

Dimensionamento de *Kanban* Estatístico por *DOE* Simulado

Alexandre Leme
Sanches

Fernando Augusto Silva
Marins

José Arnaldo Barra
Montevechi

Douglas de Almeida
Ribeiro

Universidade Estadual Paulista - UNESP / Universidade São Francisco - USF

RESUMO

Geralmente, os kanbans são dimensionados de forma determinística e seus ajustes são intuitivos e empíricos. As dispersões naturais do processo, em muitos casos, não são consideradas, o que pode gerar falha no dimensionamento. Na realidade o dimensionamento de kanbans pode ser caracterizado como um “trade off”, ou seja, se dimensionado em excesso gera inventário e caso contrário gera desabastecimento. Neste trabalho, busca-se um dimensionamento com base estatística que minimize o WIP (Work in Process) e maximize o abastecimento, e é apresentada uma proposta para dimensionamento de kanbans com base na metodologia DOE (Design of Experiments) e na otimização simultânea de respostas múltiplas pela Função Desejabilidade de Derringer. Tais Experimentos, devido ao alto custo e complexidade, são simulados por computador pelo software PROMODEL. Para a aplicação do DOE e otimização das respostas é utilizado o software MINITAB e pra o condicionamento dos dados de entrada é utilizado o software Crystal Ball.

Palavras-Chave: Simulação. DOE. Kanban.

1. INTRODUÇÃO

Sendo a base da filosofia *JIT* (*Just in Time*), o sistema *Kanban* foi desenvolvido na década de 60, pelos engenheiros da Toyota Motors Cia., com o objetivo de tornar simples e rápidas as atividades de programação e controle produção OHNO (1997).

Atualmente, o *Kanban* não é uma simples ferramenta de controle de inventário, mas também um recurso que proporciona flexibilidade e agilidade às células de alto mix SCHOMBERGER (2002).

A dificuldade da utilização do sistema surgiu com as incertezas inerentes aos processos produtivos como as oscilações de demanda, dispersões no tempo de execução de tarefas e até diferenças em quantidades produzidas, devido a problemas de qualidade.

Na intenção de solucionar o problema, foi introduzido um fator de segurança no dimensionamento determinístico, que amplia o número de cartões *kanban* de forma descontrolada, o que pode afastar o dimensionamento da situação ótima.

O problema em questão pode ser caracterizado como um “*trade-off*”, ou seja, um *trade-off* ocorre quando se abre mão de algum bem ou serviço para se obter outro bem ou serviço distinto, refere-se, geralmente, a perder uma qualidade ou aspecto de algo, mas ganhando outra em troca. Portanto, o dimensionamento de *kanbans* pode ser caracterizado como um *trade off*, ou seja, se dimensionado em excesso gera inventário e caso contrario gera desabastecimento.

Neste trabalho, busca-se um dimensionamento com base estatística que minimize o *WIP* (*Work in Process*) e maximize o abastecimento. Na seção seguinte, é apresentada a metodologia da pesquisa, seguida pelos conceitos básicos sobre *Kanban*, Simulação de Eventos Discretos e *DOE*. Finalizando, é apresentada uma aplicação com respectivos resultados e conclusões.

2. METODOLOGIA

Na pesquisa em questão, a importância da exploração e descrição dos métodos se sobrepõe à do objeto de pesquisa. A abordagem, no caso, sendo quantitativa, destaca a evidência de relações causais, operacionalização de conceitos e conclusões que, conforme o enfoque, podem ser generalizadas.

O conceito de pesquisa descritiva também se aplica ao caso, pois esta tem como objetivo a descrição de características de determinado processo estudado, ou o estabelecimento de relações entre variáveis. Algumas pesquisas descritivas vão além da simples identificação da existência de relações entre variáveis, pretendendo-se determinar a natureza dessa relação, tendo-se, então, uma pesquisa descritiva que se aproxima da explicativa. Há casos de pesquisas, que, embora definidas como descritivas, proporcionam uma nova visão do problema, o que as aproxima das pesquisas exploratórias.

Metodologia	
Abordagem	Quantitativa
Tipo de Pesquisa	Descritiva (Exploratória)
Método de Pesquisa	Experimentação / Simulação

Figura 1 – Metodologia da Pesquisa

O método de pesquisa adotado é, portanto, a Pesquisa Experimental, pois segundo BRYMAN (1995), de um modo geral, além de se adequar ao caso em questão, o experimento representa o melhor exemplo de pesquisa científica. Consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto. Na execução da pesquisa, um *kanban* é dimensionado de forma experimental através de um sistema simulado, e onde os níveis máximos (número de cartões).

3. O SISTEMA KANBAN

A idéia básica do Sistema *Kanban* é atribuída ao japonês Taiichi Ohno, vice-presidente da *Toyota Motors Cia.*, na década de 60, e é a base da metodologia *Just in Time*, do Sistema Toyota de Produção e principalmente do *Pull System* SCHOMBERGER (2002).

Kanban é uma palavra japonesa que significa literalmente registro ou placa visível. Significa um cartão de sinalização que controla os fluxos de produção em uma indústria. O cartão pode ser substituído por outro sistema de sinalização, como luzes, caixas vazias e até locais vazios demarcados. Coloca-se um *Kanban* em quadros específicos de uma linha de produção, para indicar a necessidade de um item em determinada quantidade. Quando não há nenhum cartão no quadro não se deve produzir nenhuma peça. O *Kanban* permite agilizar a entrega e a produção de peças além de controlar o estoque intermediário ou *WIP* (*Work in Process*).

Pode ser empregado em indústrias montadoras, desde que a demanda não oscile em demasia. Os *Kanbans* físicos (cartões ou caixas) transitam entre os locais de armazenagem e produção substituindo formulários e outras formas de solicitação de peças, permitindo enfim que a produção se realize no ambiente *JIT* (*Just in Time*). SCHOMBERGER (2002).

Entre os principais conceitos do *JIT* pode-se destacar OHNO (1997):

- Eliminação do desperdício;
- Trabalhadores multifuncionais e autônomos;
- Defeito zero (*Poka Yoke*);
- Produção em pequenos lotes;

- *Setup* rápido;
- Utilização de Layout celular;
- *Kaizen*;
- 5 S's;
- Sistema *Kanban* (*Pull System*).

O sistema *Kanban* é um instrumento de controle de produção. Ele tem a função de ser um pedido de produção no departamento de fabricação e a função de ser a instrução de retirada no processo subsequente SCHOMBERGER (2002).

Uma das principais funções dos *Kanbans*, além das já mencionadas, é acelerar melhorias, visto que informa automaticamente problemas em estações de trabalho por meio da redução dos estoques, o que expõe os problemas da produção por intermédio das paradas de linha (OHNO, 1997). Portanto, pode-se afirmar que o *Kanban* é a principal ferramenta do *JIT*. Uma ilustração do Sistema Produtivo Puxado (*Pull System*), comparado com o Empurrado (*Push System*) pode ser observada na Figura 3.

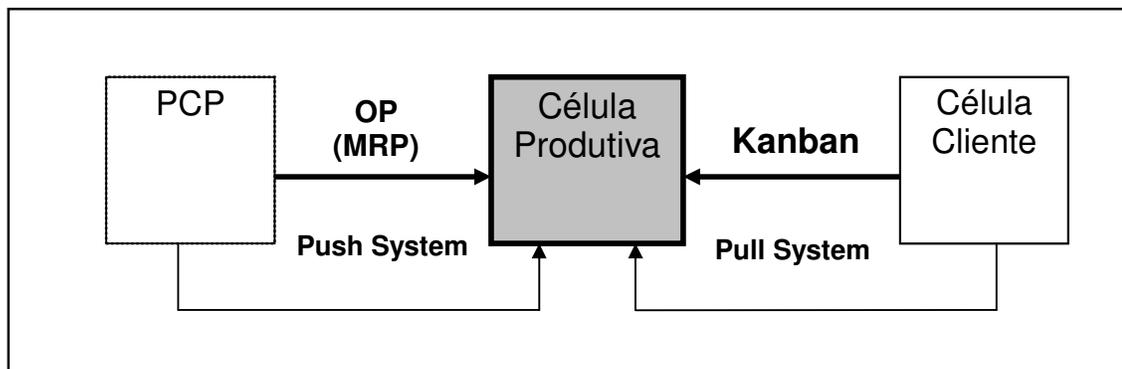


Figura 2. *Push System x Pull System* (Fonte: autores).

3.1. O DIMENSIONAMENTO DE KANBANS

O número de contêineres, e respectivos cartões *kanban*, que deve controlar o fluxo de produção de um determinado item, pode ser definido segundo SCHOMBERGER (2002) pela Eq. 1.

$$N = \left(\frac{D}{Q} \times T_r \times (1 + FS) \right) \quad (1)$$

Onde:

D: Demanda.

Q: Quantidade de unidades por contêiner.

Tr: tempo de resposta de Sistema.

FS: fator de Segurança.

O Tempo de Resposta do Sistema (T_r) pode ser decomposto em Tempo de Espera (T_p), Tempo de Preparação (T_p), Tempo de Operação (T_o) e Tempo de Movimentação (T_m). O Tempo de Operação geralmente é obtido como unitário e, portanto, deve ser multiplicado pela quantidade de unidades em um contêiner ($T_o = T_{ou} \times Q$) sendo " T_{ou} " o tempo de operação unitário. Portanto, tem-se:

$$N = \frac{D}{Q} \times (T_e + T_p + (T_{ou} \times Q) + T_t) \times (1 + FS) \quad (2)$$

4. A METODOLOGIA DOE (*DESIGN OF EXPERIMENTS*)

O planejamento experimental, também denominado delineamento experimental ou projeto de experimentos, representa um conjunto de ensaios estabelecido com critérios científicos e estatísticos, com o objetivo de determinar a influência de diversas variáveis nos resultados de um dado sistema ou processo MONTGOMERY (1976).

A experimentação sistemática é crucial para investigar os fatores que influenciam resultados. Depois de identificar esses fatores, pode-se efetuar ajustes nos processos ou nas formulações, melhorando imediatamente o processo, a confiabilidade e a qualidade da resposta COLEMAN (1993).

Os experimentos bem planejados podem produzir significativamente mais informações, em menos tempo e com menores despesas do que experimentos aleatórios ou não planejados.

O *DOE* fornece as ferramentas para criação de planejamentos de experimentos e análise gráfica de resultados na melhoria de processos, de maneira rápida e eficiente. Experimentos são empregados para resolver problemas em geral, decidir entre diferentes processos de manufatura, diferentes conceitos de produto, entender a influência de determinados fatores, etc. Esta tarefa, ainda, torna-se cada vez mais importante na medida em que se intensifica a base tecnológica dos produtos e as exigências governamentais e de clientes aumentando a necessidade de emprego de experimentos durante todas as etapas dos processos BOX (1978).

O Planejamento de Experimentos é uma técnica utilizada para se planejar experimentos, ou seja, para definir quais dados, em que quantidade e em que condições devem ser coletados, durante um determinado experimento, buscando, basicamente, satisfazer dois grandes objetivos: a maior precisão estatística possível na resposta e o menor custo. É, portanto, uma técnica de extrema importância para a indústria, pois seu emprego permite resultados mais confiáveis, economizando dinheiro e tempo, parâmetros fundamentais em tempos de concorrência acirrada MONTGOMERY (1976).

Apesar de novas, as principais técnicas de planejamento de experimentos já existiam e potencialmente poderiam estar sendo sistematicamente aplicadas na indústria desde muitos anos. Porém, a grande maioria destas técnicas requer uma quantidade exaustiva de cálculos tornando fundamental o emprego dos recursos de informática.

Um fator que tem impulsionado a aplicação industrial do planejamento de experimentos são as ferramentas computacionais de análise estatística e soluções corporativas que, cada vez mais, facilitam a realização das análises e manutenção e gerenciamento de dados. Neste sentido, a tendência é que tais técnicas tornem-se cada vez mais próximas de aplicações práticas e, portanto, cada vez mais utilizadas. É preciso estar claro também que, em estatística, Planejamento de Experimentos designa toda uma área de estudos que envolve técnicas de experimentação.

4.1. ETAPAS PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM “*DOE*”

COLEMAN & MONTGOMERY (1993) propõem as seguintes etapas para o desenvolvimento de um Planejamento de Experimentos:

- Caracterização do problema;
- Escolha dos fatores (variáveis de controle ou entrada) e níveis (faixas de valores das variáveis de controle);
- Seleção das variáveis de resposta;

- Determinação de um modelo de planejamento de experimento;
- Condução do experimento (no caso em questão é uma Simulação);
- Análise dos dados;
- Conclusões e recomendações.

Outros objetivos do *DOE*, podem ser:

- Determinar quais variáveis são mais influentes nos resultados;
- Atribuir valores às variáveis influentes de modo a aperfeiçoar os resultados;
- Atribuir valores às variáveis influentes de modo a minimizar a variabilidade dos resultados;
- Atribuir valores às variáveis influentes de modo a minimizar a influência de variáveis incontroláveis.

A seguir, destacam-se alguns benefícios da utilização das técnicas estatísticas de planejamento experimental:

- Redução do número de ensaios sem prejuízo da qualidade da informação;
- Estudo simultâneo de diversas variáveis, separando seus efeitos;
- Determinação da confiabilidade dos resultados;
- Realização da pesquisa em etapas, num processo iterativo de acréscimo de novos ensaios;
- Seleção das variáveis que influem num processo com número reduzido de ensaios;
- Representação do processo estudado através de expressões matemáticas;
- Elaboração de conclusões a partir de resultados qualitativos.

O planejamento experimental é uma ferramenta essencial no desenvolvimento de novos processos e no aprimoramento de processos em utilização. Um planejamento adequado permite, além do aprimoramento de processos, a redução da variabilidade de resultados, a redução de tempos de análise e dos custos envolvidos.

No que se refere ao projeto de produtos, o planejamento experimental permite a avaliação e comparação de configurações (projetos) distintas, avaliação do uso de materiais diversos, a escolha de parâmetros de projeto adequados a uma ampla faixa de utilização do produto e à otimização de seu desempenho.

Os conceitos descritos acima podem ser resumidos em três termos muito empregados atualmente: qualidade, produtividade e competitividade. Para que os resultados obtidos de ensaios experimentais possam ser analisados através de métodos estatísticos, possibilitando elaborarem-se conclusões objetivas, o planejamento experimental deve ser baseado numa metodologia também estatística, que é a única forma objetiva de avaliar os erros experimentais que afetam esses resultados.

Como já afirmado, além de dominar a metodologia estatística necessária para o planejamento e para a análise dos dados, deve-se conhecer exatamente o que deseja estudar, como obter os dados, bem como ter uma estimativa qualitativa de como esses dados serão analisados. Também é desejável, sempre que possível, o estabelecimento de um modelo físico-matemático que estabeleça funções que relacionem as diversas variáveis influentes no processo com os resultados que se deseja analisar.

A elaboração de um modelo, mesmo que aproximado, possibilita um planejamento experimental mais dirigido, definindo-se valores de estudo adequados para as variáveis, reduzindo desta forma o número de ensaios.

4.2. TESTE PARA A SIGNIFICÂNCIA DO MODELO

Este teste é realizado como um procedimento de ANOVA. Calculando-se a razão entre a média quadrática dos termos de regressão e a média quadrática do erro, encontra-se então a estatística F . Comparando-se esta estatística com o valor crítico de F obtido a partir do nível de significância desejado, conclui-se sobre a significância do modelo. Se F for maior que $F_{crítico}$ (o que equivale a um P -Value menor que o nível de significância), então o modelo é adequado MONTGOMERY (1976).

4.3. TESTE PARA A SIGNIFICÂNCIA INDIVIDUAL DOS COEFICIENTES DO MODELO

O teste individual de significância de cada coeficiente pode conduzir à otimização do modelo através da eliminação ou da adição de termos. Do mesmo modo que no item anterior, se o P -Value do teste individual para os termos for inferior ao nível de significância, então, o termo é adequado ao modelo e deve, portanto, ser mantido. Se, entretanto, ocorrer o contrário, o termo deve ser excluído se tal procedimento conduzir a um aumento do coeficiente de determinação R^2 conjuntamente com a diminuição do termo de erro S (este termo é a raiz quadrada do erro médio quadrático) MONTGOMERY (1976).

O teste para falta de ajuste do modelo reduzido deve ter um P -value superior ao nível de significância, caso contrário, a eliminação do termo não se justifica. Além disso, a retirada de qualquer termo deve obedecer ao princípio da Hierarquia MONTGOMERY (1997), ou seja, se um termo de ordem alta é mantido no modelo, o de ordem baixa também deve ser conservado. Por exemplo, se a interação AB é significativa, mas o efeito principal A não é, então o modelo deve conservar ambos.

A presença de réplicas em um experimento permite que a soma de quadrados do erro seja dividida em duas partes: o erro puro e a falta de ajuste. Quando o P -value do teste de falta de ajuste é superior ao nível de significância, então, não há evidência de que o modelo não explique adequadamente a variação da resposta MONTGOMERY (1997).

5. A OTIMIZAÇÃO SIMULTÂNEA DE RESPOSTAS MULTIPLAS

De acordo com CARNEIRO (2005), a idéia básica da função de desejabilidade é transformar um problema de várias respostas em um de uma única resposta por meio de transformações matemáticas. A primeira etapa desta transformação consiste em tornar cada resposta em funções normalizadas que possuem valores de imagem entre 0 e 1. As funções de normalização ou conveniência são dadas como:

$$d_m = \begin{cases} 0 & \text{se } y_m(x) \leq y_{\min m} \\ \frac{y_m - y_{\min m}}{y_{\max m} - y_{\min m}} & \text{se } y_{\min m} < y_m(x) < y_{\max m} \\ 1 & \text{se } y_m(x) \geq y_{\max m} \end{cases} \quad (3)$$

Para busca unilateral, e para busca bilateral.

$$\begin{aligned}
 d_m &= \left[\frac{y_m - y_{\min m}}{T_m - y_{\min m}} \right]^s && \text{se } y_{\min m} \leq y_m(x) \leq T_m \\
 d_m &= \left[\frac{y_m - y_{\max m}}{T_m - y_{\max m}} \right]^t && \text{se } T_m \leq y_m(x) \leq y_{\max m} \\
 &0 && \text{em outros casos}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Onde:

$y_{\min m}$: valor mínimo para a resposta y_m

$y_{\max m}$: valor máximo para a resposta y_m

T_m : valor alvo para a resposta y_m , s e t : parâmetros de subjetividade

m : respostas (1,...,p)

Para minimização, na otimização unilateral, os limites superiores e inferiores são invertidos, o que equivale a um complemento $(1 - d_m)$ para a função de conveniência. Todas as funções de conveniência individuais são combinadas numa função global, que é definida como a média geométrica das funções individuais:

$$D = (d_1 \times d_2 \times \dots \times d_p)^{1/p}$$

Quanto maior o valor de D , mais conveniente é a resposta do sistema, sendo que o valor máximo de D é a solução otimizada do sistema. Nas respostas d_p com descontinuidades ou singularidades (pontos de inflexão), foi introduzido um polinômio de quarta ordem que se ajusta sobre um pequeno trecho onde está a descontinuidade.

$$f(y) = F + Gy + Hy^2 + Iy^3 + Jy^4$$

Pode-se observar na Figura X, que o polinômio entra no trecho entre os pontos a e c , removendo a inflexão que estava presente no ponto b . Para que isso ocorra, porém, as seguintes condições devem ser obedecidas:

$$f(\mathbf{a}) = d(\mathbf{a})$$

$$f'(\mathbf{a}) = d'(\mathbf{a})$$

$$f(\mathbf{c}) = d(\mathbf{c})$$

$$f'(\mathbf{c}) = d'(\mathbf{c})$$

$$f(\mathbf{b}) = d(\mathbf{b})$$

Onde:

b = valor objetivo

$a = b - b/50$

$c = b + b/50$

Sendo a e b denominados como vizinhança do valor objetivo. Tendo um sistema com 5 equações, pode-se encontrar 5 incógnitas (F, G, H, I, J) através da manipulação de álgebra linear e assim encontrar o polinômio que satisfaça as restrições acima e remova a descontinuidade da função.

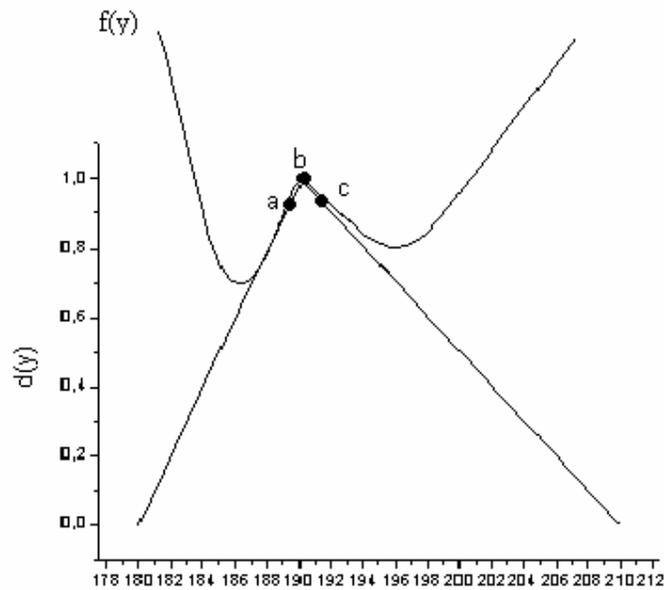


Figura 3. Função de desejabilidade para busca de um valor específico. (Fonte: CARNEIRO, 2005).

A equação contínua de desejabilidade será então:

$$\begin{aligned}
 d_m &= \left[\frac{y_m - y_{\min m}}{T_m - y_{\min m}} \right]^s && \text{se: } y_{\min m} \leq y_m(x) \leq a \\
 d_m &= F + Gy + Hy^2 + Ly^3 + Jy^4 && \text{se: } a \leq y_m(x) \leq b \\
 d_m &= \left[\frac{y_m - y_{\max m}}{T_m - y_{\max m}} \right]^t && \text{se: } c \leq y_m(x) \leq y_{\max m}(x) \\
 &0 && \text{outros casos}
 \end{aligned} \tag{5}$$

Procedimento para entrada de dados:

1. Selecionar o tipo de otimização (Fatorial 2^k);
2. Fornecer o número de variáveis independentes;
3. Fornecer os limites superior e inferior das variáveis independentes;
4. Definir o número de respostas a serem otimizadas;
5. Definir o objetivo de otimização de cada resposta;
6. Definir os limites superior e inferior e o valor alvo (se for o caso) para cada resposta.

6. A SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS

A simulação é uma técnica matemática destinada a resolver problemas cuja solução analítica ou experimental é difícil ou mesmo impossível. Em geral, a técnica da simulação não produz resultados exatos, mas produz boas aproximações quando há dificuldade ou mesmo impossibilidade de se conseguir a solução experimental do problema LAW (2000).

Um modelo de simulação tem um caráter descritivo, com maior ênfase ao desenvolvimento de um sistema que se adapte à realidade do que a um processo de cálculo que leve a um ponto ótimo. Lembrando que nenhum objeto existente na realidade pode ser

explicado corretamente examinando suas partes independentemente, é importante ser feito um estudo global de todas as partes de um sistema.

A simulação permite ampliar a análise de projetos nos casos mais gerais, incorporando a dimensão de risco de forma explícita. Em vez de medidas determinísticas de resultados de exploração, ela permite gerar pontos, de modo a indicar o grau de confiança associado. Um modelo de simulação inicia-se pela especificação da porção do mundo real que será estudada, identificando os pontos principais do sistema e suas inter-relações, num mundo esquemático ou quantitativo.

Definido o sistema, o próximo passo consiste no estudo e caracterização de cada item identificado no modelo a ser adotado. Selecionar as variáveis essenciais do fenômeno estudado, o modelo matemático que o simula poderá levar a soluções próximas daquelas esperadas na realidade.

Simulação é uma técnica de modelagem e análise usada para avaliar e aprimorar os sistemas dinâmicos de todos os tipos. A simulação numérica faz parte da capacidade humana de imaginação. O cérebro humano cria constantemente imagens da realidade à sua volta.

Uma das nossas capacidades mais refinadas de simulação é a intuição: nela, um modelo refinado da realidade é criado na mente, na qual a relação causa-efeito é prevista, sem por isso ter um modelo racional do fenômeno e nem uma visão clara da causa. Uma das áreas mais desenvolvidas de simulação por computador é a criação de ambientes virtuais. À medida que a potência dos computadores aumenta, o realismo desses ambientes torna-se cada vez mais convincente.

Outra área é a simulação por computador de padrões de tomadas de decisão. Esses incluem a simulação de mecanismos de seleção e/ou padrões lógicos. A aplicação na área financeira procura simular situações que envolvem investimento de capital sem realmente dispor do mesmo, e assim analisar o comportamento das variáveis envolvidas.

O sistema em estudo é representado por equações (tradução do problema financeiro para a matemática computacional), então os resultados da simulação são comparados aos “possíveis” fenômenos reais em estudo. A simulação numérica está ao alcance de qualquer empresa, desde que tenha o software e os recursos humanos adequados.

7. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA EM ESTUDO

Geralmente, os *kanbans* são dimensionados de forma determinística e seus ajustes são intuitivos e empíricos. Portanto busca-se um dimensionamento que minimize o *WIP* e maximize a abastecimento do cliente (interno ou externo).

No caso em questão, uma célula de produção de “bicos de escapamento” (subconjunto tubo + flange) opera com certa deficiência no abastecimento, com excessivas paradas por falta de componentes. O *kanban*, no caso, foi dimensionado pela Eq. 2.

A solução trivial seria um aumento no número de cartões, o que aumentaria o *WIP*, situação que também não é desejada. Está caracterizado, então, um problema de otimização de respostas múltiplas. Em suma, o problema consiste em “experimentar” um aumento de uma unidade no número de cartões *kanban* em dois componentes distintos (tubo e flange), caracterizando um “Experimento Fatorial Completo 2^k ” e uma aplicação da Função Desejabilidade de Derringer para a otimização das duas respostas (mín. “*WIP*” e mín. “Desabastecimento”). Para a execução dos experimentos é utilizada a Simulação de Eventos Discretos.

São realizados quatro experimentos com *Kanban Tubos* em dois níveis (7 e 8 cartões) e *Kanban Flange* também em dois níveis (7 e 8 cartões), totalizando quatro condições experimentais ($2^2 = 4$) sendo consideradas três replicações para cada condição experimental tem-se doze corridas. A Figura 4 ilustra apenas uma das quatro condições experimentais.

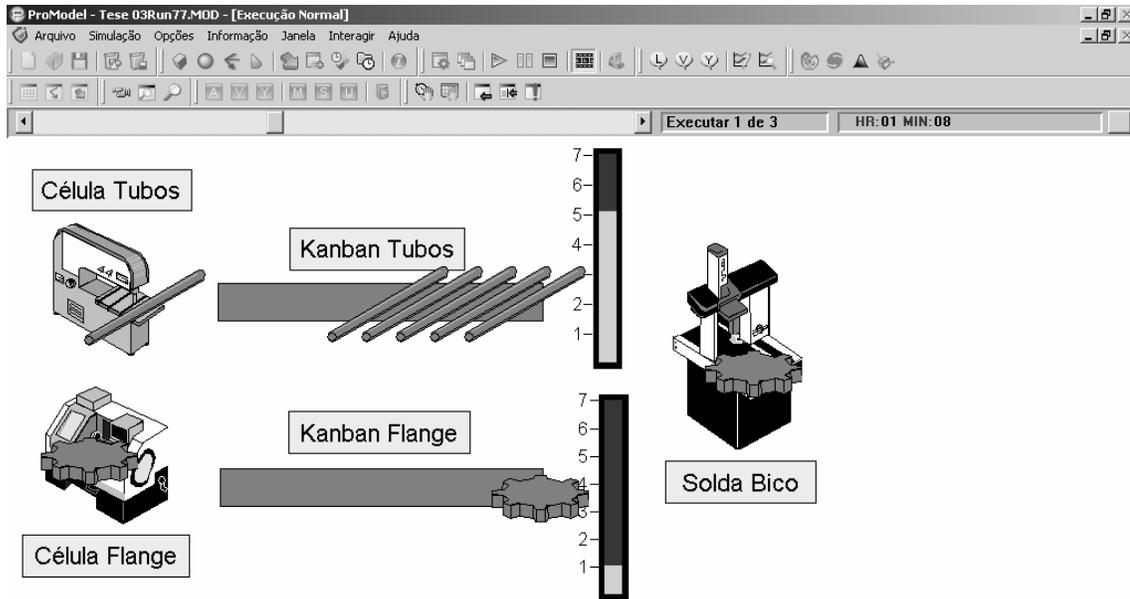


Figura 4. Simulação do Kanban com 7 cartões pelo Software PROMODEL.

8. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados são analisados pelo software MINITAB, sendo que o mesmo possui um módulo específico para otimização de respostas simultâneas pela Função Desejabilidade de Derringer, como mostra a Figura 7.

O Tempo Efetivo de Operação, ou seja, tempo em que a célula cliente ficou abastecida é representado pela Figura 5. Convém destacar que a Figura é resultado de uma única corrida

O Nível Médio de Inventário de cada *kanban* é representado pela Figura 6, observa-se que a figura apresenta o Nível Médio de todos os locais (*locations*), o que é uma característica do software, porém as variáveis de interesse são somente as relativas aos *kanbans* (Tubos e Flanges).

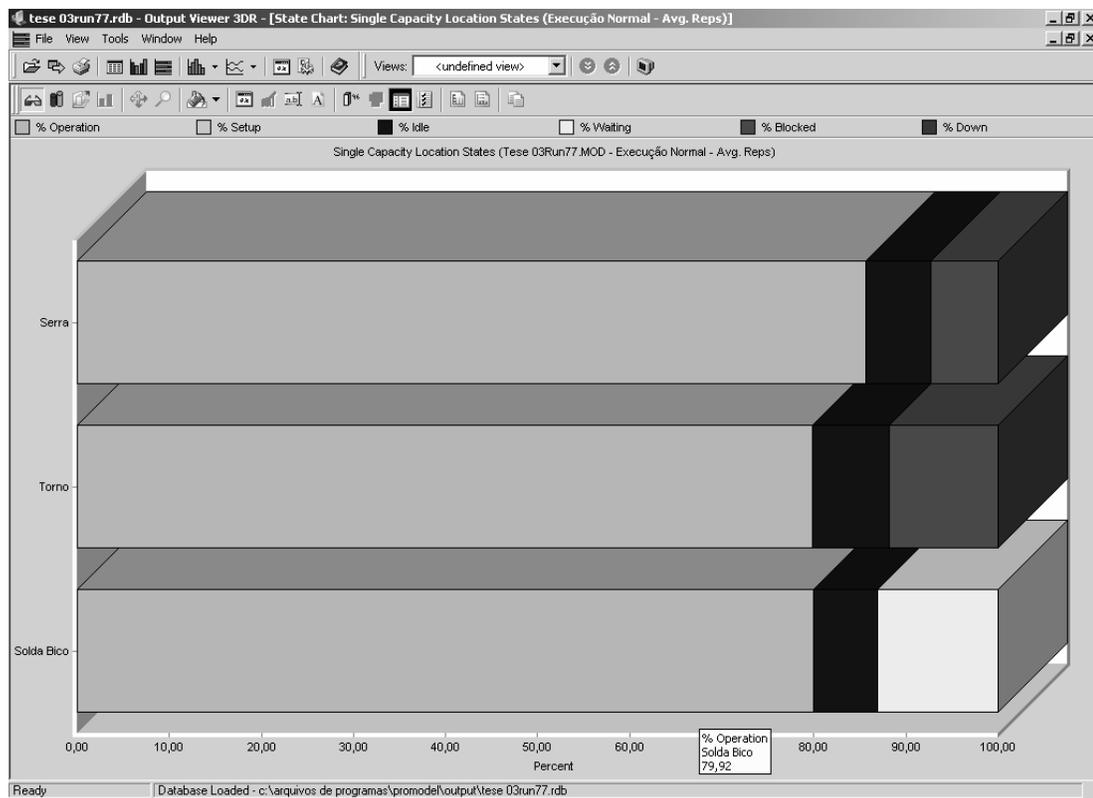


Figura 5. % de Tempo Efetivo de Operação.

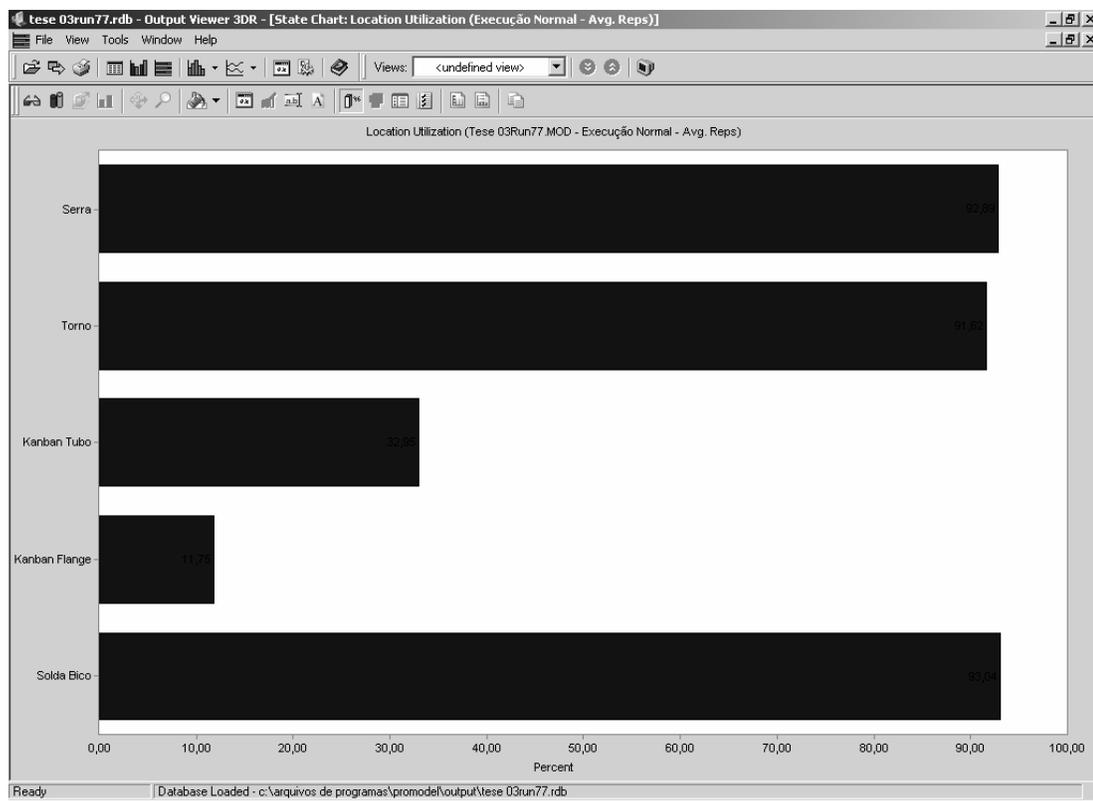


Figura 6. Nível Médio dos Kanbans.

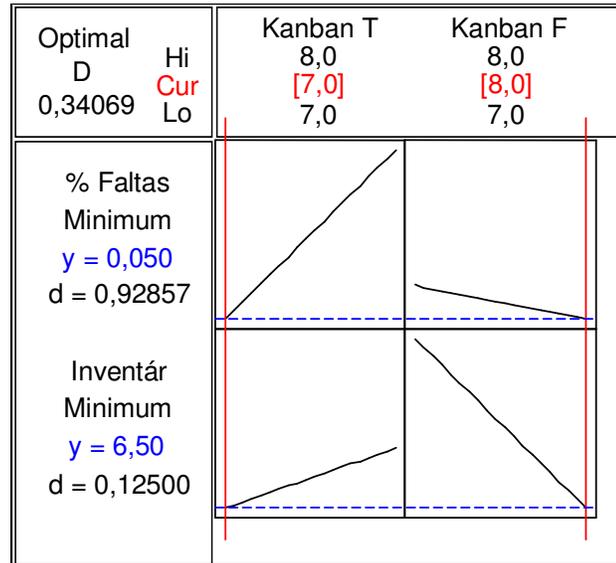


Figura 7. Otimização Simultânea das variáveis “% de Faltas” e “Inventário”.

9. CONCLUSÕES

Geralmente, quando as incertezas são inseridas nos modelos, fica exposta a grande fragilidade de certos métodos determinísticos. Com relação ao sistema *kanban*, pode-se concluir que capacidade média de fornecimento deve ser maior ou igual à capacidade média de consumo, ou seja, a célula deve estar balanceada ou ligeiramente desbalanceada de forma que o abastecimento seja maior que o consumo. Caso tal condição não seja atendida, o *kanban* certamente irá falhar e o tempo entre falhas dependerá das dispersões envolvidas no processo, do abastecimento inicial, e da diferença entre o ritmo de abastecimento e de consumo.

Se as capacidades médias de abastecimento e consumo forem iguais, deve-se iniciar o processo com o *kanban* plenamente abastecido para executar a função de amortecimento das dispersões do processo. O DOE combinado com a Simulação de Eventos Discretos se apresenta como um método poderoso na análise de incertezas, porém apresenta como limitação, a complexidade dos cálculos e a necessidade de softwares específicos.

No caso em questão, ficou evidente a necessidade de ampliação do *kanban* de Flanges para otimização das respostas “% Faltas” e “Inventário”. Para maior aprimoramento do número de *Kanbans*, seria conveniente a aplicação de Metodologia de Superfície de Resposta (*Methodology Response Surface – MRS*), para busca de uma condição ótima, além das condições experimentadas, que proporcione um acréscimo na função desejabilidade.

10. REFERÊNCIAS

- BRYMAN, A.; *Research Methods and Organization Studies*, John Wiley & Sons Ltd 1995.
- BOX, G. E. P.; HUNTER, W. G.; HUNTER, J. S. *Statistics for experimenters*. New York: John Willey: 1978.
- CARNEIRO, R. L. *O Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 26, n. 3, p. 353-362, jul./set. 2005

COLEMAN, D. E.; MONTEGOMERY, D. C. A systematic approach to planning for a designed industrial experiment. *Technometrics*, v.35, n.1. 1993.

LAW, A.M., KELTON, W.D.; *Simulation Modeling and Analysis*. 3a. ed. New York: McGraw-Hill: 2000.

MONTEGOMERY, D. C. *Introduction to statistical quality control*. 3rd. ed. New York: Wiley: 1997

MONTEGOMERY, D. C. *Design and analysis of experiments*. New York: Wiley: 1976.

OHNO, Taiichi. *O Sistema Toyota de Produção: Além da produção em larga escala*. Porto Alegre: Bookman, 1997.

SCHONBERGER, R. J.; Kanban at the Nexus - *Production and Inventory Management Journal*; Third Quarter 2002; 43, 3/4; *ABI/INFORM Global* pg. 1.