

OTIMIZAÇÃO DE PRODUTIVIDADE EM PRENSAS DE ALTA FREQUÊNCIA UTILIZANDO FERRAMENTAS DA PROGRAMAÇÃO LINEAR - UM ESTUDO DE CASO

*Gerson Ulbrich¹
Richardson Ribeiro²*

RESUMO: O presente estudo tem como objetivo pesquisar formas de minimizar os desperdícios de espaço vazios (sem madeira), no processo de prensagem de painéis em prensas de alta frequência. Busca-se desenvolver um sistema para programar a produção de painéis de madeira com dimensões pré definidas e com demandas diferenciadas. Pretende-se generalizar o problema para quaisquer valores de demandas bem como dimensões de painéis a serem alocados. O modelo foi programado utilizando softwares que auxiliam na resolução, destacando-se neste caso os softwares LINDO para programação linear e Microsoft Excel® para cálculo dos custos de produção.

Palavras-chave: Prensas de alta frequência; Otimização; Programação Linear.

INTRODUÇÃO

Na busca pela otimização de recursos produtivos, as empresas cada vez mais vêm buscando técnicas que possam determinar estratégias para a programação tanto na área de produção, na logística, na designação de tarefas e no seu planejamento de modo geral.

Este artigo busca demonstrar uma aplicação das ferramentas de programação linear para definir formas para otimizar a capacidade produtiva aplicada à prensagem de painéis de madeira utilizando prensas de alta frequência.

O objetivo da aplicação é *otimizar* a ocupação de espaços para larguras de painéis pré-fixados e demandas variáveis para desta forma reduzir o número de prensagens no atendimento das demandas pré definidas.

ANÁLISE DE DADOS TÉCNICOS E OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO

Serão apresentados nesta fase os padrões de programação das atividades de forma a minimizar os custos de produção.

Otimização de Padrões de Corte

Este artigo trata de um estudo para prensas de dimensão lixa de 1300mm de largura e 2500mm de comprimento e nesta área serão alocadas os painéis de diferentes dimensões. Existem demandas pré-definidas de cada tipo de painel. O objetivo é produzir painéis de madeira nas medidas estabelecidas a partir de lamelas de 20mm (espessura) x 50mm (largura) x 2040mm (comprimento).

O objetivo da programação de cortes é encontrar a melhor maneira de alocar os painéis de modo a minimizar o desperdício de espaço, cumprir as demandas pré-definidas e conseqüentemente reduzir os custos com a prensagem devido à melhor distribuição dos espaços e menor desperdício de tempo no processo de prensagem.

A tabela a seguir *exemplifica* demandas de cada tipo de chapa num determinado período.

Tabela 1 Dimensões e exemplos de demanda para cada tipo de chapa.

<i>Tipo de Chapa</i>	<i>Dimensões</i>	<i>Demanda</i>
Tipo I	2040mm x 300mm	4100
Tipo II	2040mm x 400mm	6300
Tipo III	2040mm x 500mm	5100

Configurações para Alocação de Painéis

São definidas nesta etapa, as configurações para alocação dos painéis nas prensas de alta frequência com as respectivas sobras de espaço.

As figuras a seguir demonstram alguns dos possíveis padrões de alocação. Note que em todas as alocações há desperdício de comprimento no valor de 460mm, o qual não poderá ser minimizado devido a este espaço não comportar a alocação de mais chapas, condição esta restrita pelo comprimento mínimo das chapas que é de 2040mm, sendo assim não caberiam chapas no sentido horizontal e ainda devido a restrições da máquina responsável pelo processo não é possível alocar painéis em sentido horizontal.

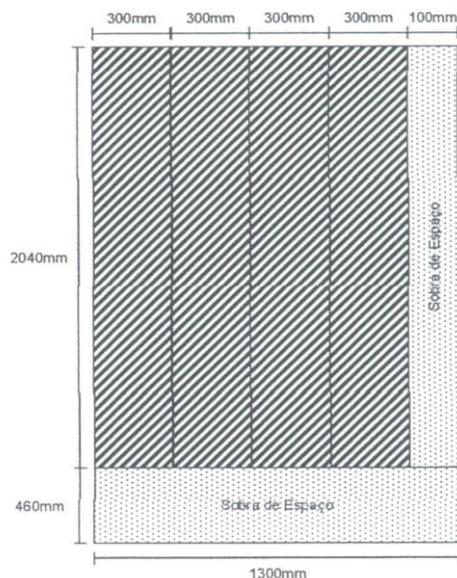


Figura 1: Alocação de painéis e desperdício de espaço.

Na figura 1 é apresentada a alocação de 4 painéis de 300mm de largura cada, produzindo desperdício lateral de 100mm. Surge porém, o problema de não serem utilizadas chapas de 500mm e nem de 400mm.

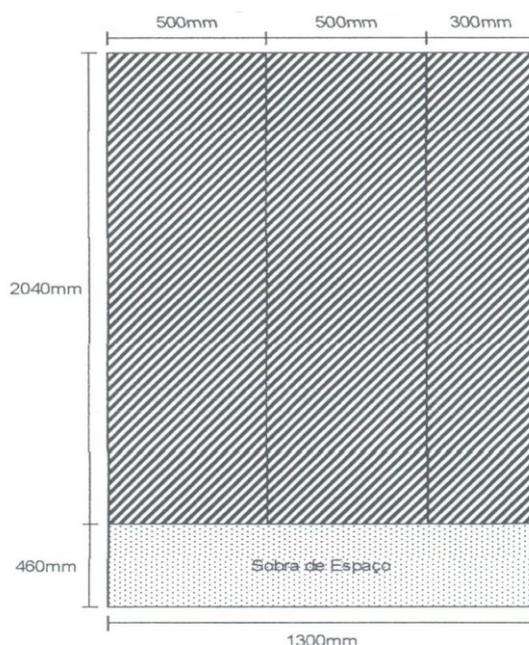


Figura 2 – Alocação de painéis e desperdício de espaço.

Na figura 2 é apresentada a alocação de 2 chapas de 500mm de largura cada e 1 chapa de 300mm não produzindo desperdício lateral. Há, porém o inconveniente de não serem utilizadas painéis de 400mm de largura e ainda de serem necessários 2 painéis de 500mm para cada painel de 300mm.

Análise Combinatória para Alocação de Painéis

Visando descrever todas as possibilidades de programação para alocação de painéis nas prensas, é apresentada a seguir uma tabela que demonstra o número de painéis de cada tipo que podem ser alocados, bem como o desperdício lateral.

Tabela 2 – Programações de alocação de painéis nas prensas.

<i>Padrão de Alocação</i>	<i>Número de painéis do tipo I (300mm)</i>	<i>Número de painéis do tipo II (400mm)</i>	<i>Número de painéis do tipo III (500mm)</i>	<i>Desperdício Lateral (mm)</i>
Padrão 1	4	0	0	100
Padrão 2	3	1	0	0
Padrão 3	2	0	1	200
Padrão 4	1	2	0	200
Padrão 5	1	1	1	100
Padrão 6	1	0	2	0
Padrão 7	0	3	0	100
Padrão 8	0	2	1	0
Padrão 9	0	0	2	300
Padrão 10	1	0	0	1000
Padrão 11	0	1	0	900
Padrão 12	0	0	1	800

Utilizou-se neste caso específico ainda o padrão 9 a qual produz desperdício de 300mm. Como é possível perceber, 300mm é na realidade um painel do tipo I. Esta restrição foi utilizada tecnicamente para que o sistema consiga operar sem atribuir margens de folga na produção. Uma outra maneira de se resolver o problema seria o de cumprir uma demanda de um valor “*n*” de chapas atribuindo um folga percentual na produção. Desta forma o padrão 9, por produzir tecnicamente um desperdício maior se comparada com as outras restrições, será utilizada em último caso e somente para fechamento final da demanda. O mesmo se aplica aos padrões 10, 11 e 12.

O método de programação linear adotado para resolução é voltado à minimização da sobra de espaço em cada prensagem.

Modelagem do Problema

O objetivo do problema consiste em achar a quantidade de cada programação de corte que deverá ser realizada para otimizar o processo, ou seja, reduzir a sobra de espaço na prensa.

Para resolução deste problema de modo a achar a melhor programação, serão utilizadas técnicas de programação linear, as quais consistem na definição da função objetivo e das restrições técnicas, onde são assim empregadas técnicas matriciais as quais são compostas de inversões sucessivas de matrizes (método simplex) de forma a encontrar a solução ótima do sistema.

Surge assim em um modelo de programação linear o qual consiste nos passos descritos a seguir.

Variáveis de Decisão

As variáveis de decisão são definidas como sendo cada quantidade de alocação a ser programada. Para isso define-se “X_i” como a variável para a programação “i”.

“X_i” = quantidade a ser produzida na programação de alocação *i*, (*i* = 1, 2, ...n)

Função Objetivo

O objetivo do problema é minimizar o desperdício de espaço na alocação dos painéis. Tomando os valores descritos na tabela 2 referente à análise de todas as combinações possíveis define-se a função objetivo em tomo da variável *z*, da seguinte forma:

z = Minimizar (desperdícios na alocação dos painéis)

Atribuindo a um modelo matemático obtêm-se:

z = Minimizar $100x_1 + 0x_2 + 200x_3 + 200x_4 + 100x_5 + 0x_6 + 100x_7 + 0x_8 + 300x_9 + 1000x_{10} + 900x_{11} + 800x_{12}$

Formulação das Restrições Técnicas

As restrições técnicas consistem em determinar equações ou inequações que restrinjam a programação dos tipos de padrões de forma a suprir as demandas pré estabelecidas.

A seguir são citadas as restrições para cada tipo de padrão de corte.

i .Restrição associada à demanda de painéis do tipo I (300mm):

$$4x_1 + 3x_2 + 2x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_{10} = 4100$$

ii .Restrição associada à demanda de painéis do tipo II (400mm):

$$x_2 + 2x_4 + x_5 + 3x_7 + 2x_8 + x_{11} = 6300$$

iii .Restrição associada à demanda de painéis do tipo ifi (500mm):

$$x_3 + x_5 + 2x_6 + x_8 + 2x_9 + x_{12} = 5100$$

Restrições de não negatividade.

A solução do sistema deve apresentar valores maiores ou iguais a zero, já que se tratam de quantidades de cada padrão a ser produzido e não há desta forma uma quantidade negativa. Têm-se então: $x_i \geq 0$ para $(i=1,2,3,\dots,n)$

Restrições de integridade

Como a implementação do sistema exige quantidades a serem produzidas, isso implica em obter resultados inteiros. Essa condição deve ser associada ao sistema de modo a garantir valores inteiros às variáveis de decisão. Sendo assim são impostas as restrições de integridade (*int*):

$$x_i = \text{int para } (i=1,2,3,\dots,n)$$

Implementação Computacional

Para implementação do modelo foi utilizado o software LINDO®.

Abaixo segue a modelagem completa do problema conforme entrada de dados no software LINDO®. As restrições de não negatividade já são explícitas para o sistema e as restrições de integridade são dispostas pelo comando GIN (Xi).

Quadro 1 – Modelagem completa do problema

```

MIN 100X1 + 0X2 + 200X3 + 200X4 + 100X5 + 0X6 + 100X7 + 0X8 + 300X9 + 1000X10
+ 900X11 + 800X12
SUBJECT TO
300mm) 4X1 + 3X2 + 2X3 + X4 + X5 + X6 + X10 = 4100
400mm) X2 + 2X4 + X5 + 3X7 + 2X8 + X11 = 6300
500mm) X3 + X5 + 2X6 + X8 + 2X9 + X12 = 5100
END
GIN X1
GIN X2
GIN X3
GIN X4
GIN X5
GIN X6
GIN X7
GIN X8
GIN X9
GIN X10
GIN X11
GIN X12
    
```

Resolução do Modelo

O modelo matemático formulado foi resolvido pelo método Simplex, implementado em software específico (LTNDO^R), o qual deu origem ao relatório de dados conforme apresentado a seguir.

Quadro 2 – Relatório de dados gerado pelo software LINDO[®].

OBJECTIVE FUNCTION VALUE		
1) 1100.000		
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	11.000000	100.000000
X2	948.000000	0.000000
X3	0.000000	200.000000
X4	0.000000	200.000000
X5	0.000000	100.000000
X6	1212.000000	0.000000
X7	0.000000	100.000000
X8	2676.000000	0.000000
X9	0.000000	300.000000
X10	0.000000	1000.000000
X11	0.000000	900.000000
X12	0.000000	800.000000
ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
300MM)	0.000000	0.000000
400MM)	0.000000	0.000000
500MM)	0.000000	0.000000
NO. ITERATIONS= 1110		
BRANCHES= 483 DETERM.= 1.000E 0		

Interpretação dos Resultados

O relatório gerado pelo software LINDO[®] apresentou valores não nulos para as variáveis X1, X2, X6 e X8. Isso significa que serão utilizadas as programações 1, 2, 6 e 8 respectivamente.

O desperdício total de espaço gerado para cumprir essa demanda é de 1. 100mm de largura para cumprir a demanda presente. Esse desperdício é o menor possível obtido pela melhor combinação da alocação de diferentes medidas de painéis na prensa.

A seguir estão enunciadas as quantidades a serem utilizadas de cada padrão de modo a suprir a encomenda exemplificada com mínimo desperdício de espaço da prensagem.

i .Padrão 1- alocar 4 painéis do tipo I (300mm), nenhum painel do tipo II (400mm) e nenhum painel do tipo 3 (500mm): essa programação será realizada 11 vezes.

ii .Padrão 2 –alocar 3 painéis do tipo I (300mm), 1 painel do tipo II (400mm) e nenhum painel do tipo 3 (500mm): essa programação será realizada 948 vezes.

iii -Padrão 6 –alocar 1 painel do tipo I (300mm), nenhum painel do tipo II (400mm) e 2 painéis do tipo 3 (500mm): essa programação será realizada 1212 vezes.

iv .Padrão 8 –alocar nenhum do tipo I (300mm), 2 painéis do tipo II (400mm) e 1 painel do tipo 3 (500mm): essa programação será realizada 2676 vezes.

Os demais padrões não serão utilizados pois demonstra-se que afetam a melhoria da solução, ou seja, aumentam a sobra de espaço.

O quadro a seguir apresenta uma visão geral dos padrões a serem efetuados.

Tabela 3: Visão geral dos padrões a serem efetuados.

<i>Padrão de Alocação</i>	<i>Desperdício Lateral (mm)</i>	<i>Número de painéis do tipo I (300mm)</i>	<i>Número de painéis do tipo II (400mm)</i>	<i>Número de painéis do tipo III (500mm)</i>	<i>Número de vezes a ser executada o padrão</i>
Padrão 1	100	4	0	0	11
Padrão 2	0	3	1	0	948
Padrão 6	0	1	0	2	1212
Padrão 8	0	0	2	1	2676

A quantidade de painéis gerada em cada programação conforme o número de vezes a ser executada é demonstrada no quadro a seguir:

Tabela 4: Visão geral das programações a serem efetuadas.

<i>Padrão de Alocação</i>	<i>Número de vezes a ser executada a programação</i>	<i>Quantidade total a ser gerada de painéis do tipo I (300mm)</i>	<i>Quantidade total a ser gerada de painéis do tipo II (400mm)</i>	<i>Quantidade total a ser gerada de painéis do tipo III (500mm)</i>
Padrão 1	11	$11 \times 4 = 44$	-	-
Padrão 2	948	$3 \times 948 = 2844$	$1 \times 948 = 948$	-
Padrão 6	1212	$1 \times 1212 = 1212$	-	$2 \times 1212 = 2424$
Padrão 8	2676	-	$2 \times 2676 = 5352$	$1 \times 2676 = 2676$
Total Gerado	-	4100	6300	5100

Como se observa na tabela 4, a quantidade total gerada é exatamente o valor de demanda estipulado na formulação do problema.

MÉTODO CIENTÍFICO E MÉTODO EMPÍRICO

Para visualizar o ganho em produtividade nas Prensas de Alta Frequência, ilustra-se a forma como o processo de produção é executado atualmente nas empresas, aqui chamado de “forma empírica”, e a em seguida faz-se uma comparação como o método científico proposto.

Método Empírico

As figuras a seguir demonstram como são prensados os painéis de forma empírica para a produção de painéis de 300mm, 400mm e 500mm.

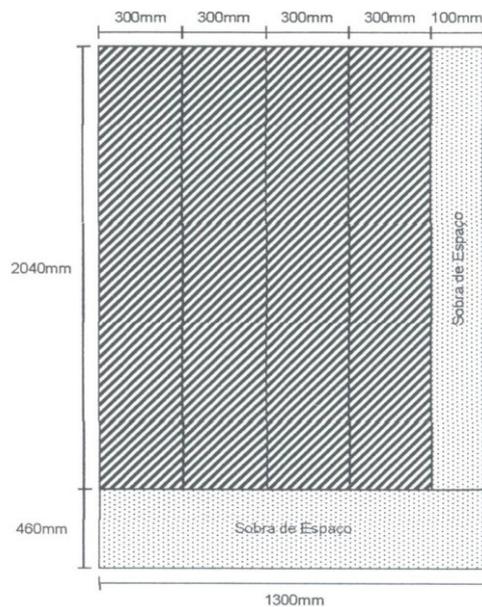


Figura 3: Produção de painéis de 300mm com sobra de espaço.

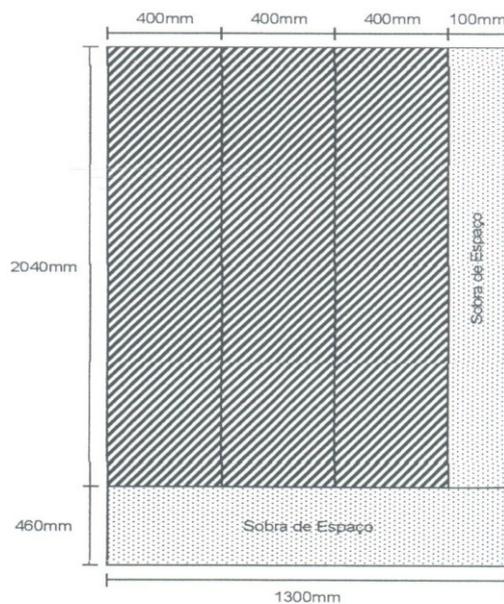


Figura 4: Produção de painéis de 400mm com sobra de espaço

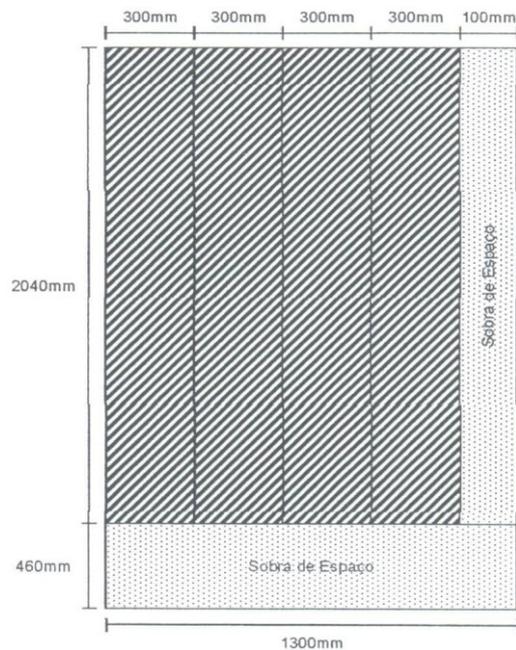


Figura 5: Padrão 1 - Produção de 4 painéis de 300mm com sobra de espaço

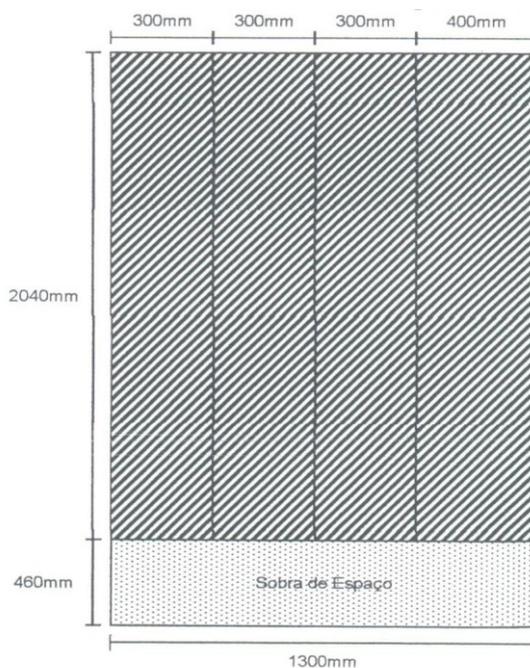


Figura 6: Padrão 2 - Produção de 3 painéis de 300mm e 1 painel de 400mm sem sobra de espaço.

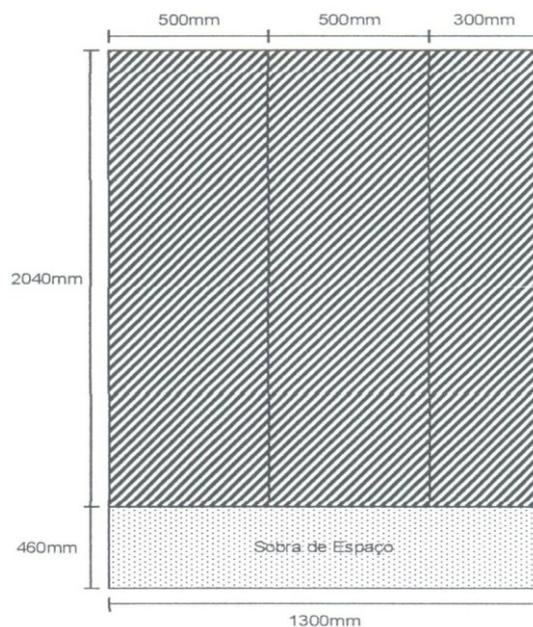


Figura 7: Padrão 6 - Produção de 2 painéis de 500mm e 1 painel de 300mm sem sobra de espaço



Figura 8: **Padrão 8** .Produção de 2 painéis de 400mm e 1 painel de 500mm sem sobra de espaço.

COMPARATIVO ENTRE O MÉTODOS EMPÍRICO E CIENTÍFICO.

Neste tópico apresenta-se a análise de melhoria pelo emprego do método científico. Percebe-se grande ganho como apresentado a seguir.

As tabelas 5 e 6, demonstram quantos ciclos são necessários para produzir a mesma demanda, pelo método empírico e pelo método científico.

Tabela 5 – Necessidades de Ciclos pelo Método Empírico.

<i>Dimensão</i>	<i>Demanda</i>	<i>Número de painéis por ciclo</i>	<i>Número de ciclos</i>
300mm	4100	4	1025
400mm	6300	3	2100
500mm	5100	2	2550
Total de Ciclos Necessários			5675

Tabela 6 - Necessidade de Ciclos pelo Método Científico

<i>Padrão de Alocação</i>	<i>Número de painéis do tipo I (300mm)</i>	<i>Número de painéis do tipo II (400mm)</i>	<i>Número de painéis do tipo III (500mm)</i>	<i>Número de ciclos</i>
Padrão 1	4	0	0	11
Padrão 2	3	1	0	948
Padrão 6	1	0	2	1212
Padrão 8	0	2	1	2676
Total de Ciclos Necessários				4847

Total de Ciclos Necessários

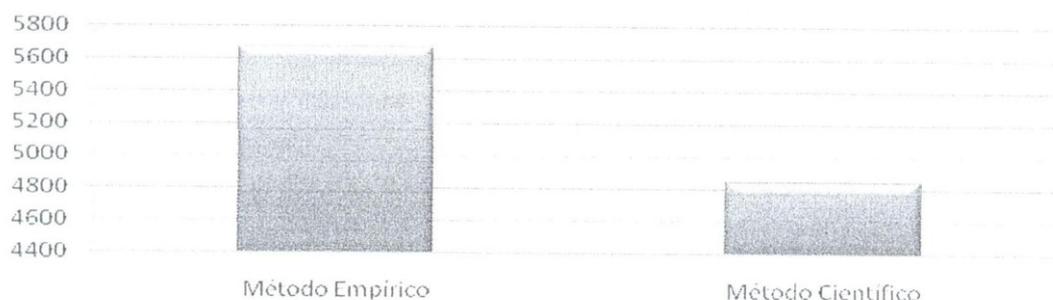


Gráfico 1 - Comparativo de Número de Ciclos: Método Empírico e Método Científico.

Observa-se pelos resultados que o método científico proporciona em torno de 14,5% menos esforço para produzir a mesma demanda. Assim, a cada dez dias de produção a empresa economiza aproximadamente um dia e meio pelo método científico, colocando o resultado em um mês de produção contínua, considerando vinte e um dias úteis, as máquinas produzirão o equivalente a três dias de produção de incremento, considerando os valores do processo atual.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As ferramentas de Programação Linear demonstraram sua eficácia no processo de programações complexas. Esta aplicação mostra como empresas podem usufruir desta ferramenta, ainda pouco conhecida pelas organizações. Fica assim comprovada a necessidade de se trabalhar com base em dados científicos obtendo-se assim total controle sobre a situação, o que não ocorre quando se trabalha empiricamente onde o resultado é apenas fruto de tentativas ao acaso.

Observa-se ainda que não é possível “adivinhar” o futuro, mas é possível estabelecer técnicas adequadas de previsão de forma a se obter uma solução eficiente e melhorar o desempenho nas organizações.

REFERÊNCIAS

- CHIAVENATO, Idalberto . **Administração: teoria, processo e prática**. 4 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- GAITHER, Normam; FRAIZER, Greg. **Administração da produção e Operações**. 8.ed. São Paulo: Thompson, 1999.
- GOLDBARG, Marco Cezar; LUNA; Henrique Pacca L. **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.
- JURAN, J.M. **A Qualidade desde o projeto: novos passos para o desenvolvimento da qualidade em produtos e serviços**. São Paulo: Pioneira, 1992.
- MARTINS, Petrônio Garcia; LAUGENI, Fernando Piero. **Administração da produção**. São Paulo: Saraiva, 2003.
- OHNO, Taiichi; SCHUMACHER; Cristina. **O sistema Toyota de Produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookmam, 1997.

¹Gerson Ulbrich é Mestre em Métodos Numéricos em Engenharia pela UFPR (2009), possui Especialização em Métodos Estatísticos pela FURB-SC (2006). Possui Licenciatura Plena em Matemática pela UN|ICLAR-SP (2000). Possui graduação Tecnológica em Processamento de Dados pela UnC-SC (1999). Atualmente é professor na Universidade do Contestado - Campus Mafra-SC, professor do Centro Universitário de Jaraguá do Sul- UNERJ e professor efetivo da Prefeitura Municipal de Jaraguá do Sul - SC. Tem experiência na área de Pesquisa Operacional, Probabilidade e Estatística, cálculo Numérico, Matemática Aplicada e Programação Matemática.

² Richardson Ribeiro é doutorando na área da Ciência da Computação - Informática na Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR). Possui Mestrado em Informática Aplicada pela PUCPR (2006). Bacharelado em Informática pela Universidade do Contestado Campus Mafra (2003). Atualmente é professor na Universidade do Contestado - UnC. Tem experiência na área da Ciência da Computação, com ênfase em Sistemas de Informação, com interesse nos seguintes temas: Agentes de Software e Sistemas Multi-agente, Algoritmos de Aprendizagem por Reforço, Aprendizagem de Máquina e Banco de Dados.