@cpb@iae.cta.br

² Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), Divisão de Eletrônica – São José dos Campos, SP, Brasil

³

1 INTRODUÇÃO

O processo de fabricação de cimento, também denominado de Cimento Portland, foi patenteado em 1824 por Joseph Aspdin e utiliza como matéria prima o calcário complementado com argila, minério de ferro e gesso. Em 1882 surgiu na Alemanha o primeiro Cimento Portland com escória em caráter comercial. A partir de então, passou-se a re-utilizar a escória de alto-forno siderúrgico como matéria prima para a fabricação de cimentos compostos. A escória utilizada na composição do cimento é um subproduto da fabricação do ferro gusa, obtido por resfriamento rápido e constituído basicamente por sílico-aluminatos de cálcio e magnésio com propriedades hidráulicas latentes (Battagin, 2001, 2009).

Denomina-se cimentos misturados à mistura de cimento portland com algum componente hidráulicamente ativo ou não, tal como a escória granulada de alto forno, pozolanas naturais ou artificiais, calcário, etc. Esses cimentos têm adquirido uma grande importância devido a seu custo, aumento de capacidade do componente ativo, economia de energia e por suas propriedades, em especial o seu baixo calor de hidratação. Na moagem em separado é possível obter a finura desejada da adição ativa, melhorando a qualidade do cimento e/ou otimizando a adição do componente ativo (Sanchez et al., 1989).

Com a evolução das metas de aumento de produção e qualidade, além do surgimento de novos produtos ao longo das últimas décadas, tornou-se indispensável o emprego do controle automático de processos na indústria moderna. O controle automático é utilizado para aumentar a produtividade, baixar custos e minimizar erros introduzidos no processo por falha humana, realizando controles antes impossíveis de serem efetuados manualmente (Sanchez et al., 1989).

Em uma indústria nacional de médio porte, que atua no ramo da fabricação de cimento, há um processo de moagem de escória de alto forno de siderurgia, em circuito aberto, montado com a tecnologia da década de sessenta. Esse processo não está automatizado e possui como principais componentes da linha de fabricação um moinho de bolas, acionado por um motor elétrico de anéis, e uma balança dosadora de material, responsável pelo suprimento de matéria prima para o moinho. Atualmente a partida do motor do moinho é desempenhada por meio de reostato cuja comutação das resistências é realizada manualmente por ação

do operador em volante mecânico no local de sua instalação. O sistema de dosagem de material para alimentação do moinho opera somente no modo manual, com variação da rotação da balança por meio de ajuste da frequência, no local de instalação da balança, direto no seu inversor de frequência. Os demais equipamentos do processo também são ligados, desligados e monitorados apenas no local onde estão instalados. A continuidade dessa situação tem potencial suficiente para comprometer a segurança da operação por ações manuais sucessivas, prejudicar a qualidade do produto por falha de monitoramento, causar perda de produção por atrasos na tomada de ações e aumentar o nível de estresse físico e psicológico dos operadores da linha de fabricação.

Com objetivos de suavizar a partida do motor do moinho, melhorar a qualidade da dosagem de escória, minimizar o estresse físico do operador e tornar mais homogênea a alimentação do moinho, a linha sofrerá atualização tecnológica (*retrofit*). Essa modernização prevê aproveitamento da maior parte dos equipamentos atuais e instalação de novos dispositivos para garantir maior segurança ao processo, a fim de permitir o seu monitoramento e controle remotos.

Nesse contexto, este trabalho apresenta uma proposta de arquitetura para automatizar o aludido processo industrial.

2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Propor arquitetura de automação para realizar a supervisão, o comando e a operação remota da instalação de moagem de escória, baseada em solução técnica moderna, inovadora e de investimentos moderados.

Apresentar os resultados obtidos nos testes de validação da arquitetura proposta.

3 DIAGRAMA DO PROCESSO INDUSTRIAL

O trabalho iniciou com o levantamento de dados para o estabelecimento do diagrama do processo industrial, o qual foi elaborado na planta, observando o fluxo do processo, verificando o modo de operação de cada um dos equipamentos e relacionando os pontos de entradas e saídas relativos ao controle, os quais são necessários para executar o processo em modo remoto e de forma automatizada. Nessa fase foram considerados também os acréscimos relativos às melhorias previstas para essa modernização (*retrofit*).

4 ADEQUAÇÕES NECESSÁRIAS AOS EQUIPAMENTOS

As adequações necessárias nos equipamentos existentes, bem como a instalação de novos dispositivos, visando à melhoria do controle e a operação remota da planta, foram estabelecidas com o objetivo de fornecer os dados necessários ao dimensionamento do sistema e desenvolvimento do algoritmo de controle para atender a arquitetura proposta. Essas adequações prevêem adaptações de dispositivos em balança dosadora e substituição do reostato existente por reostato líquido. Essa substituição deverá propiciar partida mais suave no moinho (Fitzgerald et al., 1975).

Além das adequações citadas estão previstas também instalação de bombas de lubrificação dos mancais do acionamento do moinho e sensores de nível, posição, fluxo, pressão, temperatura, corrente e potência elétrica, associados aos respectivos transdutores, para permitir o monitoramento remoto da planta (Rosário, 2005).

A Tabela 1 apresenta os pontos de entrada e saída, digitais e analógicos, determinados para atender as adequações mencionadas.

Tabela 1 – Entradas e saídas

DESCRIÇÃO	QTDE
Entradas digitais	18
Saídas digitais	84
Entradas analógicas	1
Saídas analógicas	12
TOTAL	115

5 REQUISITOS LÓGICOS E FÍSICOS

Após a elaboração do diagrama do processo e com os pontos de entrada e saída determinados foram definidos os principais requisitos lógicos e físicos que devem ser atendidos pela arquitetura baseada em controlador e sistema de supervisão, para operação remota da instalação industrial em questão.

Os principais requisitos lógicos funcionais que devem ser atendidos pela janela principal do sistema de supervisão são:

- Permitir a visualização de diagrama geral do processo, com os principais equipamentos envolvidos na planta.
- Ligar e desligar, individualmente, em modo remoto e automático, todos os equipamentos da planta, com os intertravamentos elétricos.

- Sinalizar a ligação, o desligamento e o bloqueio elétrico dos equipamentos, em modo local, com operação assistida, para atender a manutenção ou os testes.
- Sinalizar o estado ligado, desligado ou em falha de cada equipamento e ainda se em modo local ou automático.
- Sinalizar as anomalias ocorridas nos equipamentos, com retenção dos eventos para reconhecimento do operador.
- Manter registros das informações de anomalias e/ou eventos ocorridos até o reconhecimento pelo operador.
- Permitir, de forma remota, o rearme da retenção de anomalias.
- Permitir a visualização das leituras de indicações analógicas tais como temperaturas, potência elétrica, corrente elétrica, velocidade, peso e vazão, relativas a componentes do processo.
- Permitir a visualização de gráfico de indicações analógicas relativas a peso e vazão da balança dosadora, com atualizações das últimas leituras, referentes à balança dosadora, em janela com intervalo de tempo definido.

De forma similar, foram definidos os requisitos lógicos para as demais janelas previstas no sistema.

6 ARQUITETURA PROPOSTA

Uma vez definido o total de pontos de entrada e saída e levantadas demais características do processo industrial em estudo, juntamente com os requisitos lógicos e físicos estabelecidos, optou-se por propor uma arquitetura composta por três camadas, considerando na camada superior a supervisão, na camada intermediária o controle e na camada inferior os sensores e atuadores envolvidos no processo. Tal proposição associada à necessidade de investimentos moderados resultou na opção por controladores mais modernos, em cujo perfil se encaixa a linha de microcontroladores CUBLOC da empresa Comfile Technology (Comfile Technology Inc., 2010).

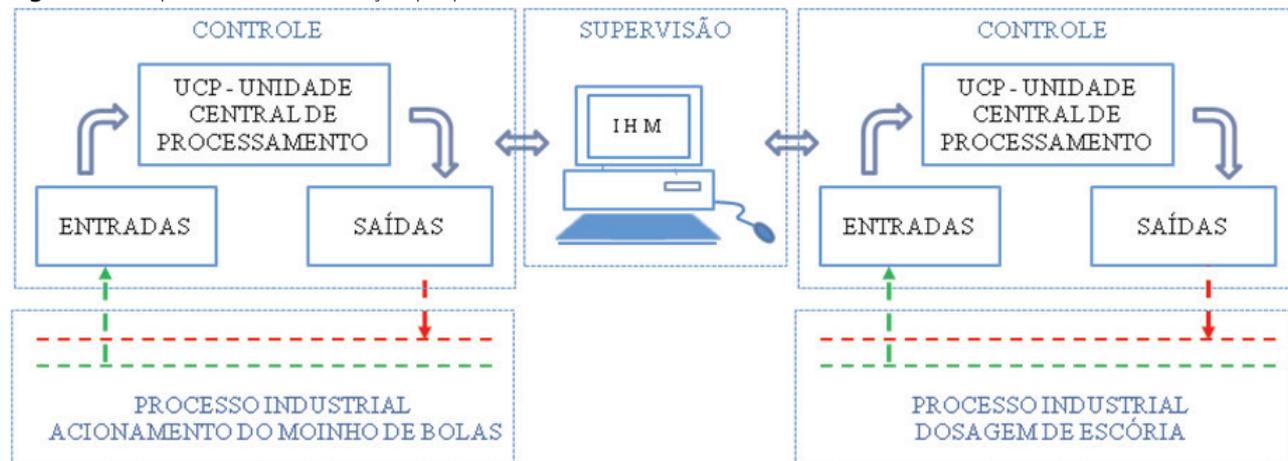
A quantidade de entradas e saídas previstas levou a adoção de duas unidades de controle, o que permitiu ao mesmo tempo testar também o comportamento do controle distribuído por microcontroladores em duas unidades diferentes. Como o processo em estudo tem dois principais componentes na linha de fabricação, que são: o moinho de bolas acionado por um motor de anéis e o sistema de dosagem de escória, resolveu-se adotar um microcontrolador para cada um desses componen-

tes. Dessa forma optou-se por utilizar o modelo CB-280 para o sistema de dosagem de escória e o modelo CB-290 para o sistema de acionamento do motor de anéis do moinho. A escolha foi efetuada com base nas características da linha de microcontroladores apresentadas no manual do fabricante Comfile Technology.

Ainda com o intuito de se adotar uma solução de investimentos moderados optou-se por utilizar, no nível de supervisão, um *software* de código aberto (*open-source*), com licença gratuita, do tipo SCA-DA (*Supervisory Control And Data Acquisition*).

Com as considerações do parágrafo anterior decidiu-se então por adotar uma arquitetura cujos controles pudessem atuar de forma independente, o sistema relativo ao acionamento do motor de anéis do moinho de bolas e o sistema de dosagem de escória. Na elaboração do programa de gerenciamento dos sistemas e de supervisão, foram inclusos os demais equipamentos envolvidos com o processo de moagem em estudo, cujos pontos de entradas e saídas já estão considerados no levantamento inicial. A mencionada arquitetura é mostrada na Figura 1. Essa arquitetura, considerada adequada às condições dessa aplicação, foi adotada para o desenvolvimento e testes em protótipo.

Figura 1 – Arquitetura de automação proposta



7 PROTÓTIPO

Com a meta de atender os objetivos previstos neste trabalho foi montado um protótipo para realizar os testes envolvendo o bloco de SUPERVISÃO, os dois blocos de CONTROLE e os sinais elétricos de entrada e saída, digitais e analógicos, que estão relacionados com blocos de PROCESSO de cada um dos controladores. Esse protótipo foi preparado e testado na configuração completa para simular a supervisão e os dois controles atuando nos processos. Nessa configuração a supervisão, o programa de gerenciamento e os testes de simulações consideraram também os demais equipamentos da planta de moagem de escória.

A Figura 2 mostra o protótipo utilizado nos testes práticos. Nesse protótipo foram realizados os testes para validar as funcionalidades previstas na arquitetura mostrada na Figura 1, que inclui o bloco de supervisão, os dois blocos de controle (CONTROLE 1 e CONTROLE 2) e os respectivos blocos de processo (Processo 1 e Processo 2).

No protótipo o bloco SUPERVISÃO é com-

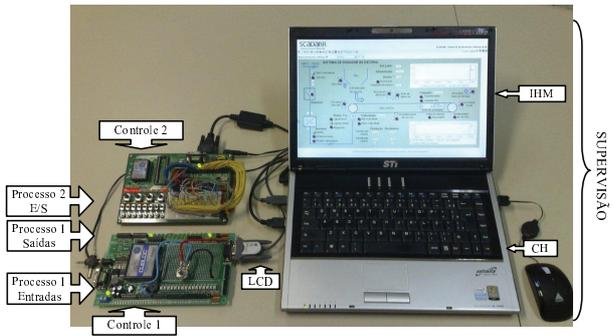
posto por: i) computador hospedeiro (CH) do tipo portátil (*notebook*) que adota a arquitetura Intel® de 32 bits e sistema operacional Windows Vista® e ii) interface homem-máquina (IHM), que foi elaborada com os recursos disponíveis no ambiente integrado de desenvolvimento do sistema de Supervisão, Controle e Aquisição de Dados (Silveira, 2002).

O meio físico definido para efetuar a comunicação de dados (LCD) entre o bloco SUPERVISÃO e os blocos CONTROLE 1 e CONTROLE 2, utiliza o padrão EIA (*Electronic Industries Alliance*) 232.

No bloco CONTROLE 1 é utilizado um conjunto de desenvolvimento Cubloc Start Kit 290 com microcontrolador Cubloc CB-290, da empresa Comfile Technology.

Esse dispositivo de controle tem a capacidade de desempenhar o ciclo de operação e as funções de processamento que são típicos de um Controlador Lógico Programável (CLP), além de gerar e receber os sinais, digitais e/ou analógicos, similares àqueles previstos nos sensores e atuadores da arquitetura proposta para automatizar o reostato de partida líquido (Miyage, 1996).

Figura 2 – Protótipo para validação da supervisão e controle de processo



Já no bloco CONTROLE 2 é utilizado um conjunto de desenvolvimento Cubloc Start Kit 280, com microcontrolador Cubloc CB-280, também da empresa Comfile Technology.

Esse controlador desempenha as mesmas funções citadas anteriormente, porém no sistema de dosagem de escória.

As duas unidades centrais de processamento (UCP's) estão conectadas ao bloco de supervisão, por duas linhas de comunicação de dados (LCD), conforme previsto na arquitetura proposta (Morais e Castrucci, 2010).

As interfaces físicas para a entrada e saída (E/S) de sinais elétricos, digitais e/ou analógicos, que representam aqueles gerados e fornecidos pelos dois blocos de PROCESSO, estão disponíveis nos terminais das respectivas placas de desenvolvimento utilizadas nos testes práticos de validação.

8 PROGRAMAS DE GERENCIAMENTO

Para realizar os testes relacionados com o protótipo foram elaborados os respectivos programas de gerenciamento para a arquitetura considerando os funcionamentos individuais de cada um dos blocos de controle. Assim, elaborou-se um programa para atender o sistema de acionamento do motor elétrico de anéis do moinho de bolas e outro para o sistema de dosagem de escória do referido moinho. Esses programas já consideraram os demais equipamentos da planta relacionados nos levantamentos de campo.

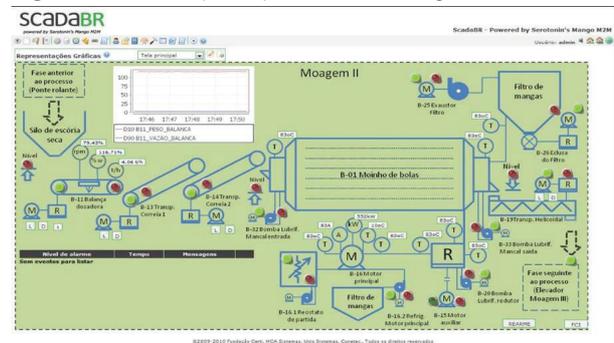
De forma a atender requisitos de segurança da operação e visando a localização rápida de falhas, os programas foram providos de intertravamentos entre os equipamentos do processo e confirmação da atuação dos principais equipamentos por meio de contatos auxiliares provenientes de contadores e disjuntores.

9 INTERFACES GRÁFICAS

A principal função da Interface Homem-Máquina (IHM) que foi prevista neste trabalho está concentrada em servir de meio para o operador parametrizar, comandar e supervisionar as operações relacionadas com a arquitetura proposta para operação remota da moagem de escória. As interfaces deste trabalho foram elaboradas com a utilização de um sistema de Supervisão, Controle e Aquisição de Dados (*Supervisory Control And Data Acquisition - SCADA*), com código aberto (*Open-Source*), que está disponível no mercado brasileiro, denominado ScadaBR (Fundação CERTI, 2010).

As três janelas desenvolvidas para a supervisão da planta de moagem de escória, objeto deste estudo, são: i) janela principal com uma visão geral de todos os equipamentos, a qual é mostrada na Figura 3,

Figura 3 – Janela principal da interface gráfica



ii) janela do sistema de acionamento do motor de anéis e, iii) janela do sistema de dosagem de escória.

Para se ter acesso aos serviços contidos nessas janelas o operador tem que se identificar por meio do nome de usuário e senha.

A janela principal mostrada na Figura 3 é utilizada como interface geral de todo o sistema, apresenta uma visão de todos os componentes relevantes que estão previstos no processo automatizado, desde a extração do silo de alimentação da balança até o transportador helicoidal na saída do moinho. Essa janela também possui um gráfico de controle da alimentação do moinho e um relatório de alarmes.

10 TESTES PRÁTICOS

Os testes relacionados ao sistema de acionamento do motor de anéis do moinho de bolas foram precedidos de parametrização de temporizadores, em linhas especiais de programação para simulação da atuação de sensores de nível em função da movimentação do líquido do reostato. A atuação dos

demais dispositivos de campo foi simulada com a utilização dos dois conjuntos de desenvolvimento. Nesses conjuntos, as saídas digitais foram direcionadas aos diodos emissores de luz e as entradas digitais foram acionadas por meio de chaves e botões de pulsos.

As entradas analógicas foram estimuladas via potenciômetros e as saídas analógicas direcionadas também aos diodos emissores de luz. Os dispositivos de simulação, tais como chaves, botões, potenciômetros e diodos emissores de luz, foram acionados um a um, conforme sua representação no sistema.

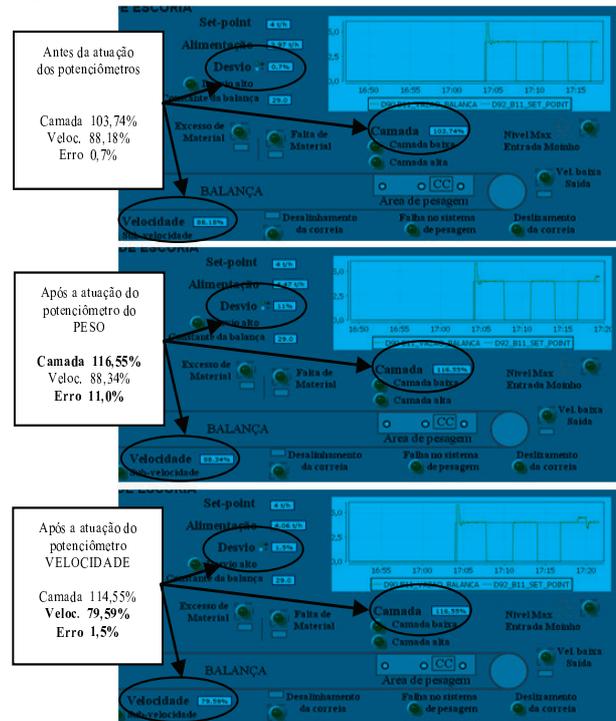
Um exemplo dos testes realizados, relativo ao sistema de dosagem de escória, é mostrado na Figura 4, com a atuação dos dois potenciômetros da placa do conjunto de desenvolvimento, que representam as indicações de peso e de velocidade da balança dosadora. Nessa figura pode-se observar o momento de atuação no eixo do primeiro potenciômetro, representativo do peso sobre a correia da balança, e posteriormente no segundo potenciômetro, representativo da velocidade do motor da balança, com variação das respectivas resistências.

Figura 4 – Atuação dos potenciômetros em teste



A Figura 5 apresenta o resultado do teste mostrado na Figura 4, em três etapas distintas, sendo: i) a representação na janela de supervisão de situação normal de funcionamento, antes das alterações nos potenciômetros relativos ao peso e a velocidade; ii) a representação, na janela do sistema de supervisão, do conseqüente aumento de indicação de peso após a alteração do respectivo potenciômetro no conjunto de desenvolvimento, no sentido horário, com a alteração da indicação de desvio (erro de dosagem), decorrente da alteração de peso mencionada; e iii) a representação, na janela do sistema de supervisão, da redução de indicação de velocidade após a alteração do respectivo potenciômetro no conjunto de testes, no sentido anti-horário, bem como a conseqüente redução da indicação de erro (desvio) decorrente da compensação da vazão por redução de velocidade.

Figura 5 - Efeitos das alterações de peso e velocidade



O teste apresentado mostrou a adequação do controle da balança dosadora de escória em relação ao algoritmo elaborado com essa finalidade.

Os testes com os dois sistemas de controle operando simultaneamente, com o mesmo sistema de supervisão, foram realizados para comparar a atuação desses dispositivos em conjunto. Esse teste permitiu verificar o comportamento do sistema de supervisão, com o recebimento de uma quantidade maior de dados, provenientes dos dois microcontroladores utilizados, conforme previsto na arquitetura proposta neste trabalho.

CONCLUSÕES

Os resultados satisfatórios observados nos testes práticos, realizados com o protótipo representativo da arquitetura proposta, mostram que o sistema é factível e pode ser levado a efeito para a aplicação a qual se destina.

A quantidade necessária de registradores, controladores, temporizadores e variáveis internas, bem como a necessidade de memória para alojar os programas de gerenciamento da arquitetura proposta foram completamente atendidas pelos microcontroladores do protótipo utilizados nos testes práticos.

Os recursos contidos no ambiente integrado de desenvolvimento dos microcontroladores foram suficientes para elaborar os programas de gerenciamento da arquitetura proposta, em conformidade com os passos previstos nos respectivos algoritmos.

Os componentes gráficos previstos no sistema de Supervisão, Controle e Aquisição de Dados foram suficientes para atender a aplicação em questão, além de possuir código aberto, característica que minimiza o custo de implantação do sistema.

O sistema operacional utilizado nesta primeira fase dos testes foi o Windows® Vista, entretanto a verificação da possibilidade de utilização de outro sistema, como o Linux, em trabalhos futuros, poderá contribuir para minimizar ainda mais os custos de implantação do sistema proposto.

Para trabalhos futuros é sugerido testar a utilização de quantidade maior de blocos de controle conectados em uma rede de comunicação apropriada, visando atendimento à automação de plantas industriais maiores, com um número elevado de equipamentos.

Conforme observado no desenvolvimento deste trabalho os microcontroladores utilizados possuem capacidade para exercer as funções de controladores lógicos programáveis tradicionais, entretanto, recomenda-se a implantação desse sistema, com acompanhamento de especialistas da área de confiabilidade para consolidação da aplicação.

REFERÊNCIAS

BATTAGIN, A. F. **Cimento Portland de Alto Forno CP III**. São Paulo: ABCP, Agosto de 2009.

BATTAGIN, A. F. **O uso de escórias siderúrgicas na construção civil**. São Paulo: ABCP, Setembro de 2001.

COMFILE TECHNOLOGY INC. **PLC with Embedded Controller CUBLOC**. User Manual Version 3.2., 2010.

FITZGERALD, A. E., KINGSLEY, J. C., & KUSCO A., **Máquinas Elétricas** – Tradução de Josafá Neves. [S.l.]: McGraw-Hill, 1975.

FUNDAÇÃO CERTI - CENTROS DE REFERÊNCIA EM TECNOLOGIAS INOVADORAS. **SCADABR 0.7. Sistema Open-Source para Supervisão e Controle**. Manual do software. Santa Catarina: 2010.

MIYAGI, P. E. **Controle Programável – Fundamentos do Controle de Sistemas a Eventos Discretos**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1996.

MORAES, C. C. & CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de Automação Industrial**. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

ROSÁRIO, J. M. **Princípios de Mecatrônica**. São Paulo: Editora Person Prentice Hall, 2005.

SANCHEZ, I. C., MATSUSHITA, K., & PONS, F. C. **Moagem & Moinhos**. São Paulo: Editora Votorantim-SP 1989.

SILVEIRA, P. R. **Automação e Controle Discreto**. 4a Edição. São Paulo: Érica, 2002.