



## 8º CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ENGENHARIA MECANICA

Cusco, 23 a 25 de Outubro de 2007

### METODOLOGIA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE RETROFFITING DE CONTROLADORES DE EQUIPAMENTOS DE AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS

Alexandre da S. Ribeiro\*, Antonio Gabriel S. Almeida\*, Milton B. de Souza\*, Eduardo J. Lima II°

\* Área de Automação Industrial - Faculdade de Tecnologia SENAI-CIMATEC  
Av. Orlando Gomes, 1845, Piatã, Salvador - BA, Brasil  
aribeiro@cimatec.fieb.org.br; almeida@cimatec.fieb.org.br; milton@cimatec.fieb.org.br

° Universidade Federal de Minas Gerais – Departamento de Engenharia Mecânica, Belo Horizonte - MG, Brasil  
eduardo@demec.ufmg.br

#### RESUMO

A prática de reforma de equipamentos industriais obsoletos, a fim de aumentar sua vida útil, através da incorporação de melhorias tecnológicas e utilização de novos materiais e processos, que é denominada retrofitting, constitui peça fundamental nos processos industriais modernos. Entretanto, a inserção desta técnica requer a análise de parâmetros funcionais específicos, tais como modelo de controle do equipamento e impactos no processo produtivo.

Neste artigo, apresentamos uma metodologia de aplicação da técnica de retrofitting, analisando seus impactos na produtividade da planta na qual o equipamento está inserido. Para estes equipamentos, a técnica foi desenvolvida a partir do levantamento das especificações de funcionamento, a modelagem e otimização para a criação do novo sistema de controle e a implementação do novo hardware.

Como estudo de caso, foi implementada a aplicação desta prática em uma máquina desencaixotadora de uma empresa engarrafadora de refrigerantes e em uma máquina responsável pelo empilhamento e geração de fardos de jornal.

A validação do desempenho da metodologia utilizada foi realizada através da medição dos índices de tempo do ciclo de execução do processo com as máquinas funcionando *stand alone* e o impacto no processo de produção nas plantas onde estes equipamentos estão inseridos. Para as plantas utilizadas, os resultados obtidos comprovam a viabilidade da aplicação desta metodologia.

#### PALAVRAS-CHAVE

Retrofitting, sistemas de controle, processos produtivos, sistemas a eventos discretos

## INTRODUÇÃO

Um equipamento com tecnologia obsoleta pode ser atualizado tecnologicamente através da aplicação de modernas técnicas e dispositivos de automação. Essa técnica é conhecida como retrofitting.

O retrofitting de máquinas, também conhecido como reforma ou modernização, é muitas vezes a solução para empresas que desejam dar uma sobrevida para máquinas antigas e obsoletas, mantendo suas características periféricas, com perfeito estado de conservação mecânica. Essa necessidade tem sido crescente, uma vez que a eletrônica das máquinas, equipamentos e sistemas evoluiu muito nos últimos anos e continua em rápida evolução.

Basicamente, no retrofitting, é realizada a atualização das partes, como a adaptação do equipamento à nova tecnologia de controle e acionamento de seus dispositivos, tornando-os mais confiáveis. No retrofitting pode-se também executar a restauração de máquinas, ou parte destas, que operam em ambientes agressivos. Como resultado, tem-se a recuperação das condições originais da máquina que foram alteradas pelo ambiente e tempo. Como vantagens do retrofitting, temos: aumento da produtividade, redução dos períodos de inatividade, redução de riscos operacionais, disponibilização de recursos de programação mais simples, garantia de acessibilidade a peças de reposição de forma rápida e por um longo período e possibilidade de integração em rede de comunicação com o restante da planta industrial ou com sistemas de gerenciamento.

Uma vantagem importante é a possibilidade de substituição de plataformas proprietárias de hardware e software, que normalmente são arquiteturas fechadas, por outras com arquitetura aberta, de fácil intervenção e intercambialidade.

O preço das reformas é baseado no projeto e na tecnologia incorporada, como por exemplo sistemas de controle, sensores e atuadores, controladores lógico programáveis, softwares etc. O preço final do retrofitting busca sempre ser inferior ao de uma máquina, equipamento ou sistema novo, justificando a sua implantação.

Este artigo apresenta a metodologia empregada no retrofitting de dois tipos de equipamentos: uma máquina de separação de fardos de jornal, denominada Stacker, e uma máquina responsável por encaixotar ou desencaixotar garrafas de bebidas, incluindo o desenvolvimento de uma arquitetura aberta para as mesmas. A arquitetura proposta não tem a pretensão em se tornar uma arquitetura padrão para controle de máquinas, mais deve servir para identificar algumas das exigências de uma arquitetura aberta[1].

## CLASSIFICAÇÃO DE SISTEMAS

Uma possível classificação para sistemas produtivos é baseada na caracterização de suas variáveis de estado em relação ao tempo [2]. Neste sentido, os sistemas a eventos discretos (SEDs) caracterizam-se por transições instantâneas entre estados discretos. As variáveis de estado variam bruscamente em instantes determinados. Estes sistemas são em geral baseados em regras e procedimentos definidos pelo homem. Para este tipo de sistema, o objetivo do controle é a execução de operações, caracterizados pela ocorrência de eventos, conforme um procedimento pré-definido.

Em contrapartida, tem-se os sistemas de variáveis contínuas (SVCs), cuja principal característica é que as variáveis de estado têm seu comportamento definido por fenômenos da natureza, regidas, portanto, por leis físicas contínuas no tempo. Para sua modelagem, os sistemas de equações diferenciais são ferramentas comprovadamente eficazes. Nestes sistemas, o objetivo básico do controle normalmente é igualar o valor de uma variável de controle a um valor de referência.

## METODOLOGIA

A metodologia empregada no retrofitting dos equipamentos dos estudos de caso seguiu uma seqüência de seis passos:

- 1) Descritivo de funcionamento das máquinas

Levantamento detalhado de todos os requisitos e restrições operacionais do equipamento de forma individualizada e deste inserido no processo produtivo. Este levantamento deve ser realizado separadamente sob os pontos de vista operacionais, de manutenção e de gerenciamento, através de consulta a documentação e aos envolvidos no processo. Após este levantamento individualizado, os dados devem ser compilados, de forma a gerar um descritivo único final.

- 2) Detalhamento dos sinais de saída e entrada do sistema de controle

Verificação de todas as informações trocadas entre o sistema do controle e o restante do equipamento, assim como as comunicações do equipamento com agentes externos. Caso seja verificado qualquer problema em sensores, atuadores ou na rede de comunicação, este deve ser substituído ou reparado.

3) Desenvolvimento do fluxograma de funcionamento

Representar o funcionamento da máquina utilizando um fluxograma, representando também todos os sinais de entrada e saída.

4) Elaboração do programa do controlador

Conversão do fluxograma levantado em linguagem de programação para o controlador que será utilizado no retrofitting.

5) Simulação

Simulação do programa desenvolvido, utilizando ferramentas computacionais e kits funcionais contendo atuadores e sensores, representado de forma mais aproximada possível as condições de funcionamento do equipamento.

6) Implementação definitiva no equipamento e testes finais

## RETROFITTING DO STACKER

A linha de produção de uma empresa gráfica, responsável pela impressão de um jornal de grande circulação, possui um equipamento cuja finalidade é empilhar em fardos pré-definidos e contar jornais. A máquina é chamada de IDAB *Marathoner Stacker* ou simplesmente Stacker, conforme apresentado na Figura 1. Por se tratar de um equipamento antigo, a máquina era dotada também de um sistema de controle completamente obsoleto. O mau funcionamento do equipamento, a freqüente intervenção da manutenção e a inexistência de peças de reposição oneravam significativamente a produção de jornais da empresa. A máquina efetua a contagem dos jornais que saem da linha de produção e separam os mesmos conforme a programação realizada pelo operador através da IHM(Interface Homem Máquina).



Figura 1 – IDAB Marathoner Stacker

A máquina possuía como sistema de controle uma placa eletrônica dedicada e com arquitetura fechada, conforme apresentado na Figura 2. Esta placa efetuava a contagem dos jornais, posicionava o motor e controlava o funcionamento dos atuadores pneumáticos. Para o posicionamento do dispositivo que recolhe os fardos dos jornais era utilizado um servo motor dedicado para está aplicação, o qual não podia sofrer qualquer tipo de intervenção, não permitindo flexibilidade para o posicionamento do dispositivo. Para realizar a interface entre o operador e a máquina era utilizada uma IHM com protocolo proprietário para comunicação com a placa de controle central, possibilitando assim configurar a quantidade de jornais que teriam cada fardo. A placa de comunicação da IHM é mostrada na Figura 3.



Figura 2 – Antiga placa controladora do Stacker



Figura 3 – Antiga placa da IHM

## ARQUITETURA DO RETROFITTING

A arquitetura proposta para a realização do retrofit na máquina Stacker foi a utilização de um controlador lógico programável (CLP), uma IHM e um servomotor conectado ao CLP, para realizar o posicionamento do dispositivo que recolhe o jornal. A figura 4 mostra o diagrama da arquitetura.

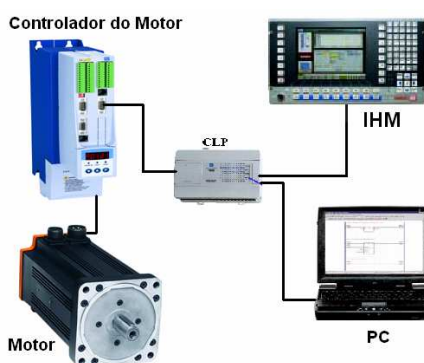


Figura 4 Arquitetura utilizada no Retrofitting

O CLP foi utilizado como o controlador do sistema, ou seja, através da linguagem de programação *ladder* foram estabelecidas as regras de funcionamento da máquina, obedecendo as restrições de segurança e as novas necessidades operacionais do cliente, o que não era possível incrementar com o sistema de controle antigo. Interligado ao CLP está o controlador do servo motor, que comunica-se com o controlador principal através de sinais digitais de entrada e saída, para que possa fazer o posicionamento e sincronismo do dispositivo que faz a coleta dos

jonais. Para que o sistema possibilitasse uma maior flexibilidade, foi inserida uma IHM, para permitir ao operador uma reprogramação na quantidade de jornais que são separados em cada fardo e também informar falhas nos dispositivos, facilitando assim o diagnóstico de possíveis problemas no equipamento como mostra a Figura 5.

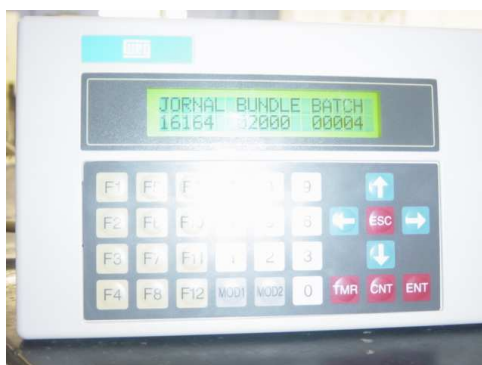


Figura 5 – Nova IHM da Staker

A Tabela 1 mostra os sinais de entrada no CLP e a Tabela 2 mostra os sinais de saída.

Tabela 1 : Mapeamento dos sinais de entrada

<b>Entrada</b>	<b>Sinal</b>
X01	Botão Start
X02	Botão Stop
X03	Botão Dump gate
X04	Botão This side/ other side esquerda
X05	Botão This side/ other side direita
X06	Botão Alternate
X07	Sensor Paper counter
X08	Blade retro. prox. Switch (recuado)
X09	Blade externe. Prox. Switch (avançado)
X10	T.T. Home Prox. Switch (recuado)
X11	T.T center prox. Switch (avançado)
X12	Ejetor A side prox Switch (esquerda)
X13	Ejetor B side prox Switch (direita)
X14	Ejetor center A prox Switch (esquerda)
X15	Ejetor center B prox Switch (direita)
X16	Sensor do Servomotor

Tabela 2 : Mapeamento dos sinais de saída

<b>Saída</b>	<b>Sinal</b>
Y01	Aparador principal (stacking blade)
Y02	Gira mesa (turn table)
Y03	Expulsa fardo (pusher to 'a') (direita)
Y04	Retorna o expulsador de fardo (pusher to 'b') (esquerda)
Y05	Solenóide principal (suprimento de ar comprimido Main air)
Y06	Servo (velocidade)
Y07	Servo (posição)
Y08	Lâmpada this side/ other side esquerda
Y09	Lâmpada this side/ other side direita
Y10	Alternate
Y11	Start/Clear

Para validar o modelo de controle implementado e verificar se o desempenho do equipamento seria o esperado, foram realizadas simulações em laboratório, utilizando dispositivos eletro-pneumáticos que representavam os dispositivos reais da máquina, que possuem as mesmas características. Assim, foram realizados testes de funcionamento, possibilidades de falhas nos dispositivos e validação da interface homem máquina. A Figura 6 mostra a bancada utilizada para simulação do funcionamento da Stacker.

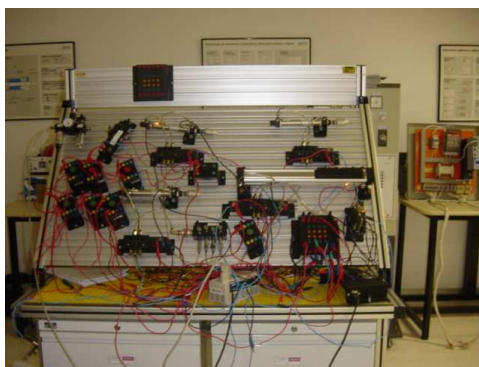


Figura 6 – Bancada de Simulação da Stacker

Após todas as simulações, o controlador foi conectado à máquina para os testes finais. A Figura 7 apresenta a nova configuração do quadro de comando.



Figura 7 – Novo sistema de controle utilizando CLP

## MÁQUINA DESENCAIXOTADORA DE GARRAFAS

A desencaixotadora de garrafas é o equipamento que retira as garrafas de vidro das caixas plásticas que são utilizadas para transportá-las e as coloca sobre o transporte da linha de lavagem e engarrafamento. Para isso é utilizado um sistema com manipulador hidráulico, com ventosas pneumáticas para fixação das garrafas. A Figura 8 apresenta o equipamento.





Figura 8 – Desencaixotadora de garrafas

Sete sensores são utilizados para o painel elétrico de comando. Cada sensor é usado para uma etapa da seqüência de atuação:

- S1- Sensor de parada do engradados de refrigerantes
- S2- Sensor que libera as caixas de refrigerantes (caixas vazias)
- S3- Máquina com o braço avançado garrafas dentro dos engradados
- S4- Máquina com o braço recuado soltando garrafas na esteira transportadora de garrafa
- S5- Sensor que para o funcionamento da esteira de garrafas
- S6 e S7- Sensores de segurança para que não exista colisão entre o braço e as garrafas

O painel de operação tem 12 botões de comando, para que o operador possa atuar no modo manual:

- B01 – Liga Sistema Hidráulico.
- B02 - Desliga Sistema Hidráulico.
- B03 - Liga Esteira Transportadora de Caixa.
- B04 - Desliga Esteira transportadora de Caixa.
- B05 – Botão posicionador de caixa .
- B06 - EMG ( Não para os transportadores).
- B07 – Braço para o lado do transportador de garrafas no manual.
- B08 – Braço para o lado do transportador de engradados no manual.
- B09 - Controla a esteira transportadora de garrafas Auto/Manual ,ou seja selecionado para manual esteira ligada ininterruptamente e em automático obedece ao sensor S5.( Não controla se a máquina esta em Auto/Manual e sim a esteira).
- B10 – Start (Botão Marcha)
- B11 – Chave Geral.
- B12 – Seleção de Automático/Manual.

A lista abaixo descreve a função de cada um dos atuadores da máquina.

- V1 - Habilita Freio do Transportador de Caixa.(Simples Solenóide). (Foto 9)
- V2 - Habilita a parada do Transportador de garrafa.(Simples Solenóide). (Foto 10)
- V3 - Liga Vácuo para pegar garrafas.(Simples Solenóide). (Foto 11)
- V4 - Braço para lado do transportador de garrafas/transportador de caixa.(Duplo Solenóide).(Foto 12)
- V5 - Liga o sistema hidráulico(Liga transportador de garrafas).(Foto 13).
- V6 - Liga transportador de Caixa.(Foto 14).
- V7- Controle de Fluxo Sistema do Braço.

Considerando a seqüência de funcionamento do sistema, foi desenvolvido o fluxograma da máquina, conforme Figura 9.

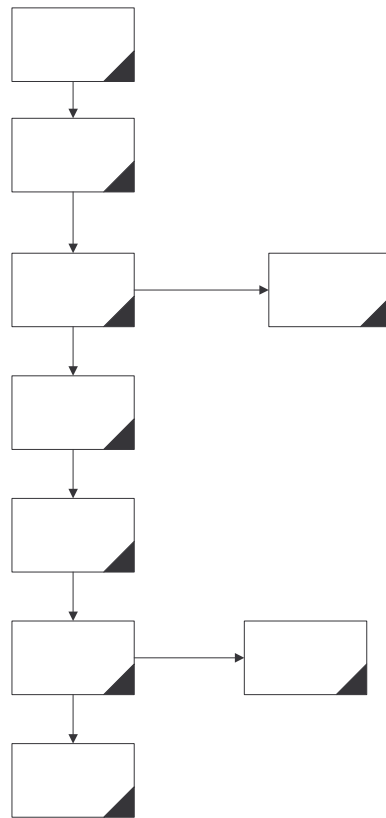


Figura 9 – Fluxograma do modo automático

De forma similar ao Stacker, foram mapeados todos os sinais de entrada e saída do controlador.

Sensor de Braço Avançado  
S4 + Temporizar 2s

Antes do retrofitting a descaixotadora tinha capacidade de 432 garrafas por minuto. Após a execução da atualização passou a transportar 480 garrafas por minuto, incrementando em 10%.

## CONCLUSÃO

O método proposto de retrofitting de máquinas constitui uma ferramenta eficaz no desenvolvimento de estratégias de controle para equipamentos que mantêm estrutura eletro-mecânica eficaz, mas estão com o controle obsoleto. O novo sistema de controle pode ser simulado e testado antes da montagem final, reduzindo os riscos de problemas operacionais na partida.

Através de dois estudos de caso onde a metodologia foi empregada constatou-se o aumento da eficiência, com consequente aumento de produtividade. Verificou-se também o aumento de disponibilidade da máquina para processo produtivo, uma vez que reduz-se sensivelmente os tempos necessários para manutenção, principalmente corretiva.

## REFERÊNCIAS

1. Lages, W. F. ; Henriques, R. V. B. ; Bracarense, A. Q., Arquitetura Aberta para Retrofitting de Robôs, Anais do Manet Notes Workshop, Bragança Paulista – SP, 2003.
2. Cardoso, J.; Valette, R., Redes de Petri, Ed. da UFSC, Florianópolis, 1997.
3. Colin, A., Jin-Cheng, D. and Miller, J., 1985. “Retrofitting machine tools with computer control” Microprocessors and Microsystems, Volume 9, Issue 8, Pages 378-385.
4. Yadav, R.C. and Weston, R.H., 1982. “Microprocessor-based controls for drilling — retrofitting aspects” Microprocessors and Microsystems, Volume 6, Issue 6, Pages 287-292.