

OTIMIZAÇÃO EM CÉLULAS DE USINAGEM UTILIZANDO CONCEITOS DE MÁXIMA PRODUÇÃO E MÍNIMO CUSTO

Luiz Carlos Rosa (Fatec-Sorocaba; Unesp-Sorocaba) luizrosa@fatecsorocaba.edu.br
Iberê Luis Martins.(Fatec-Sorocaba) ilumar@globo.com

RESUMO: Este artigo apresenta um sistema para a otimização de resultados em usinagem com máquinas CNC trabalhando em Células de Manufatura ou Lay Out Celular utilizando os conceitos de Máxima Produção e Mínimo Custo que definem os parâmetros Econômicos de Usinagem como Velocidade, Avanço e Profundidade de Corte.

É aplicável ao uso de uma ou mais máquinas ferramentas conduzida por um único operador conhecido como Polivalente.

Nesse sistema as máquinas ferramentas devem estar equipadas com CNC que possibilite a comunicação eletrônica com o MS Excel.

É possível monitorar cada etapa da produção otimizando o resultado operacional.

Palavras Chaves: Modelos Usinagem, células de usinagem, otimização em células de usinagem.

1. INTRODUÇÃO

A evolução do monitoramento e controle na usinagem exige máquinas e ferramentas com tecnologias cada vez mais avançadas para garantir o atendimento com qualidade e prazos além da expectativa do cliente.

As máquinas são equipadas com CNC e dispositivos automáticos de fixação de peças que garante repetibilidade ao processo aliada a um tempo cada vez menor de fabricação.

As ferramentas são projetados com geometrias complexas fabricadas de materiais tipo Metal Duro; Cerâmico e Nitreto de Boro que permitem velocidades de corte cada vez maiores ao limite da capacidade da Máquina Operatriz.

Alguns softwares tipo CAD/CAM mais avançados permitem parcialmente a comunicação direta do computador com programa CAD e a máquina CNC. Esta comunicação tem a finalidade de transformar um desenho em CAD em linguagem de programação CNC, eliminando parte da tarefa da programação manual executada pelo especialista conhecido como Programador CNC muito comum nas empresas.

Se através da comunicação CAD \leftrightarrow CNC acima descrita for permitindo a coleta de dados como Velocidade, Avanço e Profundidade de Corte em tempo real, após o processamento em MS Excel poderá ser calculado o Custo do Processamento. Este Custo é analisado e se estiver distorcido, pode ser imediatamente corrigido de tal forma a atingir o Custo Econômico previsto entre os intervalo de Mínimo Custo e Máxima Produção.

Esta tecnologia poderá ser aplicada a máquinas isoladas ou dispostas em lay out celular operada por um único operador.

2. CONCEITOS DE MÁXIMA PRODUÇÃO E MÍNIMO CUSTO; ANÁLISE ECONÔMICA DA USINAGEM – INTERVALO DE MÁXIMA EFICIÊNCIA.

(Obs: todas as equações a seguir estão deduzidas nos anexos III e IV).

O aumento na Velocidade de Corte, no Avanço e na Profundidade, acarretará um aumento na quantidade de peças fabricadas por unidade de tempo; e uma diminuição no custo por peça (**C2**). Porém maior será o desgaste de ferramenta e maior será o custo da ferramenta (**C1**). O custo total é composto pelas duas frações além de outros custos indiretos. Como uma parte do custo aumenta com o aumento da produção e outra parte diminui, sempre existirá uma quantidade ideal de peças produzidas num intervalo de tempo em função da Velocidade, Avanço e Profundidade de Corte adotados onde o Custo será Mínimo ou a Produção será Máxima.

Estes pontos são conhecidos como de Máxima Produção (**MP**) e Mínimo Custo (**mc**). O intervalo entre eles é conhecido como Intervalo de Máxima Eficiência. Os parâmetros de Velocidade, Avanço e Profundidade de Corte são conhecidos como Condição Econômica de Usinagem.

A Condição Econômica para Mínimo Custo ocorrerá quando o custo total unitário for mínimo (**C3**).

A Condição Econômica de Usinagem para Máxima Produção ocorrerá quando o tempo total de fabricação de uma peça for mínimo (**C4**).

Portanto pela figura 1, podemos identificar os custos comentados acima.

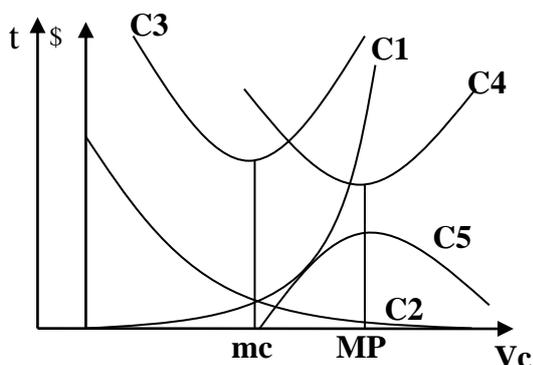


Figura 1 – Intervalo de Máxima Eficiência

- ✓ **C1**- Custo que aumenta com o aumento da velocidade de corte.
- ✓ **C2**- Custo que diminui com o aumento da velocidade de corte
- ✓ **C3**- Custo resultante de C1 mais C2
- ✓ **C4**- Resultante do tempo de produção por peça em função da V_c
- ✓ **C5**- Quantidade de produção
- ✓ **mc**- Ponto de mínimo custo
- ✓ **MP**- Ponto de máxima produção

2.1. CICLO DE USINAGEM

Entende-se por ciclo de usinagem a colocação e fixação da peça na máquina, a aproximação da ferramenta, o corte ou a usinagem propriamente dita, o afastamento da ferramenta até a inspeção e a retirada da peça, incluindo o preparo da máquina, a troca ou substituição do ferramental, a afiação da ferramenta e a recolocação de ferramentas.

O tempo de usinagem é a soma dos tempos gastos em cada uma dessas etapas.

2.1.1. TEMPO DE USINAGEM

Tempo morto (T_m): É o tempo necessário para colocar a peça no dispositivo de fixação, efetuar a fixação propriamente dita, avançar e recuar a ferramenta e retirar a peça da máquina.

Tempo de preparo (T_p): Envolve as operações precedentes a produção normal, preparo da ferramenta, guiar a peça, etc.

Tempo de corte (t_c): É o tempo gasto para remoção de material. (É o tempo de usinagem propriamente dito).

Tempo de troca da ferramenta (T_{tf}): É o tempo para a troca de ferramentas durante o processo de usinagem

Tempo de afiação (T_a): É o tempo despendido para a reafiação da ferramenta.

Tempo total por peça:

Considerado;

$$T_m + T_p = T_k \quad (2.1)$$

$$T_T = T_k + t_c + (t_c/T) * T_{TF} \quad (2.2)$$

2.1.2. CUSTOS UNITÁRIOS

O Custo associado à usinagem pode ser conforme o desmembramento do Tempo a seguir:

K_1 : dado em R\$/min - Está relacionado com as despesas diretas e indiretas da mão de obra e da máquina.

K_2 : dado em R\$/afiação ou troca de ferramenta - Relacionado com as despesas diretas e indiretas da afiação.

O custo total por peça;

$$C_T = T_m * K_1 + T_p * K_1 + t_c * K_1 + T_c/T * K_1 * T_{tf} + T_c/T * K_2 \quad (2.3)$$

2.2. CONDIÇÃO PARA MÍNIMO CUSTO (MC)

$dC_T / dV_C = 0 \Rightarrow$ Mínimo custo por peça

$$V_{Cmc} = \{ [K_1 / (T_{TF} * K_1 + K_2)] * [C' / (1/y - 1)] \}^y \quad (2.4)$$

2.3. CONDIÇÃO PARA MÁXIMA PRODUÇÃO (MP)

$dT_T / dV_C = 0 \Rightarrow$ Tempo mínimo de produção por peça

$$V_{CMP} = \{ C' / [(1/y - 1) * T_{TF}] \}^y \quad (2.5)$$

Custo total para Máxima Produção.

$$C_{TMP} = T_k * K_1 + (\pi * \emptyset * L_c / a) * K_1 * V_C^{-1} + (\pi * \emptyset * L_c / a * C') * (T_{TF} * K_1 + K_2) * V_C^{(1/y - 1)} \quad (2.6)$$

Onde

$$T_{TMP} = [C_V / (5g * b^{f-g} * h^{f+g} * V_c)]^{1/y} * 60 \quad (2.7)$$

Tempo total para Máxima Produção

$$Tt_{MP} = T_K + (\pi \cdot \emptyset \cdot L_C / a) \cdot V_C^{-1} + (\pi \cdot \emptyset \cdot L_C / a \cdot C') \cdot V_C^{(1/y-1)} \cdot T_{TF} \quad (2.8)$$

Onde;

$$t_C = (\pi \cdot \emptyset \cdot L_C / a) \cdot V_C^{-1} \quad (2.9)$$

$$C' = [C_V / (5^g \times b^{f-g} \times h^{f+g})]^{1/y} \times 60 \quad (2.10)$$

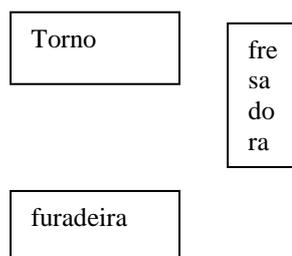
$$T = C' / V_C^{1/y} \quad (2.11)$$

$$t_C / T = (\pi \cdot \emptyset \cdot L_C / a) \cdot V_C^{(1/y-1)} / C' \quad (2.12)$$

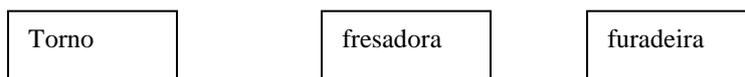
3. CONCEITOS CLÁSSICOS DE LAY OUT

O Lay Out industrial clássico pode ser dividido em;

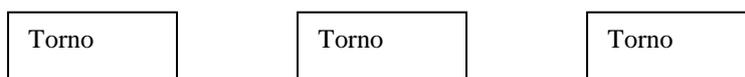
Lay Out Celular – As máquinas são agrupadas em células em formato U e comandadas por um único operador. funcionam como uma ilha de lay out de produção dentro de uma job shop maior ou lay out por processo. Cada célula num lay out celular é formada para produzir uma única família de peças. A família de peças é identificada através da Tecnologia de Grupo. Tecnologia de Grupo é um sistema de codificação em múltiplos dígitos que descreve a característica física da peça. neste caso, o lay out é focado na Família de peças.



Lay Out por Produto ou em Linha – Quando as maquinas são organizadas de acordo com o produto a ser feito portanto focado no produto.

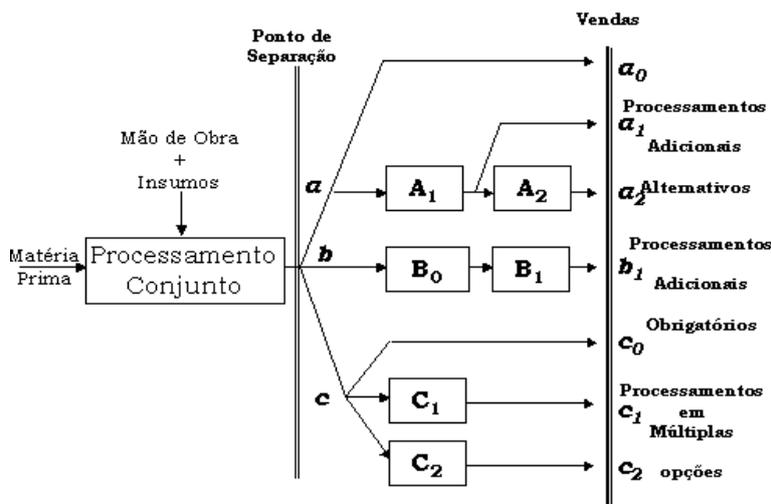


Lay Out por Processo ou Funcional – Quando as máquinas são agrupadas de acordo com o tipo de processo a ser executado portanto focado no processo (Gaither, 2001)



4. O SISTEMA DE MONITORAÇÃO

O Sistema da Monitoração aqui apresentado tem como premissa a organização do Processo de Produção Conjunta que considera os Custos Diretos na alocação e formação do custo.



Fonte: Brunstein (1994; p. 2).

Figura 4.1 Configuração básica do processamento conjunto.

O Processo de Produção de Produtos Conjunto é um Processo característico pela obtenção de vários produtos a partir de uma única matéria prima. É um processo comum nas indústrias químicas, petroquímicas. As máquinas são dispostas (lay out) de acordo com a seqüência das etapas de produção.

O modelo econômico em produção conjunta desenvolvido por BRUNSTEIN (2001) considera o sistema de custeio direto da seguinte forma:

$$MSBC = MBC - CFP \quad (4.1)$$

$$MBC = RL - CV \quad (4.2)$$

$$RL = RB - DPF \quad (4.3)$$

Onde;

MSBC = margem semi-bruta de contribuição

MBC = margem bruta de contribuição

CFP = custo ou despesa fixa própria

RL = receita líquida

CV = custo variável

RB = receita bruta

DPF = despesas proporcionais ao faturamento

As DPF são despesas de vendas como: impostos (ICM, IPI, PIS, COFINS), comissões de vendas, fretes, seguros, embalagens, royalties e algumas despesas financeiras.

A figura 4.1 apresenta o modelo econômico completo da produção de produtos conjuntos que ilustra os três processos adicionais: alternativo, obrigatório e em múltiplas opções.

O resultado do processamento conjunto (RES) corresponde ao somatório das MBC ou MSBC de todos os produtos produzidos no período, extraídos os custos ou despesas fixas incorridos no processamento. As Equações 4.4, 4.5 e 4.6 representam o resultado do processo conjunto:

$$RES = MSCBa + MSCBb + MSCBc - CT \quad (4.4)$$

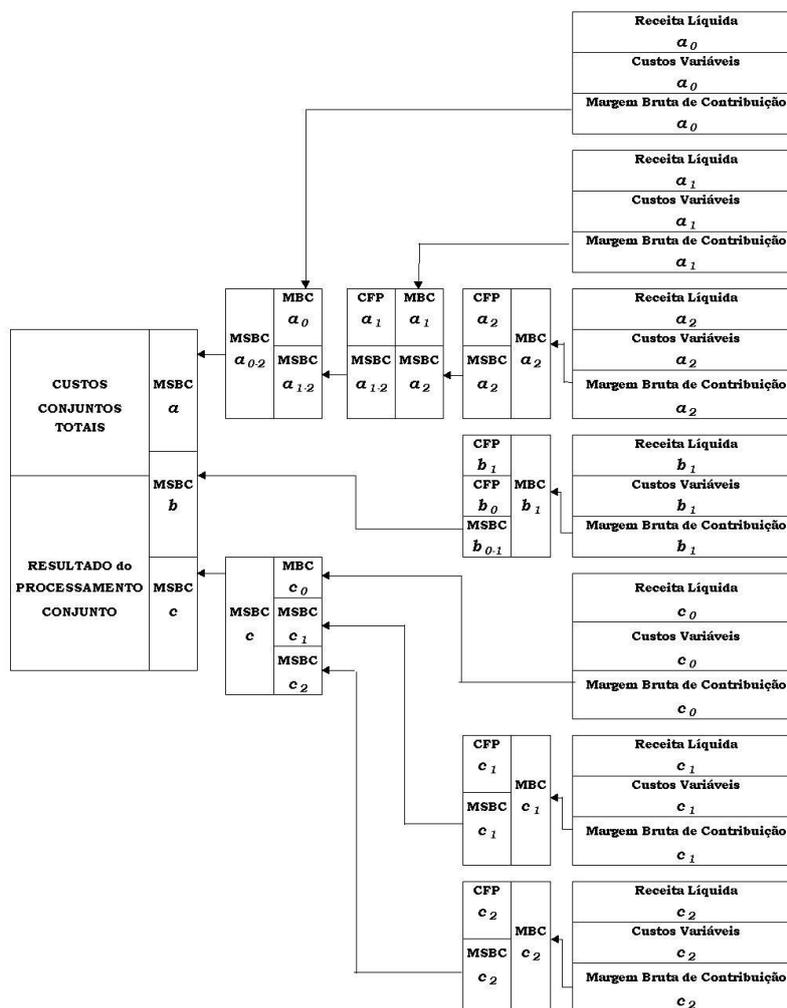
$$RES = \sum_{i=1}^n (MBCa_i + MBCc_i) + MCBb_n - \sum_{i=1}^n (CFPa_i + CFPb_i + CFPc_i) - CT \quad (4.5)$$

$$RES = MBCtotal - CFtotal \quad (4.6)$$

onde;

CT = custo conjunto total do processamento.

CF = custo fixo, que compreende os custos fixos próprios mais o custo conjunto total do processamento.

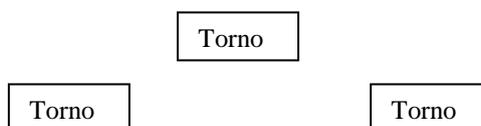


Fonte: Brunstein (1994)

Figura 4.2 Modelo completo de processamento conjunto

Por outro lado, o processo de usinagem é um processo trata-se de um processo discreto onde as peças são produzidas em lotes passando por varias etapas até que todas as peças fiquem prontas.

Considerando os três Lay Outs citados funcionando como Células de Usinagem comparados com o Processo Conjunto podemos ter a seguinte configuração (figura 4.3).



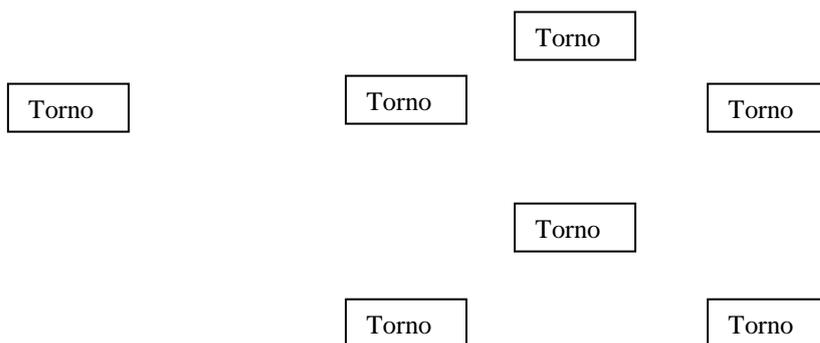


Figura 4.3 – Lay Out híbrido

Como sabemos, o lay out industrial normalmente é híbrido utilizando todas as configurações conhecidas de acordo com a necessidade da produção.

Todo setor produtivo é administrado por uma equipe de profissionais onde o custo dessa administração é considerado indireto. Este custo é distribuído através de rateio para cada máquina que compõe a linha de produção.

5. O CUSTO DE UMA MÁQUINA DE QUALQUER CÉLULA DE USINAGEM

Tomando-se o Torno 2 da célula de produtos A (lay out focado no processo).

Supondo que esse torno usina ($Pc_{A2} = a_2$) para terceiros a um Preço de Venda Líquido = $PVLu_{a2}$.

Se o torno produz uma quantidade Q_{a2} de peças por unidade de tempo.

Se o Custo Variável é conhecido (CT_{IMEa2} = custo total unitário no Intervalo de Máxima Eficiência).

Se todos os custos fixos do processo referente ao torno A2 são conhecidos Mão de Obra, depreciação de equipamentos, custo de instalações, manutenção e etc = CFP_{a2})

Temos:

$$MBC_{a2} = RL_{a2} - CV_{a2} \quad (5.7)$$

$$MBC_{a2} = RB_{a2} - DPF_{a2} - CV_{a2} \quad (5.8)$$

$$MBC_{a2} = Q_{a2} \times PVu_{a2} - Q_{a2} \times DPFu_{a2} - Q_{a2} \times CVu_{a2} \quad (5.9)$$

$$MBC_{a2} = Q_{a2} \times (PVu_{a2} - DPFu_{a2} - CVu_{a2}) \quad (5.10)$$

Substituindo-se a MBC para o produto a_2 na equação 3.1 temos:

$$MSBC_{a2} = Q_{a2} \times (PVLu_{a2} - CVu_{a2}) - CFP_{a2} \quad (5.11)$$

Os dados de produção ($Q_{a2} = 1/tc$) e Custo de produção (CT_{IMEa2}) são coletados pelo sistema de monitoramento conforme visto no anexo I.

Os valores de CFP_{a2} e $PVLu_{a2}$ são informados no sistema.

A figura 4.3 abaixo ilustra o processamento dos dados para o torno 2 = A_{a2} .

Q_{a2} = Volume instantâneo de produção do produto a_2 .

$PVLu_{a2}$ = Preço de Venda Líquido unitário do produto a_2 = $(PVu_{a2} - DPFu_{a2})$.

CVu_{a2} = Custo Variável unitário do produto a_2 .

CFP_{a2} = Custo Fixo Próprio do produto a_2 .

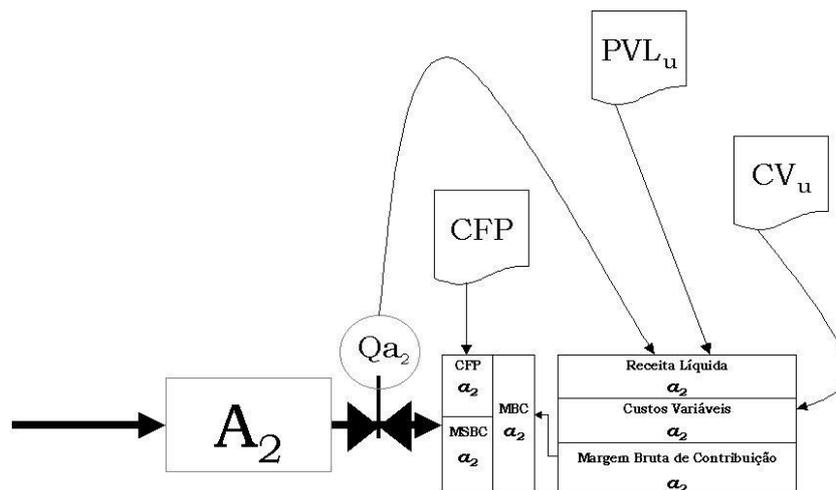


Figura 3.2 Unidade de Processamento A2

Observa-se na figura 3.2 que se pode obter os valores das Margens Bruta e Semi-bruta de Contribuição através das informações fornecidas de PVu, CVu e CFP mais a quantidade Qa_2 , obtida através do sistema de monitoramento.

6. A INTEGRAÇÃO DAS MÁQUINAS NA S CÉLULAS ATRAVÉS DO SISTEMA

A interligação entre a máquina e computador para aquisição de dados num ambiente de fabrico industrial é a obtenção de informações (dados) confiáveis, para um correto planejamento da produção e prazo de entrega. Neste trabalho um protótipo de aquisição de dados de baixo custo é apresentado, baseado em um micro controlador PIC, possuindo uma interface homem-máquina composta de um display e um teclado e um circuito condicionador de sinais para sensores que captam as informações “Aquisição de Dados de Máquinas Operatrizes em Ambiente Industrial” Gideon Villar Leandro (ABEPRO/UNIJUI) gede@unijui.tche.br . ENEGEP 2006

Aplicando-se o conceito de U.P. em todos os estágios do processamento conjunto - que agindo no processo produtivo pode, dentro de determinados parâmetros técnicos, alterar quantidades ou volumes processados - e do modelo econômico - que permitindo a tomada de decisão - transforma em valores financeiros as quantidades ou volumes da produção - que resulta no Modelo Físico-Econômico de Processamento de Produção de Produtos Conjuntos como mostrado na figura 4.1.

6.1. INTEGRAÇÃO DAS MÁQUINAS DENTRO NUMA CÉLULA FOCADA NA TG

$$MSBCa = \sum_{i=1}^n [Qa_i \times (PVua_i - DPFua_i - CVua_i) - CFPa_i] \quad (6.1)$$

6.2. INTEGRAÇÃO DAS MÁQUINAS DENTRO NUMA CÉLULA FOCADA NO PRODUTO

$$MSBCb = Qb_n \times (PVub_n - DPFub_n - CVub_n) - \sum_{i=1}^n CFPb_i \quad (6.2)$$

6.3. INTEGRAÇÃO DAS MÁQUINAS DENTRO NUMA CÉLULA FOCADA NO PROCESSO

$$MSBCC = \sum_{i=1}^n [Qc_i \times (PVuc_i - DPFuc_i - CVuc_i) - CFPc_i] \quad (6.3)$$

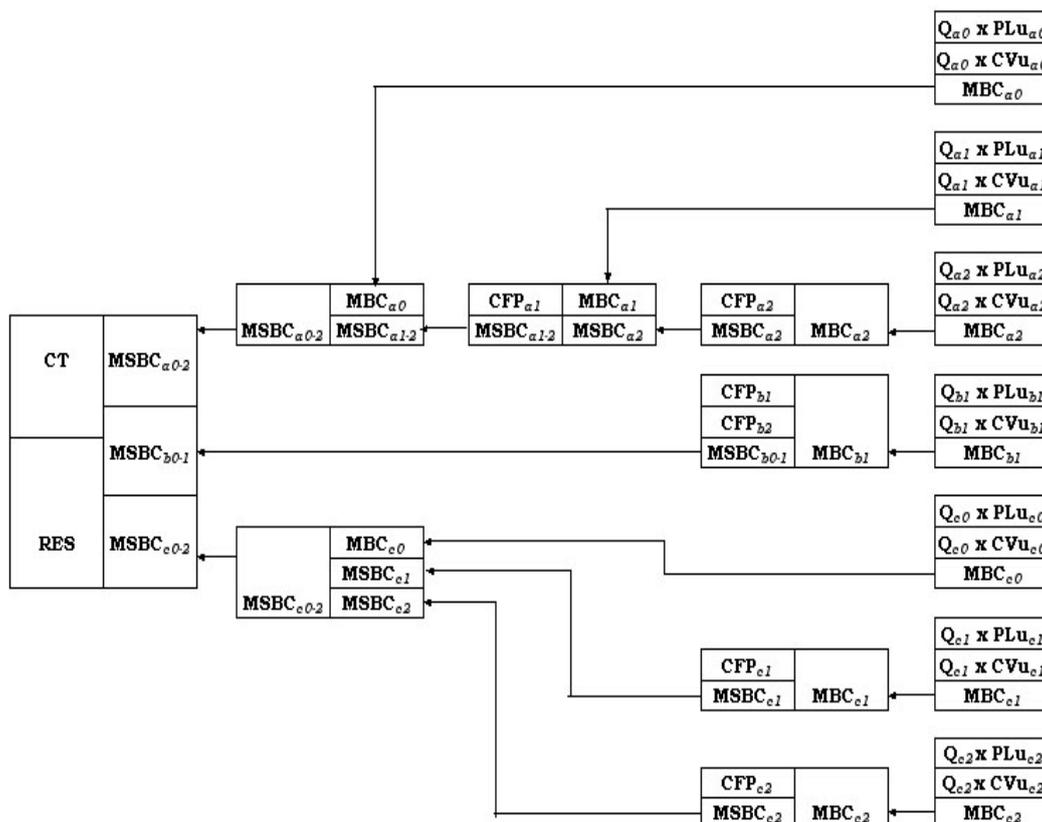


Figura 6.1 Modelo físico-econômico para processamento conjunto

7. ANÁLISE DO PROCESSO.

A adoção deste modelo de gestão possibilita as seguintes análises para tomadas de decisão:

7.1. Máxima Produção / Mínimo Custo

Para cada máquina isoladamente se conhece a produção Q e o Custo da peça CT_{IME} dentro do Intervalo de Máxima Produção e Mínimo Custo.

Dentro da célula, cada máquina pode ser operada de acordo com o andamento necessário para cumprir a produção ou seja próximo ao Mínimo Custo ou a Máxima Produção.

Com outras informações anteriormente comentados (item 5) pode-se alterar a quantidade de produção.

7.2. Mínimo Custo

Os parâmetros são ajustados para obter o mínimo custo quando se trabalha com parâmetros (vc , a e p) próximo ao ponto de *mc*. Neste caso, o tempo é irrelevante pois a produção deve estar em dia.

7.3. Máxima Produção.

Os parâmetros são ajustados para obter a máxima produção e o custo neste caso é secundário pois a produção pode estar atrasada.

8. CONCLUSÕES

8.1. O USO DAS VARIÁVEIS ECONÔMICAS NA MONITORAÇÃO DO PROCESSO PERMITE QUANTIFICAR OS CUSTOS EM CADA FASE DO PROCESSO.

8.2. OS CUSTOS EM CADA FASE SÃO CONTROLADOS POR MEIO ELETRÔNICO E EM TEMPO REAL.

8.3. A ADMINISTRAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO EM TEMPO REAL PERMITE, DIANTE DE DISTORÇÕES IDENTIFICADAS, A CORREÇÃO DE TAL FORMA A ATINGIR O RESULTADO PREVISTO.

8.4. O MELHOR RESULTADO, COMO JÁ VISTO, É OBTIDO ATRAVÉS DE ACOMPANHAMENTO DO DESEMPENHO DA PRODUÇÃO COMPARADO COM O RESULTADO COM VALORES DO IME.

8.5. A MANIPULAÇÃO DE DADOS SEGURO POR MEIO ELETRÔNICO ELIMINA POSSÍVEIS ERROS HUMANOS, PORTANTO MAIS CONFIÁVEIS.

8.6. AS LIMITAÇÕES FÍSICAS DO PROCESSO PRODUTIVO COMO RENDIMENTOS, CAPACIDADES DE PRODUÇÃO PODEM SER CONTROLADAS PELO SISTEMA DE MONITORAÇÃO.

8.7. O SISTEMA DE MONITORAMENTO PROPOSTO NESTE TRABALHO TEM CONDIÇÃO DE CONTROLAR E ATUAR NO PROCESSO PRODUTIVO, DE FORMA A ATINGIR O OBJETIVO DE MAXIMIZAR O RESULTADO.

8.8. É POSSÍVEL DEFINIR OS PONTOS DE QUANTIDADES MÍNIMA E MÁXIMA E, A PARTIR DELES, ESTABELECE A CONDIÇÃO DE CONTORNO DA PRODUÇÃO. A PRODUÇÃO DEVE SER OPERADA DENTRO DESSES VALORES, PARA GARANTIR RESULTADOS SATISFATORIOS DURANTE TODO O PERÍODO DE PROCESSAMENTO.

8.9. O SISTEMA MONITORADO PERMITE ATUAR NO PROCESSO, AJUSTANDO O VOLUME DE TRABALHO ÀS CONDIÇÕES ECONÔMICAS ACIMA DESCRITAS, EM INTERVALOS DE TEMPO TÃO PEQUENOS QUANTO PERMITIDO PELAS CARACTERÍSTICA DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NO PROCESSO.

8.10. O AJUSTE DO PROCESSO LEVA A DEFINIR O *SET POINT* DOS EQUIPAMENTOS, FACILITANDO O TRABALHO TANTO DA OPERAÇÃO - SEM RISCO DE ERRO POR PARTE DO OPERADOR – QUANTO DO GERENCIAMENTO EFICIENTE - POR PARTE DA ADMINISTRAÇÃO.

8.11. ENTRETANTO, OUTRAS POSSIBILIDADES PODEM SER INICIADAS;

8.12. REFASER KIENSLE E KRONEBERG

8.13. REVISÃO DOS CONCEITOS DE CUSTOS.

8.14. ETC.

9. EXEMPLO DE SIMULAÇÃO QUE ESTÁ SENDO USADO PARA VALIDAÇÃO DO SISTEMA.

MÁXIMA PRODUÇÃO	MÍNIMO CUSTO
$T_{MP} = \left(\frac{1}{y} - 1\right) \cdot \frac{h}{a} \cdot \frac{1}{v} \quad [\text{min}]$	$T_{mc} = \left(\frac{1}{y} - 1\right) \cdot \left(\frac{T_{TF} \cdot K_1 + K_2}{K_1}\right) \quad [\text{min}]$
$h \text{ em função de } T: \quad h^{(1-z)-(f+z)} = \frac{4500 \cdot N_c \cdot \left(\frac{T}{60}\right)^y}{C_r \cdot K_{s1} \cdot b^{(1-z)-f}} \quad [\text{mm}]$	$h \text{ em função de } T: \quad h^{(1-z)-(f+z)} = \frac{4500 \cdot N_c \cdot \left(\frac{T}{60}\right)^y}{C_r \cdot K_{s1} \cdot b^{(1-z)-f}} \quad [\text{mm}]$
$h = a \cdot s \quad [\text{mm}]$	$h = a \cdot \text{sen } x$
$F_c = K_{s1} \cdot b \cdot h^{(1-z)} \quad [\text{kgf}]$	$F_c = K_{s1} \cdot b \cdot h^{(1-z)} \quad [\text{kgf}]$
$N_c = \frac{F_c}{4500} \quad [\text{cv}]$	$N_c = \frac{F_c \cdot V}{4500C} \quad [\text{cv}]$
$V_c = \frac{\pi \cdot \phi \cdot n}{1000} \quad [\text{m/min}]$	$V_c = \frac{\pi \cdot \phi \cdot n}{1000} \quad [\text{m/min}]$
$T_T = T_M + T_P + t_c + \left(\frac{t_c}{T}\right) \cdot T_{TP} + \left(\frac{t_c}{T}\right) \cdot T_a \quad [\text{min}]$	$T_T = T_M + T_P + t_c + \left(\frac{t_c}{T}\right) \cdot T_{TP} + \left(\frac{t_c}{T}\right) \cdot T_a \quad [\text{min}]$
$\text{Custo total de corte: } C_T = \left[T_M + T_P + t_c + \left(\frac{t_c}{T}\right) \cdot T_{TP} \right] \cdot K_1 + \left[\left(\frac{t_c}{T}\right) \cdot K_2 \right] \quad [\$/\text{peça}]$	$\text{Custo total de corte: } C_T = \left[T_M + T_P + t_c + \left(\frac{t_c}{T}\right) \cdot T_{TP} \right] \cdot K_1 + \left[\left(\frac{t_c}{T}\right) \cdot K_2 \right] \quad [\$/\text{peça}]$

Exercícios de Máxima produção e Mínimo Custo:

- Para o torneamento de uma peça de FoFo Esferóide são dados:
 profundidade p = 2 mm; ferramenta de M.D.; $\gamma > 0$;
 $\chi = 45^\circ$; comprimento Lc = 50 mm; $\phi_{\text{est}} = 154$ mm;
 $N_c = 5$ cv; $M_{\text{máx}} = 40$ kgf.m;
 rotações: 25 - 40 - 80 - 160 - 250 - 300 - 430 - 500 - 800
 avanços: 0,01 - 0,1 - 0,2 - 0,4 - 0,6 - 0,8 - 1,0 - 1,2
 $T_{TF} = 4$ min; $T_m = 2$ min; $T_P = 0,5$ min; $K_1 = \$15/\text{hora}$; $K_2 = \$2,50 / \text{troca}$
 Pede-se a e n para (a) máxima produção e (b) para custo mínimo.

Sequência de cálculo

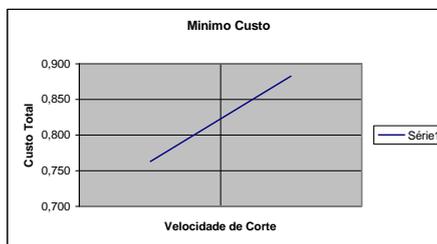
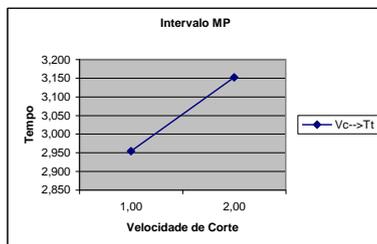
$\gamma(Tm \text{ f}(T)?$ a calc.? Tab.máq.? a ef.? Fc ? Vc ? .máq. ? tab.máq. : n ef ? tc? /c ef ? Nc ef.? Nc ef.? T ef.? Tt ? Ct

Dados do processo							Dados de Tempo			Dados de Custo		Dados Peça, Ferramenta e Máquina					
Material da Peça	Ks1	z	Cv	y	f	g	Ttf (min)	Tm (min)	TP (m)	K1 \$/h	K2 \$/troca	ferr. M.D	Φ mm	p (mm)	Nc (cv)	Lc mm	
FoFo esférico		130	0,26	120	0,25	0,2	0,1	4	2	0,5	15	2,5		154	2	5	50

$(1-z)$	$1/(1-z)$	b mm	h mm	a cal	a ef	h ef
0,4	2,2727	2,828				0,141

$\gamma > 0$	χ°	Cv^*
	45	102,161

	T?	h f(T)?	a calc.?	Tab.máq.?	a ef.?	Fc ?	Vc ?	n calc	Tab.máq. ?	n ef ?	tc?	Vc ef ?	Nc ef.?	T ef.?	Tt ?	Ct
mc	42	0,323	0,456		0,40	99,175	155,794	322,018		300	0,417	145,142	4,658	44,22	2,954	0,76
MP	12	0,158	0,224		0,20	86,471	260,203	537,827		500	0,500	241,903	4,648	13,17	3,152	0,88



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRUNSTEIN, I. **PRO-174 Economia de empresas**. Apostila de Curso – Departamento de Engenharia de Produção, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo: USP, 2001.
- _____. **Uma proposta de modelagem econômica de processos químicos com produção de produtos conjuntos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 10., 1994, São Paulo. Anais do 10º Congresso Brasileiro de Engenharia Química. São Paulo: USP, 1994. p.1149-1154.
- BRUNSTEIN, I.; TOMIYA, E. H. **Modelo econômico de empresa sucro alcooleira**. G & P, São Paulo, v.2, n.3, p. 264-280, dez. 1995.
- EMERSON PROCESS MANAGEMENT. **PantWeb**: uma arquitetura revolucionária de automação de controle de processos. [Sorocaba]:[s.n.], [2004].
- MARTINS, E. **Contabilidade de custos**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1991.
- MILLER, R. W. **Flowmeter engineering handbook**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1989.
- PEREIRA, A. P.; SANTOS, L. **Arquiteturas Híbridas de Controle de Processos**: do sonho do passado à realidade dos dias de hoje. [s.l.]:[s.n.], [2003]
Disponível em: <http://www.augusto.sp13.net>
Acesso em: 31 mar. 2004.
- PEREIRA, A. P.; SANTOS, L. **Gerenciamento de ativos**: exemplos de diminuição de custos no projeto e durante a operação. [s.l.]:[s.n.], [2003]
Disponível em: <http://www.augusto.sp13.net>
Acesso em: 31 mar. 2004.
- PEREIRA, A. P.; VERHAPPEN, I. **Foundation Fieldbus**: a pocket guide. USA: [s.n.], 2002. ISBN 1-55617-775-5.
- ROSA, L. C. **Interface física econômica em gestão de processo de produção de produtos conjuntos**. 2004. 103 f. Tese de Doutorado – Departamento de Engenharia de Produção, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2004.
- ROSA, L. C. **Modelo econômico para empresa agro-industrial**. 1999. 126 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia de Produção, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- TOLEDO, N. N. Custos Industriais. In: CONTADOR, J. C. (Org.). **Gestão de operações**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1998. 367-382 p.
- TOMIYA, E.H. **Modelo econômico de empresa sucroalcooleira**. 1994. 158 f. Dissertação (Mestrado) Departamento de Engenharia, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1994. 2 v.