



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CAMPUS CURITIBA

DEPARTAMENTO DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

E DE MATERIAIS - PPGEM

RODRIGO MARCUS DIAS LUIZ

**PROGRAMAÇÃO DE PRODUÇÃO LEVANDO EM
CONTA MÁQUINAS EM PARALELO E *SET-UP*
DEPENDENTE DA SEQUÊNCIA DE PRODUÇÃO**

CURITIBA

JULHO - 2012

RODRIGO MARCUS DIAS LUIZ

**PROGRAMAÇÃO DE PRODUÇÃO LEVANDO EM
CONTA MÁQUINAS EM PARALELO E *SET-UP*
DEPENDENTE DA SEQUÊNCIA DE PRODUÇÃO**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Área de Concentração em Manufatura, do Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação, do Campus de Curitiba, da UTFPR.

Orientador: Prof. Luiz Carlos A. Rodrigues, Dr.

CURITIBA

JULHO – 2012

LUIZ, Rodrigo M.D. Programação de produção levando em conta máquinas em paralelo e *set-up* dependente da sequência de produção. Projeto (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 71p, 2012.

RESUMO

Diante de um crescimento econômico, as empresas de maneira geral e, em particular, a indústria de manufatura, acabam procurando um meio de eliminar perdas que estão em evidência e outras que não estão tão expostas, para assim maximizar seus lucros. Este trabalho mostra uma programação de produção otimizada, de modo a aumentar a disponibilidade de um equipamento responsável em manufaturar mais de um modelo de produto. Com exigências cada vez maiores, os consumidores obrigam a indústria a variar seu *mix* de produção de modo a não poder mais possuir equipamentos dedicados para cada tipo de modelo produzido. Com isso, exige-se cada vez mais o uso de abordagens de pesquisa operacional para poder montar um cronograma de produção de forma mais rápida e assertiva. Não se pode deixar de considerar a influência da disponibilidade do equipamento para o bom andamento da programação da produção. Alinhado a isto ao avaliar as maiores perdas de um equipamento, verifica-se a necessidade de se reduzir seu tempo de *set-up*. Para que isto seja possível, é sugerida a aplicação da metodologia SMED, a qual foi criada dentro do sistema *Lean Manufacturing*, mais especificamente do sistema TPM. Do ponto de vista da otimização, o problema proposto é desafiador, já que há múltiplos processadores idênticos, em paralelo e o *set-up* entre os produtos é dependente da sequência de produção. Assim, cabe ao sistema proposto definir quanto da demanda total de cada produto será produzida em cada um dos processadores, visando a minimização do tempo total de *set-up*. Ou seja, os lotes de produção não têm tamanho fixo. Foi proposta uma abordagem híbrida usando regras de despacho (heurísticas) para a solução do problema proposto, com resultados satisfatórios.

Palavras-chave: *Set-up*, métodos heurísticos, programação de produção.

LUIZ, Rodrigo M.D. Programação de produção levando em conta máquinas em paralelo e *set-up* dependente da sequência de produção. Projeto (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 71p, 2012.

ABSTRACT

Due to economic growth, companies in general – but particularly manufacturing industries - end up looking for a way to eliminate losses that are evident and others that are not so easy to identify so as to maximize profits. This project seeks for an optimal production schedule to increase the availability of a device responsible for manufacturing more than one product. With increased demands from customers, industry is compelled to vary its production mix so that it can not have equipment dedicated to each produced model type. Thus, the use of operational research approaches is more and more required to be able to set up a production schedule in a faster and assertive way. One can not stop considering the influence of equipment availability for a smoother production scheduling. Aligned with this, when evaluating the major losses at the equipment, there is a need to reduce the set-up time. To make this possible, it is suggested the implementation of the SMED methodology, which was created within Lean Manufacturing - more specifically, by TPM system. From the perspective of optimization, the proposed problem is challenging since there are multiple identical parallel processors with sequence dependent set-ups. Thus, it is up to the proposed system to define how much of the total demand for each product will be produced in each of the processors in order to minimize the total set-up time. In other words, production lots have no fixed size. It was proposed a hybrid approach using dispatch rules (heuristics) for the solution of the proposed problem that have presented satisfactory results.

Key-words: Set-up, heuristics, scheduling.

SUMÁRIO

RESUMO.....	ii
ABSTRACT	iii
LISTA DE FIGURAS.....	v
1 INTRODUÇÃO	1
2 MOTIVAÇÃO DO PROBLEMA	3
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	8
3.1 Indicadores de Desempenho	8
3.2. Manutenção Produtiva Total	10
3.2.1. Medida de desempenho na metodologia TPM.....	10
3.2.2. Aplicação da Ferramenta SMED	14
3.3. Tamanho econômico de lote	22
3.4. Programa Mestre de Produção - MPS.....	28
3.5. Métodos Heurísticos	34
3.6. Programação da produção com múltiplos processadores em paralelo.....	34
4 ABORDAGEM PROPOSTA.....	41
5 METODOLOGIA.....	51
5.1. Escolha do equipamento Gargalo	52
5.2. Aplicação SMED	52
5.3. Aplicação TPM.....	53
5.4. Aplicação da abordagem proposta.....	54
6 RESULTADOS	56
6.1 Estudo de caso 1	57
6.2 Estudo de caso 2	65
7 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1: O ciclo de realimentação cliente-marketing-projeto.</i>	4
<i>Figura 2: Representação usual de set-up</i>	6
<i>Figura 3: Imagem comum que se faz das perdas reais no set-up.</i>	6
<i>FIGURA 4: Demonstração da composição do indicador.</i>	13
<i>FIGURA 5: Gradação entre melhoria organizacional e projeto.</i>	16
<i>FIGURA 6: Período de retomada.</i>	21
<i>FIGURA 7: Desempenho do start-up e set-up.</i>	1
<i>FIGURA 8: Oscilação no período de retomada observada em estudo de caso.</i> ...	22
<i>FIGURA 9: Determinação do EOQ graficamente.</i>	24
<i>FIGURA 10: Estratégia de fabricação e lead time.</i>	33
<i>Figura 11. Alocação de processadores dedicados.</i>	59
<i>Figura 12. Alocações preferenciais para processadores que não são dedicados.</i>	60
<i>Figura 13. Alocação de tarefas que implicam em set-up.</i>	60
<i>Figura 14. Alocação de processadores dedicados.</i>	61
<i>Figura 15. Alocações preferenciais para processadores que não são dedicados.</i>	62
<i>Figura 16. Alocação de tarefas que implicam em set-up.</i>	62
<i>Figura 17. Alocação de processadores dedicados.</i>	63
<i>Figura 18. Alocações preferenciais para processadores que não são dedicados.</i>	64
<i>Figura 19. Alocação de tarefas que implicam em set-up.</i>	64
<i>Figura 20. Alocação de processadores dedicados.</i>	66
<i>Figura 21. Alocações preferenciais para processadores que não são dedicados.</i>	66
<i>Figura 22. Alocação de tarefas que implicam em set-up.</i>	66
<i>Figura 23. Alocação de processadores dedicados.</i>	67
<i>Figura 24. Alocações preferenciais para processadores que não são dedicados.</i>	67
<i>Figura 25. Alocação de tarefas que implicam em set-up.</i>	68

1 INTRODUÇÃO

No âmbito da manufatura do produto, há muitas oportunidades a serem exploradas para se manter competitivo no mercado globalizado. Dentro desta área as grandes industrias multinacionais optam em trabalhar dentro do sistema de Manufatura Enxuta (*Lean Manufacturing*) e, por consequência, utilizar suas ferramentas.

Neste trabalho é apresentada a ferramenta criada para a redução do tempo de troca de processadores de produto em máquinas, o chamado *changeover* ou *set-up*, além da abordagem da Manutenção Produtiva Total, ferramenta que preconiza a melhoria das maiores paradas de produção. E para auxiliar no acompanhamento e realizar a medição destas aplicações, também será abordado o indicador OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), responsável por mostrar a eficiência do equipamento.

Em conjunto com a correta programação de produção, este estudo propõe uma saída sistêmica para colaborar na otimização da produção, simulando o melhor programa de produção para se minimizar a quantidade de *set-ups* e assim aumentar a produtividade de uma linha de montagem. Este trabalho foi desenvolvido no âmbito de um estudo de caso.

O trabalho tem ainda como objetivos: usar a metodologia para *set-up* rápido, o aumento de disponibilidade de equipamento e aumento de *mix* de produção com o uso da metodologia SMED por meio da matriz de *set-up* e um simulador baseado em métodos heurísticos.

1.1 Objetivo

O objetivo específico desta dissertação é programar a produção de uma indústria de manufatura, por meio do uso de um método heurístico, levando em conta os tempos de troca de processadores e ferramentas de máquinas, ou seja, os *set-ups* dos equipamentos. O método heurístico usado foi uma “regra híbrida de despacho”.

1.1.1 Objetivo específico

Os objetivos específicos desta dissertação são:

- Propor uma abordagem híbrida de regras de despacho, que constitui em uma heurística;
- Discutir o impacto da soma dos tempos *set-up* na ocupação produtiva dos equipamentos.

1.2 Justificativa

O problema levantado ao longo deste trabalho é definido com a seguinte pergunta: Como programar a produção de uma maneira otimizada e rápida, podendo ainda simular uma eventual mudança de programa?

Sendo assim a proposta desta dissertação de Mestrado está relacionada à minimização do número de *set-ups* para a maximização da produção. Isto pode ser feito por meio do uso da Matriz de *set-up* ou ainda de maneira mais elaborada, por meio da implementação de uma abordagem com a simulação de método heurístico.

2 MOTIVAÇÃO DO PROBLEMA

Com o aquecimento do mercado e a exigência dos consumidores, cada vez com mais frequência as fábricas estão explorando sua capacidade instalada com a produção de uma variação significativa de modelos, ou seja, incrementando o *mix* de produtos. Porém, o incremento do *mix* de produtos tende a implicar em um maior número de operações de *set-up*. Baseado nesta informação uma das principais ferramentas de *Lean Manufacturing* pode contribuir para um ganho de disponibilidade de máquina: a aplicação da Metodologia SMED, sigla do inglês *Single Minute Exchange of Die*, que é traduzido como Troca Rápida de Ferramenta (TRF). A aplicação desta ferramenta em conjunto com o correto planejamento da produção pode auxiliar na melhoria da produtividade industrial.

Um aspecto que afeta o planejamento da produção é o tamanho dos lotes produzidos, que pode ser definido por meio da “Definição do Lote Econômico” ou do inglês *Economic Order Quantity* (EOQ), que é um modelo de gestão de estoque (GARCIA, 2006). Em todas as empresas, é importante que a equipe de produção saiba qual é a quantidade mínima de lote, pois sua relação com o custo de estoque é diretamente proporcional. Esta informação atrelada às mudanças constantes do desejo do consumidor, a qual está ligada a informação que o departamento de Marketing passa para a fábrica, gera uma necessidade de programação da produção de maneira mais assertiva.

Conforme Bacci, Sugai e Novaski (2005), a criação de um modelo para tomada de decisão em *set-up* se inicia com o objetivo de se criar um produto, onde o projeto de produto e serviço tem seu início e final com o consumidor. A primeira tarefa se dá no setor de Marketing por meio da identificação das necessidades e expectativas do cliente, além de identificar possíveis oportunidades de mercado. Em seguida, realiza-se a etapa de Projeto, onde será criada a especificação do produto ou serviço por meio da interpretação dos dados passados pelo Marketing. Esta especificação é então repassada para a operação ou Manufatura, que irá produzir e fornecer o produto ou serviço ao cliente, conforme apresentado na figura 1 (SLACK, 1998).

A figura 1 apresenta o ciclo de desenvolvimento de um produto/serviço, conforme descrito por Slack (1998), no qual baseado neste procedimento, foi criado por Bacci, Sugai e Novaski (2005) um modelo de tomada de decisão para a implantação da metodologia SMED. Baseado na capacidade informada de demanda, obtém-se ou não a necessidade da aplicação da metodologia SMED.

No caso onde a capacidade informada é maior que a demanda prevista do produto, não surge a necessidade de aplicar a metodologia para redução do tempo de *set-up*, exceto se a meta da organização for reduzir os tempos de produção e que a produção ocorra em seu ritmo pré-planejado. Caso contrário, cria-se a exigência de balancear a capacidade com a demanda, principalmente em casos onde esta demanda é latente. Segundo Slack (1998), para a boa administração dos recursos, a empresa deve escolher uma posição entre as estratégias extremas de trabalho: capacidade antecipada à demanda ou que acompanhe a demanda.

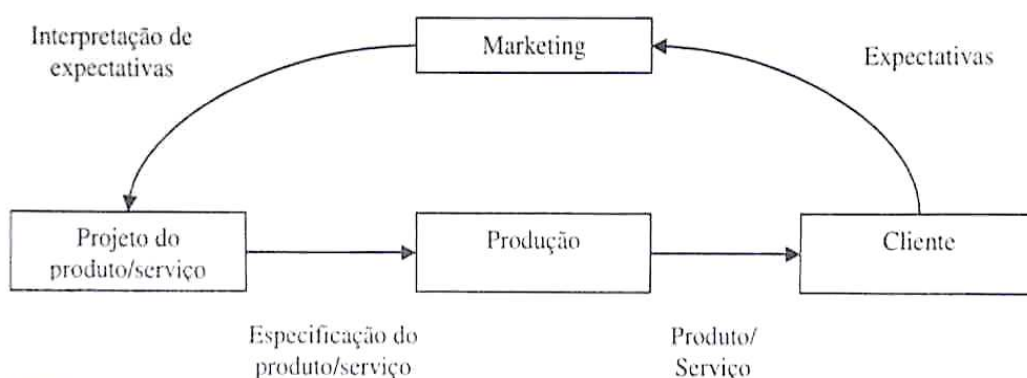


Figura 1: O ciclo de realimentação cliente-marketing-projeto (SLACK, 1998).

Analisando a aplicação de SMED, como base de aplicação da Manufatura Enxuta em uma fábrica, é necessário que se faça uma análise de benefício econômico, pois se o investimento não pode ser avaliado em termos financeiros, também não poderá ser avaliado em termos estratégicos, o que significa que, embora esta possa ser chamada de decisão estratégica, a decisão de investimento será puramente subjetiva, o que a faz propensa a inclinações

peçoais e ser fortemente influenciada por modismos gerenciais, de acordo com McIntosh *et al.* (2001).

Murta e Reis (2006) fazem a proposta de um método para se calcular o ganho originado pela redução do tempo de *set-up*, que mostra que além de se diminuir o tempo de *set-up* por medidas organizacionais, existirá o ganho por redução de inventário. Os autores consideram também a redução de tempo de *set-up* como uma ação em nível estratégico, a qual necessita do apoio da alta gerência para fazer investimentos que, conseqüentemente, podem mudar significativamente a estratégia de fabricação dos produtos.

Quando se têm problemas em relação à suficiência de capacidade instalada para atender a demanda, uma solução possível pode ser a redução de tempo de máquina parada por tempo de *set-up*, o que pode impactar financeiramente, caso não seja mais preciso comprar um novo equipamento, ou não seja preciso aumentar um turno de trabalho ou ainda, não seja preciso recorrer ao uso de horas extras.

Diante de todos estes aspectos mencionados, surgiu a necessidade de atrelar o Planejamento da Produção com os *set-ups* realizados nos equipamentos de um sistema de manufatura. Pode-se perceber que nas indústrias onde se aplica o sistema *Lean Manufacturing*, existe a cultura de se aplicar à ferramenta SMED para ganho de produtividade referente às perdas devido ao *set-up*.

É comum avaliar o desempenho no *set-up* conforme o seu tempo de duração. Para estabelecer o início e fim, convencionalmente o tempo de *set-up* é “o tempo que leva do final da produção de um produto A até o início da produção de um produto B com qualidade”. Tal definição sublinha um elemento importante que é a consideração da qualidade esperada da produção, independente das atividades realizadas durante o *set-up*. Dessa forma, estão agregadas no tempo total de parada para *set-up* as operações de ajustes, correções e testes até obter a produção de um “produto B com qualidade”(SUGAI, 2007). Com isso, a redução dos tempos de *set-up* não significa perda no padrão de qualidade dos produtos. O conjunto de atividades para a realização de *set-up* gera um tempo presente entre os dois lotes produzidos. A configuração de *set-up* é um bloco de atividades entre

dois lotes de produção que torna o posto de trabalho ocioso por algum tempo. Tal configuração está representada na figura 2 (SUGAI 2007). A figura apresenta algumas limitações. Primeiramente, é que se trata de uma configuração muito próxima da chamada “abordagem sistêmica”, com a qual se confunde o *set-up* como um “sistema” cuja entrada (*input*) seria o lote B e a saída (*output*) seria o lote A. A segunda limitação é a falta de uma referência do volume de produção, que é um elemento necessário para avaliação de produtividade. Portanto, uma melhor representação do *set-up* contém a presença de um eixo de tempo e um eixo de saída de produção, conforme figura 3. Nesta nova representação, o *set-up* localiza-se entre os dois lotes produzidos, no qual a saída de produção é nula, isto é, não há saída de produção do sistema no tempo decorrido em que se realiza a preparação (SUGAI, 2007).

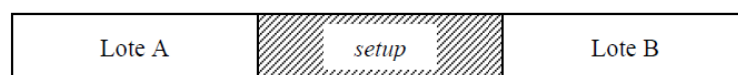


Figura 2: Representação usual de set-up (SUGAI 2007).

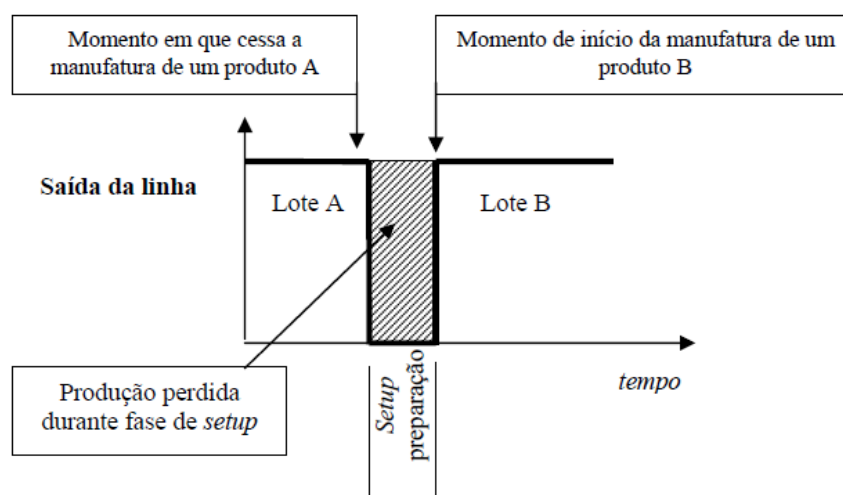


Figura 3: Imagem comum que se faz das perdas reais no *set-up* (SUGAI, 2007).

Uma observação que deve ser feita com base na figura 3 é a respeito da perda de produção, indicada na área hachurada. Para o seu cálculo basta apenas a multiplicação entre tempo sem produção (tempo de *set-up*) e taxa de produção

do sistema. No tempo sem produção ocorrem apenas atividades de preparação de um novo produto, ajustes e testes até produzir um novo produto com qualidade (SUGAI 2007).

Este trabalho sugere que em qualquer que seja o sistema de manufatura é necessário a aplicação de métodos específicos para a redução de desperdícios, assim como melhoria de desempenho e do nível de qualidade para a otimização da produção. Após a aplicação adequada da ferramenta SMED ainda surgem desafios relacionados ao treinamento, aplicação e sustentabilidade dos resultados desejados ou já atingidos.

Para avaliar a aplicação do SMED, foi tomado como base um setor de manufatura de uma empresa da Linha Branca, mostrando a importância em se programar corretamente uma troca de processador quando se trabalha em três turnos, e desta forma não tendo a possibilidade de usar tempos ociosos com esta atividade. Mostrando também a limitação de se trabalhar com equipamentos em paralelo com o objetivo de cumprir uma meta de produção.

Para que a produção seja maximizada, é necessário reduzir as perdas de produção existentes além de fazer uma programação de produção de maneira otimizada. Para reduzir as perdas será necessária, entre outras ações, a redução no tempo de *set-up*, quando esta perda é significativa. Para isso é necessário aplicar a ferramenta de Produção Enxuta *SMED*.

Para que seja feita a simulação, é necessário coletar dados da programação de produção assim como dados de *set-up* de máquina e então alimentar o simulador criado com métodos heurísticos. O simulador mostrar como resultado a melhor combinação na ordem de produção.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Analisando a descrição do problema, podemos dividir o embasamento teórico nas áreas de Planejamento de Produção por meio da área de Logística e da área de Manufatura, iniciando com a ferramenta de SMED propriamente dita, passando pelos conceitos de *Lean Manufacturing* abordando indicadores e Manutenção Produtiva Total (TPM).

3.1 Indicadores de Desempenho

É um trabalho da área de Manufatura do Produto manter a produção com a maior produtividade possível trabalhando da maneira mais eficiente e com maior qualidade. Para avaliar o desempenho da manufatura da empresa, Johnson e Kaplan (1987) defendem a utilização de indicadores de desempenho de cunho não financeiro para avaliar o desempenho mensal da empresa. Estes autores argumentam que apenas a utilização de indicadores financeiros já não reflete o desempenho recente da organização, e sustentam que o uso de indicadores financeiros pode ser contestado pelas rápidas mudanças na tecnologia, pelos ciclos de vida reduzidos dos produtos, pelas inovações na organização das operações de produção e pela inclusão de despesas de períodos passados ou aquelas que incluem benefícios que serão concretizados no futuro. Indicadores não financeiros permitem fixar e prever melhor as metas de rentabilidade de longo prazo da empresa. Os autores ainda afirmam que este panorama justifica a necessidade de novos atributos de avaliação do desempenho das empresas que efetivamente reflitam a integração e a flexibilidade de seus recursos. Permite ainda concluir que, somente quando o desempenho da produção é medido, este pode ser gerenciável.

Segundo Ramasamy (2005), as medições de desempenho no ambiente da produção em massa refletem-se primariamente nas saídas individuais e departamentais e não no desempenho do processo. Por outro lado, o *Lean Manufacturing* é uma filosofia organizacional, a qual ajuda a identificar as

atividades que agregam valor e eliminar atividades que não agregam valor ao processo, a fim de maximizar o desempenho organizacional. A medição de desempenho *Lean* é iniciada com a organização política e estratégica do negócio, identificando os “donos” do processo permitindo uma análise completa dos processos que agregam valor utilizando ferramentas de melhoria contínua como SDCA, ou *standardize-do-check-act* (que pode ser traduzido como padronização-fazer-chechar-ação), e depois PDCA *plan-do-check-act* (traduzido como planejar-fazer-chechar-ação). A medição do desempenho proporciona a conexão entre estratégia e execução, proporcionando mecanismo para avaliar a relação entre desempenho alcançada com a esperada.

O Ciclo PDCA, quando utilizado para atingir metas padrão ou para manter os resultados em um certo nível desejado (controle), é designado por SDCA. As fases são:

- i)* S (de *standard* ou padrão) - estabelecimento de Metas Padrão e de Procedimentos Operacionais Padrão (POP);
- ii)* D (de *do* ou fazer) - treinamento e supervisão do trabalho, avaliação para saber se todos os POPs estão sendo cumpridos na execução das tarefas;
- iii)* C (de *check* ou checar) - verificação da efetividade dos POPs, avaliando se a meta foi ou não alcançada;
- iv)* A (de *act* ou ação) - caso a meta não tenha sido atingida adotar ação corretiva removendo os sintomas, agindo nas causas (FONSECA e MIYAKE 2007).

No ciclo PDCA para melhoria, o processo não é repetitivo como no ciclo SDCA. Melhorar um processo significa estabelecer uma nova meta para permanecer nela. De acordo com Campos (1992), a fase P (de *plan* ou planejar) consiste nas etapas de identificação do problema, observação (reconhecimento das características do problema), análise do processo (descoberta das causas principais que impedem o atingimento das metas) e plano de ação (contramedidas sobre as causas principais). A fase D (de *do* ou fazer) do PDCA de melhoria é a de ação, ou atuação de acordo com o plano de ação para bloquear as causas

fundamentais. Na fase C (de *check* ou checar), é feita a verificação, ou seja, a confirmação da efetividade do plano de ação para ver se o bloqueio foi efetivo. Já na fase A (de *act* ou ação) existem duas etapas, a de padronização e a de conclusão. Na etapa de padronização, caso o bloqueio tenha sido efetivo, é feita a eliminação definitiva das causas para que o problema não reapareça. Na etapa de conclusão ocorre a revisão das atividades e planejamento para trabalhos futuros. Caso na fase C (*check*) o bloqueio não tenha sido efetivo, deve-se voltar à etapa observação da fase P (*plan*) (FONSECA e MIYAKE 2007).

3.2. Manutenção Produtiva Total

Para que seja feita a medição do andamento da Manufatura, abordamos a “Manutenção Produtiva Total” ou *Total Productive Maintenance* (TPM), que é uma metodologia que faz melhorar a vida do equipamento de maneira a mantê-lo produtivo em sua máxima eficiência. Esta é uma ferramenta de *Lean Manufacturing* e um dos seus principais objetivos é o de reduzir os desperdícios nas operações da produção. Segundo *The Productivity Development Team* (1999), esta metodologia se originou de uma necessidade de um fornecedor atender os exigentes requisitos do Sistema Toyota de Produção. Atualmente o TPM é utilizado em várias empresas de todo o mundo para melhorar a capacidade de seus equipamentos e atingir metas para a redução de desperdícios, incluindo restauração e manutenção de condições padrão de operação (SANTOS E SANTOS, 2007).

A metodologia TPM se preocupa em prevenir problemas nos equipamentos, além de exercer atividades para manter ou elevar suas condições de trabalho, por meio do uso de *checklists*, procedimentos e outras atividades para a melhoria contínua.

3.2.1. Medida de desempenho na metodologia TPM

O *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) é uma ferramenta *Lean* utilizada para medir melhorias implementadas principalmente pela metodologia TPM. O

indicador OEE apresenta de um modo completo as condições dos equipamentos da produção, propiciando uma análise adequada, deixando claro o direcionamento da aplicação das melhorias (SANTOS e SANTOS, 2007).

Segundo Nakajima (1989), o OEE é uma medição que procura revelar os custos escondidos na empresa. Conforme Ljungberg (1998), antes do advento deste indicador, na utilização dos equipamentos era considerada somente a disponibilidade, o que resultava no superdimensionamento de capacidade.

Nakajima (1989) cita que o OEE é mensurado a partir da estratificação das seis grandes perdas e calculado por meio do produto dos índices de Disponibilidade, Performance e Qualidade. Um OEE de 85% deve ser buscado como meta ideal para os equipamentos. Empresas que obtiveram OEE superior a 85% ganham o prêmio *TPM Award*. Para se obter esse valor de OEE é necessário que seus índices sejam de: 90% para a disponibilidade, 95% para performance e 99% para a qualidade.

As seis maiores perdas na produção estão detalhadas abaixo (NAKAJIMA, 1989):

- 1. Perda por quebra de equipamento** – Este fator contribui com a maior “parcela” na queda de rendimento dos equipamentos. Podem ser relativos à quebra propriamente dita, ou seja, um fenômeno repentino; ou quebra precedida de degeneração gradativa do desempenho, tornando o equipamento inadequado para uso;
- 2. Perdas por ajustagens nas preparações** – Este tipo de perda acontece ao efetuarmos a mudança da linha, com a interrupção do ciclo para a preparação do produto subsequente;
- 3. Perda por parada temporária** – não é constituído de uma quebra, mas de uma interrupção momentânea, resultante de um problema qualquer. Em geral, são situações em que basta um *reset* na máquina para se obter a continuidade da operação;
- 4. Perda por queda da velocidade da produção** – A queda da velocidade da produção ocorre por inconveniências relativas à qualidade, problemas mecânicos, *etc.*;

- 5. Perda pela geração de produto defeituoso e devido ao retrabalho** – Todas as operações relativas a retrabalho ou mesmo à eliminação dos produtos defeituosos constituem perdas, pois tudo que é feito além do previsto para produzir deve ser incluído e computado como perda;
- 6. Perda decorrente de entrada em regime de produção** – Existe diversos fatores que atrasam a estabilização do processo, como instabilidade da própria operação, ferramentas inadequadas ou mal utilizadas, falta de domínio do processo, falta de manutenção, ajustes próprios das máquinas, *etc.*

Segundo Battaglia (2003), grande parte dos indicadores de desempenho estão vinculados ao volume e ao ritmo de produção. Tais indicadores perdem o sentido quando se abandona a lógica da produção em massa. A busca por uma maximização da economia de escala pode acabar alimentando uma superprodução, um dos sete desperdícios identificados por Ohno (1997) e considerado o mais nocivo, pois dele decorrem outros tantos. Uma elevação nos custos unitários decorrente de uma queda no volume de produção pode ser incorretamente interpretada e levar a decisões equivocadas, e muitas vezes, não “enxutas” (*Lean*). Battaglia (2003) ainda afirma que o custo-padrão e os custos planejados são frequentemente estimados com base em premissas estáticas sobre volume de produção, número e tempos de *set-ups*, experiência dos funcionários, *etc.* e isto acarreta na incerteza do resultado.

Em relação à eficiência, Battaglia (2003) comenta que esta pode estar aquém da eficiência máxima permitida pelos equipamentos, instalações e pessoas. Também lembra que se a eficiência necessária coincidir por muito tempo com a eficiência máxima, a capacidade pode estar no limite e receitas futuras podem ser comprometidas. A eficiência máxima não pode ser um fim em si mesmo. Não existe retorno em se utilizar o máximo de recursos produtivos transformando matéria-prima em produtos que não serão vendidos. Em outras palavras, estoque parado é perda de dinheiro. Outro comentário deste autor, em relação às eficiências individuais isoladas, é que estas não significam eficiência sistêmica adequada, pois podem significar investimento em excesso podendo levar também

a superprodução. O autor conclui comentando que, quando o sistema passa a operar segundo uma lógica “puxada”, somente fazendo o necessário e quando necessário, os custos e outros indicadores podem melhorar, pois o volume de produção deverá acompanhar o consumo real, que é o que deve ser buscado.

Na figura 4 existe um exemplo para facilitar o entendimento da composição do indicador OEE, onde são dados valores de disponibilidade, produtividade e qualidade aparentemente aceitáveis, mas ao serem multiplicados para formarem o OEE, verifica-se um valor próximo da metade da meta ideal que seria 85%.

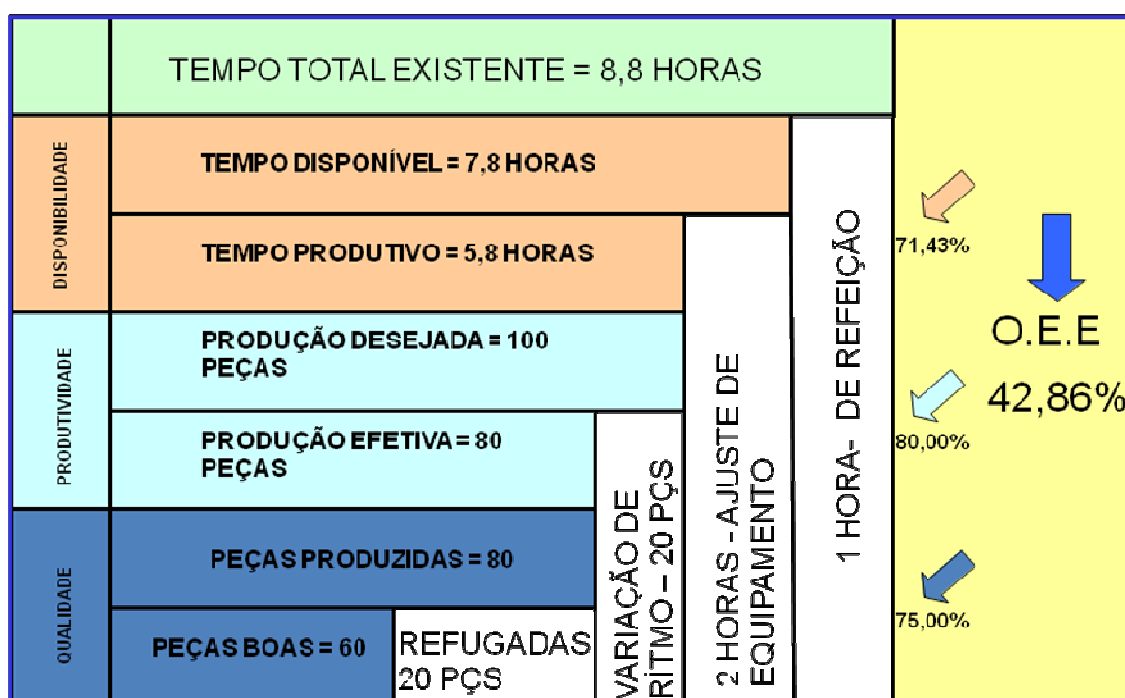


FIGURA 4: Demonstração da composição do indicador OEE (AUTOR).

3.2.2. Aplicação da Ferramenta SMED

Sabendo que este trabalho será baseado em tempos de *set-up*, vale citar Henry (2002), onde é definido “*tempo de preparação*” como sendo todo o processo de conversão de uma máquina ou de uma linha, de um produto para outro, podendo ser um produto totalmente diferente ou um mesmo produto em diferente tamanho. O “*tempo de preparação*” pode ser quebrado em três “*ups*” (*Clean-up*, *Set-up* e *Start-up*). O *Clean-up* inclui toda a ação para a remoção de todos os componentes ou materiais de um produto que está saindo para a entrada de um novo. Esta atividade poder ser simples e rápida ou mais complexa e demorada. O *Set-up* muitas vezes é usado como sendo o mesmo que o “*tempo de preparação*”, quando na verdade é apenas um componente. O *Set-up* é o processo de ajuste ou mudança de elementos de um equipamento ou de uma linha que será convertida de um produto para outro. O *Start-up*, que pode ser chamado de *run-up* ou *ramp-up*, é o tempo consumido quando o *clean-up* e o *set-up* estão completos e o equipamento ou linha reinicia a sua produção, mas antes de entrar em sua velocidade normal e eficiente de produção.

Analisando a definição de SMED dada por Sugai *et al.* (2007), é comentado que o SMED pode ser apresentado como conceito, metodologia ou programa de melhoria. Como conceito o SMED baseia seus estágios conceituais na busca da redução do tempo de *set-up* ou tempo de preparação, como uma meta e uma aplicação específica. Como metodologia, apresenta 4 estágios conceituais integrados em um fluxograma que possibilitam atingir a meta proposta. E, como programa de melhoria, baseia-se na busca pela melhoria contínua, podendo-se aprimorar o método de trabalho realizado na operação de *set-up*. Neste programa de melhoria podem ser incluídas melhorias tanto de processos quanto em equipamentos, formação de times e definição de responsabilidade.

Mesmo o SMED tendo várias definições possíveis, o que os operadores entendem como SMED está relacionado com a tomada de tempo, ou seja, a preocupação em relação ao tempo de *set-up* se destaca entre os operadores. Segundo Esrock (1985), esta meta de tempo acabou resgatando o uso da

cronometragem no chão de fábrica, além do estudo do método de trabalho, tudo em função do grande objetivo de fazer com que o *set-up* chegue a um dígito de minuto ou o menor tempo possível. Schonberger (1988) comenta sobre autores que apontam a necessidade dos profissionais, envolvidos na redução de tempo de *set-up*, de reverem os conceitos de engenharia industrial em relação ao estudo de tempos e movimentos, para poderem realizar seu trabalho. Noaker (1991) comenta que Shingo (1985), ao recomendar a análise do método de cada operação de *set-up* com o uso de gravações em vídeo, ressuscitou uma ferramenta de engenharia industrial criada por Franck G. Gilbreth.

Em sua tese, Sugai (2007) descreve a classificação dos esforços e atividades de melhoria de desempenho da inversão de produção entre dois tipos de categorias: organizacional e projetos.

Esta classificação tornou evidente que a inversão de produção tem elementos físicos/mecânicos (projeto) e elementos humano/sociais (organizacional). Para exemplificar, tanto a troca de ferramentas em uma máquina-ferramenta ou a inversão¹ de produção de uma linha integrada exigem conhecimentos mecânicos e treinamento de funcionários. Portanto, as categorias “organizacional” e de “projeto” devem ser bem articuladas no *set-up*.

Conforme McIntosh *et al.* (2000), entre os principais métodos de melhoria “organizacional” encontram-se o conjunto de práticas de manufatura, originárias do Japão, que enfatizam o trabalho em equipe na busca contínua de redução de custos e melhoria gradativa na prática do trabalho. Estas práticas são comumente conhecidas como *Kaizen* (IMAI 1994). Alguns autores fizeram uso de alguns aspectos do *Kaizen* em aplicações de técnicas de redução de tempo de *set-up*, por envolver pessoas de diversas áreas, e reforçaram a importância da formação de times de trabalho (LEE, 1986; HAY, 1987).

As melhorias em projeto envolvem mudanças em ferramentas, equipamentos, dispositivos e até na própria máquina quando é necessário melhorar a atividade de virada de produção. Embora mais demorada e com custo

¹ Ou seja, a realização de um *setup* para produzir um novo modelo de produto

maior, a melhoria em projeto pode simplificar, acelerar ou eliminar as atividades de ajustes durante o *set-up*.

Na figura 5 apresenta-se uma gradação em cujo extremo esquerdo encontra-se a solução totalmente baseada em melhorias organizacionais e, no lado oposto, um projeto de melhoria de *set-up* totalmente focado em mudanças em projeto. Destaca-se na parte superior esquerda do segmento de reta uma grande faixa na qual se encontram as aplicações de metodologia baseadas no SMED que, conforme McIntosh *et al.* (2001) e Sugai (2007), trata-se de uma metodologia com tendência a realizar melhorias organizacionais. Sobre a extrema direita do segmento, na figura 5, encontram-se as soluções de melhorias em inversão (*set-up*) de produção oferecidas pelos fornecedores de máquinas e equipamentos que divulgam seus produtos como solução única neste quesito.

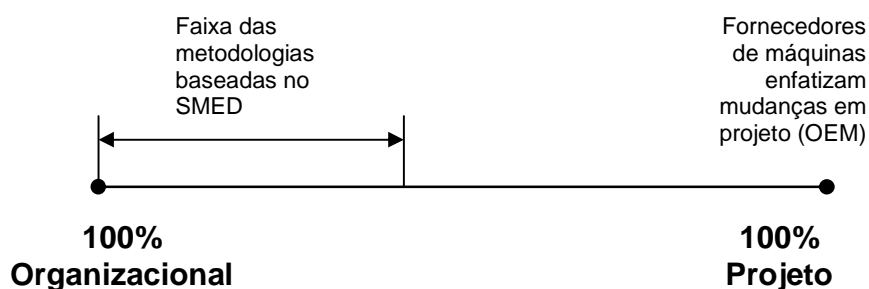


FIGURA 5: Gradação entre melhoria organizacional e projeto (MCINTOSH *et al.* 2001).

As consultorias industriais que oferecem melhorias em *set-up* ressaltam a existência de melhorias em projeto mescladas com melhorias organizacionais, segundo Higgins (2001). Todavia, é comum que se ofereça inicialmente um pacote de melhorias no qual não é necessário realizar investimentos e é de fácil aplicação. Neste caso tratam-se de simples melhorias de ordem organizacional, tais como padronização da disposição de equipamentos de *set-up*, organização do local de ferramentas, uso de carrinhos para transporte de matrizes, processadores, etc., que não significam alto custo (SUGAI 2007). Em um segundo nível, os consultores oferecem as melhorias nas quais é necessário investimento financeiro de maior volume. Neste ponto se encontram as soluções de projeto

mecânico como, por exemplo, compra e uso de parafusadeira ao invés de chaves convencionais, instalação de sistema de engate rápido, instalação de placa magnética, etc., lembrando que o operador deverá saber usar esta nova ferramenta (evitando desgastes ou até quebra dos parafusos).

Em Fogliatto e Fagundes (2003) são mostradas estratégias e técnicas para a aplicação da metodologia SMED, traduzida para TRF (Troca Rápida de Ferramentas). Segundo Sugai (2007), a análise tem início com a metodologia mostrada por Shingo (1985), que é complementado por Mondem (1984), Harmon e Peterson (1991), além de Black (1998). Shingo (1985) parte de uma visão estratégica, seguida de conceitos para a implantação de ferramentas e técnicas de apoio. São sugeridos dois grupos de apoio para minimizar as perdas decorrentes da troca de produtos em uma operação:

1. **Habilidades:** por meio de um procedimento pode-se exercer melhor a atividade do *set-up*, a geração deste documento é possível por meio da experiência e habilidade dos operadores, que podem transcrever a melhor forma de se executar um *set-up*. Em máquinas com um nível de complexidade maior é possível criar-se a figura do preparador para que execute a atividade de *set-up*, enquanto temos um operador do equipamento com as tarefas auxiliares da preparação.
2. **Tamanho de Lote:** a parada do equipamento é compensada com o aumento do tamanho de lote nos casos onde se deseja reduzir perdas causadas por *set-ups* longos. Porém, agindo desta forma, se estará indo contra um dos sete desperdícios que é a criação de estoque. O SMED trabalha com a filosofia de redução de custo com *set-up*, produzindo lotes de fabricação de tamanho reduzido.

Na proposta feita por Shingo (1985) o processo de melhoria no tempo de *set-up* é feito em quatro estágios. No primeiro estágio as condições de *set-up* interno e externo se confundem e ficam misturadas. O *set-up* interno é relativo a toda a atividade de *set-up*, que precisa ser feita com o equipamento parado. O *set-*

up externo é relativa a toda atividade que pode ser feita mesmo com o equipamento produzindo. No segundo estágio, é onde ocorre a separação dos *set-ups* interno e externo. Este estágio é considerado o mais importante. No terceiro estágio, é feita a análise mais detalhada e verificada a possibilidade de transformar o *set-up* interno em externo. No quarto e último estágio, é realizada a análise de cada atividade do *set-up*, onde é buscada a simplificação da atividade por meio de redução de ajustes e simplificação de atividades. Após isso, pode-se verificar que estes estágios mostram duas ações principais (análise e implementação), deixando clara a distinção entre as operações de *set-up* interno e externo e a racionalização dos elementos componentes das ações de *set-up*. Ainda são propostas oito técnicas para auxiliarem na aplicação do SMED (SHINGO, 1985):

1. Separação de atividades internas e externas;
2. Conversão de *set-up* interno em externo;
3. Padronizar a função dos elementos de *set-up*;
4. Utilizar sistemas rápidos de fixação ou eliminá-los;
5. Utilizar dispositivos intermediários para eliminar ajustes durante o *set-up* interno;
6. Adotar operações paralelas;
7. Otimizar operações eliminando a necessidade de ajustes;
8. Mecanizar as operações.

O SMED proposto por Mondem (1984) consiste em quatro estratégias e seis técnicas de implantação. As atividades relacionadas às estratégias seguem o mesmo procedimento indicado por Shingo (1985). As principais estratégias em Mondem (1984) são: distribuição das ações internas e externas; eliminação de ajustes por meio de estudos na fase de projeto e busca de padronização das ferramentas; e eliminação do processo de troca de ferramentas por meio da intercambiabilidade entre peças e produção simultânea de várias peças. Segundo Sugai (2007), o principal aspecto que diferencia as técnicas em Mondem (1984) e

Shingo (1985) estão nas propostas de análise conjunta da conversão do *set-up* interno em externo e da padronização da função, salientando a importância de padronizar somente peças necessárias à redução do tempo de troca da ferramenta, confrontando o custo do investimento com a redução do *set-up*.

Os autores Harmon e Peterson (1991) não formalizam uma proposta metodológica de SMED, porém, mostram alguns aspectos que podem ser considerados, como a proposta das operações de *set-up* em três tipos:

1. Principais, operações que correspondem ao *set-up* interno;
2. Secundárias, operações que correspondem ao *set-up* externo; e
3. Desnecessárias, operações que não contribuem para a melhoria do *set-up* e que deveriam ser eliminadas.

Harmon e Peterson (1991) também propõem a eliminação do processo de tentativa e erro, utilizando documentação de regulagens, revisões periódicas e calibrações dos dispositivos de controle e manutenção preventiva do equipamento. Estes autores fizeram uma crítica ao método de Shingo (1985), comentando que sua obra está focalizada para prensas e injetoras. Realmente, embora os estágios conceituais possam ser aplicados para diversos setores industriais, existe uma tendência para o setor metal-mecânico.

Segundo Black (1998), o SMED é um método científico baseado na análise de tempos e movimentos relativos às operações de *set-up*, sem a obrigatoriedade do uso de grandes investimentos financeiros nos equipamentos. Sua estratégia de implantação do SMED é dividida em sete passos básicos, contrapondo-se aos quatro passos observados por Shingo (1985), porém podemos ver semelhança total entre as duas. O primeiro passo é determinar o método existente, utilizando a análise das operações com o estudo dos tempos e movimentos relativos à operação de *set-up*. Os passos 2, 3 e 4 correspondem aos passos 2 e 3 de Shingo, onde se propõe a separação dos elementos internos dos externos, converter *set-up* interno em externo e reduzir ou eliminar os elementos internos. Os estágios 5, 6 e 7 correspondem ao passo 4 de Shingo (1985), que são aplicar análise de métodos, padronização e prática dos *set-ups*, eliminar os ajustes e o próprio *set-up* quando possível. Para cada uma destas sete estratégias de a

redução do tempo de *set-up*, é proposto por Black (1998) o emprego de técnicas específicas, similares àquelas propostas por Shingo (1985).

No artigo de Fogliatto e Fagundes (2003) também é observada a apresentação feita por McIntosh *et al.* (2005), onde este faz uma avaliação crítica da ferramenta SMED. Segundo a apresentação deste autor, seus estudos mostram que a metodologia pode ser separada em 3 partes: *i)* conceito, *ii)* metodologia e *iii)* programa de melhoria. A identificação e a aplicação de técnicas de melhoria estão relacionadas a cada uma das partes. No contexto do programa de melhoria, utilizam-se técnicas *Kaizen*, sob o enfoque do comprometimento da equipe de trabalho em utilizar a capacidade criativa na memória dos métodos existentes. Uma das considerações mais importantes de McIntosh *et al.* (2005) diz respeito ao período de *run-up* (período, após a realização do *set-up*, até a estabilização do processo, em que há possibilidade de ocorrência de ajustes). Este período de *run-up*, apesar de significativo, geralmente não está claramente identificado, fazendo com que não seja percebido durante o tempo em operação do equipamento.

Sugai (2007), McIntosh *et al.* (2005), Higgins *et al.* (2001) e Higgins *et al.* (2001), entre outros, abordaram este tema referente ao período de retomada (*run-up*). A figura 6 apresenta uma representação do período de retomada proposta por McIntosh *et al.* (2005). McIntosh *et al.* (2005) comenta que, em alguns casos, conforme o grau de perda de produção, o período de retomada deveria ser considerado no tempo de *set-up* para efeitos de cálculo de capacidade de produção e cálculo de lote de compra.

Higgins *et al.* (2001) comenta sobre a existência do período de retomada em uma aplicação de metodologia de redução de tempo de *set-up*. A perda de capacidade no período de retomada também é apresentada de forma intuitiva em uma ilustração de uma apostila da consultoria IMC Internacional (2001). Na figura 7 é apresentado o desempenho de uma linha de produção e destacam-se os momentos em que a capacidade é reduzida pela presença do *start-up* (iniciação da linha) e do *set-up* (preparação). No *set-up* fica evidente que há um “degrau”

representando que o reinício após a fase de preparação não leva a linha a operar em pleno regime significando uma perda de capacidade.

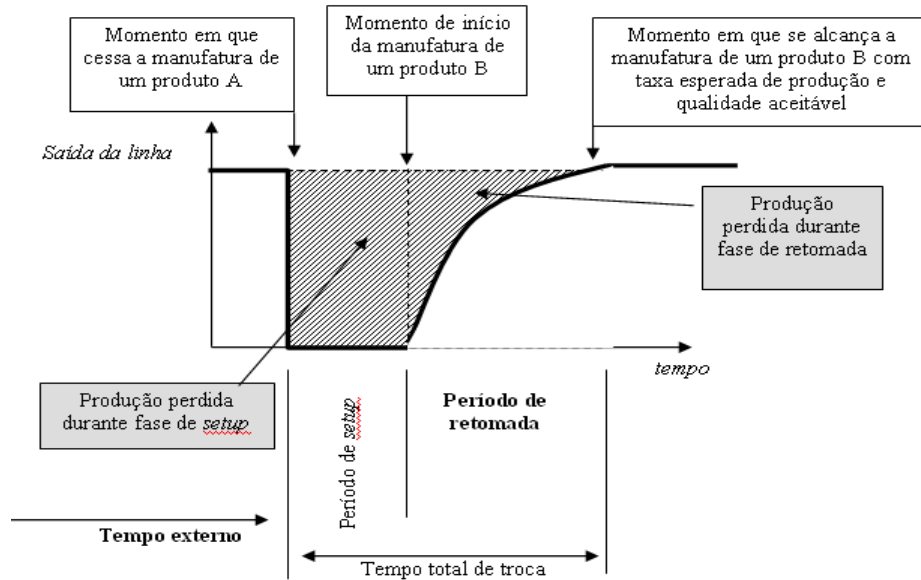


FIGURA 6: Período de retomada (MCINTOSH *et al.*, 2001).

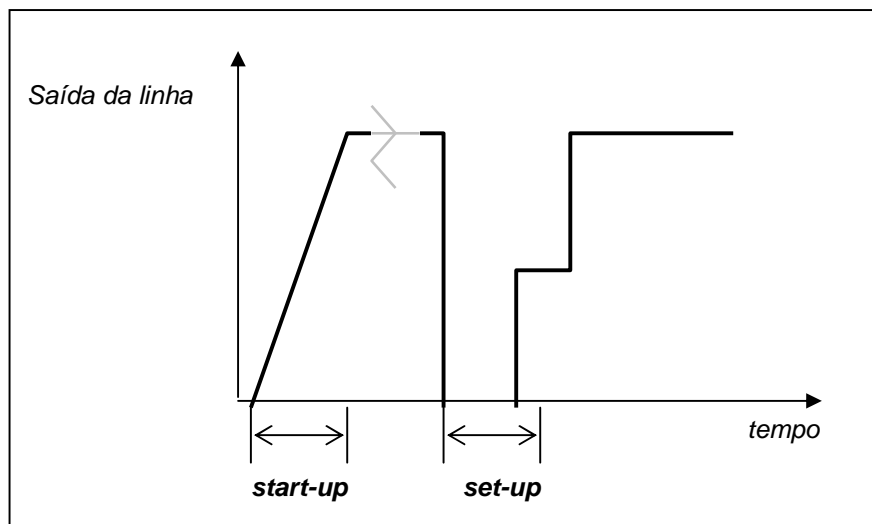


FIGURA 7: Desempenho do start-up e set-up (IMC INTERNACIONAL, 2001)

Com relação ao período de desaceleração da capacidade produtiva, o artigo de Moxham e Greatbanks (2001), que cita McIntosh *et al.* (2000) ressalta a falta do período de desaceleração. Neste artigo, estes autores apresentaram um

estudo de caso de fabricação de eixos helicoidais no qual confirmam a presença do período de desaceleração.

Com base em estudos de casos reais, McIntosh *et al.* (2001) apresenta a grande dificuldade que significa a definição do fim do período de retomada. A figura 8 representa a taxa de produção em estudos de casos realizados. Nota-se que a retomada de produção oscila muito até atingir um equilíbrio esperado na produção, dificultando a definição do momento de término do período de retomada e da perda ocorrida neste período (SUGAI, 2007).

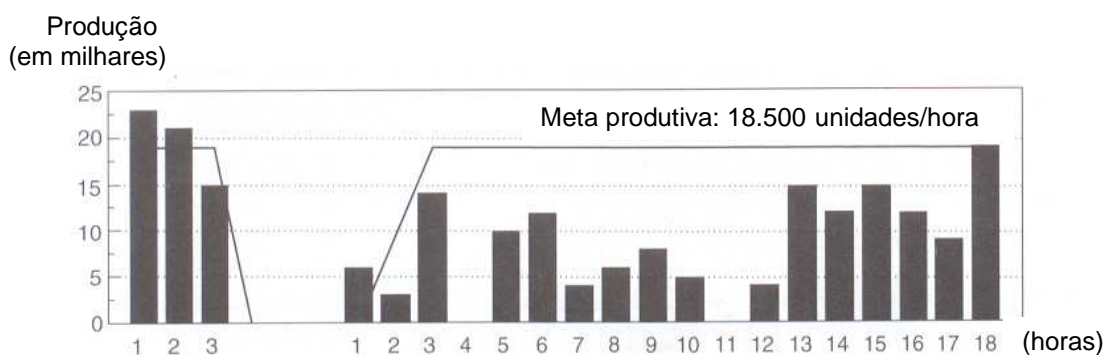


FIGURA 8: Oscilação no período de retomada observada em estudo de caso. (MCINTOSH *et al.* 2001)

3.3. Tamanho de Lote Econômico

O Tamanho de Lote Econômico ou *Economic Order Quantity* (EOQ), segundo Coyle *et al.* (2002), é um modelo de gestão de estoque que propõe um cálculo da quantidade fixa de produto para cada nova encomenda. A quantidade exata de produto a ser encomendado depende da relevância do inventário transportado, das características de custo e procura dos produtos, assim como dos custos envolvidos de uma nova encomenda. Segundo Garcia *et al.* (2006), EOQ é um modelo clássico que foi apresentado como resultado de um trabalho para uma empresa em 1913 e mais tarde foi implementado em outras empresas, como lote de Wilson. Baseado em Coyle *et al.* (2002), usualmente as empresas chamam esta abordagem de o Sistema dos Dois Caixotes. Quando o primeiro caixote está vazio, é feita uma encomenda. A quantidade de inventário que a empresa

necessita, até a nova encomenda chegar é representada pela quantidade de estoque do segundo caixote. Ambas as noções implicam, que uma empresa irá produzir estoque ou voltar a encomendar quando a quantidade de inventário em mão diminuir para um nível predeterminado. Novamente a quantidade encomendada depende da procura (demanda) e do custo do produto, juntamente com o custo de uma nova encomenda e o custo de geração de inventário. O nível de encomenda de estoque depende do tempo que demora para receber essa nova encomenda e da procura deste produto, ou taxa de vendas do mesmo durante este período de tempo, tais como, quantas unidades a empresa vende por dia ou por semana. As empresas, usando este modelo, necessitam definir um valor mínimo de estoque. Isto é usualmente chamado de ponto de encomenda. Quando o número de itens do inventário atinge o nível predeterminado, a quantidade fixa da encomenda é automaticamente encomendada.

Tulsian (2007) comenta sobre a importância do modelo EOQ que se deve ao fato de o mesmo permitir resolver um dos maiores problemas da gestão de estoque, isto é, o problema da quantidade de encomenda, respondendo à questão: “qual é a quantidade de inventário que deve ser encomendado em um determinado ponto de tempo?”

Em termos de custos associados, Coyle (2002) comenta que o modelo simples analisa situações de conflito, chamados *Trade-off*, entre os dois tipos básicos de custos, custos de encomenda e os custos de posse/estoque. Se o modelo considerar exclusivamente os custos de encomenda, encomendas grandes iriam diminuir os custos totais de encomenda. Se o modelo incidir a sua atenção unicamente nos custos de estoque, que varia diretamente com o aumento da dimensão do lote, a quantidade de encomenda seria tão pequena quanto possível.

Teoricamente, os custos de encomenda se referem às despesas efetuadas para a aquisição de entradas, incluindo: colocação da encomenda, transporte, inspeção de mercadoria e recebimento da mercadoria. Já os custos de estoque se referem às despesas efetuadas para manter um dado nível de inventário; são os

custos do seguro, pessoal, local de armazenamento, deterioração ou obsolescência e manuseamento dos materiais.

Para se determinar a quantidade econômica de encomenda segundo Tulsian (2007) pode-se utilizar os três seguintes métodos: Tabular, Gráfico ou Fórmulas.

- No método tabular os custos de posse e de encomenda são computados para diferentes tamanhos de encomenda, e desses tamanhos de encomenda, o que apresentar um menor custo total de inventário é o EOQ;
- No método gráfico, após alcançar um *Trade-off*, entre os custos de estoque e os custos de encomenda, é determinada a quantidade ótima de inventário que deve ser encomendada em um determinado ponto de tempo. Conforme figura 9 pode-se perceber que o custo de encomenda e o custo de estoque são iguais no ponto EOQ, e neste ponto o custo total anual de encomenda e de posse é mínimo;

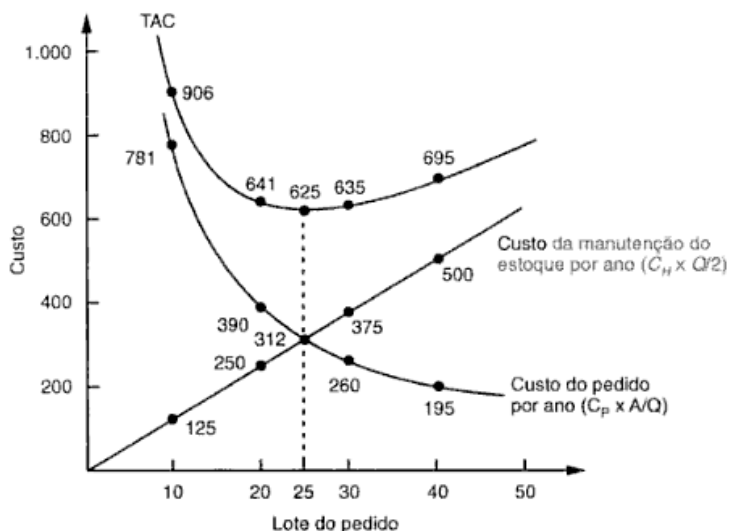


FIGURA 9: Determinação do EOQ graficamente (VOLLMANN *et al.*, 2005).

Segundo Machado (2004), no método das fórmulas temos a disposição a seguir:

Variáveis usadas:

- C custo por unidade (UM / unidade);
- D procura anual do produto (unidade / ano);
- H custo de posse unitário anual por unidade (UM / unidade ano);
- S custo por encomenda (UM);
- Q quantidade encomendada (unidades);
- L tempo de provisionamento

Formulação matemática:

❖ **Custo total anual (UM / ano) :**

O custo do estoque total de um ano para uma empresa é simplesmente a soma do custo de transporte e o custo de encomenda;

$$CT = DC + \frac{SD}{Q} + \frac{HQ}{2} \quad (1)$$

❖ **Quantidade econômica de encomenda (unidades):**

Este valor do custo total de inventário terá um valor mínimo e usando o cálculo para determinar o declive igual a zero, irá nos fornecer a quantidade ideal a fim de reduzir o custo total do estoque ao longo do ano. Isto é conhecido como a quantidade de lote econômico;

$$EOQ = \left(\frac{2DS}{H} \right)^{1/2} \quad (2)$$

❖ **Número de encomendas anuais:**

Ao dividir a demanda anual pela quantidade de lote econômico teremos a quantidade de lote anual;

$$N = \frac{D}{EOQ} \quad (3)$$

❖ **Custo de posse anual (UM / ano):**

O custo do estoque anual será a metade do custo do lote econômico:

$$\frac{EOQ \cdot H}{2} \quad (4)$$

❖ **Custo de encomenda anual (UM / ano):**

O custo da demanda anual:

$$\frac{DS}{EOQ} \quad (5)$$

é a metade do custo do lote econômico no ano, sendo expresso como:

$$\frac{EOQ \cdot H}{2} = \frac{DS}{EOQ} \quad (6)$$

❖ **Estoque médio (unidades):**

O estoque médio será a metade do lote econômico:

$$\frac{EOQ}{2} \quad (7)$$

❖ **Ponto de encomenda** (unidades):

O ponto de encomenda anual será igual à quantidade de procura no ano multiplicada pelo tempo de abastecimento:

$$ROP = D \cdot L \quad (8)$$

❖ **Tempo entre encomendas** (ano):

O tempo entre encomendas será definido pela divisão da quantidade do lote econômico pela quantidade de procura no ano:

$$T = \frac{EOQ}{D} \quad (9)$$

Sugai *et al.* (2005) comentam sobre a gestão de estoque, dizendo que os gastos com estocagem podem absorver de 25 a 40% dos custos lógicos de uma empresa, os quais são divididos em: custo de manutenção, custo de compra e custo de falta de estoques. Os autores ainda comentam que muitas abordagens sobre gestão de estoque focaram diferentes aspectos relevantes do conceito. Entretanto, todas convergem para um único objetivo: dispor o produto certo no lugar certo, no tempo certo e nas condições desejadas, proporcionando benefícios à empresa. Conforme Fleury *et al.* (2000), uma boa política de gerenciamento de estoque pode ser baseada em quatro principais decisões: onde localizar estoque na cadeia, quando pedir, tamanho de estoque de segurança e quanto pedir conforme indicado a seguir:

- a) *Onde localizar estoque na cadeia*: trata-se de decisão estratégica que define se os estoques serão centralizados ou descentralizados; isto é, se serão alocados em um único ou em mais centros de distribuição. Para esta tomada de decisão alguns fatores devem ser levados em consideração, tais como: “giro” de material, valor agregado, *lead time* de resposta do pedido e nível de serviço;

- b) *Quando pedir*: é uma decisão ligada diretamente com a demanda e do *lead-time* de resposta. Para a operação, o tempo que decorre desde a chegada de um pedido até a entrega do produto encomendado chama-se "*lead-time*". Assim, haverá casos em que será melhor ou pior, economicamente, solicitar a reposição depois do ponto de pedido. Nesta metodologia, o ponto de pedido representa o ponto de início do processo de reposição de estoque com a antecipação necessária para não haver falta de produto;
- c) *Tamanho do estoque de segurança*: geralmente as empresas trabalham com uma distribuição normal de demanda, possibilitando apontar valores de estoque de segurança, que contrabalançam segurança e custo, para não haver falta de produto (*stock out*). É claro que outros fatores devem ser analisados, como por exemplo, o nível de competição em um dado mercado. Afinal, um mercado bastante competitivo cobra uma disponibilidade de produto mais elevada, além de possuir um erro de previsão de demanda maior;
- d) *Quando pedir*: com o advento do conceito do JIT (*Just in Time*), buscou-se satisfazer a demanda de produtos apenas quando necessário transformando o lote ideal em unitário. Para isto, a empresa deve se preocupar em reduzir os custos do processamento do pedido, conhecendo muito bem a demanda, ter um fluxo de informação contínuo e seguro, além de dispor de todos os *lead-times* das operações realizadas no processo.

3.4. Programa Mestre de Produção - MPS

O programa mestre de produção, conhecido como *Master Production Schedule* (MPS), é um programa gerado a partir do plano de produção, onde este plano deve se desdobrar para que o programa mestre de produção se desenvolva. Aqui será levado em consideração o planejamento de vendas comparado com o estoque existente da empresa para que seja programada a matéria prima necessária para a produção. O MPS é um planejamento de produção de estrutura global que, gerado a partir do plano de produção, guiará as ações em um horizonte de tempo (de semanas a meses e, normalmente, em base semanal) considerando os pedidos existentes (MOREIRA, 1993). Moreira (1993) explica que

assim se estabelece quando e em qual quantidade cada produto deverá ser produzido dentro do horizonte de tempo estabelecido, executando a função de conciliar a capacidade disponível e demanda existente para o período, com o intuito de atender aos pedidos dentro dos prazos estabelecidos, podendo prever que poderá ocorrer algum atraso nesses pedidos. Assim, pode-se estimar a quantidade de estoque gerado, o custo médio do produto fabricado e o número de pedidos atrasados, colaborando, então, com uma melhor programação dos pedidos da fábrica.

Para a realização da simulação do MPS deve se considerar informações importantes como: pedidos atrasados, pedidos em carteira, capacidade disponível, pedidos programados, produtos e listas de materiais entre outras informações. Arnold (1996) diz que o MPS tem a gestão de pedidos como uma atividade importante, que por meio de uma verificação automática da capacidade durante o processo de entrada de pedido e da disponibilidade de materiais, possibilita saber se a empresa é capaz ou não de cumprir o prazo estipulado pelo cliente visando garantir o atendimento do pedido desde o processo de vendas.

De acordo com Arnold (1996), após o planejamento de produção, o próximo passo para o planejamento da manufatura e controle de processo é preparar um Programa Mestre de Produção. Segundo o autor, esta é uma importante ferramenta de planejamento e forma a base de comunicação entre vendas e manufatura.

Para o desenvolvimento do MPS, segundo Arnold (1996), são necessárias informações, que são fornecidas por:

- ❖ Plano de produção;
- ❖ Previsões de itens finais individuais;
- ❖ Encomendas reais recebidas de clientes e para reposição de estoques;
- ❖ Níveis de estoque para itens finais individuais;
- ❖ Restrições de capacidade.

O Planejamento Mestre de Produção deve ser realista, pois segundo Arnold (1996), se isso não ocorrer, resultará em planos de capacidade sobrecarregados,

programação que excedem o prazo, promessas de entrega não confiáveis, oscilações na entrega e falta de responsabilidade.

Segundo Corrêa e Corrêa (2006), o MPS coordena a demanda do mercado com os recursos internos da empresa de forma a programar taxas adequadas de produção de produtos finais. Conforme Tubino (2000), o planejamento mestre da produção desmembra o plano estratégico de longo prazo em planos específicos de produtos acabados para médio prazo, direcionando as etapas de programação e execução das atividades operacionais (montagem, fabricação e compras), ou seja, faz o elo entre o planejamento estratégico (plano de produção) e as atividades operacionais.

Conforme Slack (1998), o MPS é a fase mais importante do planejamento e controle de produção de uma empresa, pois contém uma declaração da quantidade e momento em que os produtos finais devem ser produzidos; esse programa direciona toda a operação em termos do que é montado, manufaturado e comprado. Assim, “é a base do planejamento de utilização de mão-de-obra e equipamentos e determina o provisionamento de materiais e capital”.

Segundo Tubino (2000) o planejamento e controle de curto prazo consistem no sequenciamento, na programação e no controle da produção. O primeiro nível operacional de curto prazo, dentro da hierarquia do planejamento e controle de produção é a programação. A programação da produção está encarregada de definir quanto e quando comprar, fabricar ou montar cada item necessário à composição dos produtos acabados com base no plano mestre de produção e registros de controle de estoques.

Para Arnold (1996), o objetivo da programação “é cumprir os prazos de entrega e fazer a melhor utilização dos recursos produtivos”, por meio do planejamento do fluxo de trabalho. O responsável pelo planejamento deve estabelecer as necessidades para os centros de trabalho, garantindo a disponibilidade de materiais, ferramentas, pessoal e informações e programando as datas de início e final para cada pedido.

Segundo Tubino (2000) um conceito muito importante para as atividades de curto prazo da produção, é o de “empurrar a produção” ou “puxar a produção”:

Empurrar a produção significa elaborar periodicamente, para atender ao MPS, um programa de produção completo, de compra de matéria-prima à montagem do produto acabado, e transmiti-lo aos setores responsáveis por meio da emissão de ordens de compra, fabricação e montagem. Puxar a produção significa não produzir até que o cliente (interno ou externo) de seu processo solicite a produção de determinado item.

Ainda baseando-se nos conceitos de Tubino (2000), as atividades de programação, dentro do sistema de empurrar a produção, procuram atender o MPS, por meio da administração de estoques, o sequenciamento, e a emissão e liberação de ordens de produção. No sistema de puxar a produção, estas atividades de programação de produção, são realizadas utilizando o sistema kanban.

A administração dos estoques, segundo Arnold (1996) é responsável pelo planejamento e controle do estoque da matéria-prima até o produto acabado entregue ao cliente, faz parte do planejamento da produção e é por isso, considerado em cada nível de planejamento.

O sequenciamento de produção, segundo Corrêa e Corrêa (2006), refere-se à definição das prioridades das ordens de produção nas quais as atividades devem ocorrer para atingir os seus objetivos e a programação consiste em distribuir no tempo as atividades, seguindo o sequenciamento definido e as restrições. Enquanto o controle da produção consiste em coletar e analisar informações, para monitorar as diferenças entre o desempenho efetivo e o desempenho esperado.

Para Arnold (1996), o controle das atividades da produção é responsável pela boa utilização da mão-de-obra e das máquinas, minimizar o estoque de produtos em processo, e manter o atendimento aos clientes. As funções de um sistema de controle de produção, apresentadas por Corrêa e Corrêa (2006) são:

- Definir prioridades para cada ordem de produção;
- Manter informações sobre quantidades de estoque em processo;
- Comunicar situação corrente de ordens de produção para a gestão;

- Prover dados sobre saídas efetivas para suportar atividades de controle de capacidade produtiva.
- Prover informações de quantidade por ordem de produção para efeito de controle de estoque em processo (operacional e contabilmente);
- Prover mensuração de eficiência, utilização e produtividade da força de trabalho e dos equipamentos.

Em empresas voltadas para o mercado, existe a busca por superar as expectativas dos clientes. Todas as funções precisam contribuir para executar as estratégias organizacionais. Assim, as operações devem ter estratégias que satisfaçam as necessidades do mercado, assim como realizar entregas rápidas e dentro do prazo. Esse mesmo tempo, sob a expectativa do consumidor, pode incluir o tempo para a preparação e transporte da encomenda: o cliente espera um “*lead-time*” o mais curto possível.

Baseando-se na teoria de Arnold (1996), o objetivo de programação é reunir as datas de entrega e fazer o melhor uso dos recursos de manufatura. Isto envolve o estabelecimento de datas iniciais e finais para cada operação necessária para completar um produto. Para desenvolver um cronograma confiável, o planejador precisa ter informações roteadas, capacidade requerida e disponível, trabalhos concorrentes e “*lead time*” de produção (*manufacturing lead time* - MLT), em cada centro de trabalho envolvido.

Segundo Arnold (1996) o MLT é o tempo necessário para produzir um item em uma quantidade de lote e consiste em cinco elementos:

1. Tempo de fila: consiste na espera de um centro de trabalho antes do início de operação;
2. Tempo de *set-up*: preparo do centro de trabalho para a operação;
3. Tempo de operação: tempo necessário de operação para atender a solicitação;
4. Tempo de espera: usado em um centro de trabalho antes de ser movimentado para o próximo centro de trabalho;
5. Tempo de movimentação: transição entre centros de trabalho.

Ainda acompanhando Arnold (1996) existem quatro estratégias básicas demonstradas na figura 10, para atender aos pedidos dos clientes, tentando diminuir o “*lead-time*”, e envolver o cliente em cada etapa resulta nas diferentes características dessas estratégias.

- Projeto para o pedido: o pedido do cliente é único, exigindo um projeto específico, personalizado, com alto envolvimento do cliente durante a fase de projeto. Não existe estoque de material, que só será adquirido quando realmente necessário. O “*lead time*” é longo, pois engloba o tempo de projeto, compra e manufatura. Construir uma casa de campo, por exemplo.
- Fazer para pedido: a produção somente se inicia quando o pedido do cliente chega. A produção é feita com itens padronizados, e alguns eventualmente feitos sobe medida. O estoque é tratado como matéria prima, e o “*lead time*” em geral é pequeno. Um armário embutido sobe medida, por exemplo.
- Montar para pedido: o produto é montado com componentes totalmente padronizados, estocados pelo fabricante e montado conforme a necessidade do cliente. O “*lead time*” é reduzido mais ainda, pois todos os componentes estão em estoque e são padronizados. O projeto limita-se à seleção dos componentes necessários.
- Fazer para estoque: o fornecedor produz os bens, e os vende com base em um estoque de produtos acabados. Resulta no menor “*lead time*” de todos, pois o produto está pronto para entrega. Um carro na concessionária, por exemplo.

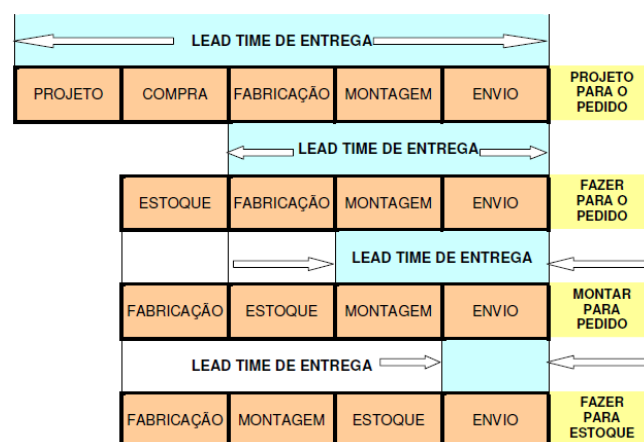


FIGURA 10: Estratégia de fabricação e *lead time* (ARNOLD, 1996).

3.5. Métodos Heurísticos

De acordo com Buzzo e Moccellin (2000), nas últimas quatro décadas, um grande esforço de pesquisa tem sido feito para a programação da produção utilizando Métodos Heurísticos. Técnicas de Programação matemática tais como, programação linear Inteira e técnicas de enumeração do tipo *branch-and-bound*, têm sido empregadas para a solução ótima do problema. Mas segundo estes autores tais técnicas não são eficientes em termos computacionais, em problemas de médio e grande porte. Assim, muitos métodos heurísticos têm sido propostos, os quais podem ser classificados em dois grupos: métodos construtivos e métodos de melhoria.

Os métodos heurísticos construtivos geram uma única sequência da tarefa, a qual é adotada como solução final do problema. Como base para estes modelos pode-se utilizar as literaturas dadas por Palmer (1965), Campbell, Dudek, e Smith (1970), Gupta (1971), Dannenbring (1977) e Hundal e Rajgopal (1988). (MOCCELLIN 1999).

Nos métodos heurísticos de melhoria, obtém-se uma solução inicial e posteriormente por meio de algum procedimento iterativo, que pode envolver trocas de posições das tarefas na sequência, buscando a melhor medida de desempenho. Nesta categoria, destacam-se os procedimentos de busca em vizinhança, considerando um método de busca simples. Busca Tabu e *Simulated Annealing* são métodos que foram desenvolvidos mais recentemente, e são mais complexos que busca em vizinhança. Estes métodos têm sido alvo de grande interesse na comunidade científica em função de aplicações bem sucedidas reportadas na literatura.

Outra técnica que pode ser considerada do tipo de melhoria, denominada Algoritmo Genético, tem despertado interesse pela sua capacidade de solução de problemas de natureza combinatorial.

Os métodos heurísticos Busca Tabu, *Simulated Annealing* e Algoritmo Genético são procedimentos de busca no espaço de soluções, definidos por estratégias que exploram apropriadamente a topologia de tal espaço.

Também são chamadas Metaheurísticas e seus sucessos se devem aos seguintes pontos citados por Buzzo e Moccellini (2000):

- 1- Alusão a mecanismos de otimização da natureza (nos casos do Algoritmo Genético e do *Simulated Annealing*);
- 2- Aplicabilidade geral da abordagem;
- 3- Facilidade de implementação e
- 4- Qualidade da solução obtida aliada a um esforço computacional relativamente baixo.

Uma ideia interessante que tem recebido gradativamente atenção se refere ao desenvolvimento de métodos metaheurísticos híbridos utilizando Busca Tabu (BT), *Simulated Annealing* (SA). Assim, ao combinar as técnicas BT, SA e AG, preservando suas características de ação “inteligente”, de tal forma que o procedimento resultante deverá ser mais eficaz do que qualquer um dos seus componentes isoladamente.

Na literatura já foram reportados alguns trabalhos relatando experimentações com variantes ou combinações desses três métodos, desenvolvidos para resolverem diversos problemas.

Especificamente relacionados com o problema de Programação de Tarefas *Flow Shop*, são encontrados na literatura, examinando duas hibridações de Algoritmo Genético com outros algoritmos de busca, para obter uma solução a ser melhorada pela Busca Tabu como é o caso de Jungwattanakit *et al.*(2005) .

Segundo Glover (1990) a Busca Tabu é um método de otimização matemática, pertencente à classe de técnicas de Busca Local. A Busca Tabu aumenta o rendimento do método de busca local mediante o uso de estruturas de cor: uma vez que uma potencial solução é determinada, marca como "tabu" de modo que o algoritmo não volte a visitar essa possível solução durante algumas iterações.

Seguindo ainda o conceito de Glover e Laguna (1997) a Busca Tabu é um algoritmo metaheurístico que pode se utilizar para resolver problemas de otimização combinatoria, também utiliza um procedimento de busca local para mover-se iterativamente desde uma solução x para uma solução x' , até satisfazer algum critério de parada. Para poder explorar regiões do espaço de busca que seriam deixadas de lado pelo procedimento de busca local, a Busca Tabu modifica a estrutura de vizinhos para cada solução à medida que a busca progride. As soluções admitidas para $N^*(x)$, a nova comunidade, são determinadas mediante o uso de estruturas de cor. A busca então progride movendo-se iterativamente de uma solução x para uma solução x' em $N^*(x)$.

Segundo Aarst e Korst (1989) Simulated Annealing (SA) é um algoritmo de busca metaheurística para problemas de Otimização matemática global, isto é, encontrar uma boa aproximação ao ótimo global de uma função em um espaço de busca grande. O nome e inspiração vem do processo de recozimento do aço, uma técnica que consiste em aquecer e depois esfriar controladamente um material para aumentar o tamanho de seu cristal e reduzir seus defeitos. O calor faz com que os átomos saiam de suas posições iniciais e se movam aleatoriamente; o resfriamento lento dá-lhes maiores probabilidades de encontrar configurações com menor energia que a inicial. Em cada iteração, o *Simulated Annealing* considera alguns vizinhos do estado atual "s", e probabilisticamente decide entre mudar o sistema ao estado "s'" ou ficar no estado "s". As probabilidades escolhem-se para que o sistema tenda finalmente a estados de menor energia. Tipicamente este passo repete-se até se atingir um estado suficientemente bom para a aplicação ou até que se cumpra verdadeiro tempo computacional dado.

Segundo Golberg (1989) um Algoritmo Genético (AG) é uma técnica de busca utilizada na ciência da computação para achar soluções aproximadas em problemas de otimização e busca, fundamentado principalmente pelo americano John Henry Holland. Algoritmos genéticos formam uma classe particular de algoritmos evolutivos que usam técnicas inspiradas pela biologia evolutiva como hereditariedade, mutação, seleção natural e recombinação (ou *crossing over*). Algoritmos genéticos são implementados como uma simulação de computador em

que uma população de representações abstratas de solução é selecionada em busca de soluções melhores. A evolução geralmente se inicia a partir de um conjunto de soluções criado aleatoriamente e é realizada por meio de gerações. A cada geração, a adaptação de cada solução na população é avaliada, alguns indivíduos são selecionados para a próxima geração, e recombinados ou mutados para formar uma nova população. A nova população então é utilizada como entrada para a próxima iteração do algoritmo. Algoritmos genéticos diferem dos algoritmos tradicionais de otimização em basicamente quatro aspectos: Baseiam-se em uma codificação do conjunto das soluções possíveis, e não nos parâmetros da otimização em si; os resultados são apresentados como uma população de soluções e não como uma solução única; não necessitam de conhecimento derivado do problema, apenas de uma forma de avaliação do resultado; usam transições probabilísticas e não regras determinísticas.

Goldberg (1989) ainda explica que a função-objetivo é o objeto de nossa otimização. Pode ser um problema de otimização, um conjunto de teste para identificar os indivíduos mais aptos, ou mesmo uma "caixa preta" onde sabemos apenas o formato das entradas e nos retorna um valor que queremos otimizar. A grande vantagem dos algoritmos genéticos está no fato de não precisarmos saber como funciona esta função objetivo, apenas tê-la disponível para ser aplicada aos indivíduos e comparar os resultados.

O indivíduo é meramente um portador do seu código genético. O código genético é uma representação do espaço de busca do problema a ser resolvido, em geral na forma de seqüências de *bits*. Por exemplo, para otimizações em problemas cujos valores de entrada são inteiros positivos de valor menor que 255 podemos usar 8 bits, com a representação binária normal, ou ainda uma forma de código *gray*. Problemas com múltiplas entradas podem combinar as entradas em uma única seqüência de *bits*, ou trabalhar com mais de um "cromossomo", cada um representando uma das entradas. O código genético deve ser uma representação capaz de representar todo o conjunto dos valores no espaço de busca, e precisa ter tamanho finito. (Goldberg 1989)

A seleção também é outra parte chave do algoritmo. Em geral, usa-se o algoritmo de seleção por "roleta", onde os indivíduos são ordenados de acordo com a função-objetivo e lhes são atribuídas probabilidades decrescentes de serem escolhidos. A escolha é feita então aleatoriamente de acordo com essas probabilidades. Dessa forma conseguimos escolher como pais os mais bem adaptados, sem deixar de lado a diversidade dos menos adaptados. Outras formas de seleção podem ser aplicadas dependendo do problema a ser tratado. (Goldberg 1989).

A reprodução, tradicionalmente, é dividida em três etapas: acasalamento, recombinação e mutação. O acasalamento é a escolha de dois indivíduos para se reproduzirem (gerando dois descendentes para manter o tamanho populacional). A recombinação, ou *crossing-over* é um processo que imita o processo biológico homônimo na reprodução sexuada: os descendentes recebem em seu código genético parte do código genético do pai e parte do código da mãe. Esta recombinação garante que os melhores indivíduos sejam capazes de trocar entre si as informações que os levam a serem mais aptos a sobreviver, e assim gerarem descendentes ainda mais aptos. Por último vem as mutações, que são feitas com probabilidade mais baixa possível, e tem como objetivo permitir maior variabilidade genética na população, impedindo que a busca fique estagnada em um mínimo local. (Goldberg 1989).

3.6. Programação da produção com múltiplos processadores em paralelo

A programação da produção admite duas opções para processar suas tarefas. Em um dos modos de processamento, chamado de *preemptivo*, as tarefas podem ser interrompidas e retomadas mais tarde, mesmo em uma máquina diferente. Mas, há tarefas chamadas *não-preemptivas*, onde não são permitidas interrupções; ou seja, esta tarefa tem que ser processada de forma contínua na mesma máquina.

Tarefas preemptivas têm mais graus de liberdade, quando os trabalhos podem ser agendados antecipadamente. Muitas vezes, o valor da função objetivo

(p. ex., custo ou ganho) da solução ótima (ou ideal) melhora quando se muda para o modo preemptivo. No entanto, preempção pode também ser redundante, isto é, o valor objetivo não pode ser melhorado, permitindo a preempção. É possível identificar problemas de programação paralela da máquina para que a preempção seja redundante, segundo Brucker *et al.* (2003).

Leung e Li (2008) apresentam uma revisão da literatura sobre problemas de programação da produção (*scheduling*) considerando tarefas preemptivas e não-preemptivas. Brucker *et al.* (2003) apresentam uma revisão da literatura apenas quando os problemas de programação da produção são preemptivos, discutindo sua aplicação e complexidade de solução.

Angelelli e Filippi (2011) discutem a complexidade do problema de programação da produção com múltiplos processadores em paralelo e janelas de tempo para a execução de tarefas preemptivas. Sitter (2005) mostra que os problemas de minimizar o tempo de realização total e de minimizar o número de trabalhos atrasados em máquinas paralelas não relacionadas, quando preempção é permitida, são ambas NP-difíceis². Entre outros, o trabalho anterior (ANGELELLI e FILIPPI, 2011) resolve uma questão de longa data em aberto e apresenta, para a versão não-preemptiva, uma abordagem de solução em tempo polinomial. Um caso especial de modelo de máquina independente é o modelo de máquina idêntica, com a restrição de que um trabalho só pode ser processado em um subconjunto específico das máquinas. Os autores mostram que, neste modelo, o problema de se minimizar o tempo total de produção, quando preempção é permitida, pode ser resolvido em tempo polinomial, provando que o uso de preempção é redundante. Neste artigo, como os demais desta revisão que têm complexidade polinomial, são propostas regras de despacho especiais; ou seja, regras que transformam a solução deste problema em uma sequência de cálculos e ações procedurais.

² De forma resumida, a complexidade de solução de um problema de otimização pode ser classificada em P (polinomial) e NP (não-polinomial), sendo que os problemas NP são classificados em NP-completos e NP-difíceis, de acordo com sua complexidade (GAREY e JOHNSON, 1979).

Kravchenko e Werner (2009) e Boudhar e Haned (2009) transformaram a representação do problema com preempção, reduzindo-o a um problema de programação linear. Haouari e Gharbi (2003) introduzem um novo conceito de programação semi-preemptiva e mostram como este pode ser usado para definir o limite inferior de um problema preemptivo. É mostrado que, em alguns casos, o limite proposto domina estritamente o problema preemptivo, enquanto tem a mesma complexidade.

Peterkofsky e Daganzo (1990) apresentam uma abordagem *Branch-and-Bound* para a solução de um problema de programação da produção preemptivo. Por outro lado, Sivrikaya-Serifoglu e Ulusoy (1999), Paula *et al.* (2010), Arnaout *et al.* (2008), Eptein (2000), Rabadi *et al.* (2006) e Arnaout *et al.* (2010) tratam o problema de programação da produção com múltiplos processadores em paralelo e *set-up* dependente da sequência para a execução de tarefas não-preemptivas.

Na revisão da literatura, não foi encontrado algum artigo que trate problemas de programação da produção com múltiplos processadores em paralelo, com tarefas “pseudo-preemptivas” e, também, *set-up* dependente da sequência. Na verdade, o problema proposto nesta dissertação implica no processamento de lotes de peças, onde não há uma definição prévia de quantas peças do lote serão processadas em em um dado processador. Assim, ao contrário de uma tarefa preemptiva (ou lote), que pode ser iniciada em um processador e, posteriormente, ser deslocada para outro processador, aqui propõe-se que a produção do lote pode ser repartida entre vários processadores e ao mesmo tempo. Logo, o problema proposto é de significativa relevância.

4 ABORDAGEM PROPOSTA

A abordagem proposta é um sistema híbrido baseado em regras de despacho, tal como apresentado por alguns autores na revisão sobre programação da produção com processadores em paralelo e tarefas preemptivas. Porém, trata-se de uma abordagem original. Além disso, é importante informar que a programação da produção está focada apenas em uma tarefa (ou posto), que contém n processadores idênticos em paralelo, já que esta tarefa é o gargalo da produção.

4.1 Modelo Matemático

Nesta seção apresenta-se o modelo matemático do problema proposto. A equação 10 indica a função objetivo do problema proposto, que é de minimizar a soma dos tempos de *setup*. Neste problema, a variável $setup_ini_m$ indica o tempo de *setup* gasto no início do horizonte de planejamento na máquina m , considerando-se que havia um produto sendo produzido (e ocupando esta máquina) no início do horizonte de planejamento. A variável $setup_{m,k}$ indica o tempo de *setup* gasto na máquina m , antes de processar o produto na posição k da sequência de produção nesta máquina.

$$(\min)Z = \sum_m \left(setup_ini_m + \sum_k setup_{m,k} \right) \quad (10)$$

A expressão 11 impõe que, no máximo, haverá um produto p ocupando a posição k da sequência de produção na máquina m . Utilizou-se o sinal \leq porque o número de produtos processados em cada máquina, ao longo do horizonte de planejamento, pode variar. Assim, a posição k da sequência de produção pode não ser ocupada por nenhum produto. A variável binária $ordem_{p,m,k}$ será igual a um (1) se o produto p ocupar a posição k da sequência de produção na máquina m . Caso contrário, esta variável terá valor nulo.

A expressão 12 impõe que só pode ser alocada a produção de um produto na posição k da sequência de produção se houver um produto alocado na posição $k-1$, impedindo a existência de posições intermediárias não ocupadas na sequência de produção.

A variável $dur_{p,m,k}$ identifica a quantidade produzida do produto p , caso ele tenha sido alocado na posição k da sequência de produção da máquina m . A equação 13 impõe que a soma das quantidades produzidas de um produto p ($dur_{p,m,k}$), será igual à demanda deste produto (dem_p). A expressão 14 limita que, caso o produto p ocupe a posição k da sequência de produção na máquina m (identificado por $ordem_{p,m,k}$ igual a um), a quantidade produzida ($dur_{p,m,k}$) não deve ser superior à demanda deste produto (dem_p).

Caso o produto p ocupe a posição k da sequência de produção na máquina m (identificado por $ordem_{p,m,k}$ igual a um), a expressão 15 impõe que a quantidade produzida ($dur_{p,m,k}$) não deve ser nula. Neste problema, foi imposto que a quantidade produzida deve ser superior à 10% da demanda do produto p (dem_p).

$$\sum_p ordem_{p,m,k} \leq 1 \quad \forall m, k \quad (11)$$

$$\sum_p ordem_{p,m,k-1} \geq \sum_p ordem_{p,m,k} \quad \forall m, k > 1 \quad (12)$$

$$\sum_m \sum_k dur_{p,m,k} = dem_p \quad \forall p \quad (13)$$

$$dur_{p,m,k} \leq dem_p * ordem_{p,m,k} \quad \forall p, m, k \quad (14)$$

$$dur_{p,m,k} \geq 0,1 * dem_p * ordem_{p,m,k} \quad \forall p, m, k \quad (15)$$

A variável $inicio_{m,k}$ identifica o instante de início do processamento do produto que ocupar a posição k da sequência de produção. Para a posição k igual a um (1) da sequência de produção, a expressão 16 indica que o início do processamento do produto na posição k da sequência de produção só poderá ocorrer após o *setup* inicial (no início do horizonte de planejamento) na máquina m ($setup_ini_m$).

Sabendo-se que p ocupava a máquina m antes do início do horizonte de planejamento, se o produto p' ocupa a posição k igual a um (1) da sequência de produção (identificado por $ordem_{p',m,k} = 1$), então, o tempo de *setup* inicial (no início do horizonte de planejamento) na máquina m ($setup_ini_m$) é definido pela expressão 17, onde o tempo de *setup*, que é dependente da sequência, é dado por $TP_{p,p'}$.

Para a posição k maior que um (1) da sequência de produção, a expressão 18 indica que o instante de início do processamento do produto na posição k da sequência de produção. Se os produtos p e p' são alocados, respectivamente, nas posições $k-1$ e k da sequência de produção na máquina m , então, a expressão 19 identifica o tempo de *setup* ($setup_{m,k-1}$) gasto após o processamento do produto na posição $k-1$. A expressão 20 impõe que toda a produção do produto p não ultrapasse o seu prazo de entrega, identificado por $prazo_p$.

$$inicio_{m,k} \geq setup_ini_m \quad \forall m, k = 1 \quad (16)$$

$$setup_ini_m \geq TP_{p,p'} * ordem_{p',m,k} \quad \forall p, p' \neq p, m, k = 1 \quad (17)$$

$$inicio_{m,k} \geq inicio_{m,k-1} + setup_{m,k-1} + \sum_p dur_{p,m,k-1} \quad \forall m, k > 1 \quad (18)$$

$$setup_{m,k-1} \geq TP_{p,p'} * (ordem_{p,m,k-1} + ordem_{p',m,k} - 1) \quad \forall p, p' \neq p, m, k > 1 \quad (19)$$

$$inicio_{m,k} + dur_{p,m,k} \leq prazo_p + M(1 - ordem_{p,m,k}) \quad \forall m, k > 1 \quad (20)$$

Caso a função objetivo seja a minimização do *makespan*, ou seja, minimização do instante final de conclusão de toda a produção de todos os produtos, a expressão 21 identifica esta função objetivo.

$$(\min) makespan \geq inicio_{m,k} + \sum_p dur_{p,m,k} \quad \forall m, k \quad (21)$$

4.2 Algoritmo Proposto

A abordagem proposta foi dividida em três etapas ou blocos de ações: *i*) Alocação de processadores dedicados; *ii*) Alocações preferenciais para processadores que não são dedicados; e *iii*) Alocação de tarefas que implicam em *set-up*. Os passos da abordagem proposta são apresentados a seguir. O objetivo deste problema é a minimização da soma total dos tempos de *set-up*, o que permite maximizar a ocupação dos processadores, desde que haja demanda para isso.

- **Etapa 1 - Alocação de processadores dedicados**

Nesta etapa são identificados os processadores que podem ser alocados exclusivamente a apenas uma tarefa (produto). O problema proposto é inspirado em um problema real de uma empresa multinacional na região de Curitiba. Assim, o horizonte de planejamento é fixo e, normalmente, não passa de uma semana nos casos estudados no próximo capítulo. Na empresa em questão, há uma reunião semanal que define as demandas e prazos de produção dos produtos. Mas, para efeito de estudo e análise dos resultados, o horizonte de planejamento varia de 5 a 7 dias.

No problema proposto, o *set-up* é dependente da sequência. Em função da aplicação dos conceitos de SMED, há dois tipos de processadores que são utilizados. A padronização dos processadores permitiu que os produtos sejam agrupados em duas famílias, sendo que cada família de produtos utiliza um processador específico. Assim, quando a produção de um produto *i* é interrompida para que ocorra a produção de um produto *j*, se os produtos *i* e *j* são da mesma família, o *set-up* consistirá em um ajuste do processador para a produção do produto *j*. Mas, se os dois produtos (*i* e *j*) são de famílias diferentes, haverá a necessidade de troca do processador, o que consumirá um tempo maior de *set-up*, em relação ao caso anterior. Consequentemente, neste problema há dois

- **Etapa 2 - Alocações preferenciais para processadores que não são dedicados**

Esta etapa é composta de apenas um passo e consiste em um procedimento de “tentativa”. Esta etapa foi separada das demais etapas porque aqui é identificado cada processador, que já estava ocupado por um dado produto no instante inicial, e que pode permanecer mais tempo produzindo este produto. Porém, ao contrário da etapa anterior, as demandas de produtos não são suficientes para que os processadores permaneçam ocupados até o prazo de entrega destes produtos. Assim, através de tentativas, estes produtos são alocados nos processadores até que as demandas sejam satisfeitas, mas estas alocações poderão ser alteradas na etapa seguinte.



- **Etapa 3 - Alocação de tarefas que implicam em *set-up***

Nas etapas anteriores, todas as alocações de produtos a processadores não implicam na realização de *set-up*, já que os processadores estavam já ocupados por estes produtos no instante inicial. Porém, nesta etapa são finalmente realizadas as alocações dos produtos a processadores que inicialmente estavam produzindo outro produto. Portanto, nesta etapa, todas as alocações de produtos a processadores implicam na presença de *set-up*.

Basicamente, há duas possibilidades de alocação de produtos ainda não alocados a um processador. A primeira possibilidade de alocação (de um produto j) é ao final da produção de um produto i já alocado ao processador, o que implica na realização de apenas um *set-up* entre os dois produtos. Mas, a segunda possibilidade implica em “desfazer” uma alocação anterior, impondo-se que o “novo” produto j (ainda não alocado) seja alocado antes de um produto i , previamente alocado. Esta segunda possibilidade implica na imposição de duas operações de *set-up*, antes da produção de cada um dos produtos. Os passos desta etapa são dados a seguir.

- Passo 1) Ordenar os pedidos não alocados (ou inseridos até o passo 2) em ordem crescente de urgência (prazo de entrega);
- Passo 2) Ordenar os processadores em ordem decrescente de ocupação. Ou seja, o processador mais desocupado será o primeiro da lista;
- Passo 3) A partir da lista de pedidos não alocados (no passo 1), identificar o pedido mais urgente, que estará na primeira posição da lista;
- Passo 4) Estimar o número mínimo de processadores, α , para completar o pedido do modelo mais urgente, i , pela expressão:

$$\alpha = \text{ROUND}(\text{demanda a ser alocada}(i) / \text{prazo de entrega}(i)) + 1 \quad (10)$$

- Passo 5) Calcular a disponibilidade de tempo nos processadores, identificando: *i*) disponibilidade de recursos (tempo) total (DTO); *ii*) disponibilidade de recursos considerando-se os primeiros α processadores (DRP); *iii*)

disponibilidade de recursos considerando-se os primeiros α processadores que apresentam *set-up* mínimo (DSM);

Passo 6) Neste passo são aplicadas as regras para alocação de tarefas com *set-up*. O sistema testa qual condição abaixo será satisfeita:

Teste *i*) A demanda do modelo de produto mais urgente u é menor que DSM (disponibilidade de recursos considerando-se os primeiros α processadores que tem apresentam *set-up* mínimo)?

Se sim, então a demanda do modelo u será alocada, em cada processador com *set-up* mínimo, sempre após a última alocação nestes processadores. Isto ocorre de tal forma que, após a operação de *set-up*, a máxima quantidade da demanda de u seja alocada no primeiro processador (com menor *set-up*) da lista gerada no passo 2. Caso parte da demanda não tenha cabido no primeiro processador com menor tempo de *set-up* da lista, haverá a tentativa de alocar a quantidade restante no segundo processador com menor *set-up* da lista do passo 2. Se ainda houver uma quantidade não alocada, esta será alocada, sucessivamente, nos processadores (com menor *set-up*) ordenados na lista do passo 2;

Teste *ii*) Caso o primeiro teste (*i*) tenha sido falso, a demanda do modelo de produto mais urgente u é menor que DRP (disponibilidade de recursos considerando-se os primeiros α processadores, sem se preocupar com o tempo de *set-up*)?

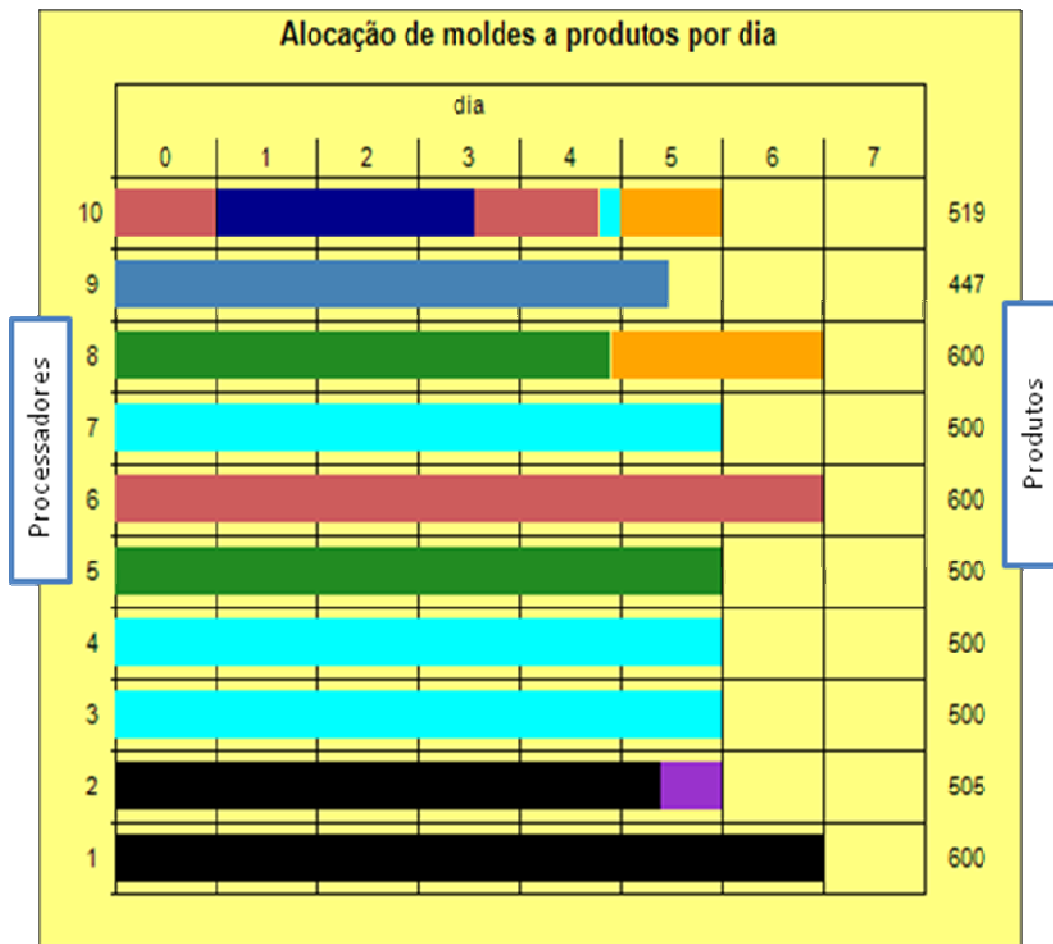
Se sim, então a demanda do modelo i será alocada, seguindo procedimento similar ao do teste anterior, mas usando a lista do passo 2, independentemente do tempo de *set-up*;

Teste *iii*) Caso os testes anteriores tenham sido falso, a expressão 11 será verdadeira. Na expressão abaixo, α foi calculado pela expressão 10, $demanda(u)$ indica a demanda do produto u , $ocupa(p)$ indica a ocupação no primeiro processador p da lista do passo 2 e $set-up(u',u)$ é o *set-up* entre o último produto u' alocado em p e o produto u .

$$\alpha^* \text{prazo}(u) < \text{demanda}(u) + \text{ocupa}(p) + \text{setup}(u', u) \quad (11)$$

Neste caso, a demanda do modelo i será alocada, seguindo procedimento similar ao do teste i . Somente será usado o procedimento do teste ii se a lista do passo 2 com *set-up* mínimo for nula. Note que nem toda a demanda estará alocada, já que DSM será menor que a demanda de u . Assim, nos processadores seguintes, da lista do passo 2, a demanda restante (que não tinha sido alocada ainda) de u será alocada antes do produto u' . Ou seja, haverá uma inversão na ordem de processamento e haverá uma priorização do processamento de u ; caso contrário, a demanda de u não seria toda ela atendida dentro do prazo de entrega. Porém, a alocação de u não pode inviabilizar a conclusão da demanda de u' . Neste caso, a quantidade remanescente será alocada nos processadores seguintes da lista do passo 2.

Alguns aspectos do funcionamento da abordagem proposta são apresentados no capítulo 6, que apresenta os resultados do estudo de caso.



5 METODOLOGIA

Para que este estudo seja possível, primeiramente foi necessário ter o completo entendimento teórico básico de algumas técnicas de manufatura e de logística.

Por meio desta base teórica apresenta-se um estudo de caso exemplificando o uso de metodologias empregadas para que a programação da produção seja feita de maneira mais otimizada possível, maximizando a produtividade e minimizando os tempos de troca de modelo.

Como foi comentado no capítulo 3, pode-se verificar que duas das maiores perdas de produtividade podem ser amenizadas com o uso das metodologias: SMED para redução do tempo de *set-up* e por meio da aplicação do TPM, para a redução das principais perdas neste equipamento. Neste mesmo capítulo também foi mostrada qual a melhor maneira de se acompanhar e verificar a efetividade das ações empregadas, o indicador OEE.

Os dados a serem envolvidos neste estudo, são fictícios para que a empresa tenha suas informações resguardadas, mas isto não implica em prejuízos na verificação dos resultados da aplicação proposta. O método utilizado é quantitativo, onde nos baseamos nos resultados encontrados em relação a tempo e quantidade de produtos produzidos, apresentado a seguir:

1. Será escolhido um equipamento gargalo, ou seja, o equipamento que dá o ritmo da produção, aquele que limita o ciclo da linha de montagem baseado em sua capacidade.
2. Será aplicada a metodologia SMED neste equipamento, para que o tempo de *set-up* seja o mínimo possível;
3. Serão aplicados três pilares da metodologia TPM para que a disponibilidade deste equipamento seja a maior possível;
4. Após análise deste equipamento, conforme passos anteriores, será aplicada abordagem proposta, para que sejam levados em consideração as paradas de *set-up* na programação de produção, e assim poder analisar se a programação

proposta é factível ou não, de modo a simular a viabilidade da necessidade criada para a Manufatura de um produto.

Após a aplicação desta metodologia, são gerados dois estudos de caso, onde é feito o paralelo exemplificando esta aplicação com e sem o auxílio do simulador proposto para a programação da produção.

5.1. Escolha do equipamento Gargalo

A escolha do equipamento gargalo dá-se por meio do ciclo de produção deste, ou seja baseado na quantidade de produtos por hora que ele faz. O equipamento gargalo é aquele que dentro da linha de montagem tem o maior ciclo, ou seja onde passa a menor quantidade por hora. Uma linha de montagem pode ter vários gargalos, o que se faz para corrigir isto é o uso de estoque. No caso desta empresa o “Equipamento de Injeção de PU” foi escolhido pois não existe a possibilidade de estoque intermediário e também devido ao fato de que se ele parar por algum motivo a linha toda pára.

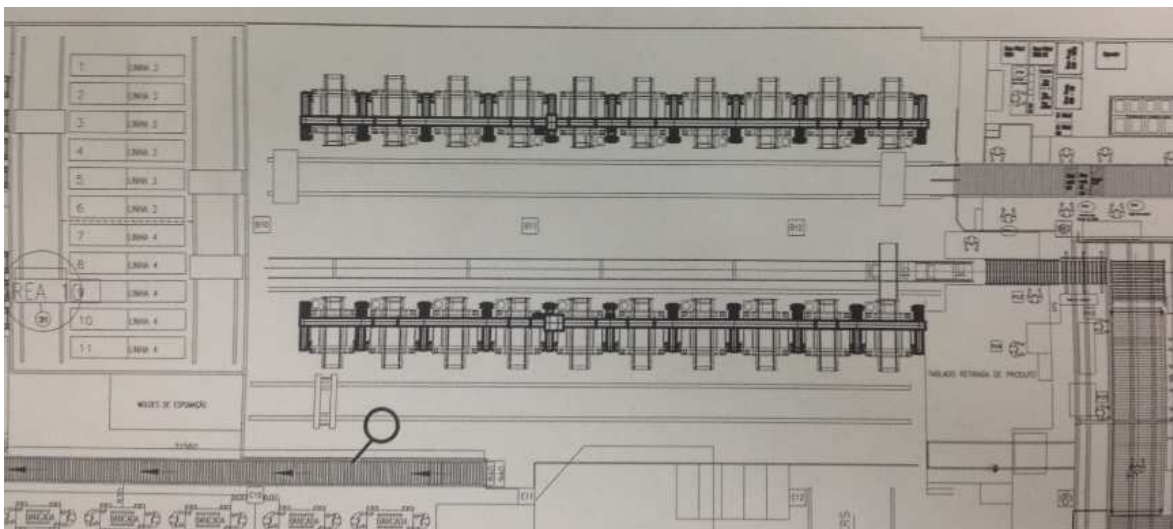


FIGURA 14: Desenho do equipamento.

Pro 2	Pro 5	30	Pro 2	Pro 4	20
Pro 5	Pro 4	30	Pro 4	Pro 5	30
Pro 4	Pro 7	30	Pro 5	Pro 7	20
		90			70
1h30min			1h10min		

Tabela 2: Melhor combinação de set-up.

5.3. Aplicação TPM

Para que o equipamento esteja com o mínimo de paradas não planejadas, ou seja, uma baixa disponibilidade, foi preciso a aplicação de três pilares do TPM: Melhoria específica, Manutenção Autônoma e Manutenção Planejada. A melhoria específica é feita por meio do *workshop* SMED, onde além da melhoria de tempo de *set-up* também são vistas outras melhorias relacionadas a segurança do trabalho e a disponibilidade do equipamento. A manutenção autônoma é a criação de um check list de atividades onde o próprio operador da máquina faz uma análise diária de pontos do seu equipamento com o objetivo de se antecipar a problemas de manutenção emergencial. A manutenção planejada refere-se às atividades preventivas, preditivas e programadas pelo setor de manutenção.

A aplicação do TPM ajuda a garantir que o tempo de set-up seja o que está na Matriz de Set-up, assim como ajuda a manter o equipamento em funcionamento sem paradas inesperadas.

5.4. Aplicação da abordagem proposta

Para a aplicação do método heurístico, faz-se necessário seguir as seguintes regras:

1. Programar o número de peças a serem produzidas por semana;
2. Respeitar o número de processadores referentes a cada modelo de produto a ser produzido;
3. Otimizar a troca de processador (*set-up*) para que seja feito apenas quando necessário;
4. Conhecer a matriz de *set-up* que informa o tempo que leva cada combinação de troca;
5. Respeitar o tempo de ciclo do equipamento, que mostra qual será a quantidade de peças produzidas em um determinado tempo.

6 RESULTADOS

Como dito anteriormente, a abordagem proposta é um sistema híbrido baseado em regras de despacho. Além disso, a programação da produção estará focada apenas em uma tarefa (ou posto), que contém n processadores idênticos em paralelo, já que esta tarefa é o gargalo da produção.

Na figura 11 pode-se identificar do lado esquerdo um gráfico que representa a média de ocupação dos produtos por dia, onde cada cor representa um produto e cada coluna é um dia de produção. Do lado esquerdo ainda desta figura existe a mesma representação, mas desta vez informando a demanda por produto.

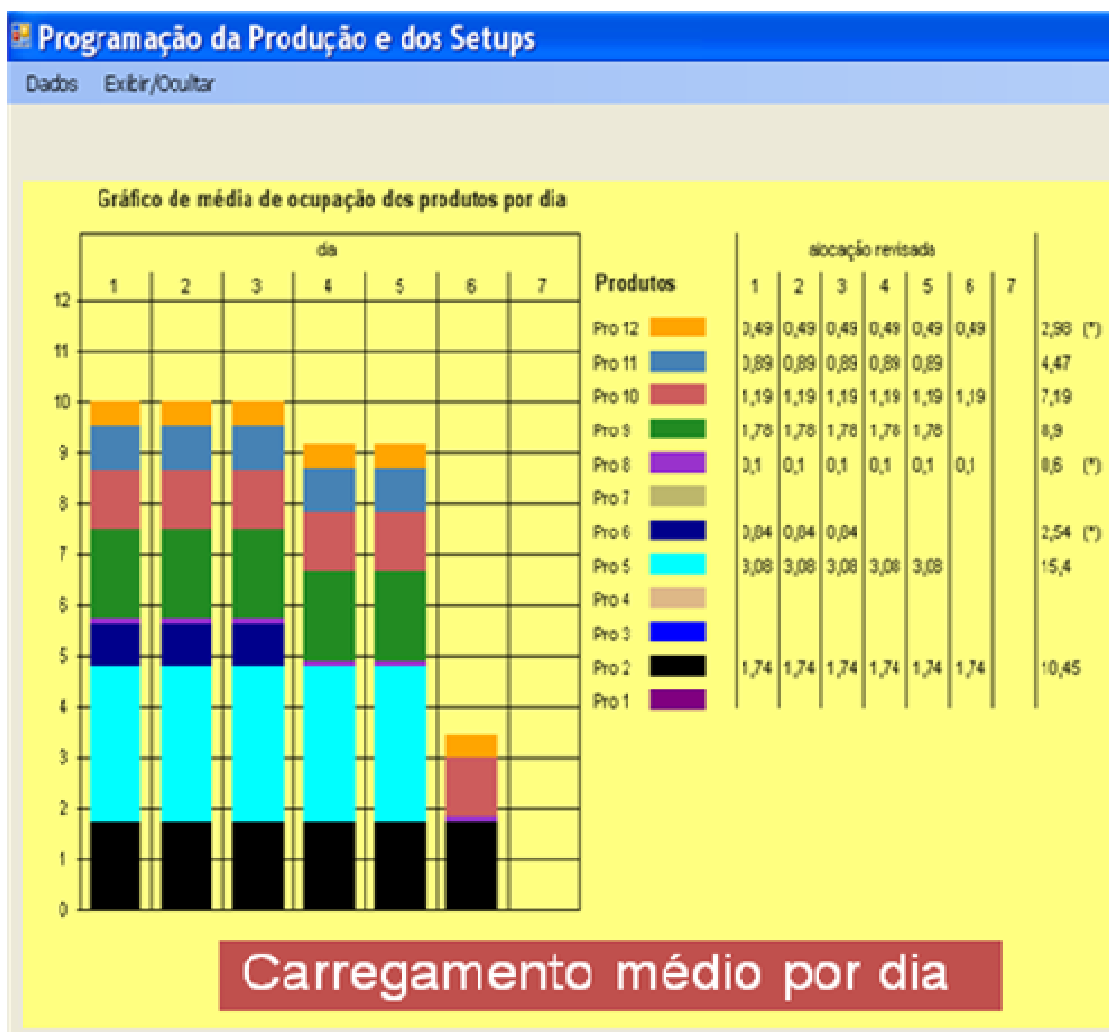


Figura 11. Média de ocupação dos produtos por dia.



Figura 12. Alocação dos processadores (moldes) por dia.

Na figura 12 pode-se identificar a alocação de processadores onde cada cor representa um modelo de produto, do lado esquerdo são os processadores de 1 à 10 e do lado direito é representada a quantidade de produtos a serem produzidos.

Cada resultado dos estudos de caso a seguir será representado por figuras como estas exemplificadas anteriormente, originadas da interface do simulador em questão.

6.1. Estudo de caso 1

Neste caso, há 12 produtos, cujas demandas e prazo de entrega são dados na tabela abaixo. Para identificar os tempos de set-up, os produtos foram separados em duas famílias (A, B), sendo que, quando ocorre *set-up* entre dois modelos de produto da mesma família, isto implica apenas em um ajuste do

processador, demorando, aproximadamente, 20 minutos. Mas, quando ocorre *set-up* entre dois modelos de produto de famílias distintas, então há a necessidade de troca do processador, o que consome mais tempo de *set-up*, demorando, aproximadamente, 30 minutos.

Tabela 1. Dados do estudo de caso 1.

Produto	Família	Demanda	Prazo
Pro 1	A	0	-
Pro 2	A	10,45	6
Pro 3	A	0	-
Pro 4	A	0	-
Pro 5	B	15,4	5
Pro 6	B	2,54	3
Pro 7	B	0	-
Pro 8	B	0,6	6
Pro 9	B	8,9	5
Pro 10	B	7,19	6
Pro 11	B	4,47	5
Pro 12	B	2,98	6

Como dito no capítulo 4, a abordagem proposta contém 3 etapas ou blocos de ações: *i)* Alocação de processadores dedicados; *ii)* Alocações preferenciais para processadores que não são dedicados; e *iii)* Alocação de tarefas que implicam em *set-up*.

A figura 11 ilustra o resultado da primeira etapa (Alocação de processadores dedicados) para o estudo de caso proposto. Esta figura também ilustra a interface desenvolvida para esta dissertação. Na esquerda da figura, é apresentado um gráfico (similar a um histograma) que apresenta o carregamento dos processadores, considerando-se o carregamento médio por dia imposto em cada um dos modelos de produto. Ao centro da figura, a mesma informação é apresentada numericamente e, na direita da figura, é apresentada apenas a alocação dos processadores dedicados; ou seja, aqueles que serão ocupados por apenas um produto desde o instante inicial (dia 0) até o seu prazo de entrega.

Figura 12. Alocações preferenciais para processadores que não são dedicados.

A figura 13 ilustra o resultado da terceira etapa (Alocação de tarefas que implicam em *set-up*) para o estudo de caso proposto. Novamente, a diferença entre esta figura e as figuras 11 e 12 está na direita das figuras. Na direita da figura 13 é apresentado o resultado das alocações de tarefas que implicam em *set-up* (terceira etapa da abordagem proposta). Note que os produtos 6 (com prazo de entrega no dia 3), 8 (com prazo de entrega no dia 6) e 12 (com prazo de entrega no dia 6), além do remanescente da demanda do produto 5 (com prazo de entrega no dia 5), foram alocados na terceira etapa da abordagem proposta.

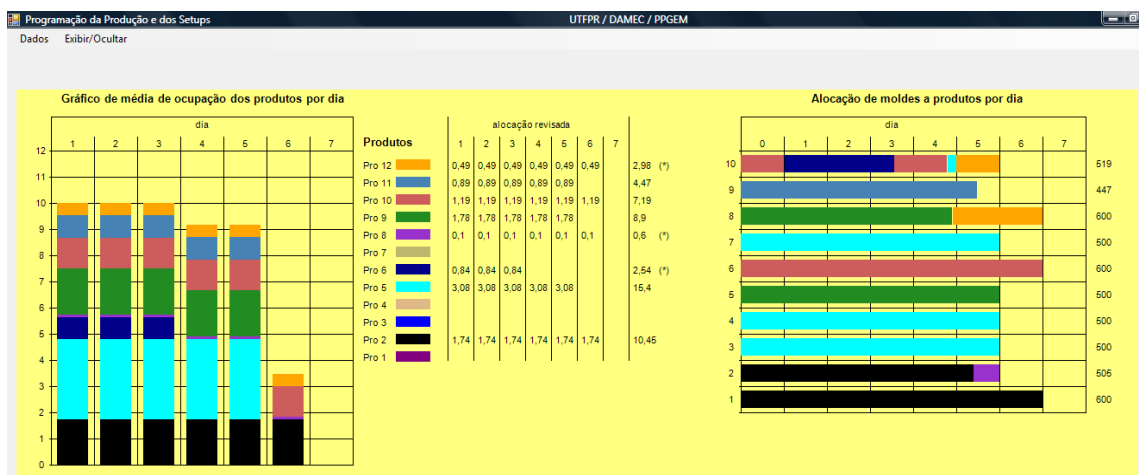


Figura 13. Alocação de tarefas que implicam em *set-up*.

Na figura 13, a primeira alocação foi do produto 6, cujo prazo era o dia 3. Como os testes *i* e *ii*, no passo 6 da 3ª etapa da abordagem proposta, foram negativos, realizou-se o procedimento do teste *iii*. Como o valor de α era um (1), a única alternativa foi inverter a ordem de produção do produto 6 com o produto 10, que havia sido alocado através de tentativas a partir do início (dia 0). Na sequência, o menor prazo de entrega (dia 5) foi o produto 5, que foi alocado a partir do teste *i* (no passo 6 da 3ª etapa). Por fim, foram alocados os produtos 8 e 12, também seguindo o procedimento do teste *i* (no passo 6 da 3ª etapa).

- **1ª variação do estudo de caso 1**

A fim de analisar a abordagem proposta, foram feitas duas variações no estudo de caso proposto. Na 1ª variação do estudo de caso 1, apenas variou-se o prazo de entrega do produto 6, que foi alterado para o dia 2. Os demais dados seguem sendo iguais aos da tabela 1.

A seguir, são apresentadas as figuras 14, 15 e 16, que representam as três etapas da abordagem proposta. A principal diferença no resultado, quando comparado ao resultado anterior (na figura 13), está na alocação do produto 6, cujo prazo de entrega foi reduzido. Desta vez, o valor de α , calculado pela equação 10, foi dois (2), indicando que serão necessários ao menos dois processadores para atender esta demanda. Seguindo o procedimento do teste *iii* do passo 6 da abordagem proposta, alocou-se parte da demanda do produto 6 no processador 10, até atingir o prazo de entrega deste produto. A alocação do produto 6 foi deslocada para após o processamento do produto 10 neste processador. Como não foi possível alocar toda a demanda do produto 6 no processador 10, o restante da demanda foi alocado no próximo processador (de acordo com a lista ordenada dos processadores), que era o processador 8. Como não era possível alocar esta demanda após o processamento do produto 9, sem descumprir o prazo de entrega do produto 6, a única alternativa foi inverter a ordem de produção do produto 6 com o produto 9, que havia sido alocado tentativamente a partir do início (dia 0).

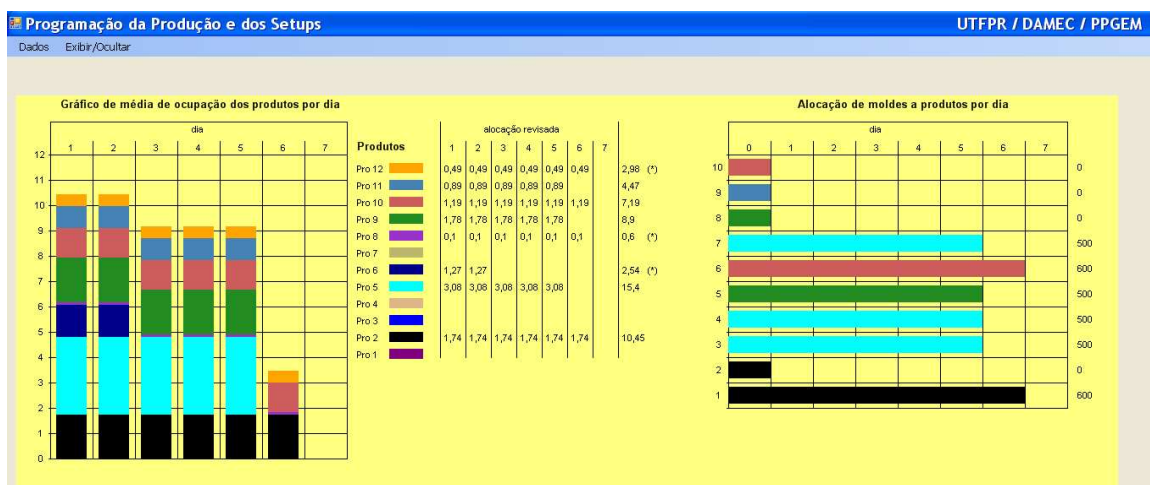


Figura 14. Alocação de processadores dedicados.

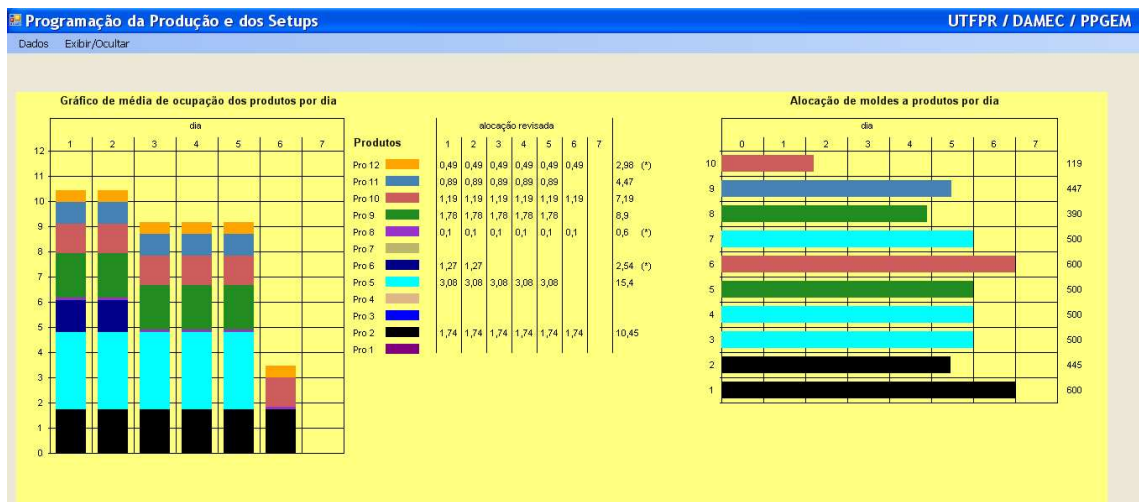


Figura 15. Alocações preferenciais para processadores que não são dedicados.

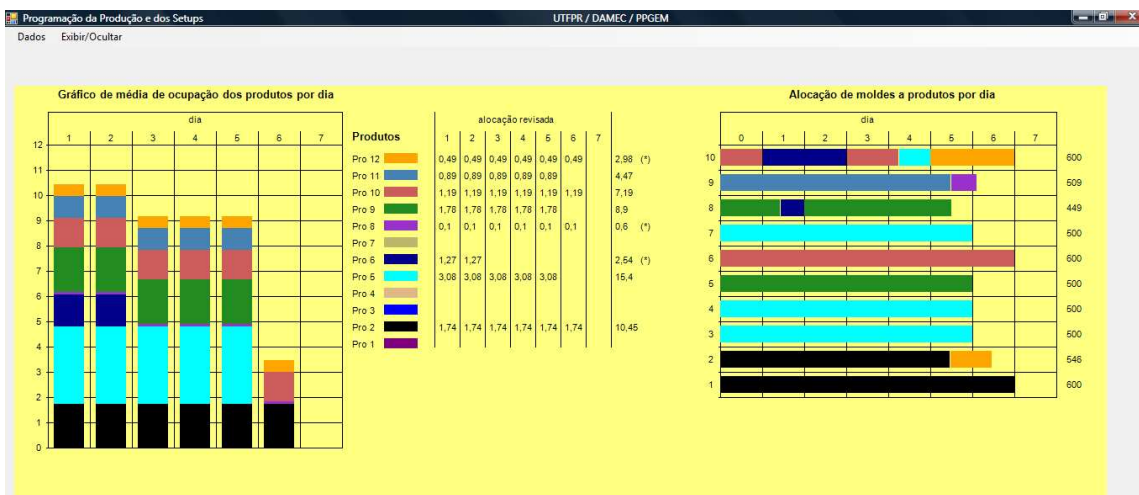


Figura 16. Alocação de tarefas que implicam em set-up.

- **2ª variação do estudo de caso 1**

A fim de validar a abordagem proposta, realizou-se uma 2ª variação do estudo de caso 1, onde apenas variou-se o prazo de entrega de alguns produtos, conforme indicado na tabela 2.

Tabela 2. Dados do estudo de caso 1.

Produto	Família	Demanda	Prazo
Pro 1	A	0	-
Pro 2	A	10,45	6
Pro 3	A	0	-
Pro 4	A	0	-
Pro 5	B	15,4	6
Pro 6	B	2,54	2
Pro 7	B	0	-
Pro 8	B	0,6	6
Pro 9	B	8,9	6
Pro 10	B	7,19	6
Pro 11	B	4,47	6
Pro 12	B	2,98	6

A seguir, são apresentadas as figuras 17, 18 e 19, que representam as três etapas da abordagem proposta. Este caso é o mais folgado, em comparação aos dois casos anteriores. Ainda assim, este caso permitiu observar o funcionamento das regras de despacho e, em particular, as regras (testes) aplicados na terceira etapa da abordagem proposta.

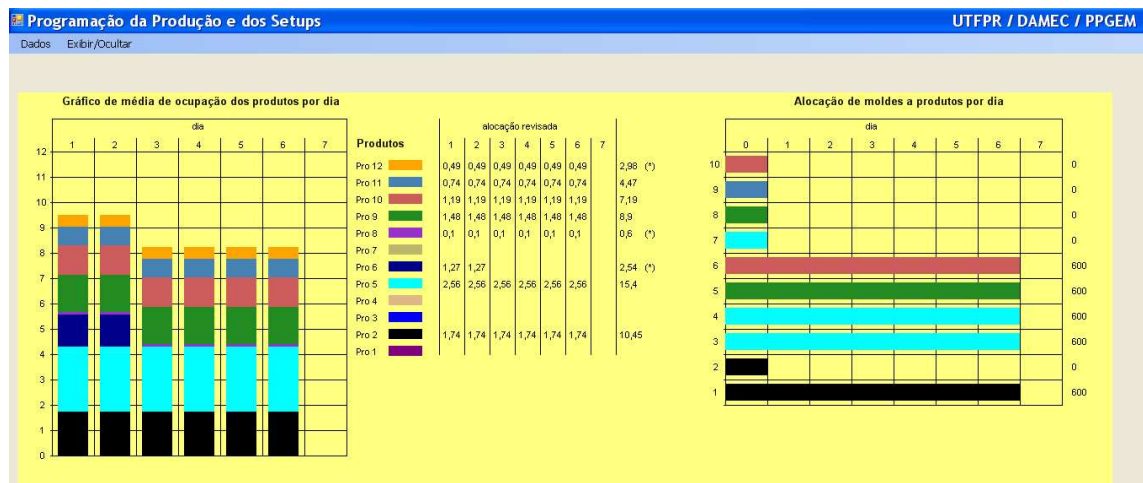


Figura 17. Alocação de processadores dedicados.

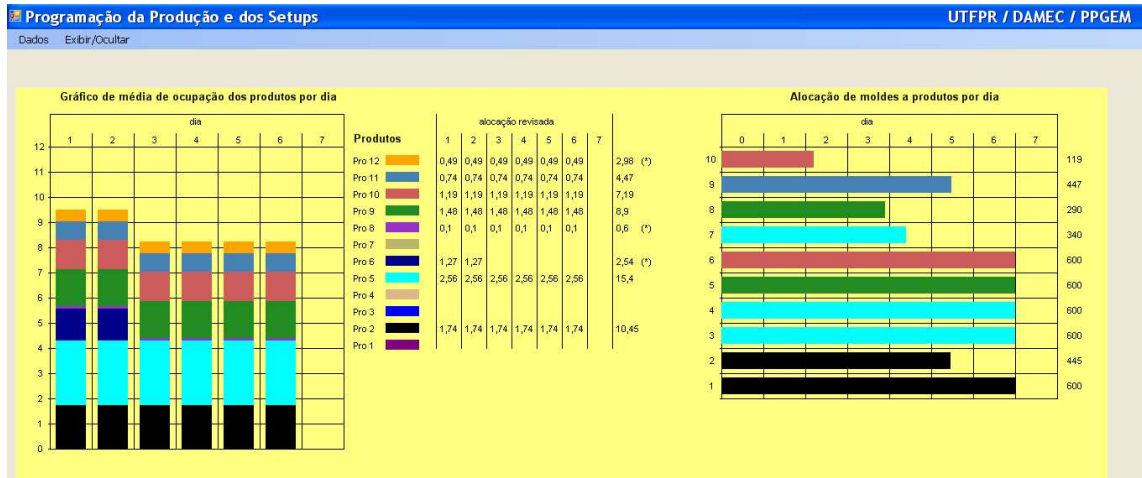


Figura 18. Alocações preferenciais para processadores que não são dedicados.

Tal como na solução apresentada na figura 16 (1ª variação do estudo de caso 1), a primeira alocação foi do produto 6, com prazo de entrega no dia 2. Pode-se observar na figura 18 que o processador menos carregado é o 10 e, portanto, o produto 6 foi alocado após o produto 10. Mas, como não foi possível alocar toda a demanda do produto 6 no processador 10, a quantidade remanescente foi alocada no 2º processador menos carregado, que é o processador 8, conforme a figura 18. Neste caso, o produto 6 será processado antes do produto 9.

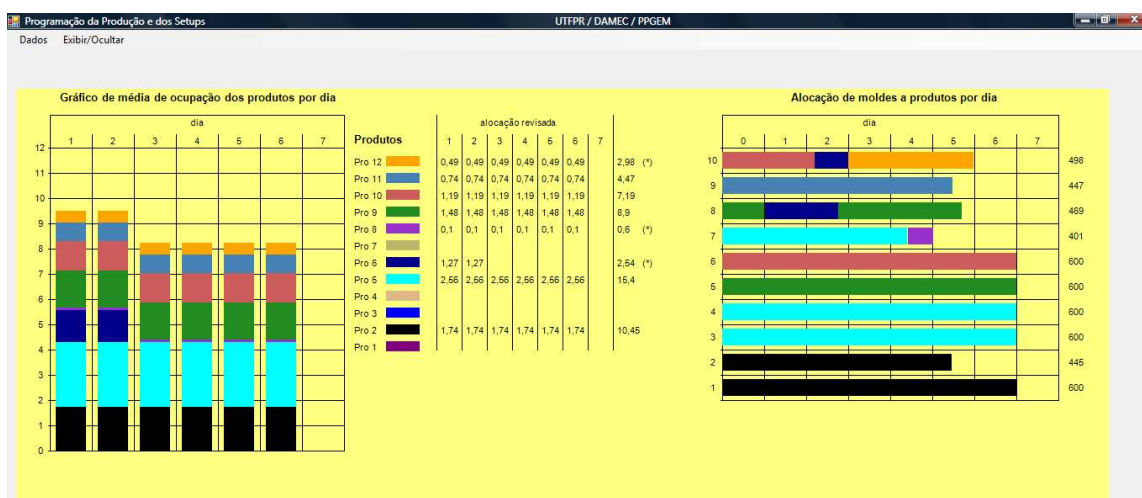


Figura 19. Alocação de tarefas que implicam em set-up.

6.2. Estudo de caso 2

Neste caso, novamente, há 12 produtos, cujas demandas e prazo de entrega são dados na tabela 3. Para identificar os tempos de set-up, os produtos foram separados em duas famílias (A, B), sendo que os tempos de *set-up* são similares ao estudo de caso 1.

Foram realizadas duas variações deste estudo de caso, onde só houve variação nos prazos de entrega entre as duas variações do estudo de caso. A tabela 3 apresenta os dados da 1ª variação do estudo de caso 2, sendo que as figuras 20, 21 e 22 representam as soluções das três etapas da abordagem proposta. O objetivo deste segundo estudo de caso e de suas variações nos prazos de entrega foi ilustrar que a abordagem proposta foi eficaz na solução do problema, independente das suas demandas e prazos de entrega.

Tabela 3. Dados do estudo de caso 2 (1ª variação).

Produto	Família	Demanda	Prazo
Pro 1	A	0	-
Pro 2	A	16,24	4
Pro 3	A	0	-
Pro 4	A	0	-
Pro 5	B	9,78	7
Pro 6	B	0	-
Pro 7	B	12,45	7
Pro 8	B	0	-
Pro 9	B	13,57	7
Pro 10	B	0	-
Pro 11	B	0	-
Pro 12	B	13,97	7

A tabela 4 apresenta os dados da 2ª variação do estudo de caso 2, sendo que as figuras 23, 24 e 25 representam as soluções das três etapas da abordagem proposta.

- 1ª variação do estudo de caso 2

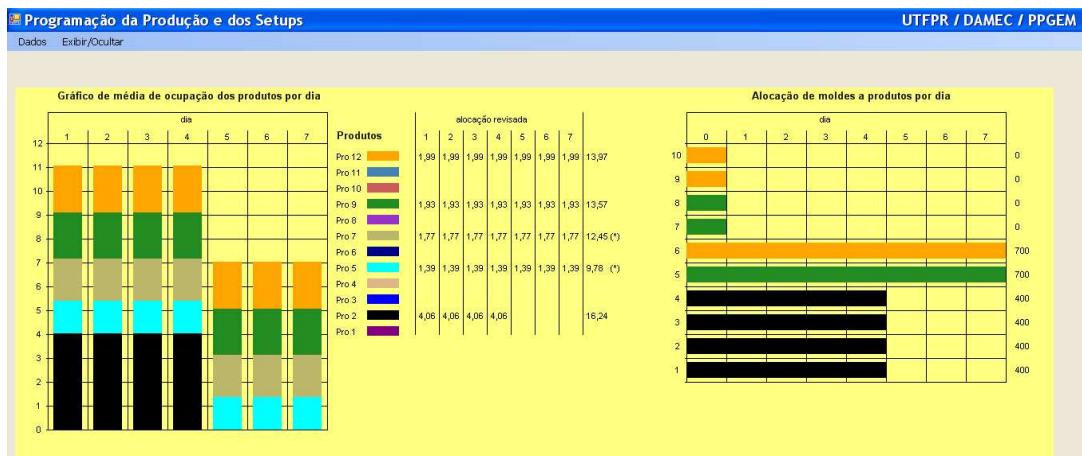


Figura 20. Alocação de processadores dedicados.

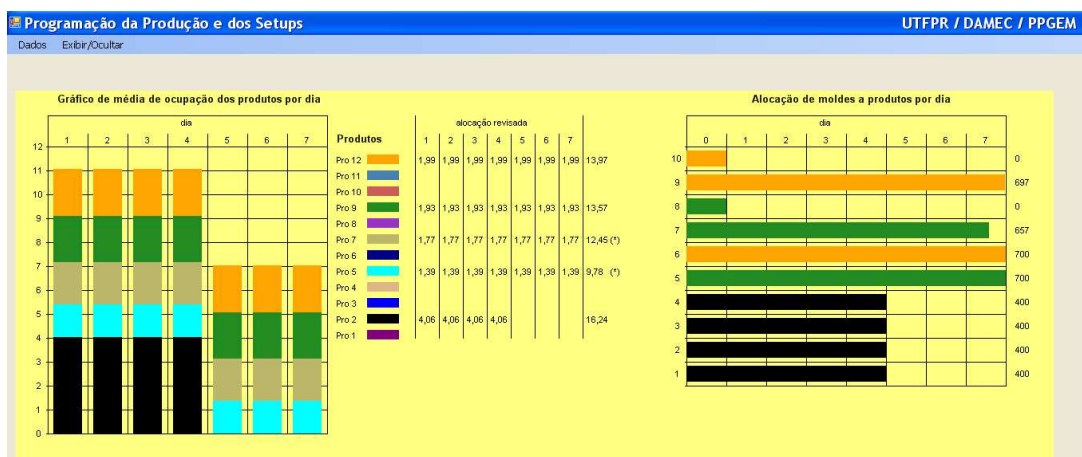


Figura 21. Alocações preferenciais para processadores que não são dedicados.

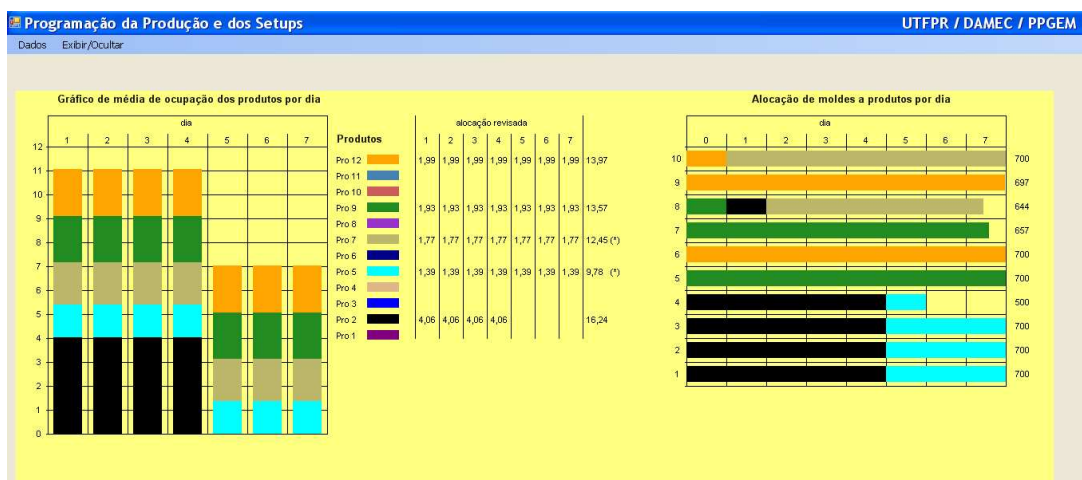


Figura 22. Alocação de tarefas que implicam em set-up.

- 2ª variação do estudo de caso 2

Tabela 4. Dados do estudo de caso 2 (2ª variação).

Produto	Família	Demanda	Prazo
Pro 1	A	0	-
Pro 2	A	16,24	7
Pro 3	A	0	-
Pro 4	A	0	-
Pro 5	B	9,78	6
Pro 6	B	0	-
Pro 7	B	12,45	6
Pro 8	B	0	-
Pro 9	B	13,57	7
Pro 10	B	0	-
Pro 11	B	0	-
Pro 12	B	13,97	7

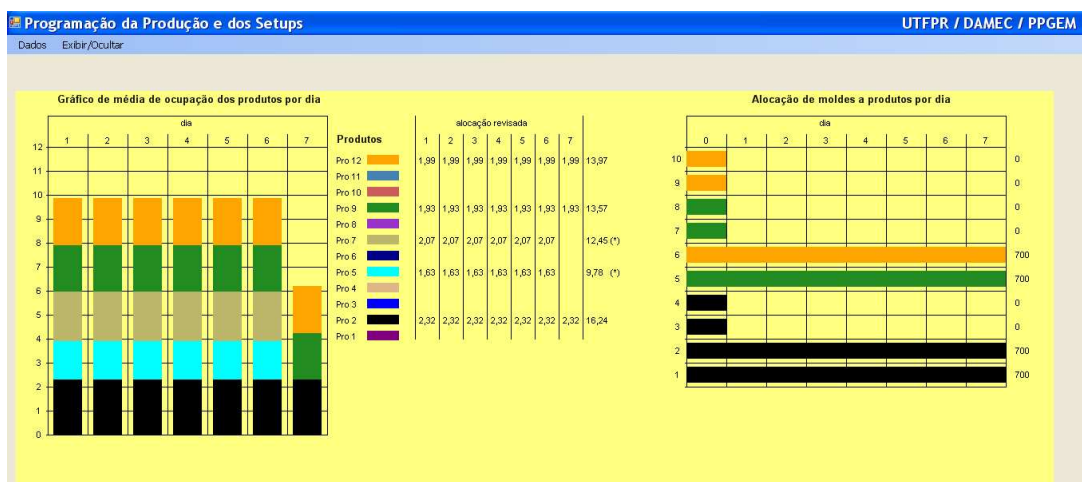


Figura 23. Alocação de processadores dedicados.

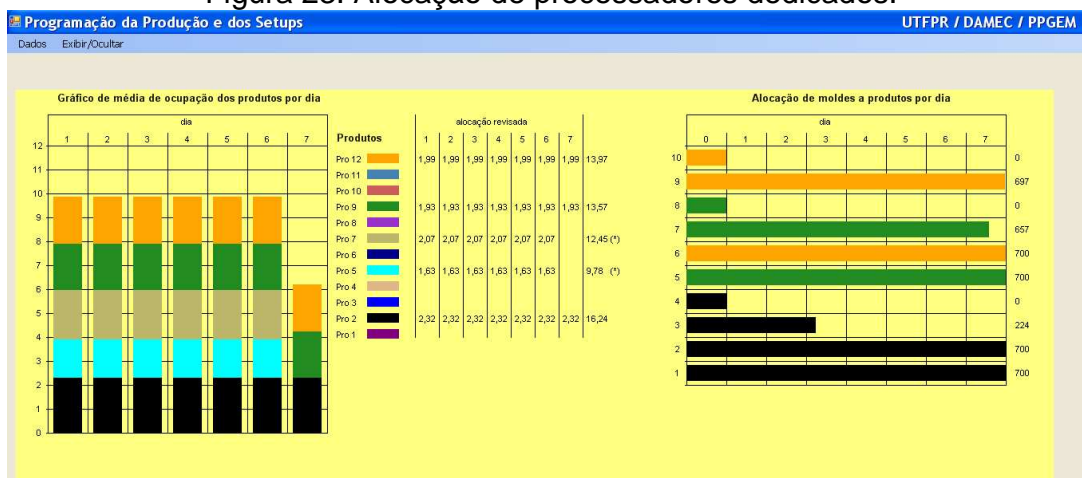


Figura 24. Alocações preferenciais para processadores que não são dedicados.

7 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

O processo de set-up rápido, SMED, torna-se uma importante ferramenta que tem seu foco voltado para o sistema produtivo. Seus objetivos indicam que uma eficiente gestão dos processos promove a queda significativa dos custos e aumentos na produção. Conseqüentemente, tem-se um aumento na competitividade e lucratividade da empresa.

Neste trabalho, discute-se os ganhos potenciais na redução de operações de *set-up*, que resultarão em uma maior disponibilidade das máquinas, já que este indicador leva em consideração o tempo disponível para execução da produção, descartando os tempos de *set-up*, já que eles não “agregam valor”. Assim, realizou-se uma revisão de conceitos relevantes para a gestão da produção industrial nos dias de hoje, como, por exemplo, os conceitos de SMED e TPM. No entanto, esta revisão visou apresentar as ações que as empresas têm tomado, e que são associadas ao *Lean Manufacturing*. Porém, na seqüência, realizou-se uma breve revisão sobre otimização, produção com máquinas em paralelo e com a presença de *set-up*, visando a apresentação de uma nova abordagem de programação da produção para máquinas similares em paralelo e com a presença de *set-up* dependente da seqüência. A abordagem proposta baseia-se no uso de regras de despacho, constituindo-se em um procedimento heurístico de solução do problema proposto. Considerou-se que os resultados foram satisfatórios, já que foram capazes de solucionar instâncias reais de uma empresa da região de Curitiba. Assim, o processo gera um menor número de paradas desnecessárias à produção, quando comparado à condição real. Pode-se conjecturar que, uma vez que ocorra um acompanhamento detalhado sobre a situação do equipamento, diminui-se, dessa forma, a quantidade de produtos defeituosos fabricados.

Fazendo-se uma correta programação de produção baseada na programação de *set-up*, por meio da aplicação de Métodos Heurísticos, como o proposto neste trabalho, é possível esperar o correto atingimento do planejamento do sistema de Logística e Marketing da empresa, deste modo, otimizando o uso da capacidade do setor de Manufatura.

Este estudo traz um auxílio e poderá suprir uma necessidade real industrial no que diz respeito à ocupação real da linha de produção e suas áreas de alimentação. Isto permite considerar a eficiência do equipamento, ao se programar a manufatura de um produto. Assim, pode-se ser mais assertivo, criando menos disposição ao erro na expectativa gerada pelo setor comercial da indústria.

7.1. Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros, sugere-se a continuidade do desenvolvimento do sistema proposto, tanto na sua interface homem-máquina como na abordagem de otimização utilizada. Assim, propõe-se os seguintes temas de pesquisa futuras:

- Discutir a solução deste problema com a inclusão/alteração da função objetivo. Por exemplo, pode-se usar como função objetivo a minimização da antecipação ou atraso na conclusão dos pedidos, o que é conhecido na literatura como minimização de *earliness* e de *tardiness*;
- Outro tema possível é a discussão da identificação da solução ótima, por meio de uma abordagem de *Branch-and-Bound*, por exemplo, já que o sistema heurístico proposto neste trabalho não garante a identificação da solução ótima, ainda que ela tenha sido encontrada em várias instâncias testadas;
- Por fim, pode-se estudar o caso em que os processadores em paralelo não são idênticos, tendo-se tempos distintos para a realização das tarefas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AARTS, E.H.L.; KORST, J.H.M.. **Simulated Annealing and Boltzmann Machines**. John Wiley & Sons, 1989.

ALVES, J.Murta; REIS, M.E.Pauka. **Um estudo de caso: um guia para se calcular o ganho originado pela redução do tempo de set-up**. XXVI ENEGEP – Fortaleza, CE, Brasil, 9 a 11 de Outubro de 2006.

ANGELELLI, E; FILIPPI, C.. **On the complexity of interval scheduling with a resource constraint**. Elsevier T.C.S., 2011.

ARNOLD, J.R.T.. **Introduction to Materials Management**. 2. ed. New Jersey: Prentice Hall International Editions, 1996.

BACCI, M.D.N.; SUGAI, M.; NOVASKI, O.. **Proposta de modelo de tomada de decisão para aplicação da metodologia SMED**. XII SIMPEP – Bauru, SP, Brasil, 7 a 9 de Novembro de 2005.

BATTAGLIA, F.. **Indicadores que enganam**. Lean Institute Brasil, [sitewww.lean.org.br](http://www.lean.org.br), 2003

BLACK, J.T.. **O projeto da fábrica com futuro**. Porto Alegre: Artes Médicas, 288 p., 1998.

BOUDHAR, M.; HANED, A.. **Preemptive scheduling in the presence of transportation times**. Elsevier C.O.R., 2008.

BRUCKER, P.; HEITMANN, S.; HURINK, J.. **How useful are preemptive schedules?**. Elsevier O.R.L., 2003.

BUZZO, W.R.; MOCCELLIN, J.V.. **Programação da Produção em Sistemas Flow Shop Utilizando um Método Heurístico Híbrido Algoritmo Genético – Simulated Annealing**. Gestão & Produção v.7, n.3, p364-377, dez. 2000.

CAMPBELL, H.G.; DUDEK, R.A.; SMITH, M.L.. **A Heuristic Algorithm for the n-job, m-machine Sequencing Problem**. Management Science 16/B, 630-637, 1970.

CAMPOS, V.F. **TQC: Controle da Qualidade Total (no Estilo Japonês)**. 2ª. ed. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1992.

CORRÊA, H.L.; CORRÊA, C.A.. **Administração de produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. São Paulo: Atlas, 2006.

COYLE, J.J.; BARDI, E.J.; LANGLEY, C.J. **The management of business logistics: a supply chain perspective.** 7^a ed. South-Western: Thomson Learning, 2002.

DAGANZO, C.F.; PETERKOFISKY, R.I.. **A branchand bound solution method for the Crane scheduling problem.** B&B Vol. 24B, No.3,pp.139-172.1990.

DANNENBRING, D.G..(1977), **An Evaluation of Flow-Shop Sequencing Heuristics.** Management Science 23, 1174-1182, 1977.

ESROCK, Y.. **The impact of reduced set-up time.** Production and Inventory Management, v. 26, p. 94-101, 1985.

FLEURY, P. F.; WANKE, P.; FIGUEIREDO, K. F.. **Logística empresarial: A Perspectiva Brasileira.** São Paulo: Atlas, 2000.

FOGLIATTO, F.S.; FAGUNDES, P.. **Troca Rápida de Ferramentas: proposta metodológica e estudo de caso.** Gestão & Produção. v. 10, n. 2, p. 163-181, 2003.

FONSECA, A.V.M.; MIYAKE, D.I.. **Uma análise sobre o Ciclo PDCA como um método para solução de problemas da qualidade.** XXVI ENEGEP - Fortaleza, CE, Brasil, 9 a 11 de Outubro de 2007.

GARCIA, E.S.; REIS, L. M. T. V.; MACHADO, L.R.; FERREIRA, V.J.M.. **Gestão de estoques: otimizando a logística e a cadeia de suprimentos.** Rio de Janeiro: E-papers Servicos Editoriais Ltda., 2006.

GAREY, Michael R; JOHNSON, David S. **Computers and intractability: a guide to the theory of NP-Completeness .** New York: W. H. Freeman, 1979.

GLOVER, F. **Tabu Search — Part II.** ORSA Journal on Computing, 1990.

GLOVER, F; LAGUNA, M. **Tabu Search.** Kluwer, Norwell, MA, 1997.

GOLDBERG, D.E.. **Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning.** EUA: Addison-Wesley, 1989.

GUPTA, J.N.D.. **A Functional Heuristic Algorithm for the Flow-Shop Scheduling Problem.** Operational Research Quarterly 22, 39-47, 1971.

HARMON, R.L.; PETERSON, L.D.. **Reinventando a Fábrica: conceitos modernos de produtividade aplicados na prática.** Rio de Janeiro: Campus, 463 p., 1991.

HAOURI, M.; GHARBI, A.. **An improved max-flow-based lower bound for minimizing maximum lateness on identical parallel machines.** Elsevier O.R.L., 2003.

HAY, E. **Any machine set-up time can be reduced by 75%**. Industrial Engineering. n. 19, p. 62-67, 1987.

HENRY, J.R.. **How to Develop and Implement a Quick Changeover Program**. The Official Journal of ISPE, vol. 22 n°2, March/A pril 2002.

HIGGINS, E.. **Faster better changeover**. Food Engineering. July/Aug. 2001.

HUNDAL, T.S.; RAJGOPAL, J.. **An Extension of Palmer's Heuristic for the Flow-Shop Scheduling Problem**. International Journal of Production Research 26, 1119-1124, 1988.

IMAI, M.. **Kaizen: a estratégia para o sucesso competitivo**. São Paulo: IMAM, 1994.

IMC INTERNACIONAL. **The Japan Institute of Plant Maintenance**. Apostila IMC Internacional – Brasil. Slides de Apresentação, 2001

JOHNSON, H.T.; KAPLAN, R.S.. **Relevance Lost: The Rise and Fall of Management Accounting**. Boston: Harvard Business School Press, 1987.

JUNGWATTANAKIT, J.; REODECHA, M; CHAOVALITWONGSE, P.; WERNER, F.. **An Evaluation of Sequencing Heuristics for Flexible Flowshop Scheduling Problems with Unrelated Parallel Machines and Dual Criteria**. Elsevier B. V., 2005.

KRAVCHENKO, S.A.; WERNER, F.. **Preemptive scheduling on uniform machines to minimize mean flow time**. Elsevier C.O.R., 2009.

LEE, D.L.. **Set-up reduction: making JIT work**. Management services, p. 8-13, May, 1986.

LI, C.-L.; LEUNG, J.Y.-T.. **Scheduling with processing set restrictions: A survey**. Elsevier I.J.P.E., 2008.

LJUNGBERG, O. **Measurement of overall equipment effectiveness as a basis for TPM activities**. International Journal of Operations & Production Management, Vol. 18 Iss: 5, pp.495 – 507, 1998.

LUSHCHKOVA, I.N.. **Preemptive scheduling of two uniform parallel machines to minimize total tardiness**. Elsevier E.J.O.R., 2012.

MACHADO, V.A.P.. **Gestão de existências. Logística de uma rede de hipermercados**. São Francisco: Blogger, 2004.

McINTOSH, R.I.; CULLEY, S.J.; MILEHAM, A.R.. **A critical evaluation of Shingo's SMED methodology**. International Journal of Production Research, v. 38, n°11, p. 2377-2395, 2000.

McINTOSH, R.I., CULLEY, S.J., MILEHAM, A.R., OWEN, G.W. **Improving Changeover Performance: a strategy for becoming a lean, responsive manufacturer.** Oxford, Butterworth Heinemann, 2001.

McINTOSH, R.I.; CULLEY, S.J.; MILEHAM, A.R.; OWEN, G.W.; REIK, M.. **Design for Changeover: enabling the design of highly flexible, highly responsible manufacturing process.** International Mass Customization Meeting (IMCM' 5) Concepts – tools – realization Klagenfur Austria, 2005.

MOCCELLIN, J. V.. **Programação da produção em sistemas flowshop utilizando um método heurístico híbrido algoritmo genético-busca tabu.** In: encontro nacional de engenharia de produção, 1999, Rio de Janeiro-RJ. Anais do XIX Enegep, v. 19. P. Cd-rom, 1999.

MONDEN, Y. **Produção sem estoques: uma abordagem prática ao sistema de produção da Toyota.** São Paulo: IMAM, 141 p. 1984.

MOREIRA, D.A.. **Administração da Produção e Operações.** São Paulo: Pioneira, 1993.

MOXHAN,C.; GREATBANKS,R.. **Prerequisites for the implementation of the SMED methodology: a study in the textile-processing environment.** The International Journal of Quality & Reliability Management. v. 18, n. 4/5, p. 404-414, 2001.

NAKAJIMA, S. **Introdução ao TPM – Total Productive Maintenance.** São Paulo: IMC Internacional Sistemas Educativos Ltda., 1989.

NOAKER, P.. **Pressed to reduce set-up?** Manufacturing Engineering. v. 107, p. 45-49, 1991.

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

PALMER, D.S.. **Sequencing Jobs through a Multi-stage Process in the Minimum Total Time - A Quick Method of obtaining a Near Optimum.** Operational Research Quarterly 16, 101-107, 1965.

PINEDO, M.; LEE, K.; LEUNG, J.Y.-T.. **Bi-criteria scheduling with machine assignment costs.** Elsevier I.J.P.E., 2012.

RAMASAMY, K.. **A Comparative Analysis of Management Accounting Systems on Lean Implementation.** A Thesis presented for the Master of Science Degree, The University of Tennessee, Knoxville, 2005.

SANTOS, A.C.O; SANTOS M.J.. **Utilização do indicador de eficácia global de equipamentos (OEE) na gestão de melhoria contínua do sistema de**

manufatura – Um Estudo de Caso. XXVII ENEGEP – Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 9 a 11 de Outubro de 2007.

SHINGO, S.. **A Revolution in Manufacturing: The SMED System.** Productive Press. Cambridge, MA, 1985.

SHONBERGER, R.J.. **Fabricação Classe Universal: as lições de simplicidade aplicadas.** São Paulo: Editora Pioneira, 1988.

SITTERS, R.. **Complexity of preemptive minsum scheduling on unrelated parallel machines.** Elsevier J. A., 2005.

SLACK, N.. **Administração da Produção.** São Paulo: Atlas, 1998.

SUGAI, M.; McINTOSH, R.I.; NOVASKI, O.. **Metodologia de Shigeo Shingo (SMED): análise crítica e estudo de caso.** São Carlos: Gestão e Produção, vol. 14 n², 2007.

SUGAI, M.; NOVASKI, O.; FUJIOKA, L.T.; JESUS,D.O.. **Redução de tempo de preparação e gestão de estoques no âmbito da gestão da cadeia de suprimentos: estudo de caso em uma empresa de derivados de petróleo.** XII SIMPEP – Bauru, SP, Brasil, 07 a 09 de Novembro de 2005.

SUGAI, Miguel. **Método de Classificação dos Elementos do Período da Retomada de Produção.** Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 153p. Tese (Doutorado), 2007.

THE PRODUCTIVITY DEVELOPMENT TEAM. **OEE for Operators: Overall Equipment Effectiveness.** Shopfloor Series, 1999.

TUBINO, D.F.. **Manual de planejamento e controle da produção.** 2. ed. SãoPaulo: Atlas, 2000.

TULSIAN, P.C.. **Cost Accounting.** New Delhi:Tata Mcgraw-Hill, 2007.