

O Layout como Ferramenta da Estratégia de Produção: um Estudo de Caso em uma Empresa Make-to-order

Alexandre Guerra Maciel
Alexandre.maciel@medabil.com.br
UNISINOS

Diego Augusto de Jesus Pacheco
engdie@gmail.com
UNISINOS

Resumo: O presente artigo discute através de um estudo de caso, o impacto que um arranjo físico e sua lógica de funcionamento podem afetar a produtividade de uma organização. Esse trabalho adotou a técnica da simulação computacional em uma linha de produção de manufatura e realizou análises de indicadores de produtividade para dois tipos de layouts distintos conforme Black (1998). Observou-se, dentre outros pontos, que as considerações de Shingo (1996) sobre redução indiscriminada de estoques estão em consonância com o caso estudado. Evidenciou-se que a redução do estoque ou a seleção de um layout que leve a isto, sem levar em consideração a variabilidade do processo, pode levar a perdas na produção conforme sugerem os cenários da simulação.

Palavras Chave: Layout - Simulação - Produtividade - -

1. INTRODUÇÃO

Os estudos sobre Estratégia de Manufatura estão em contínua evolução desde o texto seminal de Skinner (1969). Ao longo dessa evolução, diversos autores têm definido diferentes conotações para a estratégia de manufatura. Skinner (1969;1974) propõe que as organizações possuem forças e fraquezas, devido aos rumos da sua estratégia de produção, onde estas diferentes abordagens de estratégia geram padrões de comportamentos distintos na manufatura. Desse modo, Skinner (1969;1974) sugere que a empresa deve tomar decisões sobre como gerir a manufatura, orientando a organização para a direção onde a estratégia de produção adotada ou desejada está indicando.

Diferentemente da visão de Skinner, Ferdows (1990), propõe a não existência de *trade-offs* na manufatura e que é possível obter simultaneamente uma boa qualidade, tempo de resposta, custo baixo e flexibilidade. Outros autores, como Rother (2003) e Liker (2005) propõem uma série de ações, que gerariam impactos de modo a reduzir o custo, aumentarem a flexibilidade, melhorar a qualidade e minimização do *lead time*. Algumas destas mudanças são mudanças no arranjo físico e no método de trabalho. Ford (1927), na sua obra, narra as dificuldades da movimentação de materiais e pessoas, e seu conseqüente impacto negativo na manufatura. Assim o *layout* usual, *job shop* ou fixo começou a ser questionado.

Segundo Gaither (2002), o arranjo físico pode auxiliar os seguintes objetivos: (i) fornecer suficiente capacidade de produção; (ii) reduzir o custo de manuseio de materiais; (iii) adequar-se as restrições de lugar e do prédio; (iv) garantir espaço para as máquinas e produção; (v) permitir elevada utilização e produtividade da mão-de-obra, das máquinas e do espaço; (vi) fornecer flexibilidade de volume e produto; (vii) garantir espaço para banheiros e outros cuidados pessoais dos empregados; (viii) garantir segurança e saúde para os empregados; (ix) permitir facilidade de supervisão; (x) permitir facilidade de manutenção; (xi) atingir os objetivos com o menor investimento de capital.

Dentro das discussões sobre *layout* na literatura, existe uma série de estudos, como os realizados por Yang (2003), Chen (2002) e Ertay (2004), que utilizam algoritmos e técnicas matemáticas para resolução de problemas de *layout*. Contudo Canen (1998) comenta que estas abordagens não levam em consideração o elemento qualitativo presente na definição do arranjo físico. O autor cita alguns dos fatores qualitativos que afetam na definição do arranjo físico: (i) segurança; (ii) estética; (iii) *mix* de produtos. A decisão do tipo de *layout* a ser utilizado, não é uma definição isolada. Devem-se levar em conta os tipos de processos de produção que serão utilizados e a natureza das materiais utilizados (GAITHER, 2002). Consoante com isto, Black (1998), propõe a definição do tipo de arranjo físico, em relação ao tipo de produto e os sistemas de manufatura, conforme pode ser visto na Figura 1.

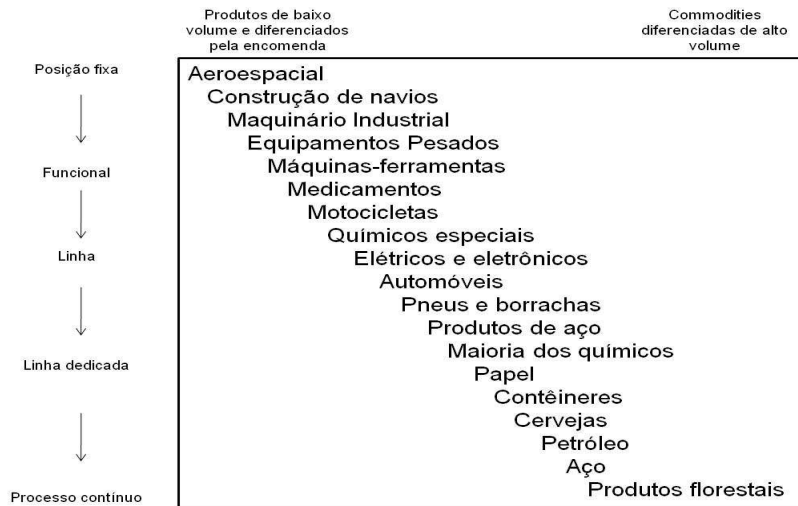


Figura 1: Tipo de produto versus sistema de manufatura. Fonte: Black (1998)

Já Gaither (2002) propõe que o tipo de processo e *layout* depende da diversidade dos produtos e tamanho do lote. Essa relação que pode ser observada de acordo com uma lógica, conforme a Figura 2.

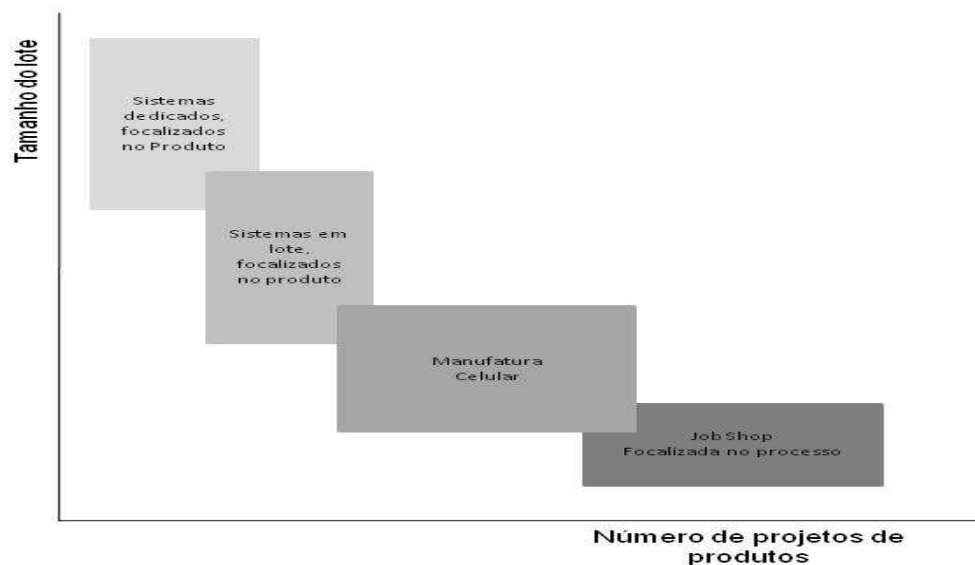


Figura 2: Relação entre layout, tamanho do lote e variedade. Fonte Gaither (2002).

Observando as proposições dos autores expostas nas Figuras 1 e 2, pode-se afirmar que as organizações do tipo *make-to-order*, tendem a utilizar o *layout* fixo ou funcional. Contudo Black (1998) após fazer a proposta exemplificada na Figura 1, propõe que várias empresas já estão utilizando outros tipos de arranjo físico diferente do que está especificado na Figura 2. Em adição a proposta de Black (1998), Rother (2003) propõe que se deve utilizar onde for possível o fluxo contínuo, sem nenhuma restrição do tipo de processo de manufatura, produto ou escala. Em paralelo à definição dos tipos de *layouts* fabris, o presente trabalho inclui na discussão elementos da Teoria das Restrições (TOC), como a definição de recursos gargalo, não-gargalos e a lógica do tambor pulmão e corda, proposta por Goldratt (2002). Também será utilizando a visão de Shingo (1996) sobre estoques, com vistas a discutir quais impactos terão na estratégia de produção.

2. TEORIA DAS RESTRIÇÕES

Antunes *et al.* (2008) definem gargalo como o recurso em que sua capacidade disponível é inferior a demanda do mercado. Caso haja mais de um recurso com a capacidade inferior a demanda, o recurso com maior déficit de capacidade é considerado o gargalo. Cox (2009) propõe que tipicamente em linhas de produção a restrição pode ser vista como o sistema que limite o ganho em linhas de produção. Antunes *et al.* (2008) definem CCR (*Resource Constraint Capacity*) como recursos com restrição de capacidade, que em média dispõe de capacidade superior a capacidade necessária. Mas em função da variação da demanda podem gerar a restrição da demanda.

Cox (2009) propõe que o controle do fluxo utilizando a metodologia do tambor-pulmão-corda, necessita que quem a utilize entenda bem o conceito do gerenciamento da restrição e suas implicações. Segundo Cox (2009) e Goldratt (2002), nesta situação, o tambor significa a restrição, o pulmão, em tempo, tem o objetivo de proteger a restrição das variações e a corda garante que nenhum trabalho seja produzido até que o buffer da restrição libere para a produção. Um (2007) propõe que a utilização de um pulmão visa minimizar o impacto da variabilidade no sistema. Para o dimensionamento do pulmão, Cox (2009) propõe que o seu tamanho seja definido pela gestão. Cox (2009) chama de desnutrição quando o gargalo não dispõe de material para trabalhar. O autor reforça que este fenômeno ocorre apenas no gargalo, que não deve ser considerado desnutrição quando uma máquina não gargalo fique aguardando o momento para produzir para armazenar no buffer do gargalo. Cox (2009) ainda afirma que a desnutrição geralmente é causada por quebras de equipamento ou por um tempo extremamente longo em algum equipamento.

3. A VISÃO DE ESTOQUES NA PRODUÇÃO ENXUTA

Shingo (1996) propõe que há duas classificações básicas sobre estoques: estoque natural e estoque necessário. O estoque natural é definido como estoque para se proteger contra previsões incorretas do mercado, evitar riscos, produções em lotes e para materiais com tempo de processamento extremamente alto. Já o estoque necessário, é para proteger processos e operações ineficientes. Processos ineficientes geram três tipos de acúmulos de estoque, sendo eles: (i) produção antecipada, onde os ciclos de produção são mais longos do que o prazo de entrega; (ii) flutuação de demanda; (iii) gerenciamento deficiente da produção. Operações ineficientes resultam de duas causas de geração de estoques: (i) compensar quebra de máquinas ou produtos defeituosos; (ii) compensar grandes tempos de *setup*.

Shingo (1996) ainda afirma que os dois tipos de estoque são geradores de perdas, pois são fenômenos que não agregam valor e que devem ser cuidadosamente estudados e eliminados por completo. Contudo o autor ainda afirma que a eliminação do estoque não deve se tornar um fim em si mesmo, uma vez que a eliminação radical pode causar atrasos na entrega ou queda nas taxas de operação dos equipamentos. O autor ainda completa que devem ser seguidas três estratégias que permitem a produção com estoque zero: (i) reduzir os ciclos de produção; (ii) eliminar defeitos e quebras; (iii) reduzir tempo de *setup*.

Liker (2005) propõe que a eliminação de estoques é um dos passos para melhor visualizar as perdas produtivas. Rother (2006) propõe que em linhas ou células quando não for possível nivelar a carga de trabalho entre os equipamentos, cria-se um supermercado e retira-se da linha a máquina com capacidade restrita. Liker (2005) e Dennis (2008) propõem que a solução ideal seria que as peças fossem produzidas e transportadas individualmente, lote unitário, deste modo reduzindo estoques, *lead time* e produtos defeituosos.

4. LAYOUTS PRODUTIVOS

Segundo Black (1998), pode-se identificar cinco tipos de *layout*: (i) *layout* funcional, ou *job shop*; (ii) *layout* em linha, ou *flow shop*; (iii) *layout* de posição fixa, ou *project shop*; (iv) fábrica com células interligadas; (v) processo contínuo. A Tabela 2, apresenta a descrição de cada tipo de *layout*.

Tabela 1: Tipos de layout e suas definições. Fonte: Black (1998).

Tipo de layout	Descrição
Layout funcional	É caracterizado pela grande variedade de componentes, máquinas de uso genérico. As máquinas são agrupadas por função.
Layout em linha	É caracterizado pelos grandes lotes, e equipamentos para fins específicos. Possui grande mecanização e menor variabilidade. Pode ser contínuos ou interrompidos. Usualmente o tempo de setup é elevado.
Layout de posição fixa	É caracterizado pela imobilidade do item de fabricação. Nesta configuração, os trabalhadores e as máquinas se deslocam até o produto/local de trabalho.
Layout de células interligadas	Usualmente composto por células de manufaturas interligadas. Utiliza o <i>kanban</i> como forma de estocagem e controle de informação.
Processo contínuo	O produto flui fisicamente. Alguns exemplos são as refinarias de petróleo e usinas de processamentos químicos.

Dentro do *layout* com células de manufaturas interligadas, Black (1998) propõe que neste tipo de processo, os equipamentos necessários são geralmente de ciclo único e automático, sendo que elas podem completar o ciclo sem a necessidade da presença do operador. Como uma alternativa a abordagem tradicional, Black (1998), propõe o uso da tecnologia de grupo, como um meio de alterar a abordagem tradicional, exemplificada na Figura 1. Esta abordagem consiste em agrupar peças semelhantes em família; deste modo podem ser manufaturadas em um conjunto de peças parecidas, ganhando escala e deste modo podendo se "deslocar" dentro da Figura 1, com o objetivo de chegar a células interligadas (BLACK, 1998).

5. METODOLOGIA DE PESQUISA

Para a realização do estudo de simulação computacional, será utilizado o *software Micro Saint*, na versão 3.1. A análise das saídas fornecidas pelo *software* será feita utilizando o pacote estatístico *PSW Statistics 18*, de acordo com as ferramentas estatísticas propostas por Hair (2005) e Hair (2009). Para avaliarmos os resultados da simulação, será utilizada a ferramenta de análise de variância que permite avaliar se as amostras surgem de populações com médias iguais (HAIR, 2009). Como variável independente será considerada, o número da rodada da simulação com diferentes premissas ou entradas no modelo. Como estaremos trabalhando com um nível de significância de 0,05, o valor de F não deve exceder a 3,84. Esta ferramenta estatística requer para seu melhor desempenho que a amostra de cada grupo seja maior do que o número de variáveis dependentes. Outra diretriz prática é de que a amostra não seja inferior a 20 observações por grupo (HAIR, 2005). Como estamos trabalhando com simulações e há uma relativa facilidade de se obter dados, será trabalhado com no mínimo 150 observações. Estas observações não estão contadas no período de *warm-up*, desconsiderado no modelo simulado.

Para avaliarmos se existe ou não uma correlação entre os elementos estudados na simulação, será utilizado a correlação de Pearson, que mensura a associação linear entre duas variáveis métricas. O coeficiente de correlação de Pearson varia de um negativo até um positivo, sendo zero nenhuma correlação e um negativo ou um positivo a melhor correlação

possível. O coeficiente de determinação, ou o quadrado do coeficiente de relação, indica em quanto a variação desta variável está associada com outra variável. A correlação de Pearson, parte do pressuposto de que as variáveis partem de uma população normalmente distribuída. HAIR (2005). A Tabela 2 mostra os tipos de correlação utilizados na prática de acordo com Hair (2005).

Tabela 2: Regras sobre o valor do coeficiente de correlação.

Variação do coeficiente	Força de associação
$\pm 0,91 - \pm 1,00$	Muito forte
$\pm 0,71 - \pm 0,90$	Forte
$\pm 0,41 - \pm 0,70$	Moderada
$\pm 0,21 - \pm 0,40$	Pequena, mas definida
$\pm 0,01 - \pm 0,20$	Leve, quase imperceptível

6. DESCRIÇÃO DO AMBIENTE DE APLICAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

A empresa em discussão pertence ao segmento metal-mecânico, está localizada no estado do Rio Grande do Sul e é considerada líder nacional no seu segmento de atuação. O segmento de mercado onde esta empresa atua são basicamente pavilhões para indústrias ou supermercados. Os sistemas de construção metálicos permitem maior liberdade para os arquitetos, como pilares internos menores, propiciando maior espaço interno, vãos maiores e alívio das fundações. No *lead time* total da obra pode-se obter um ganho usual de 35% do tempo em construções comerciais e 25% em construções habitacionais, podendo-se chegar a 71% de redução em comparação com o concreto (METALICA, 2011).

O diferencial competitivo da empresa, em relação aos seus concorrentes de mercados é o *lead time*. Isto é possível, devido ao tipo de solução de engenharia empregada, a chapa em perfil I soldada. Juntamente com o sistema de engenharia, que auxilia no detalhamento e cálculo da obra, reduzindo o *lead time* de projeto, embora este produto em específico necessite de mais massa de matéria prima por metro quadrado de área construída do que outras soluções mais comuns, como as treliças.

Contudo, a empresa pesquisada produz produtos que são extremamente customizados, sendo que cada produto passa pelas etapas de ornamentação, engenharia, estrutura do produto. Não existe nenhum produto padrão, embora já tenha sido tentado desenvolver um produto que possa ser armazenado “em prateleira”. A padronização dos seus componentes atualmente utilizados se resume apenas a suportes e elementos de fixação de telhas. Atualmente o dimensionamento das peças é feito baseado na minimização do uso de matéria prima para a confecção das peças. Dentro da linha observada, temos nos equipamentos, basicamente a interface direta do homem e da máquina, sendo apenas uma das máquinas onde o tempo de interação do homem com a máquina é menor que o tempo de ciclo do equipamento, em todos os demais equipamentos da presente linha, o tempo de interface do homem com a máquina é igual ao tempo de ciclo do equipamento.

Devido à grande variabilidade dos produtos, é complexa a função do cálculo de tempos de produção. A Figura 3 mostra alguns exemplos de vigas, que podem ser enquadradas no mesmo tipo de produto, contudo em alguns postos de trabalho, estas peças possuem tempos distintos de manufatura.

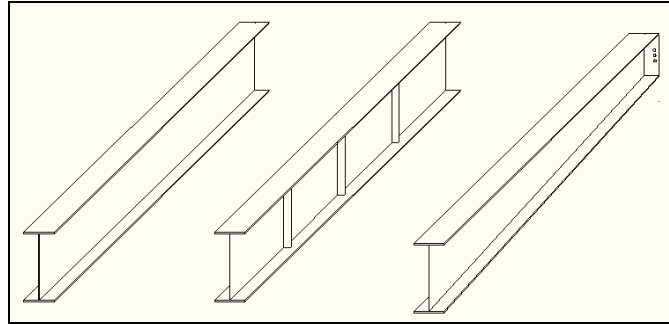


Figura 3: Vigas do tipo simples

O processo de manufatura destas peças consiste em corte das chapas, montagem do perfil I, solda de composição do perfil I, montagem dos acessórios ao perfil I, quando existe e finalmente soldagem destes acessórios. Após este processo, procede-se o tratamento superficial solicitado pelo cliente.

7. DESENVOLVIMENTO E DISCUSSÃO

Como a atual trabalho visa estudar as taxas de saídas ou produtividade dos diferentes tipos de *layouts* fabris, criaram-se diversos cenários, onde se realizaram uma série de mudanças na concepção do *layout*. Entretanto, dado às limitações do processo e aos equipamentos disponíveis, não foi simulado o uso de células de manufatura, conforme proposto por Black (1998). Além disso, não há condições para o uso do *layout* fixo, pois o produto deve ser manuseado. Assim sendo, para fazer o estudo de simulação usou-se dois conceitos de *layouts*: o funcional e o em linha.

Nas simulações iniciais, dos cenários de R1 a R10, a variável alterada de mudança foi a quantidade de material depositado no estoque na frente da restrição do sistema. Estes valores se encontram na Tabela 3. A rodada R11, em destaque nos gráficos, significa a rodada de simulação utilizando a lógica do *layout* funcional na linha em questão. O fluxo de materiais e as etapas de manufatura podem ser observados na Figura 4.

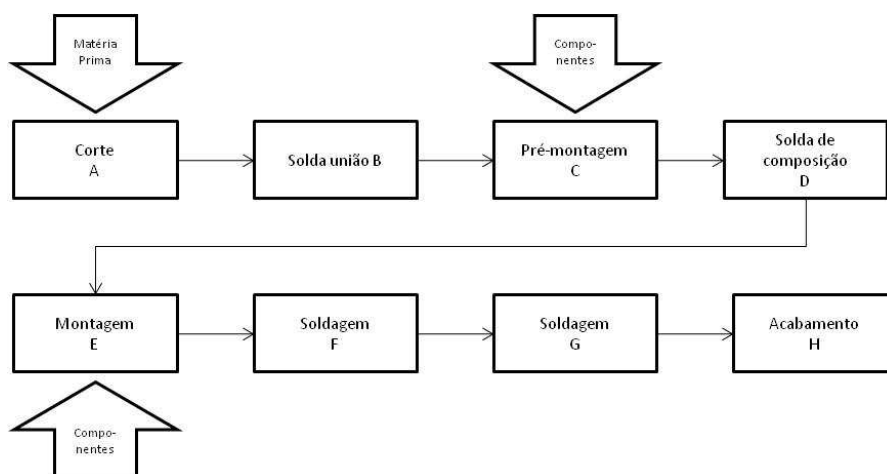


Figura 4: Fluxo de materiais na linha em questão

Para a realização da simulação, foi levada em consideração uma série de dados obtidos através de cronoanálise e tratados estatisticamente. Também foi inserido no sistema, uma seqüência de paralisações dos equipamentos baseado na série histórica dos mesmos. Para

simular a variabilidade do produto, foi simulada uma seqüência real de peças que iria ser produzida. Conforma a Tabela 3, foi simulado uma diferenciação do tamanho de pulmão entre as rodadas de R1 a R10. Não foram gerados outros cenários, pois se percebeu que na rodada R11, como está sendo avaliada a configuração *job shop*, os equipamentos de movimentação são compartilhados gerando ineficiências no abastecimento da linha.

Tabela 3: Cenários criados nas simulações

Cenários	Número de vigas posicionadas no buffer em frente a restrição
R1	1
R2	3
R3	5
R4	7
R5	9
R6	11
R7	13
R8	15
R9	17
R10	19

Como saídas do modelo de simulação podemos observar os tempos médios para manufatura de uma peça na Figura 4. E na Figura 5, podemos observar o tempo de *lead time* médio das peças em relação a cada rodada de simulação.

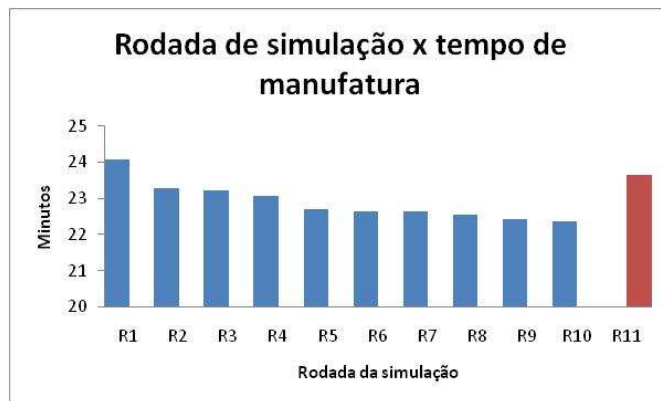


Figura 4: Lead time resultante da simulação

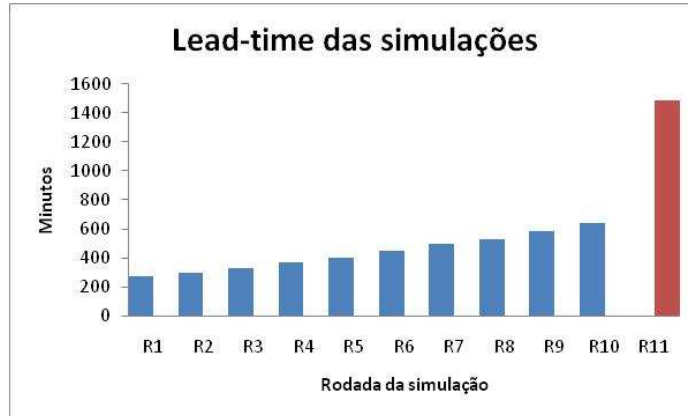


Figura 5: Tempos médios para produção de uma peça

A correlação de Pearson classifica como leve, ou quase imperceptível as semelhanças entre as rodadas com lote unitário, rodada R1 quando levada em consideração com a solução do *layout job-shop*, simulado na rodada R11. Embora a análise de variância não consiga afirmar com certeza que a simulação provém de outra amostra totalmente diferente, pois o requisito do grau de significância estatística, não foi atendido. O fator de correlação entre a rodada 5 e a rodada 1 foi 0,32, ou seja pequena, enquanto a correlação entre a rodada 11 e a rodada 5 teve como retorno o índice -0,59, uma correlação moderada.



Figura 6: Quantidade de peças produzidas por colaborador/turno

A Figura 6, apresenta a produtividade resultante em cada cenário, analisando a relação entre quantidade de peças e quantidade de pessoas. É possível verificar uma pequena variação entre os cenários simulados. Tendo como base as rodadas de simulação podemos observar que a rodada R1, sendo o *layout* em linha, sem nenhuma interrupção e com apenas uma viga antes da restrição, sofreu de desnutrição, gerada pela quebra dos equipamentos e grande variabilidade dos tempos de manufatura do produto. Embora o seu *lead time* fosse baixo, a falta de abastecimento do gargalo gerou impactos significativos na produtividade da linha, necessitando de mais tempo de fábrica para manufatura de uma peça, sendo esta menor que a da roda R11, com o *layout* do tipo *job shop*.

7. CONCLUSÃO

O presente artigo investigou através de um estudo de caso, como um arranjo físico e sua lógica de funcionamento podem afetar a produtividade de uma organização. Esta discussão adotou a simulação computacional para simular uma linha de produção com dois tipos de *layouts* distintos e uma discussão dos impactos observados no modelo de simulação. Observou-se que as considerações de Shingo (1996), sobre a redução indiscriminada de estoque estão em consonância com o caso estudado, pois a redução do estoque ou a seleção de um *layout* que leve a isto, sem levar em consideração a variabilidade do processo, pode levar a perdas na produção conforme visto nos cenários da simulação.

Embora Black (1998) tenha proposto o uso da tecnologia de grupo para a utilização em células de manufatura, a mesma técnica foi utilizada no caso estudado, permitindo o uso do *layout* em linha deste modo em comparação com o modelo tradicional. No caso avaliado, isto permitiu o uso do *layout* em linha, reduzindo o *lead time*, melhorando a produtividade da linha e reduzindo a necessidade de mão de obra envolvida na linha.

Como sugestão de trabalhos futuros, os autores irão investigar o impacto da redução da variabilidade na linha pela redução do tempo de ciclo e do tempo de *setup* a partir de simulações de forma a perceber a produtividade do sistema. Sugere-se também que pesquisas semelhantes a essa sejam replicadas em diferentes sistemas de produção adicionando outras variáveis, como por exemplo os níveis de qualidade das operações no uso do *layout* em linha e no uso da tecnologia de grupo.

8. REFERÊNCIAS

- ANTUNES, Junico; ALVAREZ, Roberto; PELLEGRIN, Ivan de; BORTOLOTTI, Pedro. Sistemas de produção: conceitos e práticas para projetos e gestão da produção enxuta. 1ed, Porto Alegre:Bookman, 2008.
- BLACK, J.T. O projeto da fábrica com futuro. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.
- CANEN, A. G.; WILLIAMSON, G. H. Facility layout overview: towards competitive advantage. Facilities, Volume 16 • Number 7/8 • July/August 1998 • 198–203
- CHEN Yi-Kuang; LIN, Shih-Wei; CHOU, Shuo-Yan. An efficient two-staged approach for generating block layouts. Computers & Operations Research 29 (2002) 489-504
- COX III, J.; BETTERTON, C. Espoused drum-buffer-rope flow control in serial lines: a comparative study of simulation models. International Journal Production economics.2009 v.117 p.66-79.
- ERTAY, T.; RUAN, D.; TUZKAYA, U. R. Integrating data envelopment analysis and analytic hierarchy for the facility layout design in manufacturing systems. Information Sciences 176 (2006) 237–262
- FERDOWS, K. ; DE MEYER, A. Lasting improvements in manufacturing performance: in search of a new theory', Journal of Operations Management, Vol. 9 No. 2, pp. 168-84. 1990.
- FORD, H. Hoje e amanhã. São Paulo, Companhia Editora Nacional, 1927.
- GAITHER, N.; FRAZIER, G. Administração da produção e operações. São Paulo: Cengage Learning, 2002.
- GOLDRATT, E. A meta: um processo de melhoria contínua. 2.ed São Paulo: Nobel, 2002.
- HAIR Jr., Joseph F.; BABIN, Barry; MONEY, Arthur H.; SAMOUEL, Phillip. Fundamentos e métodos de pesquisa em administração. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- LEE, Jun-Huei; CHANG, Jia-Ging; TSAI, Chi-Hung; LI, Rong-Kwei; Research on enhancement of TOC simplified drum-buffer-rope system using novel procedures. Expert systems with application v.37 p.3747-3754.

LIKER, J. K. O modelo Toyota de produção: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo. Porto Alegre: Bookman, 2005

Metálica: Revista sobre construção metálica online. Disponível em: WWW.metalica.com.br. Acessado em 23/4/2010.

ROTHER, M. ; SHOOK, J. Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003.

SHINGO, S. O sistema Toyota de produção: do ponto de vista da engenharia de produção. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996

SKINNER, W. Manufacturing – the missing link in corporate strategy. Harvard Business Review, May–June, 12–25. 1969.

SKINNER, W. The focused factory'. Harvard Business Review, May–June 113–21.

UM, In-Sup; LEE, Hong-Chul; CHEON, Hyeon-Jae. Determinaton of buffer sizes in flexible manufacturing System by using the aspect-oriented simulation. International Conference on Control, Automation and Systems, 2007. Seoul, Korea.1974.

YANG, Taho; KUO, Chunwei. A hierarchical AHP/DEA methodology for the facilities layout design problem, European Journal of Operational Research, 147 (2003) 128–136