Unisanta Science and Technology, **2013, 6, December**
Published Online 2013 Vol.2 N°2 http://periodicos.unisanta.br/index.php/sat)

UNISANTA
Science and Technology
ISSN 2317-1316

Interface Inteligente para Otimização e Automação na Gestão das Linhas de Processo com base na Tecnologia de Produção Otimizada (OPT) e Teoria das Restrições (TOC)

Débora A. C. Nogueira e Cláudio R. Torres

UNISANTA –Universidade Santa Cecília –Departamento de Pós-Graduação, Santos- SP, Brasil
Programa de Pós-Graduação – Mestrado em Engenharia Mecânica da Universidade Santa Cecília.
E-mail: Debora.Nogueira@volkswagen.com.br
Received september, *2013*

Resumo

O presente trabalho apresenta a aplicação de duas interfaces inteligentes instaladas em duas linhas de produção distintas, onde um dos produtos com vários modelos de acabamento precisam ser feitos nestas duas linhas. Uma das linhas possui restrições de operação e ambas precisam atingir a meta de produção sem comprometer o volume dos demais produtos. Utilizando a Tecnologia de Produção Otimizada (OPT) e Teoria das Restrições (TOC) esta interface está responsável em fazer a identificação do produto, analisar as restrições técnicas, assegurar que não existe ordem de produção duplicada e calcular a quantidade no circulante pelo volume entre o ponto de início de montagem até o ponto de escolha de linha. Toda esta decisão é necessária devido às restrições ou cumprimento do volume informado pela área de planejamento. Este sistema permite que a entrada e o acompanhamento do volume da produção seja administrado remotamente, permitindo a alteração de volume em tempo real.
Palavras-chave: Identificação do Produto, Interface Inteligente, Decisão Automática, Flexibilidade de Produção, OPT

Intelligent Interface for Automation and optimization in the management of process Lines based on Optimized production technology (OPT) and theory of constraints

Abstract

The present work shows the application of two intelligent interfaces installed in two different production lines, where one of the products with various finishing models need to be made in these two lines. One of the lines has operating restrictions and both need to achieve the goal of production without compromising the volume of other products. Using the Optimized Production Technology (OPT) and Theory of Restrictions (TOC) this interface is responsible for making product identification, analyze technical restrictions, ensure that there is no production order duplicate and calculate the amount in circulating in the volume between the start point mounting to the choice point line. All this decision is necessary due to the volume restrictions or compliance informed by the planning department. This system allows the entry and monitoring of the production volume is managed remotely, allowing the volume change in real time.

Keywords: Product Identification, Intelligent Interface, Automatic Decision, Production Flexibility, OPT

Copyright © 2013 ISESC.

1. Introdução

Otimizar linhas de processo é uma prática eficiente e necessária nas indústrias, principalmente onde podemos ter um mesmo produto montado em duas linhas de montagem distintas, onde uma delas possui restrições e ambas precisam atender a meta de volume.

A linha de produzido apresentada neste trabalho possui sensores ligados aos PLC's SLC 500 Allen Bradley e S7 400 Siemens responsáveis por informar presença do produto. Uma vez identificado este produto, a DCP, do inglês "*Data Capture Point*", ou Pontos de Captura de Dados, verifica com o sistema MES do inglês "*Manufacturing Execution System*" ou Sistema de Execução de Manufatura, quais as características de acabamento e se o produto possui ordem de produção duplicada.

As DCP's são interfaces inteligentes e tem como objetivo neste trabalho, identificar os produtos, verificar seus acabamentos com o sistema MES, identificar as restrições e balancear as linhas, com base no volume do circulante do processo, para tomada de decisão automática e assertiva de qual linha deve seguir para obter o melhor resultado.

A solução desta otimização de processo foi baseada nas premissas de "*Optimized Prodution Technology"* (OPT) e da Teoria das Restrições (TOC).

2. Materiais e métodos

Nos anos 70 em Israel, dentro de um ambiente de manufatura, nasceu a tecnologia de produção otimizada (*Optimized Production Technology*, OPT), onde o estudante de física Goldratt desenvolveu uma formulação matemática para o planejamento da fábrica do amigo que produzia gaiolas para aves (GOLDRATT, 1994 *apud* COX III; SPENCER, 2002). A OPT foi originalmente apresentada como *software* em um conjunto de regras de programação e acabou tornando-se questionamento das bases do planejamento e controle da produção, pois desafiava os indicadores de desempenho tradicionais da contabilidade de custos, gerencial e de negócios (COX III; SPENCER, 2002).

Para que a OPT fosse um *software* eficiente era necessário algumas mudanças no seu sistema tradicional de indicadores de desempenho. Assim, *A Meta*, novela *Best seller* de Goldratt contribuiu para a mudança da maneira como os gerentes visualizam a produção (COX III; ESPENCER, 2002).

O progresso de muitas empresas são evidenciados com a implementação dos conceitos do gerenciamento de restrições apresentados na *Meta*. Em 1986, Goldratt e Fox fundaram o Instituto educacional Avraham Y. Goldratt, baseados nos resultados da *Meta,* para o desenvolvimento e a difusão dos conhecimentos da TOC (COX III; SPENCER). A TOC aparece como uma nova filosofia para o pensamento gerencial onde a premissa básica é gerenciar a partir de suas limitações (restrições) que o sistema (organização) apresenta com foco no objetivo econômico máximo (meta) da empresa que é ganhar dinheiro (BELINCANTA; NERY; SAMED, 2006).

Restrição é todo recurso que a empresa possui e que tem uma capacidade de operação inferior aos outros recursos existentes na organização (COX III; SPENCER, 2002).

A filosofia da TOC é que toda organização possui pelo menos uma restrição. Para isso, identifica-se todas as restrições e depois se gerencia o processo a partir destas restrições para viabilizar o objetivo de ganhar dinheiro (CORRÊA; GIANESI, 1993).

Todo sistema que possui pelo menos uma restrição o que não significa que o sistema é bom ou ruim. Significa que sempre devemos gerenciar a restrição (GOLDRATT, 1990). Existem quatro conceitos que fundamentam a TOC (GOLDRATT, 2002):

a) toda empresa/organização é um sistema tangível e seu desempenho depende da forma de interação dos seus diferentes processos;

b) toda empresa/organização possui uma meta fundamental e os sistemas e recursos devem estar voltados para a meta;

c) Todo sistema considerado tangível possui ao mínimo uma restrição que limita o desempenho da organização como um todo em direção a sua meta;

d) os esforços de gerenciamento devem ser direcionados para os recursos que apresentam os maiores impactos sobre a meta.

As restrições se classificam em dois tipos (GOLDRATT, 2002): restrições internas (de recurso) e restrições externas (político-culturais). As restrições internas ou de recurso são caracterizadas por tempos de processamentos longos, falta de capacidade das máquinas e equipamentos produzirem o que se espera deles, falta de recursos humanos suficientes para a operação do sistema. As restrições político-culturais se referem às normas e procedimentos da organização, demanda por um produto, práticas e paradigmas culturais das organizações (UMBLE; SRIKANTH, 1990).

Os recursos podem ser gargalos (restrições) e não-gargalos (CORREA; GIANESI, 1993). Recurso gargalo é aquele que restringe o desempenho do sistema, ou seja, não deixa a empresa atingir a sua meta (COX III; SPENCER, 2002). Possui capacidade de processamento inferior à demanda depositada nele. O recurso gargalo é quem dita todo o fluxo do processo. Qualquer ganho

Copyright © 2013 IESC.

obtido no recurso gargalo é um ganho para todo o processo produtivo (GUERREIRO, 1999).

Neste trabalho iremos atuar no recurso gargalo, fazendo com que duas linhas de montagem para o mesmo produto, sendo uma com restrições de acabamentos deste produto, possa ser balanceada, através das interfaces inteligentes (DCP's) e atinja a sua meta de volume diário.

A seguir são descritos os cinco passos utilizados para o processo de melhoria contínua utilizados pela TOC neste trabalho (NOREEN; SMITH; MACKEY, 1996).

2.1 Identificar a restrição do sistema. As restrições de acabamento são facilmente identificadas, pois elas determinam o fluxo do sistema. Uma das linhas permite a passagem de todos os acabamentos e a outra, devido as restrições de montagem, só permite os produtos básicos. Ambas as linhas passam outros produtos exclusivos que dividem espaço com estes produtos comuns. No ponto de decisão da linha, tinha-se operador que fazia este processo manualmente, sem a visão da quantidade destes produtos intercambiáveis que já estavam no circulante.

2.2 Explorar as restrições do sistema. Com as restrições identificadas, tanto de produto como de processo, foram instaladas as interfaces inteligentes para automação da gestão das linhas de processo com o objetivo de tornar o sistema mais eficiente e aumentar a taxa da capacidade do recurso. A empresa/organização deve ser vista como uma corrente em que o recurso gargalo se encontra no elo mais fraco da corrente. Se a organização quer fortalecer a corrente é necessário aumentar a resistência do elo mais fraco (GOLDRATT, 1990). Otimizar a restrição significa realizar ações de curto prazo que adicionam capacidade a um recurso existente (COX III; SPENCER, 2002).

2.3 Subordinar todos os demais recursos à restrição. A interface inteligente faz a identificação do produto, consulta seus acabamentos no sistema MES, verifica se há restrição, analisa o circulante deste produto e direciona-o para a linha correta e balanceada conforme volume informado (meta). Este passo consiste em subordinar todas as outras atividades à restrição (COX III; SPENCER, 2002). É o passo mais difícil porque questiona todas as práticas e procedimentos gerenciais tradicionais.

2.4 Elevar as restrições. Com esta aplicação, houve aumento de capacidade de fluxo na organização, pois foi evitado o direcionamento de produtos não compatíveis com a linha, recirculação destes no processo e a retirada forçada no início da linha de montagem após a chamada JIT. O gerenciamento de restrições não é uma receita e a idéia é utilizar o gerenciamento destas restrições como um processo de melhoria contínua no processo produtivo. Explorar estas restrições foi praticar ações de curto prazo que adicionaram capacidade ao recurso existente. Elevar a restrição significa trazer capacidade ao recurso há um nível mais alto, normalmente através de investimentos em equipamentos mão de obra etc. (COX III; SPENCER 2002).

2.5 Se uma restrição for elevada, volte ao passo inicial e não deixe que a inércia seja a maior restrição do sistema. Neste trabalho a restrição não foi elevada, o que permitiu o alcance da meta desejável. Quando uma restrição for elevada, deve-se voltar ao passo inicial (identificar a restrição do sistema) para identificar a próxima restrição e não deixar que a inércia tome conta do processo. Deve-se concentrar em identificar e lidar efetivamente com a nova restrição (NOREEN; SMITH; MACKEY, 1996). O processo de focalização de cinco passos faz com que a administração pense, planeje e só então realize e verifique. É um processo sistemático de melhoria contínua (ROCHA NETO; MARCO, 2006).

Com base neste conceito foram instaladas as duas Interfaces Inteligentes (DCP) compostas de Ícaro (Figura 1) que é um tablet industrial para apontamento de dados que tem conexão com sistemas MES e comunicação com dispositivos de captura de dados - coletor de código de barras e câmera. Possui um display sensível ao toque para interface com o operador e gabinete compacto (CSI Engenharia e Sistemas, 2013)



Figura 1: Ilustração do Ícaro.

Segue abaixo as especificações técnicas desta interface (CSI Engenharia e Sistemas, 2013):

Copyright © 2013 ISESC.

- Processador Central ARM com sistema operacional embutido e VM Java
- Arquitetura Multiprocessador
- 256 MByte de Flash para programas
- 256 MByte de RAM
- Disco de Estado Sólido SD, atualizável pelo usuário
- 1 porta Ethernet 100baseT
- 1 porta Industrial Ethernet 100baseT
- 1 porta ProfiBus Slave
- 1 porta CAN bus
- 3 portas seriais assíncronas configuráveis como RS232, RS422 ou RS485
- 2 porta USB Host
- 1 porta USB OTG
- 2 portas CAN bus dedicadas para IO remoto
- 6 entradas digitais oticamente isoladas
- 24VDC@30mA com LEDs para uso geral
6 saídas digitais oticamente isoladas
- 24VDC@100mA com LEDs para uso geral
- 1 saída de bypass inteligente
- 1 entrada analogical (12-bit, true RMS, faixa de 0 a +2.5VDC)
- 1 saída de vídeo composto RCA
- 2 saídas de áudio L+R RCA
- 1 saída HDMI
- 1 entrada HDMI
- LCD colorido gráfico (800x600 pixels, 24bpp, 10.4") com touch screen e backlight
- Teclado dedicado com 6 teclas de função
- Alimentação de 24VDC (18~36VDC) @5W

Gabinete: 200x300x30 mm (LAP), plástico ABS, 1.5kg

A figura 2 apresenta a arquitetura da instalação descrita, onde é possível verificar os coletores de entrada, a interface inteligente e as opções de saída.

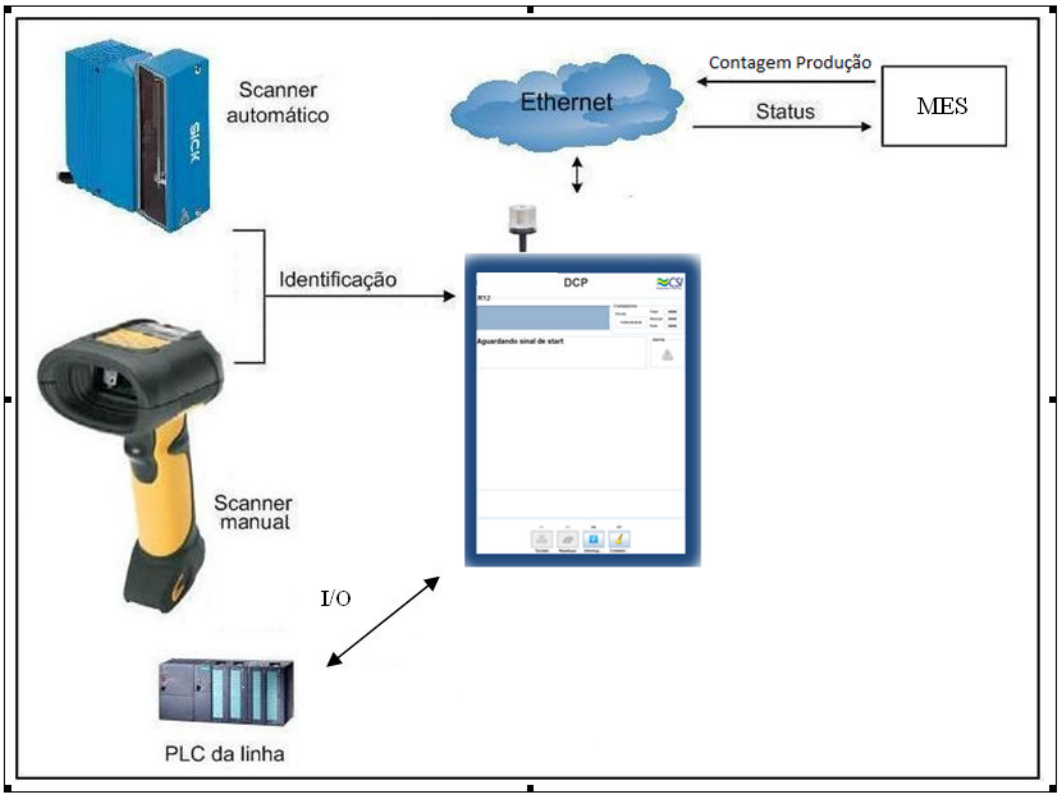

Figura 2: Arquitetura da instalação

Copyright © 2013 ISESC.
Unisanta Science and Technology **(61-68) p.p. ISSN 2317-1316**

As restrições técnicas avaliam os modelos de acabamento relacionados ao produto presente no ponto de decisão. A linha "A" está preparada para receber somente produtos básicos, enquanto a linha "B" pode receber produtos básicos e complexos.

Quando as DCP's identificam produtos de acabamentos básicos, que podem ser montados em ambas as linhas, elas aplicam uma regra de verificação do circulante de cada linha. Se for um produto com acabamento complexo este será direcionado automaticamente para a linha "B".

A regra de comparação de circulante é aplicada de forma muito similar nas duas DCP's. Cada uma possui as seguintes informações das duas linhas:

- Quantidade do produto entre o início da montagem, que neste trabalho chamamos de M1, e o ponto de leitura da DCP, que neste trabalho chamamos de L8, extraído do sistema MES;
- Meta de produção das linhas, atribuído pela área de planejamento.

O valor porcentual circulante (%circulante) para uma linha "X" é calculado de acordo com a expressão:

%circulante = circulante do produto (M1-L8) / programa de produção do produto

Exemplificando a linha de raciocínio através da figura 3. Assim uma DCP compara os dois valores %circulante, decidindo pelo de menor valor, permitindo que o produto continue na própria linha do processo ou não.

Para cada linha tem-se uma margem que é aplicada ao cálculo que define a preferência da linha atual. Esta margem busca reduzir a recirculação desnecessária de produtos entre as duas linhas quando a diferença entre os percentuais de circulantes for menor ou igual à margem colocada a cada linha.

A estratégia de utilização da margem de 5% é aplicada baseando-se na distância de recirculação da linha para evitar uma recirculação em círculo do produto dentro do processo produtivo.

Exemplo	Situação Simulada Linha e resultado da identificação do produto	(% Circulante)		Margem (em %)	Diferença (em %) A e B	Decisão
		Linha A	Linha B			
1	Linha A sem restrição	45	37	5	8	Enviado para linha B
2	Linha A sem restrição	45	40	5	5	Permanece na linha A
3	Linha A sem restrição	46	43	5	3	Permanece na linha A
4	Linha A com restrição	45	37	5	8	Permanece na linha A
5	Linha B sem restrição	37	45	5	8	Enviado para linha A
6	Linha B sem restrição	40	45	5	5	Permanece na linha B
7	Linha B sem restrição	43	47	5	4	Permanece na linha B
8	Linha B com restrição	44	47	5	3	Enviado para linha A
Obs.:	**Linha A** --> Pode fazer todos os modelos de acabamento do produto.					
	Linha B --> Pode fazer apenas o modelo básico do produto.					

Figura 3: Exemplo de aplicação

Copyright © 2013 ISESC. *Unisanta Science and Technology* **(61-68) p.p. ISSN 2317-1316**

3. Modo de Operação das Interfaces Inteligentes (DCP)

O ciclo tem início quando o PLC envia um sinal de presença, indicando que há um novo produto no posto de trabalho. Através de uma leitora de código de barras, a DCP realiza a identificação do produto e inicia o processo de tomada de decisão de destino. No fim do processamento, um sinal é enviado ao PLC para informar o resultado da operação.

A retirada do sinal de presença implica na interrupção imediata do processamento da DCP, independentemente do que esteja fazendo. Nesta condição, a DCP não irá gerar nenhuma sinalização ao PLC, simplesmente retornará ao estado inicial onde aguardará pela chegada do próximo produto.

A figura 3 apresenta o comportamento da DCP durante o ciclo de operação desde o instante da presença do produto até a sua liberação. Como contingência é utilizado uma ferramenta de passagem secundária que serve para garantir a segurança do processo em vários casos, como: queda da rede da fábrica, falha no equipamento, falha no sistema MES e outras.

Quando acionada esta ferramenta, o PLC recebe um sinal informando a falha e aguarda uma decisão do operador presente no posto de trabalho.

3.1 Controle Remoto

O aplicativo das Interfaces Inteligentes (DCP) L81 e L84 permitem que o PC que está na sala de controle, a qualquer momento, entre com novos valores para o programa de produção em cada uma das linhas de produção A e B.

Esta aplicação permite visualizar os valores correntes dos circulantes dos produtos comuns as duas linhas, e dos seus respectivos valores do percentual de circulante. O aplicativo deverá ser utilizado exclusivamente pelo PCP (Planejamento de Controle de Produção) que através dele realiza a atualização dos valores nas DCP´s, L81 e L84, ao mesmo tempo.

A Figura 4 mostra a tela de controle utilizada pela sala de controle para inclusão dos volumes previstos do produto comum nas duas linhas.

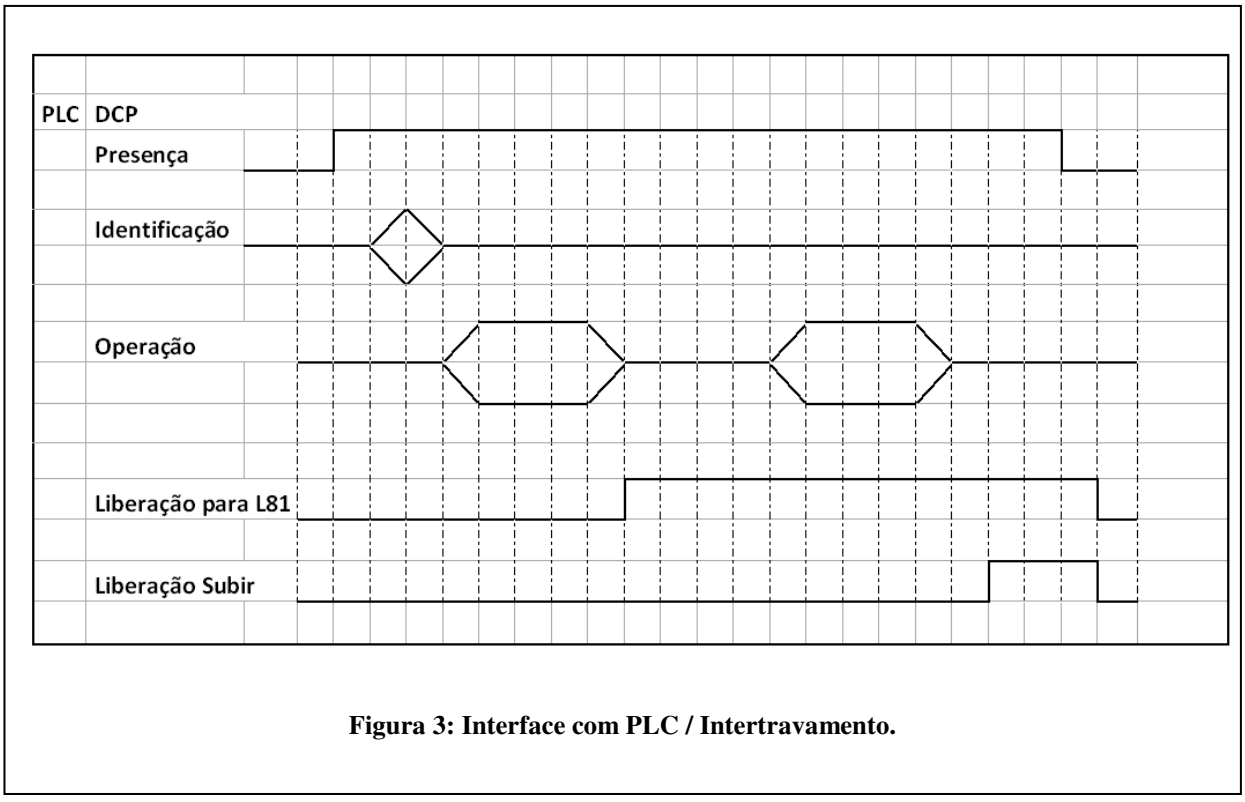

Figura 3: Interface com PLC / Intertravamento.

Copyright © 2013 ISESC.

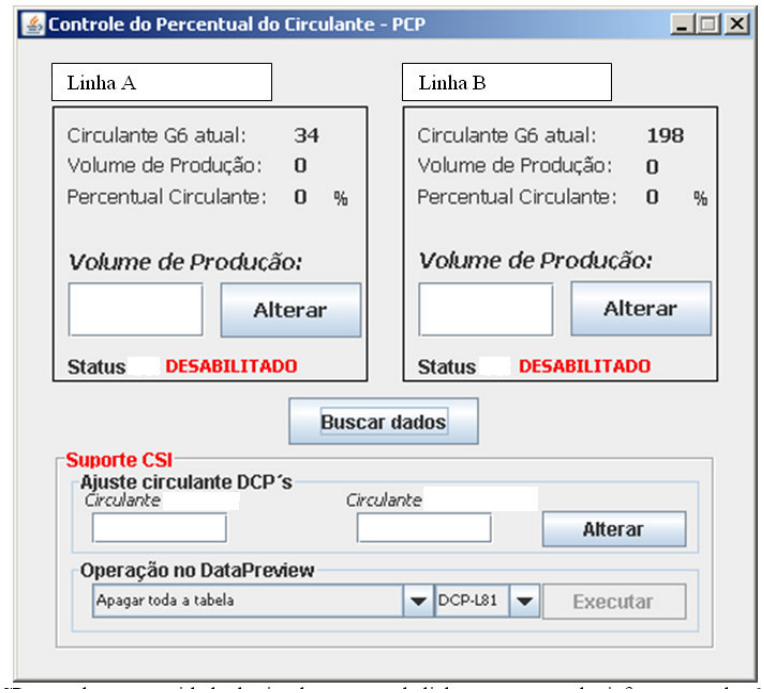

Figura 4: Tela de Monitoração do Volume.

3.2 Sistema MES

O Sistema MES utilizado é responsável pelo gerenciamento do processo produtivo, envia os telegramas em PMON para as Interfaces Inteligentes (DCP), onde através destas informações as mesmas conseguem identificar os acabamentos e verificar as restrições. Além disso, após a execução da tarefa, as DCP envia um "*Fast Request*" informando processo efetuado ao MES, onde este armazena as informações e nomeia um status no sistema.

Através do MES é possível a DCP obter a quantidade do produto comum no circulante das linhas e obter os relatórios gráficos do processo produtivo.

4. Conclusões

A linha produtiva operava com o discernimento humano no direcionamento do produto, onde o mesmo tinha como processo decisório identificá-lo visualmente e, a partir do reconhecimento da tipicidade do produto, direcioná-lo às linhas produtivas "A" ou "B".

Em um turno de trabalho de seis horas, realizando um conjunto de 250 a 400 avaliações, o processo era deveras cansativo e também repetitivo ocasionando falhas eventuais. O processo de avaliação manualmente é executado em média com 1,5 minutos em uma operação sem problemas, podendo chegar até cinco minutos.

Com as interfaces inteligentes, a execução da identificação é realizada através de leitores de código de barras e o direcionamento é executado em 20 segundos, livre de erros quanto à fadiga humana em uma atividade repetitiva.

Importante ressaltar que além do ganho de tempo e eliminação dos erros, conseguiu-se flexibilizar as duas linhas de produção, possibilitando a circulação de um produto com diferentes acabamentos em linhas restritas, não deixando de cumprir a meta de volume proposto e evitando recirculação e retirada forçada da carroceria após chamada "*Just in Time*".

5. Referências bibliográficas

BELICANTA, F. P., NERY, M. L., SAMED, M. M. A. *Otimização da Produção segundo a Teoria das Res-*

Copyright © 2013 ISESC.

trições: Análise de suas aplicações em uma indústria de embalagens plásticas. XIII Simpósio de Engenharia de Produção - SIMPEP, 2006, Bauru - SP.

CORRÊA, H. L., GIANESI, I.G.N. *Just in Time, MRP II e OPT:* Um enfoque estratégico. 2. ed. – São Paulo: Atlas, 1993.

COX III, J. F., SPENCER, M. S. *Manual da Teoria das Restrições*. Trad. Fernanda Kohmann Dietrich. Porto Alegre: Bookman, 2002.

CSI Engenharia e Sistemas (2013). *Gerenciador Industrial* http://www.csi.ind.br/index.php/equipamentos/gerenciador-industrial

GOLDRATT, E. M. *Haystack Syndrome:* Sifting information out of the data ocean. North River Press, 1990.

GOLDRATT, E. M. *A Meta:* Um processo de aprimoramento contínuo: ClaudineyFullmann, 1997.

GOLDRATT, E. M. *A Meta:* Um processo de melhoria contínua. São Paulo: Nobel, 2002.

NOREEN, E. W., SMITH, D., MACKEY, J. T. *A Teoria das Restrições e suas Implicações na Contabilidade Gerencial:* Um relatório independente. Tradução Claudiney Fullmann, São Paulo: Educator, 1996.

ROCHA NETO, A., MARCO, R. A. de. *A Teoria das Restrições na Prática:* Elevação dos gargalos no processo produtivo de uma indústria metal mecânica. XIII Simpósio de Engenharia de Produção, SIMPEP, 2006, Bauru - SP.

ROCKWELL AUTOMATION (2013). *Sistema de Controle SLC 500* http://ab.rockwellautomation.com/pt/programmable-controllers/slc-500

SENAI (2011). *Curso avançado de CLP para barramento de entrada e saída de CLP* http://www.slideshare.net/walisom/barramento-de-entrada-e-sada-de-clp

SICK (2013). *Bar code scanners* http://www.sick.com/us/en-us/home/products/product_portfolio/identification_systems/Pages/overview_clv_series.aspx

SIEMENS (2013). *Controlador de processo SIMATIC S7-400*

Copyright © 2013 ISESC.