

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**A produção enxuta e o planejamento e
controle da produção em ambientes com
alta variedade de produtos e
demanda desnivelada**

Trabalho de Conclusão de Curso

Matheus de Carvalho Dias
Orientador: Prof. Doutor Antônio Freitas Rentes

São Carlos

Novembro/2009

Matheus de Carvalho Dias

A produção enxuta e o planejamento e controle da produção em ambientes com alta variedade de produtos e demanda desnivelada

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo para a obtenção
do título de Engenheiro de Produção Mecânica.

Orientador: Prof. Doutor Antônio Freitas Rentes

São Carlos

Novembro/2009

RESUMO

DIAS, M.C. A produção enxuta e o planejamento e controle da produção em ambientes com alta variedade de produtos e demanda desnivelada. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 2009.

Este trabalho de conclusão de curso propõe-se a estudar e aplicar um método para implantação da melhor sistemática possível para planejamento, programação e controle da produção num ambiente com alta variedade de produtos e com demanda desnivelada. O método será aplicado numa fábrica do setor metal-mecânico, localizada no interior do estado de São Paulo. O método mostra passo a passo, com a utilização de técnicas de produção enxuta, como fazer para projetar e implementar o novo sistema de planejamento, programação e controle da produção, utilizando uma abordagem mista de MRP e Kanban. O trabalho visa mostrar que não deve haver um sistema genérico que sirva para todos os produtos da empresa, mas que para alguns produtos com determinadas características de demanda deve-se usar sistemas puxados enquanto para outros deve-se usar o sistema MRP como forma de planejamento, programação e controle da produção.

Palavras-chave: produção enxuta, planejamento e controle da produção, alta variedade de produtos, demanda desnivelada

ABSTRACT

DIAS, M.C. A produção enxuta e o planejamento e controle da produção em ambientes com alta variedade de produtos e demanda desnivelada. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 2009.

This graduation work has the purpose of studying and applying a method to implement the best possible system to plan and schedule the production in an environment with high variety of products and fluctuating demand. The method will be applied in a plant of the metal-mechanic sector, placed in the state of São Paulo. The method shows, step by step, with the utilization of lean production techniques, how to do to project and implement the new planning and scheduling production system, using a hybrid approach of MRP and Kanban. The work wants to show that it is not supposed to have a generic system that is appropriate for all the products of the company. For some products with some specific demand aspects, the pulled system is more appropriate while for other products the MRP is more adequate as a way to plan, schedule and control the production.

Key Words: Lean Production, production planning and scheduling, high variety of products, fluctuating demand

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Composição das atividades em um fluxo de valor.....	16
Figura 2: Mapa de fluxo de valor	19
Figura 3: Processamento em fluxo contínuo	21
Figura 4 - Exemplo de quadro kanban.....	27
Figura 5 - Sistema desnivelado tradicional	38
Figura 6 - Sistema desnivelado (reflexo de uma demanda desnivelada)	38
Figura 7 - Proposta de um sistema nivelado	38
Figura 8 - Exemplo do TPT em um sistema desnivelado	40
Figura 9 - Representação do TPT em um plano de produção nivelado	41
Figura 10 - Definição do processo puxador.....	48
Figura 11 - Fatores a serem contemplados no dimensionamento do supermercado.....	51
Figura 12 - Fórmula para cálculo do tamanho do supermercado	52
Figura 14 - Cálculo do tempo disponível total.....	54
Figura 15 - Cálculo do tempo disponível para realização de setups	55
Figura 16 - Cálculo do número de ciclos de setup possível de ser realizado	56
Figura 17 - Exemplo de quadro heijunka box	64
Figura 18 - Mapa de fluxo de valor (Situação Atual).....	67
Figura 19 - Mapa de Fluxo de Valor (Situação Futura).....	69
Figura 20 - Exemplos de famílias de loops.....	72
Figura 21 - Quadro Kanban corte a laser	75
Figura 22 - Quadro de Programação Macro da Solda.....	76
Figura 23 - Exemplo de quadro de programação micro.....	78
Figura 24 - Exemplo de cartão Kanban implementado.....	80
Figura 25 - Exemplo de supermercado implementado	80
Figura 26 - Gráfico do Índice de Faturamento Mensal por Funcionário.....	82
Figura 27 – Gráfico do Índice de Entregas Mensais por Atraso	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação das partes e sistemas de controle para cada caso.....	34
Tabela 2 - Definição das subfamílias de controle	50
Tabela 3 - Cálculo do tempo de carregamento total	55
Tabela 4 - Cálculo do tempo total gasto com setups.....	56
Tabela 5 - Dimensionamento da quantidade de cartões no quadro semáforo	58
Tabela 7 - Subfamílias de programação e controle	71
Tabela 8 - Definição das famílias de loop.....	72
Tabela 9 - Cálculo da porcentagem relativa para cada família de tempo (células solda).....	77

SUMÁRIO

RESUMO	2
ABSTRACT	4
LISTA DE FIGURAS.....	5
LISTA DE TABELAS.....	6
SUMÁRIO.....	7
1. INTRODUÇÃO	9
1.1. APRESENTAÇÃO DA PESQUISA.....	9
1.2. OBJETIVOS	9
1.3. CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1. Produção enxuta	12
2.1.1. Atividades que agregam e que não agregam valor.....	15
2.1.2. Os Cinco Princípios da Produção Enxuta	17
2.1.3. Mapeamento do fluxo de valor.....	18
2.1.4. Fluxo contínuo	21
2.1.5. <i>Kaizen</i>	22
2.2. Planejamento, programação e controle da produção	23
2.2.1. Sistemas MRP	24
2.2.2. Sistemas puxados (Kanban/JIT)	26
2.2.3. Fatores que influenciam na escolha do sistema de PCP	30
2.2.4. Alta variedade de produtos e componentes.....	32
2.2.5. Sistemas híbridos de programação e controle da produção.....	33
2.3. Nivelamento.....	36
2.3.1. Nivelamento da produção	37
2.3.2. Plano nivelado x Plano desnivelado	39
2.3.3. Nivelamento de vendas.....	41

3. MÉTODO PROPOSTO	44
3.1. Projeto macro do sistema de planejamento e programação da produção...	44
3.1.1. Definição dos pontos de supermercado.....	46
3.1.2. Definição do processo puxador.....	48
3.2. Definição das subfamílias de programação e controle da produção	48
3.3. Dimensionamento do tamanho dos supermercados	51
3.3.1. Identificação do recurso gargalo em cada loop.....	53
3.3.2. Cálculo do TPT de cada loop.....	53
3.3.3. Definição da distribuição dos cartões no quadro semáforo.....	57
3.4. Definição das sistemáticas de programação e controle da produção.....	58
3.5. Programação e nivelamento do processo puxador	61
3.6. Implementação do novo sistema de planejamento, programação e controle da produção	65
4. ESTUDO DE CASO	66
4.1. Apresentação da empresa	66
4.2. Aplicação do método proposto	68
4.2.1. Projeto macro do sistema de planejamento e programação da produção	68
4.2.2. Definição das subfamílias de programação e controle da produção.....	70
4.2.3. Dimensionamento do tamanho dos supermercados.....	73
4.2.4. Definição das sistemáticas de programação e controle da produção ...	74
4.2.5. Programação e nivelamento do processo puxador.....	78
4.2.6. Implementação do novo sistema de planejamento, programação e controle da produção	79
5. RESULTADOS OBTIDOS.....	82
6. CONCLUSÃO	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86

1. INTRODUÇÃO

1.1. APRESENTAÇÃO DA PESQUISA

O trabalho visa estudar a produção enxuta em ambientes de alta variedade de produtos, com estruturas complexas e que sofrem com picos de demanda num certo período de tempo. Num ambiente como este, torna-se essencial o estudo e a escolha do melhor sistema de planejamento e controle da produção para os diferentes produtos que estão no portfólio da empresa. Além da escolha do sistema de PCP, o trabalho tem a intenção de mostrar os impactos e benefícios dos nivelamentos de produção e de vendas. Será feito um estudo de caso em uma empresa de médio porte, do setor metal-mecânico, localizada no interior de São Paulo, que oferece uma diversidade muito alta de produtos para veículos automotores e máquinas e equipamentos agrícolas e que conta com pedidos desnivelados em sua carteira. Estes produtos têm também uma alta variedade de componentes.

1.2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo estudar um método que ajude na escolha do sistema de PCP a ser utilizado, num ambiente em que a variedade de produtos é muito alta. Além da variedade alta, outro agravante do ambiente a ser estudado é a diversidade de componentes na estrutura de produto.

Outro objetivo do trabalho em questão é o estudo dos sistemas puxados de produção, fazendo-se o nivelamento da produção no processo puxador. Com isso, pretende-se mostrar os benefícios de uma produção balanceada.

Finalmente, tem-se a intenção de mostrar a importância do nivelamento das vendas e seus benefícios para a produção, já que o ambiente a ser estudado também apresenta um grave problema: pedidos desnivelados em sua carteira.

1.3. CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA

A produção enxuta, que começou a ser adotada pelas empresas em busca de uma resposta mais rápida à demanda do cliente, iniciou-se no Japão na década de 40, na época pós-guerra. Os conceitos foram desenvolvidos pela Toyota Motor Company e vieram a ser disseminados de forma mais intensa no mundo ocidental após o lançamento do livro *“A máquina que mudou o mundo”*, de Womack e Jones (1992).

Uma das principais ferramentas utilizadas no Sistema Toyota de Produção (STP) é o sistema puxado de produção, que também é conhecido como sistema Kanban. Neste sistema, é mantido um supermercado (estoque) e quando um produto que estava neste supermercado é consumido, é disparado um cartão Kanban, que funciona como uma ordem para o processo anterior produzir este produto novamente para repor o supermercado. A existência deste supermercado faz com que a demanda seja atendida mais rapidamente, além de facilitar o planejamento e controle da produção.

Muitas organizações caracterizadas por trabalharem em mercados de alta variabilidade de produtos e componentes, com diferentes comportamentos de demanda, acreditam que o sistema puxado não seja aplicável num ambiente como este. Estas organizações fazem uso do MRP como ferramenta de planejamento e controle da produção, fazendo previsões da demanda dos diversos produtos, e gerando ordens de produção fluxo abaixo, baseadas nos diferentes *lead times* dos processos.

Este trabalho tem a intenção de mostrar que é possível a implantação de sistemas puxados de produção coexistindo com sistemas MRP numa mesma organização, que esteja trabalhando num ambiente de alta variedade de produtos e componentes. A escolha do sistema deve ser feita com base na análise de três características para cada produto (e seus respectivos componentes): volume da demanda, frequência da demanda e custo do produto.

Além do que está descrito acima, o trabalho pretende mostrar os impactos e benefícios do nivelamento da produção no processo puxador, para os produtos que irão serem produzidos via Kanban. Juntamente à definição dos itens que irão para supermercado, é muito importante que a produção seja nivelada no processo

puxador, para evitar diversos problemas no fluxo produtivo ocasionados por uma puxada desnivelada. Estes problemas serão estudados e explicitados ao longo do trabalho.

Mesmo que a programação da produção no processo puxador esteja nivelada, fica muito difícil o atendimento à demanda (sem a existência de estoques extras) caso as vendas estejam desniveladas. Não há sistema de planejamento e controle da produção que possa agüentar um forte desnivelamento da demanda. Assim, pretende-se também verificar os prejuízos causados pelo desnivelamento da demanda e propor alguns mecanismos para balancear a demanda ao longo do mês. Com isso, a produção pode trabalhar mais facilmente para atender às vendas, já que os grandes picos de demanda devem ser eliminados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para o desenvolvimento deste trabalho, inicialmente serão explicitados os principais conceitos da produção enxuta que são pertinentes ao tema em estudo. Serão explicados os conceitos de atividades que agregam valor e atividades que não agregam valor, os cinco princípios da produção enxuta, a ferramenta de mapeamento de fluxo de valor, a importância de criar-se fluxo contínuo e uma visão a respeito de Kaizen.

Após a descrição acerca dos conceitos de produção enxuta, o foco passará a ser o tema planejamento, programação e controle da produção. Neste tópico serão explicados inicialmente os dois sistemas de PCP que serão estudados: sistemas MRP e sistemas puxados (Kanban). Após estes dois sistemas serem abordados, será feita uma explanação dos ambientes com alta variedade de produtos e serão detalhados os principais fatores que influenciam na escolha do sistema de planejamento, programação e controle da produção. Finalmente, será estudado o funcionamento dos sistemas híbridos de planejamento e controle da produção

Por fim, o último grande tópico da revisão bibliográfica será a respeito de um planejamento nivelado para a organização. O primeiro subtópico será o de nivelamento da produção. Após isso, será feita uma comparação entre planejamento nivelado e planejamento desnivelado, mostrando as principais vantagens do primeiro em relação ao segundo. Após isso, será falado finalmente sobre a importância do nivelamento de vendas da empresa.

2.1. *Produção enxuta*

A produção enxuta, também conhecida como manufatura enxuta, *lean manufacturing*, *lean production* ou Sistema Toyota de Produção (STP), surgiu no Japão, em meados da década de 40, após a Segunda Guerra Mundial, sendo desenvolvida pela montadora automobilística Toyota. Esta filosofia visa aumentar a

produtividade, reduzir custos, atender melhor ao cliente e manter a qualidade a partir da eliminação dos desperdícios ao longo do fluxo de valor.

Os precursores da produção enxuta foram os engenheiros japoneses Eiji Toyota e Taiichi Ohno, que num contexto em que o Japão estava dizimado depois da Segunda Guerra Mundial, passaram a fazer visitas à Ford e à GM nos Estados Unidos, que utilizavam o sistema de produção em massa. Estes dois engenheiros perceberam então que o sistema de produção em massa seria inviável de ser aplicado naquela época no Japão, já que os japoneses não estavam com poder aquisitivo suficiente para gerar uma boa demanda. Assim, não seria bom para a Toyota construir grandes linhas de produção dedicadas a um só veículo, como faziam os americanos na época. Além disso, o espaço físico do Japão era limitado e a Toyota não dispunha de recursos suficientes para fazer investimentos. Dessa maneira, a empresa percebeu que tinha que ter capital de giro e não podia se dar ao luxo de manter altos níveis de estoque para “proteger-se” dos problemas que viessem a ocorrer no dia-a-dia da produção. Eiji Toyoda e Taiichi Ohno perceberam então que teriam que adaptar o modelo fordista de produção em massa de acordo com as necessidades do mercado japonês. Segundo Liker (2005), estas necessidades eram: alta qualidade, baixo custo, menor lead time e flexibilidade.

Dentro do contexto citado acima é que surgiu o Sistema Toyota de Produção, que depois passou a ser chamado de produção enxuta ou manufatura enxuta. Este sistema rendeu bons frutos à Toyota, que começou a crescer e se destacar no mercado automobilístico. Empresas do mundo todo passaram a tentar copiar o sistema de produção da Toyota, principalmente após o lançamento do livro “A máquina que mudou o mundo”, de Womack e Jones (1992). Este livro surgiu a partir de uma pesquisa de professores do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), que visava comparar a produção enxuta com os sistemas convencionais de produção, mostrando os principais resultados e benefícios das aplicações da indústria automobilística japonesa em relação, principalmente, às indústrias automobilísticas norte-americana e européia.

Atualmente, várias empresas tentam implementar a produção enxuta, de forma a combater os desperdícios, aumentando a produtividade, reduzindo o Lead Time e atendendo melhor ao cliente. É importante ressaltar que a produção enxuta busca fazer mais com o mesmo, ou seja, aumentar a produtividade utilizando os

mesmos recursos, sem cortar gastos demitindo funcionários. Esta filosofia é diferente da reengenharia, que buscava produzir mais ou o mesmo com menos recursos, fazendo prática do *downsizing*, que cortava custos demitindo vários colaboradores.

Womack e Jones (1992) conceituam a forma de gerenciar a produção no STP da seguinte maneira:

- sistema produtivo integrado, com enfoque no fluxo de produção, produção em pequenos lotes baseando-se no just-in-time e estoques reduzidos;
- propicia ações de preventivas de defeitos ao invés de tomar somente ações corretivas;
- atua com produção puxada em vez da produção empurrada baseada em previsões de demanda;
- é flexível, sendo organizada por meio de equipes de trabalho formadas por mão-de-obra polivalente;
- pratica um envolvimento efetivo na solução das causas de problemas objetivando a maximização do valor agregado ao produto final;
- relacionamento de parceria intensivo desde o primeiro fornecedor até o cliente final.

Ohno (1997), considerado o idealizador do TPS, define a base do sistema como a absoluta eliminação do desperdício, suportada por dois pilares: *Just in time* e automação. *Just in time* é o sistema no qual algo somente é produzido no momento necessário, puxado pela demanda do processo posterior, e em última instância pelo cliente final. Automação tem o sentido de automação com interferência humana, e abrange o aumento da produtividade através da separação dos tempos das atividades das máquinas e de seus operadores, possibilitada por mecanismos, tais como a parada automática de máquinas, impedindo que erros sejam produzidos em série (OHNO, 1988).

A expressão Produção Enxuta foi definida pelo pesquisador John Krafcik do IMVP (*International Motor Vehicle Program* – Programa Internacional de Veículos Automotores) entendendo “enxuta” por utilizar menores quantidades de tudo em comparação com a produção em massa: metade do esforço dos operários na fábrica, metade do espaço para fabricação, metade do investimento em ferramentas, metade das horas de planejamento para desenvolver novos produtos em metade do

tempo. Requer menos de metade dos estoques no local de fabricação, além de resultar em bem menos defeitos e produzir uma maior e sempre crescente variedade de produtos. E ainda, combina as vantagens das produções artesanais e em massa, evitando os altos custos dessa primeira e a rigidez desta última, com essa finalidade, emprega equipes de trabalhadores multiquificados em todos os níveis da organização, além de máquinas flexíveis e cada vez mais automatizadas, para produzir imensos volumes de produtos de ampla variedade (WOMACK e JONES, 1992).

2.1.1. Atividades que agregam e que não agregam valor

Ao longo de um fluxo de valor em um sistema produtivo, desde a entrada da matéria-prima até a entrega do produto acabado ao consumidor, podemos enxergar três tipos básicos de atividades: as atividades que agregam valor, as atividades que não agregam valor e as atividades que não agregam valor porém necessárias. Cada uma destas atividades será melhor explicada abaixo:

Atividades que agregam valor (AV): são aquelas atividades que, vistas pelo cliente, tornam o produto mais valioso. O cliente está disposto a pagar por estas atividades.

Atividades que não agregam valor (NAV): são aquelas atividades que, vistas pelo cliente, não tornam o produto mais valioso. Não interessa para o cliente se estas atividades foram ou não realizadas ao longo do fluxo produtivo. Ele está interessado em pagar somente pelas atividades que agregam valor ao produto.

Atividades que não agregam valor, porém necessárias: são aquelas atividades que, vistas pelo cliente, não tornam o produto mais valioso, mas realmente precisam ser feitas, de acordo com o processo produtivo atual. A não ser que o processo produtivo mude radicalmente, estas atividades, apesar de não agregarem valor para o cliente final, realmente precisam ser realizadas.

A Figura 1 representa bem a composição destas atividades ao longo da linha de tempo do fluxo de valor:

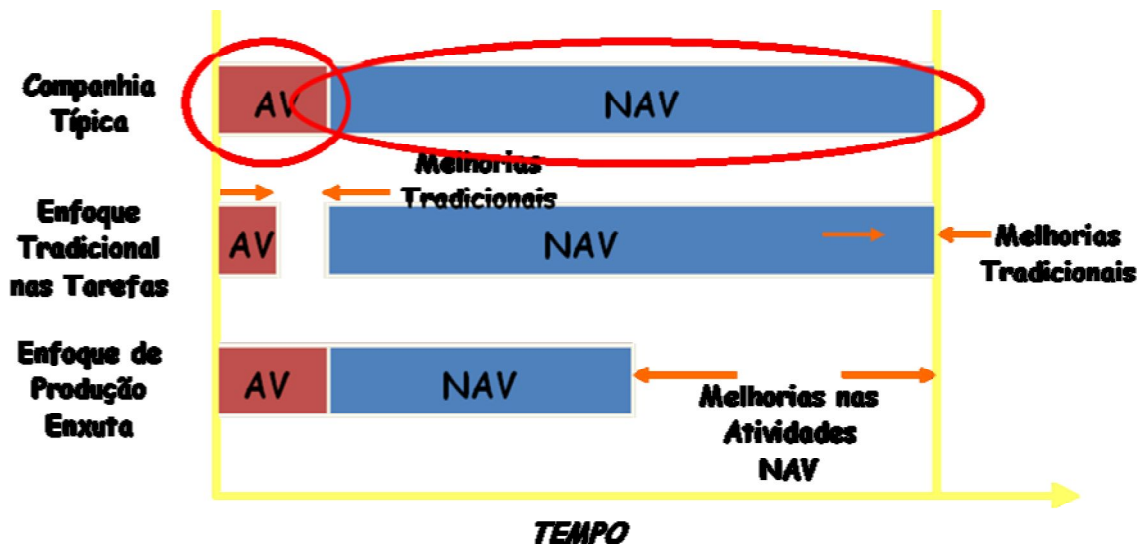


Figura 1: Composição das atividades em um fluxo de valor (adaptado de Hines e Taylor)

Segundo Hines e Taylor (2000), dentro dos processos de manufatura apenas 5% das atividades correspondem a atividades que agregam valor, enquanto nos processos administrativos estas atividades correspondem apenas a 1%.

As atividades que não agregam valor são os chamados desperdícios. Segundo Ohno (1997), os desperdícios podem ser classificados em:

Superprodução: este primeiro desperdício significa a produção acima do necessário ou antes do necessário. A superprodução consome recursos num momento em que não é preciso e acaba gerando inventário extra.

Defeitos: erros freqüentes no processamento da informação, problemas na qualidade do produto ou baixo desempenho na entrega. Defeitos geram retrabalho ou perda da peça e em ambos os casos, geram custos que não agregam valor para o cliente.

Esperas: longos períodos de inatividade de bens, pessoas e de informações. Estes bens, pessoas ou informações ficam parados, sem receber processamento algum. Estas esperas não agregam nenhum valor para o cliente.

Processamento inadequado: é o fato de executar o processo com ferramentas ou procedimentos não apropriados, em detrimento de abordagens mais simples e eficientes.

Estoques desnecessários: armazenamento excessivo de matéria-prima, material em processo ou de produto acabado. O inventário desnecessário é dinheiro

parado (que poderia estar investido ou estar rendendo juros), não se tem certeza de que o estoque será consumido, o que pode gerar obsolescência, e faz com que seja necessária uma área extra para armazenamento. Esta categoria de desperdício pode ser em decorrência da superprodução, não agregando valor aos olhos do cliente.

Movimentação excessiva: excesso de movimentação dos operadores levando ou buscando peças, material ou recursos para serem utilizados no processo. É a movimentação dos operadores quando estes não estão agregando valor ao produto. Geralmente ocorre quando o layout é mal projetado.

Transporte excessivo: deslocamento desnecessário da matéria-prima, material em processo e de produtos acabados dentro da fábrica ou entre fábricas, resultando em aumento no tempo, no esforço e no custo. Geralmente também ocorre quando o layout é mal projetado.

2.1.2. Os Cinco Princípios da Produção Enxuta

Já vimos que o intuito da produção enxuta é aumentar a produtividade eliminando ou reduzindo os desperdícios (atividades que não agregam valor), ou seja, utilizando os mesmos recursos disponíveis. Segundo Womack e Jones (1996), a produção enxuta possui cinco princípios básicos que devem ser seguidos:

1) Determinar o que é **valor** para o cliente: deve-se identificar o que agrega valor para o cliente, ou seja, identificar a necessidade do cliente e pelo que ele está disposto a pagar.

2) Identificar o **fluxo de valor**: deve-se identificar toda a seqüência de operações, especificando as atividades que agregam e que não agregam valor no processo produtivo. Significa enxergar todo o fluxo do produto e não as atividades de forma isolada.

3) Implementar **fluxo contínuo**: através da análise do fluxo de valor, deve-se implementar fluxo contínuo sempre que possível, pois é a melhor maneira de evitar que a maioria dos desperdícios possam ocorrer. Consiste em produzir um item de

cada vez e não em lotes, como era pregado na produção em massa. O fluxo contínuo será melhor abordado em um tópico a parte.

4) Onde não for possível implantar o fluxo contínuo deve ser estabelecida a **lógica da produção puxada**. Há casos em que o fluxo contínuo não pode ser implantado, por exemplo quando as máquinas têm que ficar distantes uma das outras ou quando há um lote mínimo para ser feito em determinado processo, como em um tratamento térmico. Nestes casos, deve-se estabelecer a lógica da puxada, produzindo-se somente o que é necessário e quando for solicitado. O sistema puxado de produção também terá um tópico a parte neste trabalho.

5) Buscar a **perfeição**: atingir a perfeição deve ser a meta constante da empresa. A melhoria contínua deve sempre ser buscada, de forma a atingir cada vez mais os anseios do cliente. A empresa nunca deve estar satisfeita com a situação atual. Este é o quinto e último princípio que norteia o Sistema Toyota de Produção.

2.1.3. Mapeamento do fluxo de valor

Para conhecer o fluxo de valor desde o fornecimento da matéria-prima até a entrega do produto final para o cliente, passando por todos os processos produtivos, uma ferramenta fundamental da produção enxuta é o mapeamento do fluxo de valor. Esta ferramenta foi proposta por Womack e Jones no início dos anos 90 e disseminada através do livro “Aprendendo a enxergar”, de Rother e Shook (1999).

O mapeamento do fluxo de valor ajuda a enxergar o diagnóstico da situação atual da empresa. Com o diagnóstico da situação atual em mãos, fica mais fácil de fazer propostas de alterações para chegar-se a uma situação futura, que obviamente deve ser melhor do que a situação atual. Na representação do mapa de fluxo de valor, pode-se enxergar os grandes focos de desperdício ao longo do fluxo produtivo. Na Figura 2 tem-se um exemplo de um mapa de fluxo de valor:

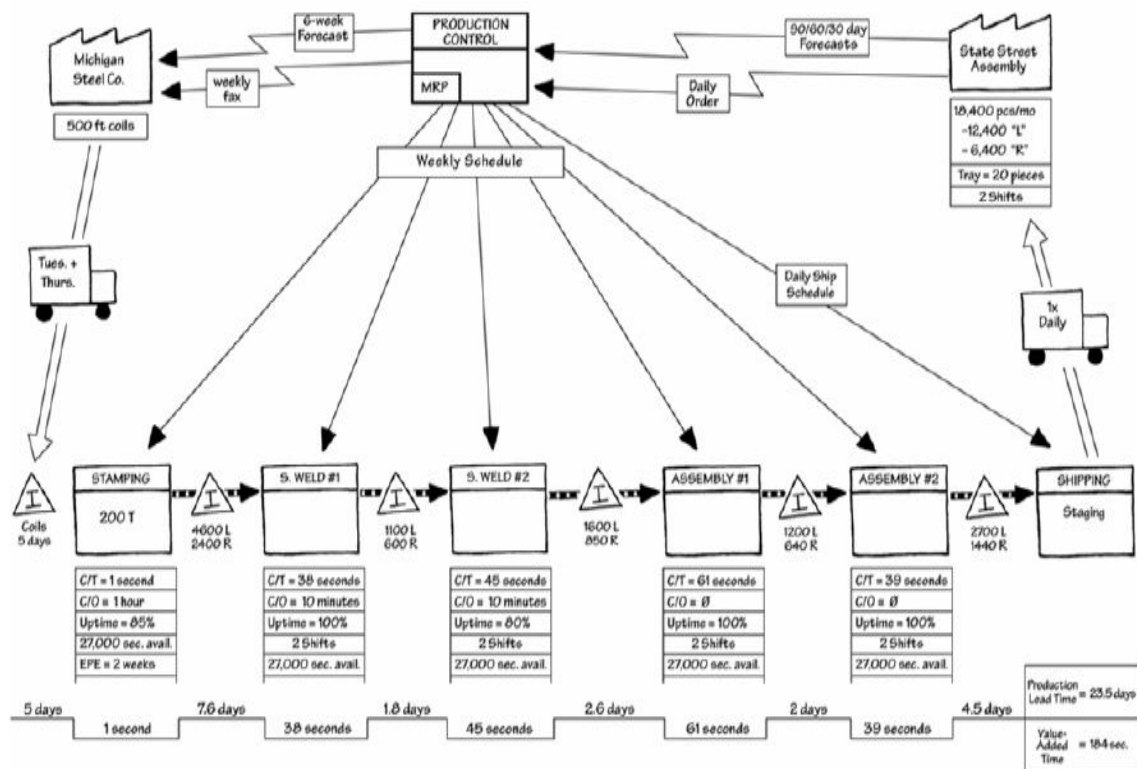


Figura 2: Mapa de fluxo de valor
(Fonte: ROTHER, M.; SHOOK, J. 1999)

Segundo Rother e Shook (1999), as principais vantagens do mapeamento do fluxo de valor são:

- 1) Ajuda a ter uma visão sistêmica do fluxo de valor;
- 2) Ajuda a identificar as fontes de desperdícios do fluxo;
- 3) Fornece uma só linguagem para se tratar de processos de manufatura;
- 4) Tornam as decisões do fluxo visíveis, contemplando inclusive detalhes;
- 5) Evita a implementação de técnicas isoladamente;
- 6) Os mapas tornam-se como uma referência para o plano de implementação enxuta;
- 7) Mostra a relação entre o fluxo de informação e de materiais;
- 8) É uma ferramenta qualitativa, que descreve em detalhes como sua unidade produtiva deveria operar para criar este fluxo.

Para mapear o fluxo de valor, deve-se iniciar selecionando uma família de produtos. Numa família de produtos, estão agrupados produtos que passam pelos

mesmos processos (ou processos semelhantes) ao longo do fluxo de valor. Com a família de produtos definida, deve-se fazer o desenho da situação atual. Com o desenho da situação atual em mãos, deve-se propor a situação futura. Após a aprovação da situação futura, deve-se fazer um plano de ação para implementação da situação futura projetada.

Segundo Rother e Shook (1999), há sete passos que devem ser seguidos para o desenho da situação futura:

1) Produza de acordo com o *Takt Time*. O *Takt Time* é o ritmo de produção que deve ser seguido para atender-se a demanda do cliente. O cálculo do Takt é feito a partir da divisão do tempo disponível pela demanda do cliente. Tanto o tempo disponível quanto a demanda do cliente devem estar num mesmo horizonte de tempo. Exemplo: $\text{Takt time} = \text{tempo disponível turno} / \text{demanda turno}$.

2) Desenvolva um fluxo contínuo onde for possível, evitando estoques entre os processos.

3) Use supermercados entre processos onde não for possível a implantação de fluxo contínuo.

4) Tente enviar a ordem de produção somente para um processo de produção, normalmente mais para o fim do fluxo. Este processo é chamado de processo puxador.

5) Distribua a produção de diferentes produtos uniformemente no decorrer do tempo no processo puxador, nivelando a produção.

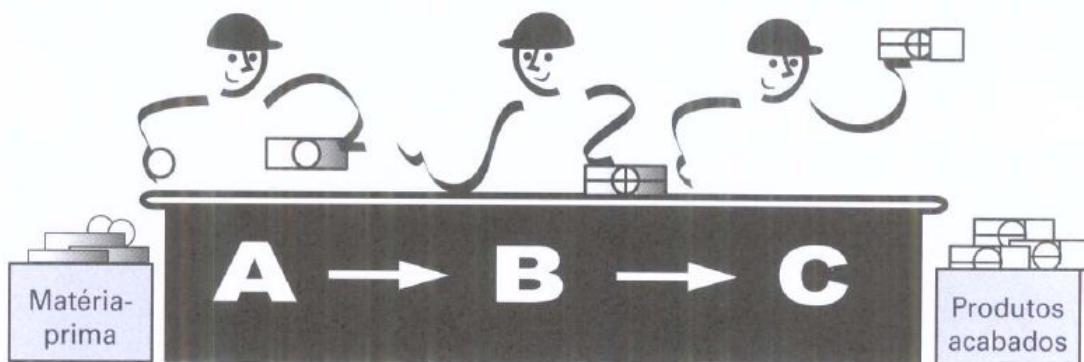
6) Libere somente um pequeno e uniforme incremento de trabalho a cada *pitch*. Se o *takt time* é 30 segundos e o tamanho da embalagem é de 10 peças, o *pitch* é de $30 \times 10 = 300$ s. Assim, a liberação de ordem de produção no processo puxador só deve ser feita a cada 300 segundos.

7) Desenvolva a habilidade de fazer “toda parte todo dia” nos processos anteriores ao processo puxador. “Toda parte todo dia”, ou TPT, significa o tempo gasto entre o início da produção de um lote de um tipo de peça e o próximo início de outro lote deste mesmo tipo. Ele representa o quão freqüente um sistema de produção pode entregar um dado tipo de peça para o cliente. Quanto menor for o TPT, menor o tamanho do lote e do tamanho do inventário em processo.

2.1.4. Fluxo contínuo

Produzir em fluxo contínuo significa processar e movimentar um item por vez (ou um lote pequeno de itens) ao longo de uma série de etapas de processamento, continuamente, sendo que em cada etapa se realiza apenas o que é exigido pela etapa seguinte. Também chamado de fluxo de uma peça ou fluxo de uma só peça, (*one-piece flow*) o fluxo contínuo pode ser realizado tanto em linhas de produção ou montagem quanto em células manuais ou automáticas (ROTHER e HARRIS, 2001).

O fluxo contínuo é um dos focos da produção enxuta, trazendo vários benefícios para a produção. Além de uma maior agilidade, com a implantação do fluxo contínuo, vários desperdícios são evitados, como: esperas, formação de estoques intermediários, superprodução, movimentação e transporte. Outra vantagem é no que diz respeito à qualidade: caso o processo esteja ocorrendo de forma inadequada, gerando defeitos, estes são detectados logo nas primeiras peças. Ou seja, não é necessário esperar o lote inteiro ser formado para que os defeitos sejam detectados, o que faria com que o lote inteiro fosse retrabalhado ou descartado. A Figura 3 representa um fluxo contínuo, desde a entrada de matéria-prima até a entrega de produtos acabados.



**Figura 3: Processamento em fluxo contínuo
(LEAN ENTERPRISE INSTITUTE, 2007)**

Para a implantação do fluxo contínuo, uma boa estratégia é a formação de arranjos celulares, em que as máquinas ficam dispostas próximas umas das outras, em forma de “U”. Uma célula, segundo Rother e Harris (2001), é definida como um arranjo de pessoas, máquinas, materiais e métodos em que as etapas do processo

estão próximas e ocorrem em ordem seqüencial, através da qual as partes são processadas em fluxo contínuo. O layout físico de uma célula em “U” é o mais conhecido, mas muitas formas variadas são possíveis. As principais características de uma célula de produção são: uma peça de cada vez; quase nenhum transporte; quase nenhum inventário em processo; máquinas menores, mais baratas e dedicadas; matéria-prima e componentes abastecidos por trás do ponto de uso; lead time curto; organizada pelo fluxo do produto; containeres pequenos; operadores multifuncionais.

2.1.5. Kaizen

A palavra “*Kaizen*”, em japonês, significa mudança boa e também pode ser entendida como mudar para melhor ou melhoria contínua. O fato é que *Kaizen* é uma importante ferramenta para implementação de mudanças dentro de uma empresa.

As melhorias dentro de uma empresa podem ser classificadas em melhorias de grande escala e melhorias de pequena escala. As melhorias de grande escala trazem, geralmente, resultados bastante atrativos para a empresa, porém, é difícil implementá-las considerando que necessita, normalmente, de investimentos altos, tempo para implementação das mudanças e afeta muitas pessoas e processos dentro de uma empresa. Já as melhorias de pequena escala são rápidas, fáceis e normalmente não necessitam de muito investimento de recursos. Seus efeitos costumam ser limitados em algumas pessoas ou alguns processos dentro da empresa. (STEFANELLI, 2007)

Segundo Perin (2005), o efeito cumulativo das melhorias de pequena escala é freqüentemente maior que uma simples melhoria de grande escala. E é na implementação dessas melhorias de pequena escala que se encontram os eventos *kaizen*.

O evento *Kaizen* é uma ferramenta efetiva para o desenvolvimento e implantação rápida de melhorias dentro de uma empresa. Para o evento *Kaizen*, há a formação de uma equipe que fica inteiramente focada num certo período de tempo

(geralmente 5 dias) para que os objetivos propostos possam ser atingidos. Durante o período do evento *Kaizen*, as pessoas que formam a equipe não precisam se preocupar em fazer suas atividades do dia-a-dia. Esta equipe geralmente é formada por pessoas de diferentes níveis hierárquicos da organização, ligadas ou não à área que receberá a melhoria. Além disso, o evento *Kaizen* normalmente é feito com poucos recursos, sem a necessidade de altos investimentos. A equipe tem prioridade caso necessitem utilizar recursos fabris e na coleta de informações.

A alta gerência deve estar sempre apoiando as iniciativas de eventos *Kaizen*, atuando assim como facilitadora deste tipo de metodologia. Ao fim do evento *Kaizen*, a equipe apresenta as melhorias e os resultados obtidos para a alta gerência e após isso, a equipe geralmente é gratificada com um almoço comemorativo, caso os objetivos estipulados tenham sido alcançados. A apresentação final é feita para reconhecer e justificar o trabalho feito ao longo do evento *Kaizen*. É importante notar que, à medida que os eventos *Kaizen* são realizados, eles começam a fazer parte da cultura da empresa, que passa a buscar sempre a realização de melhorias.

2.2. Planejamento, programação e controle da produção

Para escolher o sistema de planejamento, programação e controle da produção mais conveniente para uma empresa, é bom estar ciente de como funciona cada um destes, analisando também as principais vantagens e desvantagens. Muitas pessoas acreditam que cada empresa deve ter um tipo único de sistema. Este trabalho pretende mostrar que os sistemas podem ser complementares, usando MRP para alguns produtos com determinadas características, ou sistemas puxados para outros produtos com outras características. Estas definições de características serão especificadas ao longo do trabalho. Neste tópico, serão também abordados os ambientes com alta variedade de produtos e os principais fatores que influenciam na escolha de um sistema de PPCP.

2.2.1. Sistemas MRP

O MRP tem uma lógica que parte da visão de futuro de necessidade de produtos acabados e depois vem “explodindo” as necessidades de componente nível a nível, para trás no tempo. Por isso, é chamada de lógica de “programação para trás”. (CORRÊA, GIANESI e CAON, 2008)

No sistema MRP, as ordens são emitidas de acordo com um programa mestre aprovado. O sistema utiliza a técnica retroativa que começa pelos prazos dos itens finais e calcula retroativamente, com uso do *lead time* definido para cada item, quais são as datas necessárias de emissão das ordens de produção ou compra de materiais e componentes. A estrutura básica do sistema MRP foi criada para determinar as quantidades a produzir estritamente necessárias nos momentos necessários. Entretanto, podem identificar associados aos sistemas de cálculo de materiais do MRP, diferentes formas de emissão de ordens de produção. As principais formas de emissão de ordens são: (SCARPELLI, 2004)

Lote a Lote: dimensionam-se os lotes estritamente de acordo com cada demanda em cada período. Este método impede que resultem saldos excedentes em estoque, entretanto pode incorrer em uso inadequado dos recursos produtivos tendo em vista os tempos de preparação necessários.

Lote a intervalo fixo: o lote correspondente ao somatório das demandas de um intervalo determinado de períodos adjacentes. Agregam-se os lotes de períodos adjacentes de modo a compor menos lotes com quantidades maiores. Não há saldos excedentes em estoque ao término do intervalo de tempo estabelecido, embora existam estoques, como função do número de períodos adjacentes considerados.

Lotes fixos: os lotes de itens fabricados serão normalmente baseados em algum critério ponderado por custos de preparação (setup) contra custos de manutenção de estoques (lote econômico). Normalmente, restará alguma sobra em estoque. Isto implica que no cálculo de necessidade do período subsequente, a disponibilidade de estoque deve ser deduzida da necessidade bruta.

Segundo Corrêa e Gianesi (2008), uma das principais vantagens dos sistemas MRP é sua natureza dinâmica, reagindo bem às mudanças. A mudança de um item de programa-mestre pode afetar centenas de componentes. Os sistemas

MRP parecem ser mais úteis para situações em que as estruturas de produtos sejam complexas, com vários níveis e componentes por nível e em que as demandas sejam instáveis. Outra vantagem do sistema MRP é por ser um sistema de informações integrado, que disponibiliza para um grande número de usuários uma grande quantidade de informações. Esta troca de informações, se bem aproveitada, pode ser bastante útil para a empresa.

Ainda segundo Corrêa e GIANESI (2008), as principais limitações dos sistemas MRP são:

- Pacote de computador grande, complexo e caro, que em geral não é fácil de ser adaptado às necessidades da empresa usuária. Com isso, muitas empresas tentam se adaptar ao sistema, já que o sistema é difícil de se adaptar às peculiaridades da empresa.
- É um sistema “passivo”, no sentido de aceitar sem questionar os parâmetros a serem inseridos.
- Por ser passivo e centralizado, não favorece que os operários se engajem na melhoria do sistema produtivo, já que o MRP assume as responsabilidades por grande parte das decisões, deixando os operários na função de “cumpridores” do plano. Um sistema centralizado permite quantidade muito restrita de ajustes locais.
- Ao programar as atividades para as datas mais tarde possível, o sistema fica menos robusto e mais frágil aos atrasos, quebras de máquina e problemas de qualidade, por exemplo.
- É um sistema de planejamento “infinito”, ou seja, não considera as restrições de capacidade quando das explosões de materiais.

Os tempos de ressuprimento (*lead times*) dos itens são dados de entrada do sistema MRP e fixos. Isso significa que se devem avaliar estes tempos a priori da programação, inclusive os tempos de fila, que paradoxalmente são decorrentes da forma que se usa para fazer a própria programação. Conforme a situação da fábrica, os tempos de ressuprimentos podem mudar, de acordo com a situação das filas do sistema. Como o MRP considera, para efeito de programação, estes tempos como prefixados, conforme a situação das ordens na fábrica, os dados usados pelo MRP podem perder a aderência à realidade. (CORRÊA e GIANESI, 2008)

2.2.2. Sistemas puxados (Kanban/JIT)

O sistema de “puxar” a produção a partir da demanda, produzindo em cada estágio somente os itens necessários, nas quantidades necessárias e no momento necessário, ficou conhecido no Ocidente como sistema Kanban. Este nome é dado aos cartões utilizados para autorizar a produção e a movimentação de itens ao longo do processo produtivo. (CORRÊA e GIANESI, 2008)

Os cartões (Kanban) limitam e controlam a quantidade a ser produzida. Dessa forma, os estoques também ficam limitados a uma certa quantidade dimensionada pelos cartões. Segundo Nazareno (2008), só devem ser produzidas ou retiradas peças de um processo (ou estoque), caso tenham-se cartões correspondentes a elas, e na quantidade fixada nos cartões.

Segundo Silva (2007), existem três tipos básicos de controle por kanban:

Kanban de sinal: este sistema é baseado em um ponto de reposição seguro que é o sinal que dispara a produção. Quando o consumo chega um determinado nível o sinal é disparado para o processo produtor. É mais utilizado para itens de baixo custo como parafusos, arruelas, rebites.

Sistema de um kanban (um cartão): consiste na utilização de um único cartão kanban, o kanban de produção. Cada cartão corresponde a um lote e conforme o processo cliente consome as peças do supermercado os cartões são colocados no quadro e ao formar o lote de reposição a produção é disparada para o processo produtor.

Sistema de dois kanbans (dois cartões): consiste na utilização de dois cartões kanban, o kanban de produção e o kanban de transporte. O kanban de transporte permite a movimentação das peças do supermercado ao processo cliente. O funcionamento do kanban de produção é o mesmo do sistema de um kanban.

Monden (1998) comenta que para um sistema kanban funcionar de forma eficiente deve obedecer aos seguintes princípios: o processo cliente necessita retirar produtos do processo fornecedor na quantidade necessária e no tempo necessário; o processo fornecedor precisa produzir na quantidade retirada pelo processo cliente; os produtos defeituosos nunca podem ser passados ao próximo

processo; o número de kanbans necessita ser minimizado; e no cálculo do kanban deve ser considerada pequenas variações na demanda.

A dinâmica de funcionamento é a seguinte: o processo cliente consome a peça quando necessário. Ao consumir a peça, o cartão que estava junto da peça volta para o processo fornecedor. No processo fornecedor, o cartão é colocado em um quadro de gestão visual, para auxiliar a tomada de decisão do que deve ser produzido. Este quadro é chamado de quadro Kanban ou quadro semáforo, por conter as cores verde, amarela e vermelha. Os cartões devem ser colocados no quadro primeiramente na faixa verde, depois na amarela e por fim na vermelha. A Figura 4 a seguir ilustra um quadro kanban:



Figura 4 - Exemplo de quadro kanban

A faixa verde do quadro tem o significado de que ainda não é necessário produzir. A quantidade de cartões a ser depositada nesta faixa é correspondente ao lote de produção, ou seja, à quantidade de cartões correspondente ao TPT (toda parte todo) definido. Já a faixa amarela significa que o item deve ser produzido. A quantidade de cartões a ser depositada nesta faixa corresponde ao *lead time* de reposição do item em questão. Já a faixa vermelha sinaliza urgência para a produção do item, significando que a quantidade de peças que foi colocada de proteção está sendo consumida.

Segundo Antonelli (2008), o cálculo dos kanbans funciona da seguinte maneira: primeiro deve-se definir o tamanho do cartão, ou seja, quantas peças cada

cartão representará. Geralmente esta quantidade é referente à capacidade de armazenamento da embalagem, também conhecida como contenedor. Peças com baixa demanda devem ser colocadas em contenedores menores, enquanto peças com demanda maior podem ser colocadas em contenedores maiores. Após definido o tamanho do cartão, deve ser feito o seguinte cálculo:

Verde => Total de cartões referentes ao ciclo da peça (TPT) = (Demanda média diária + desvio padrão) * TPT / Tamanho do cartão (1)

Amarelo => Total de cartões referentes ao tempo de reposição da peça = (Demanda média diária + desvio padrão) * Lead Time de reposição / Tamanho do cartão (2)

Vermelho => Total de cartões referentes ao estoque de segurança = (Demanda média diária + desvio padrão) * Lead Time de segurança / Tamanho do cartão (3)

A soma das equações 1, 2 e 3 informa o total de cartões que determinado item deve ter. Ao multiplicar-se o total de cartões pela quantidade de peças por cartão, chega-se ao estoque máximo que o item pode ter, em número de peças.

Um aspecto importante é o da definição dos pontos de supermercado. Após o mapa de fluxo de valor ser desenhado, tem-se uma boa visão para definir onde deve haver pontos de supermercado. Ao longo do fluxo produtivo, existem pontos entre processos onde manter o fluxo contínuo pode ser inviável. Nestes pontos, é aconselhável a implantação de pontos de supermercado, que passarão a fazer uso da lógica da puxada, com o uso do sistema kanban. Segundo Rother e Shook (1999), nos seguintes casos é aconselhável a produção para supermercado ao invés de implementar o fluxo contínuo:

- Processos com tempo de ciclo muito lento ou muito rápido, e que são compartilhados por outras famílias de produtos;
- Processos localizados em fornecedores ou distantes por razões diversas;
- Processos poucos confiáveis para serem diretamente ligados a outros em fluxo contínuo;

- Processos com tempo de preparação (setup) muito alto, prejudicando a flexibilidade de resposta da linha;
- Processos muito longos, que tornam o tempo de resposta para o cliente muito demorado.

Uma vez definidos os pontos de supermercado ao longo do fluxo de valor, deve-se definir em qual processo entrará o pedido do cliente. Este processo recebe o nome de processo puxador. Os processos anteriores ao processo puxador produzirão de forma a repor o que for consumido no supermercado, que deve sempre oferecer peças para o processo puxador atender à demanda do cliente. Do processo puxador para frente, a produção ocorre em fluxo contínuo, de forma a dar uma resposta rápida para o cliente.

As principais vantagens do sistema kanban, segundo Gaury (2000), são:

- Redução do estoque de material em processo;
- Os setores produtivos são melhores aproveitados, resultando numa maior capacidade total das linhas produtivas, ou seja, num aumento da produtividade;
- Os tempos de obtenção (*lead time*) são reduzidos, quer em nível de itens individuais, quer em termos de produto final. Portanto, é possível antecipar os prazos de entrega;
- O nível de existência de produtos finais pode ser reduzido, ou até mesmo deixar de existir. Melhor administração dos estoques em processo e final;
- Menor ocupação de espaço, até a extinção, para estoques intermediários e diminuição das áreas de almoxarifado e armazenagem na expedição.

As principais limitações do JIT estão ligadas à flexibilidade de faixa do sistema produtivo, no que se refere à variedade de produtos oferecidos ao mercado e a variações de demanda de curto prazo. O sistema JIT requer que a demanda seja estável para que se consiga um balanceamento adequado dos recursos, possibilitando um fluxo de materiais suave e contínuo. Caso a demanda seja muito instável, há a necessidade de manutenção de estoque de produtos acabados em um nível tal, que permita que a demanda efetivamente sentida pelo sistema produtivo tenha certa estabilidade. (CORRÊA e GIANESI, 2007)

Como o sistema kanban prevê a manutenção de certo estoque de componentes entre os centros de produção, conforme foi descrito, se houver uma variedade muito grande de produtos e de componentes, o fluxo de cada um não será contínuo e sim intermitente, gerando altos estoques em processo para cada item, principalmente considerando-se a demanda de cada um. Isto contraria uma série de princípios da filosofia JIT, comprometendo sua aplicação. (CORRÊA e GIANESI, 2007)

2.2.3. Fatores que influenciam na escolha do sistema de PCP

Vários estudos têm sido feitos, tendo em vista a comparação dos sistemas empurrado, puxado e híbrido. Há vários fatores que podem influenciar na escolha do melhor sistema de PCP.

A escolha estratégica de qual é o sistema mais apropriado para cada situação, assim como a sua gestão, deve estar ligada e coerente com os objetivos estratégicos da manufatura e com o tipo de processo produtivo envolvido. Os objetivos estratégicos da manufatura refletem as diferenças entre os vários segmentos de mercado a atingir, os quais vão demandar diferentes níveis de desempenho nos diferentes critérios (qualidade, custo, entrega e flexibilidade) que o sistema de manufatura pode influenciar. (CORRÊA e GIANESI, 2007)

Segundo Corrêa e Ganesi (2007), os seguintes fatores podem ser analisados e a partir disso, definido o sistema mais apropriado para cada um destes fatores:

Variedade dos produtos: o JIT é mais apropriado para baixa variedade de produtos, enquanto o MRP é mais apropriado num ambiente de alta variedade. A implantação do JIT de forma generalizada não deve ser feita num ambiente de alta variedade de produtos.

Complexidade dos roteiros: para baixa complexidade dos roteiros de fabricação, o JIT é mais apropriado. Já quando a complexidade começa a aumentar, o sistema MRP é mais indicado.

Introdução de novos produtos: o JIT prega a introdução de produtos similares, enquanto o MRP não tem tantos problemas se houver introdução de produtos diferentes.

Complexidade das estruturas: para um ambiente em que a complexidade das estruturas seja baixa, o JIT é mais indicado. Já para um ambiente em que as estruturas de produtos sejam mais complexas, o MRP é mais apropriado, já que permite um planejamento detalhado das necessidades de recursos materiais da organização.

Níveis de controle: o JIT é mais indicado quando se quer ter poucos níveis de controle, enquanto o MRP é mais indicado para vários níveis de controle, sendo mais hierarquizado. Para o MRP, há vários níveis de planejamento, desde o plano agregado, passando pela programação mestre até o detalhamento das necessidades de materiais. O MRP é mais indicado para um planejamento a longo prazo.

Centralização na tomada de decisão: para uma tomada de decisão mais centralizada, o MRP é mais adequado. O JIT se aplica quando não se quer ter muita centralização para tomar decisões de produção.

Favorecimento de melhoria contínua: o JIT proporciona um alto favorecimento à melhoria contínua, enquanto o MRP não favorece a melhoria contínua na empresa.

Simplicidade do sistema: o JIT é mais simples, enquanto o sistema do MRP é bem mais complexo.

Problema de variabilidade dos *lead times*: para o MRP, que assume os *lead times* fixos, este problema é bastante sentido. Quando os *lead times* reais são muito variáveis, isto pode acarretar baixa aderência à programação, que é feita baseada nos *lead times* registrados no sistema. A variação dos *lead times* está relacionada às situações vivenciadas na fábrica, inclusive influenciadas por variação do mix demandado. Já para o JIT, este problema de variabilidade dos *lead times* não é tão grave.

O MRP II, que é uma evolução do sistema MRP, é mais apropriado para os níveis mais altos de controle: planejamento agregado da produção, programação-mestre e planejamento de insumos, sendo considerado complexo, detalhado e

centralizado demais, quando se trata de controlar as atividades da fábrica. Para estas atividades, o JIT seria mais apropriado.

Um ponto de consenso entre vários autores é que não há uma única solução ótima que possa ser generalizada. Soluções práticas encontram-se normalmente em conceitos híbridos e eventualmente em novos conceitos. Os requisitos específicos para cada situação devem ser cuidadosamente analisados até que uma decisão possa ser tomada. (VOLLMANN et al., 1997)

2.2.4. Alta variedade de produtos e componentes

De acordo com Jina et al. (1997), situações de alta variedade são caracterizadas por:

- Alta variedade de produtos e componentes, os quais podem ser customizados.
- Grande incidência de políticas de atendimento do tipo “Fazer mediante ordem” (*Make-to-order*).
- Estrutura de produto que atenda a flexibilidade de mix do produto final, mas que ao mesmo tempo pode ser por conjuntos ou kits formados por componentes modularizados.
- Ambiente turbulento, o qual é caracterizado como resultados das incertezas e variabilidade de seus “inputs”. Quatro causas de turbulência em uma fábrica são:
 - Programação: alterações freqüentes em intervalos de tempo muito próximos da data de produção e entrega
 - Flexibilidade de volume: alterações no volume de produção em curtos intervalos de tempo
 - Mix do produto: produtos com grande variedade de módulos e modelos, e que necessitam apresentar alterações evidentes entre períodos
 - Design: grau e freqüência de alterações dentro do prazo esperado pelo mercado. Logo, a habilidade de adaptar designs

existentes e gerar novos dentro das especificações dos clientes também é um fator de sucesso para as empresas.

Segundo Nazareno (2008), em ambientes com alta variedade de produtos e componentes, deve-se fazer uma abordagem híbrida de programação e controle para os produtos. É necessário identificar as categorias/famílias controle com base em características de demanda existentes para cada produto. Com isso, cada família teria formas de programação e controle específicos.

Nesses ambientes, uma linha de montagem tende a ser compartilhada por produtos com diferentes padrões de demanda e, portanto, com diferentes tempos *takt*. Para estes casos, a utilização da abordagem *Takt Time x One Piece Flow x Puxado* (TOP) precisa ser adaptada, se comparada à sua aplicação em ambientes cujos processos de manufatura são dedicados a poucas partes e cuja demanda é relativamente previsível.

2.2.5. Sistemas híbridos de programação e controle da produção

Grande número de empresas que se utilizam do MRP tenta achar formas de produzir alguns de seus produtos ou parte da produção utilizando princípios do JIT. Em algumas situações, deve-se considerá-los como complementares e não como mutuamente exclusivos, funcionando de forma híbrida. Segundo esta visão, o uso da sistemática do JIT, muito mais simples, viria a simplificar a própria utilização do MRP, que, dessa forma, teria de administrar uma quantidade menor de itens, gerar uma quantidade menor de ordens de produção e controlar uma quantidade menor de transações de realimentação de informações para uso do sistema, a respeito do que ocorreu na fábrica. (CORRÊA e GIANESI, 2007)

A classificação dos itens em diferentes subfamílias de programação e controle pode ser feita com base em três critérios (RENTES et al., 2005):

a) Relativa ao **custo** da parte, indicando se sua manutenção financeira é alta ou baixa.

b) Relativo ao **volume** de produção, indicando se as partes normalmente são ordenadas em volume alto ou baixo.

c) Relativo à **freqüência**, indicando se as partes são freqüentemente ou esporadicamente demandadas.

A Tabela 1 mostra o tipo de controle de acordo com a combinação dos critérios custo, volume e freqüência.

VOLUME	FREQUÊNCIA	CUSTO	SISTEMA DE CONTROLE
Alto	Alta	Alto	Kanban
Alto	Alta	Baixo	Kanban sinal
Alto	Baixa	Baixo	Ordem
Alto	Baixa	Alto	Ordem
Baixo	Alta	Alto	Kanban
Baixo	Alta	Baixo	Kanban sinal
Baixo	Baixa	Baixo	Kanban sinal
Baixo	Baixa	Alto	Ordem

Tabela 1 - Classificação das partes e sistemas de controle para cada caso

Fonte: Rentes et al (2005)

No caso acima, o volume é classificado como alto ou baixo, assim como a freqüência. O custo também é classificado como alto ou baixo, depois de feita uma classificação ABC. Os itens classe A e B de custo foram classificados como alto custo, enquanto os C foram classificados como baixo custo. Geralmente, uma pequena parte dos itens em estoque vai representar uma grande parte do valor total em estoque. A Lei de Pareto, ou regra 80/20, diz que 80% do valor total em estoque é representado por apenas 20% dos itens em estoque. A Lei de Pareto pode ser aplicada também para definir os itens de alto e baixo volume.

Para classificar em A, B ou C de custos, pode-se usar a seguinte regra:

Itens classe A: 20% de itens de alto valor, os quais representam cerca de 80% do valor total do estoque.

Itens classe B: 30% de itens de médio valor, os quais representam cerca de 10% do valor total do estoque.

Itens classe C: 50% de itens de baixo valor, os quais representam cerca de 10% do valor total do estoque.

Segundo Smalley (2005), a classificação ABC de volume pode ser feita da seguinte forma:

Alto volume: 20% dos itens que correspondem a 60% da demanda.

Médio volume: 30% dos itens que correspondem a 20% da demanda.

Baixo volume: 50% dos itens que correspondem a 20% da demanda.

Segundo Smalley (2005), há as seguintes opções de acordo com a classificação ABC de volume de demanda:

1) Sistema puxado de reposição: manter um estoque de produtos acabados (A's, B's e C's) e fabricar todos para estoque, usando os pedidos do cliente para iniciar a produção. Neste sistema, a ordem de produção é enviada para a montagem final a partir do estoque de produtos acabado, sendo que a produção deve ser nivelada na montagem. Este sistema tem a vantagem de ter agilidade para expedir todos os produtos em pouco tempo. Porém, requer alto estoque e área para armazenagem.

2) Sistema puxado seqüencial: não manter estoque de produtos acabados, fazendo todos os produtos sob encomenda, a partir do pedido do cliente. A fabricação deve ser feita seguindo-se o ritmo da demanda (*Takt Time*). Tem a vantagem de manter pouco estoque, porém requer alta estabilidade do processo e curto *lead time* de produção, sendo um sistema mais difícil de ser gerenciado.

3) Sistema puxado misto: manter alguns produtos em estoque (somente A e B ou somente C), fazendo os outros sob encomenda. Utiliza características dos dois sistemas citados acima. O estoque passa a ser moderado, porém requer um controle de produção misto e estabilidade diária.

Segundo Nazareno (2008), a utilização de sistemas híbridos de programação e controle permite ao sistema de produção harmonizar a implantação de supermercados para as subfamílias das partes de *best-sellers* com ordens de produção para as demais famílias.

Um conceito que é importante frisar e que é usado para o dimensionamento de supermercado é o de TPT. TPT significa “toda parte todo...” e representa a frequência com que um item pode ser fabricado. De forma grosseira, pode-se dizer que se uma peça em um determinado processo (compartilhando o processo com outras peças) é feita hoje, e depois é feita de três em três dias, o TPT desta peça

neste processo é de três dias. Quanto menor o TPT, menos estoque é gerado e maior é agilidade para atender à demanda do cliente.

Para calcular o TPT, devem ser observadas duas coisas: primeiro se o processo possui capacidade o suficiente para processar todos os itens que passam nele. Segundo, caso haja capacidade, o quanto do tempo é gasto com *setups*. O cálculo parte de um intervalo de tempo estimado (TPT tentativa ou desejável). Soma-se os tempos de processamento. O tempo restante é o tempo disponível para a realização de *setup*. O TPT é então ajustado conforme o tempo disponível para *setup*. Caso a soma dos tempos de *setup* das partes no processo em questão seja maior do que o tempo disponível para *setup* seria necessário a aplicação de técnicas como o SMED para reduzir *setups* e obter, assim, um TPT desejável. (NAZARENO, 2008)

Se possível, o estoque deve ser organizado e segmentado em três categorias: estoque de ciclo, estoque pulmão e estoque de segurança. A meta principal é deixar claro a todos se os níveis de estoque estão normais ou anormais. Fazendo isto corretamente traz o domínio e o controle do estoque para perto da célula de montagem e expõe os problemas em tempo real para gerentes e funcionários. Além do mais, isto pode eliminar a necessidade de relatórios extensos gerados por computador, os quais normalmente são mantidos escondidos ou totalmente inseridos no sistema de controle de produção (SMALLEY, 2005).

Segundo Nazareno (2008), outro problema que pode surgir é a de variação de demanda. Itens com maiores taxas de variação seriam feitos mediante pedido ou demandariam por um tamanho de supermercado maior, pois estão mais sujeitos a não atenderem eventuais picos de demanda. O problema da variação de demanda pode ser solucionado através do nivelamento de vendas, após ter sido feito o nivelamento da produção. Tanto o nivelamento de produção quanto o de vendas serão vistos na sequência do trabalho.

2.3. Nivelamento

O conceito de nivelamento da produção é fundamental dentro da filosofia do Sistema Toyota de Produção. O conceito de nivelamento é também conhecido como

heijunka e nasceu na década de 50, quando a Toyota se deparava com o problema de falta de peças, tanto de matéria-prima quanto de produto acabado.

De acordo com Rother e Shook (1999), e como dito anteriormente neste trabalho, distribuir a produção de diferentes produtos uniformemente no decorrer do tempo no processo puxador é a 5ª recomendação para o projeto da situação futura de um processo produtivo.

2.3.1. Nivelamento da produção

Agrupar os mesmos produtos e produzi-los todos de uma vez, dificulta o atendimento dos clientes que querem algo diferente do lote que está sendo produzido. Isto exige que se tenha mais produtos acabados em estoque – na esperança de ter a disposição o que o cliente quer – ou “*lead time*” mais longo para atender um pedido. Lotes na montagem também significam que componentes manufaturados serão consumidos em lotes, que aumentam os estoques em trânsito necessários nos supermercados anteriores em todo o fluxo de valor. E, porque a variação na programação da montagem final é amplificada, quando se movimenta em direção aos processos anteriores, os estoques em processo tenderão a aumentar quanto mais para trás se for no fluxo de valor (ROTHER e SHOOK, 1999).

De acordo com Liker (2005), o conceito de *heijunka* é o nivelamento da produção em volume e combinação de produtos. A programação não é feita de acordo com a ordem em que os pedidos chegam, mas toma o volume total de pedidos em um período e nivela-os para que a mesma combinação e quantidade sejam produzidas a cada dia.

Nivelar o mix de produtos significa distribuir a produção de diferentes produtos uniformemente durante um período de tempo. Por exemplo, ao invés de montar todos os produtos “Tipo A” pela manhã e todos os “Tipo B” pela tarde, nivelar significa alternar repetidamente entre menores lotes de “A” e “B” (ROTHER e SHOOK, 1999).

Veja na Figura 5 um plano desnivelado, baseado, por exemplo, em aproveitamento de *setups*, para uma empresa que produz três diferentes produtos A, B e C:

Seg: A A A A A A A A A A
 Ter: A A A A A A A A A A
 Qua: A A A A A B B B B B
 Qui: B B B B B B B B B B
 Sex: B C C C C C C C C C

Figura 5 - Sistema desnivelado tradicional

(Fonte: Adaptado de Liker, 2005)

Outra situação que ocorre é a de se produzir de acordo com os pedidos que chegam, desnivelando também a produção. Observe a Figura 6:

Seg: A A A B B A B C A C
 Ter: A B C C A B A B C C
 Qua: A B C C A B C C A B
 Qui: A B A B C C B A C B
 Sex: B C A A B C A B C C

Figura 6 - Sistema desnivelado (reflexo de uma demanda desnivelada)

A última situação, apresentada abaixo, é com uma produção nivelada, que foi desenvolvida e é aplicada pela Toyota. Esta visa a produção em lotes pequenos e nivelados, sem estar baseada nem na ordem de chegada dos pedidos pelos clientes e nem no aproveitamento máximo de *setups*. A produção tenta fazer sempre uma sequência de lotes pré-estabelecida, conforme mostra a Figura 7:

Seg: A A A B B C A A A B B C
 Ter: A A A B B C A A A B B C
 Qua: A A A B B C A A A B B C
 Qui: A A A B B C A A A B B C
 Sex: A A A B B C A A A B B C

Figura 7 - Proposta de um sistema nivelado

(Fonte: Adaptado de Liker, 2005)

Quanto mais se nivela o mix de produto no processo puxador, mais apto se estará para responder às diferentes solicitações dos clientes com um pequeno “*lead time*”, enquanto mantém um pequeno estoque de produtos acabados. Isto também permite que seus supermercados seguintes sejam menores. Mas nivelar o mix requer um pouco de sacrifício, como, por exemplo, mais trocas e esforço para manter todas as variações de componentes na linha durante todo o tempo (para eliminar o tempo de troca). A recompensa é a eliminação de grandes desperdícios no fluxo de valor (ROTHER e SHOOK, 1999).

Segundo Bezerra (2008), sem o nivelamento, uma companhia termina com recursos sobrando, tempo ocioso, elevados estoques, problemas com fluxo de caixa, custos altos e superprodução.

2.3.2. Plano nivelado x Plano desnivelado

Adotando um sistema de produção que visa apenas o aproveitamento de *setups* (no caso de empresas com produção seriada) ou até mesmo produzindo na sequência determinada pelo cliente, têm-se alguns problemas que segundo Liker (2005) são:

- O cliente não compra produtos de modo previsível;
- Existe o risco de não vender os produtos;
- O uso de recursos não é equilibrado;
- Colocação de uma demanda desnivelada nos processos;

Caso a demanda ocorra de forma desnivelada, os processos fornecedores sofrerão bastante com isso. Os processos fornecedores também estão programados para fazer grandes lotes para serem enviados em determinado dia. Se houver uma mudança no pedido do cliente, fica muito mais difícil para o fornecedor se adaptar a essa mudança, já que este está fazendo processamento em grandes lotes.

Quando ocorre uma mudança ou flutuação na demanda, para empresas que não trabalham com nivelamento nem com conceito de supermercados, essa

flutuação é transmitida para os processos fabris de uma maneira muito mais drástica, fenômeno este conhecido como efeito chicote. (BEZERRA, 2008)

Segundo Bezerra (2008), existem outros problemas como longos *lead times* em função dos grandes lotes de processamento gerando maiores TPTs. A Figura 8 ilustra a situação:



Figura 8 - Exemplo do TPT em um sistema desnivelado

Além dos problemas citados anteriormente, podem ser destacados outros dois que afetam a parte financeira das empresas: necessidade de alto capital de giro para manter o atendimento aos clientes e impactos negativos no fluxo de caixa reduzindo o lucro da empresa.

Segundo Liker (2005), os maiores benefícios de se adotar um plano de produção nivelado são:

- Flexibilidade de atender o que o cliente deseja quando o cliente deseja, respondendo mais rápido as flutuações de demanda, com a fabricação de lotes menores de produção;
- Redução do risco de não vender os produtos, já que os estoques são menores, não tendo o risco de perder grande quantidade de dinheiro com estoque parado que pode não ser vendido;
- Uso balanceado de mão-de-obra e de máquinas, evitando sobrecargas ao mesmo tempo de ociosidades. A carga de trabalho fica flexível e balanceada ao longo do dia;
- Demanda uniformizada para os processos e fornecedores da planta, que passarão a ter um conjunto nivelado e estável de pedidos;

Segundo Bezerra (2008), outros benefícios que um plano de produção nivelado pode trazer são:

- Redução do TPT (observe a Figura 9);

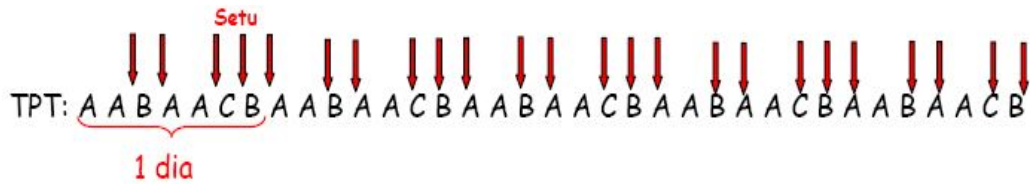


Figura 9 - Representação do TPT em um plano de produção nivelado

- Estimula a redução de *setups* devido à redução do TPT (o número de *setups* aumenta com a redução do TPT);
- Aumento no giro de capital da empresa.

2.3.3. Nivelamento de vendas

Foi visto nos tópicos anteriores a importância do nivelamento da produção. Porém, a fabricação é uma parte de todo o fluxo que acontece até o produto chegar ao cliente final. Uma questão que é muito importante na cadeia de valor é o nivelamento de vendas, que será estudado neste tópico. Mas não adianta querer nivelar as vendas, se a manufatura não estiver estabilizada e nivelada. Assim, antes dos esforços se concentrarem no nivelamento de vendas, é importantíssimo o trabalho na produção.

Os mercados, geralmente, se comportam de maneira imprevisível. É muito difícil de saber com exatidão a demanda do cliente final. A única certeza de uma previsão de demanda é que ela é incerta, imprecisa. A variação de demanda influi diretamente na variação do mix e volumes de produção. Como fatores dessa variação, podem ser citados: sazonalidade, ciclo de vida dos produtos, alterações na atividade econômica, dentre outros.

Um fator que influi bastante na variação de demanda é o setor de vendas. Em muitas empresas, o setor de vendas age por conta própria, só se preocupando em cumprir metas e vender cada vez mais, sem se preocupar com o fato da produção poder cumprir ou não os pedidos que foram firmados. E muitas vezes o setor de vendas entra em conflito com o de produção, apontando a produção sempre como culpada pelo não cumprimento de prazos que na verdade, às vezes, são impossíveis

de serem cumpridos. Ao estimular os funcionários a venderem mais, através de prêmios e bônus, muitas empresas analisam o desempenho individual do setor de vendas, sem se preocupar com o contexto geral em que este setor está inserido. As medidas de desempenho são, muitas vezes, individuais, pontuais, sem se preocupar com o todo, com o resultado global da empresa.

Como o setor de vendas é a porta de entrada do produto dentro da empresa, quando é tomada a estratégia de vender o máximo possível e mudar constantemente o programa de vendas para aproveitar as oportunidades, a área de vendas acaba puxando o resto da organização a produzir além da capacidade ou exige uma flexibilidade inviável de ser alcançada. É comprovado que uma flutuação gerada no início de um fluxo de valor é refletido de maneira catastrófica no fim do mesmo fluxo, fato esse conhecido como efeito chicote. (BEZERRA, 2008)

É sabido que mudanças freqüentes de volume e mix prejudicam o resto da organização (em especial manufatura e suprimentos), que passam a trabalhar com altos estoques e ao mesmo tempo convivem com falta de peças, o que é conhecido no meio produtivo como fenômeno da falta e sobra. Em muitas empresas, há picos de demanda no final do mês, em função da tentativa sempre de cumprimento da meta mensal de vendas. Em compensação, no início do mês seguinte, as vendas desabam. Estas grandes variações geram um desconforto muito forte ao longo do fluxo produtivo.

Nivelar as vendas significa evitar vendas em lotes (nos picos de demanda), deixando de passar para a produção o problema da demanda errônea. Ao nivelar-se as vendas, procura-se suavizar as grandes variações e fazer com que o setor de vendas passe a agir em harmonia com a produção, vendendo aquilo que a produção pode atingir. O setor de vendas deixa de forçar o mercado a comprar tudo de uma vez em uma determinada época, tentando fazer com que o mercado se comporte de maneira mais uniforme. É muito importante verificar o comportamento real da demanda do cliente final, analisando a freqüência e o volume.

Muitas vezes, as vendas não mostram o verdadeiro comportamento do cliente. Podem ser apontadas algumas causas para a falta de sintonia do setor de vendas com o setor de produção (BEZERRA, 2008):

- Estímulos de vendas através de promoção para os distribuidores e não para os clientes finais;

- Promoções que não estimulam o crescimento a longo prazo;
- Descontos no final do mês para atingir as metas mensais. Existem políticas de vendas mensais para os vendedores que estimulam grandes esforços concentrados na última semana do mês, não estimulando a venda contínua e nivelada ao longo do mês;
- Antecipação de compras pelo cliente;
- Descontos para grandes pedidos, estimulando a venda (e consequentemente a produção) em lotes;
- Fluxo de informação às vezes complexo (não enxuto), desde o pedido do cliente até a entrega do produto final para o mesmo. O processamento de pedidos ocorre muitas vezes em lotes.

Para acabar ou reduzir os problemas de desnivelamento de vendas, as seguintes medidas podem ser tomadas (BEZERRA, 2008):

- Implementar políticas de vendas que estimulem o crescimento nivelado das vendas. Para isso, deve-se determinar a meta de vendas do mês e distribuí-la ao longo do mês, evitando picos de demanda no final do mês;
- Elaborar um plano de vendas em conjunto com o planejamento e controle da produção. Deve-se determinar um tempo *takt* que deve ser seguido tanto pela produção quanto pelo setor de vendas;
- Mapear o fluxo de informação, tentando reduzir os desperdícios ao longo deste, desde a entrada do pedido até a entrega do produto final. O fluxo de informação (assim como o de materiais) deve ocorrer de forma contínua e não em lotes.

Segundo Cardoso (2007), no ambiente *lean* o papel de vendas passa a ter uma nova configuração. O vendedor passa a ser um analista de mercado, vender conforme a demanda, tentando estabelecer parcerias de longo prazo. Além disso, fica diretamente conectado com a manufatura e o setor de desenvolvimento de produtos.

O próximo tópico é a descrição, passo a passo, do método proposto para este trabalho de conclusão de curso.

3. MÉTODO PROPOSTO

Neste tópico será apresentado o método proposto pelo autor para o desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso, tomando como base o modelo proposto por Nazareno (2008), em sua tese de doutorado “Desenvolvimento de Sistemas Híbridos de Planejamento e Programação da Produção com Foco na Implantação de Manufatura Enxuta”. Posteriormente, neste trabalho, será apresentado um estudo de caso onde se pôde ver a aplicação do método proposto. O método proposto é composto pelas seguintes atividades, em seqüência:

- 1 - Projeto macro do sistema de planejamento e programação da produção
 - 1.1 - Definição dos pontos de supermercado
 - 1.2 - Definição do processo puxador
- 2 - Definição das subfamílias de programação e controle da produção
- 3 - Dimensionamento do tamanho dos supermercados
 - 3.1 - Identificação do recurso gargalo em cada loop
 - 3.2 - Cálculo do TPT de cada loop
 - 3.3 - Definição da distribuição dos cartões no quadro semáforo
- 4 - Definição das sistemáticas de programação e controle da produção
- 5 - Programação e nivelamento do processo puxador
- 6 - Implementação do novo sistema de planejamento, programação e controle da produção

Cada uma destas atividades descrita acima será explicada a seguir.

3.1. *Projeto macro do sistema de planejamento e programação da produção*

A primeira etapa do método proposto é a elaboração do projeto macro do sistema de planejamento e programação da produção. Nesta etapa, deve ser desenhado inicialmente o mapa do fluxo de valor da situação atual. A partir do mapeamento da situação atual, deve-se chegar a uma situação futura ideal, com a

colocação dos pontos de supermercado nos lugares mais apropriados do fluxo de valor. Nesta etapa deve-se fazer também a definição do processo puxador. Do processo puxador em diante, ou seja, até chegar ao cliente final, o produto deve caminhar em fluxo contínuo, sem interrupções, de forma a garantir uma resposta rápida para o cliente.

Idealmente, deve-se tentar fazer com que o produto passe através do fluxo de valor, entre os processos, sempre em fluxo contínuo. Mas em algumas situações, não é possível de implantar o fluxo contínuo entre dois processos. Nestas situações deve-se colocar um ponto de supermercado interligando os dois processos em questão. Pode-se listar abaixo algumas situações onde o fluxo contínuo não pode ser implementado:

- Processos que operam com tempos de ciclo muito diferentes entre si;
- Processos compartilhados por outras famílias de produtos;
- Processos distantes entre si, dificultando o transporte unitário de peças;
- Processos com *Lead Time* muito elevado, tornando o tempo de resposta para o cliente muito demorado;
- Processos com baixa confiabilidade para serem ligados a outros em fluxo contínuo;
- Processos com tempo de preparação (setup) muito alto, prejudicando a flexibilidade de resposta da linha;

Levando-se em consideração os pontos listados acima, fica mais fácil para definir os pontos de supermercado no mapa do fluxo de valor futuro. Após escolhidos os ponto de supermercado no MFV, deve-se chegar à definição do processo puxador.

Com a utilização do sistema MRP, várias ordens de produção devem ser passadas aos diversos processos, considerando a defasagem de tempo entre estes. Ao colocar-se um produto em sistema puxado, sendo controlado por Kanban, apenas um processo deve ser informado da necessidade de produção. Este processo é chamado de processo puxador. O processo puxador deve retirar peças do supermercado e a partir do processo puxador, deve-se produzir em fluxo até chegar ao cliente final. Após as peças serem retiradas do supermercado pelo

processo puxador, os processos anteriores devem produzir para repor o que foi consumido no supermercado.

A seguir serão detalhadas a definição dos pontos de supermercado e a definição do processo puxador.

3.1.1. Definição dos pontos de supermercado

Nas seguintes situações, pode ser interessante a colocação de pontos de supermercado, auxiliando na elaboração do mapa futuro contemplando o projeto macro de planejamento e programação da produção:

- a) Processos com necessidade de alta flexibilidade de mix;
- b) Processos com necessidade de alta flexibilidade de volume;
- c) Necessidade de pontualidade ou de sincronização;
- d) Processos pouco confiáveis ou de baixa qualidade;
- e) Processos com necessidade de alta rapidez.

A seguir será explicada cada uma das situações acima:

a) Processos com necessidade de alta flexibilidade de mix

Após processos que são altamente compartilhados, possuindo uma grande variedade de produtos, possivelmente com tempos de setup longos, é interessante a colocação de um ponto de supermercado. Alguns exemplos de processos altamente compartilhados são: usinagem, estamparia, serra, dentre outros. A colocação de um ponto de supermercado, neste caso, pode evitar problemas como superprodução, esperas, estoques excessivos, além do já citado problema de falta e sobra. O supermercado atuaria limitando a quantidade máxima de cada item a ser produzida e auxiliando na tomada de decisão de quais itens devem ser produzidos, através da utilização do quadro Kanban.

b) Processos com necessidade de alta flexibilidade de volume

Quando há grandes flutuações na demanda, o processo pode tornar-se ora sobrecarregado ora ocioso. Situações de pico de demanda podem gerar esperas, sobrecargas, atrasos e horas extras. Um ponto de supermercado pode ajudar a suportar os picos de demanda para os itens freqüentes, liberando capacidade para a produção de outros itens que não estão em sistema puxado. Assim, para situações de alta volatilidade da demanda, o supermercado pode atuar evitando tanto desabastecimento quanto ociosidade.

c) Necessidade de pontualidade ou de sincronização

Pode ser interessante a colocação em supermercado para os diversos itens que são usados numa montagem final, por exemplo. Os diversos supermercados, para os diversos itens, atuam garantindo a sincronização de todos os itens a serem utilizados no processo posterior. Estes supermercados evitam o fenômeno da falta e sobra, quando, às vezes, há excesso de algum item podendo ser montado, ao mesmo tempo em que falta o outro item que é crucial para que o processo possa ser realizado. Este fenômeno da falta e sobra é normal, devido aos problemas que podem ocorrer no dia-a-dia de uma fábrica, como quebra de máquina, atraso na entrega de matéria-prima, dentre outros problemas que podem comprometer o cumprimento da programação inicial do processo sincronizador.

d) Processos pouco confiáveis ou de baixa qualidade

Caso haja um processo pouco confiável para trabalhar em fluxo contínuo com os demais processos do fluxo de valor, pode ser interessante a colocação de um supermercado para fazer com que o processo fique “protegido”, evitando que os processos seguintes parem devido à parada do processo pouco confiável. Enquanto o processo não tiver uma boa confiabilidade, é aconselhável a manutenção do supermercado até que os problemas possam ser corrigidos.

e) Processos com necessidade de alta rapidez

A colocação em supermercado faz com que o sistema tenha mais agilidade de resposta. Para processos com longos *Lead Times* ou quando o cliente exige uma

resposta muito rápida, é interessante a colocação de um ponto de supermercado, evitando com que o consumidor fique desabastecido.

3.1.2. Definição do processo puxador

O segundo passo, dentro do projeto macro do sistema de planejamento e programação da produção, é a definição do processo puxador. Para os itens controlados via Kanban, a ordem deve ser enviada somente para o processo puxador. Este, “puxa” todos os componentes necessários através de seus respectivos supermercados e a partir daí, a produção ocorre em fluxo contínuo até a entrega do produto para o cliente final. O processo puxador pode ser a expedição, um processo de solda ou uma montagem final, por exemplo. A Figura 10 ilustra a definição do processo puxador.

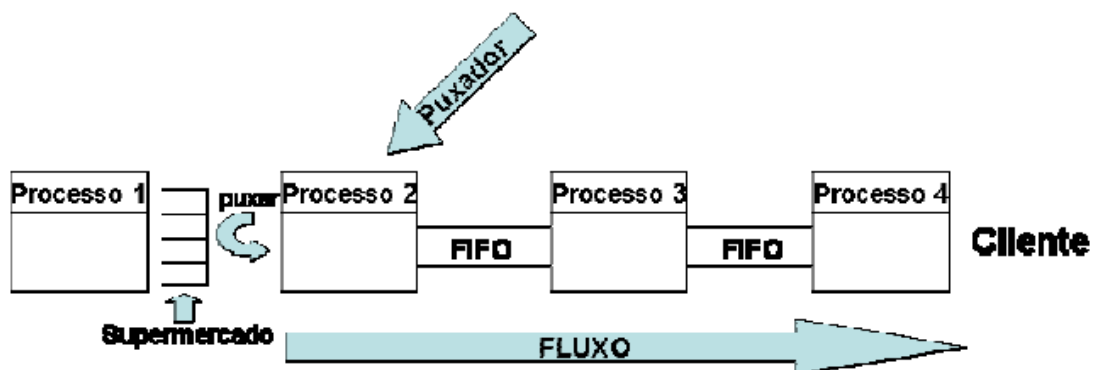


Figura 10 - Definição do processo puxador
(Fonte: NAZARENO, 2008)

Após realizado o projeto macro do sistema de planejamento e programação da produção, deve-se fazer a definição das subfamílias de programação e controle da produção.

3.2. Definição das subfamílias de programação e controle da produção

Num ambiente com alta variedade de produtos e de componentes, com diferentes comportamentos de demanda, é desejável que a empresa defina para todos os diferentes itens de uma família, diferentes formas de programação e controle da produção. Estas diferentes formas são as ordens de produção (MRP) e o Kanban (sistema puxado) e devem trabalhar harmoniosamente para que o sistema possa funcionar como um todo. Neste subtópico do método proposto, será explicado como os itens devem ser programados e controlados (via ordem ou via kanban), de acordo com alguns critérios de escolha. Cada tipo de controle está associado a uma subfamília de programação e controle.

Numa montagem final, por exemplo, pode haver alguns itens em que seus componentes são controlados via Kanban, enquanto há outros itens que têm seus componentes controlados via ordem. Para os controlados via kanban, é gerada a ordem de produção na montagem (processo puxador), e a montagem é abastecida com seus componentes necessários. Conforme os componentes são consumidos pela montagem, os cartões são disparados para que os processos fornecedores possam fazer a reposição do supermercado destes componentes. Já para os controlados via ordem, as ordens são disparadas ao longo de todos os processos envolvidos, considerando a defasagem de tempo entre estes e a montagem final. É importante lembrar que os itens controlados via ordem devem ter prioridade de produção frente os controlados via kanban, já que os via kanban possuem peças em supermercado que ainda podem suprir a montagem, enquanto os via ordem não possuem peças paradas ao longo do fluxo de valor. Portanto, quando há, nos processos fornecedores, itens kanban convivendo com itens de ordem, os itens de ordem devem ser produzidos antes dos itens kanban.

Neste método, os critérios para definição das subfamílias de programação e controle são: frequência, custo e volume. A seguir será detalhado cada um destes critérios e posteriormente será apresentada uma tabela com a definição das subfamílias de acordo com os critérios apresentados.

a) Frequência da demanda: para definir se um item é freqüente ou esporádico com relação a sua demanda, um bom critério é a comparação entre sua média e o desvio padrão ao longo de um determinado período de tempo. Se sua média é maior que o desvio padrão para o período considerado, o item é freqüente.

Por outro lado, se sua média é menor que o desvio padrão, o item pode ser considerado esporádico/intermitente.

b) Custo do item: para a classificação do custo, podemos definir o seguinte critério. Os itens que representarem 90% da porcentagem acumulada de custo são classificados como alto custo, enquanto os itens restantes são definidos como baixo custo.

c) Volume da demanda: para a classificação de volume, pode-se usar o seguinte critério. Os itens que representarem 80% da porcentagem acumulada de volume da demanda são classificados como alto volume, enquanto os itens restantes são definidos como baixo volume.

Ao agrupar as diferentes combinações possíveis para os critérios apresentados acima, podemos definir qual o melhor sistema de controle para cada caso, surgindo assim diferentes subfamílias de programação e controle da produção. A Tabela 2 abaixo mostra a definição das subfamílias, de acordo com os critérios frequência, volume e custo:

Subfamília	Frequência	Volume	Custo	Sistema Controle
1	Alta	Alto	Alto	Kanban
2	Alta	Alto	Baixo	Kanban Sinal ou 2 Gavetas
1	Alta	Baixo	Alto	Kanban
2	Alta	Baixo	Baixo	Kanban Sinal ou 2 Gavetas
3	Baixa	Alto	Alto	Ordem
3/2	Baixa	Alto	Baixo	Ordem/Kanban Sinal ou 2 Gavetas
3	Baixa	Baixo	Alto	Ordem
3/2	Baixa	Baixo	Baixo	Ordem/Kanban Sinal ou 2 Gavetas

Tabela 2 - Definição das subfamílias de controle

Fonte: Adaptado de Rentes et al. (2005)

A subfamília 1 utilizará o sistema Kanban para programação e controle da produção. Os itens que devem ser controlados via Kanban são os que possuem alta frequência e alto custo. Estes itens requerem uma atenção especial e serão controlados por Kanban.

A subfamília 2 utilizará o sistema 2 gavetas (Kanban sinal) para programação e controle da produção. Os itens que devem ser controlados por 2 gavetas são os

que possuem alta frequência, porém baixo custo. Por possuírem baixo custo, podem ter um estoque maior que o necessário, necessitando de uma atenção não tão grande quanto os itens kanban.

A subfamília 3 utilizará o sistema de ordens para programação e controle da produção. Estes itens possuem baixa frequência, sendo assim esporádicos. Dessa forma, não vale a pena colocá-los em kanban.

Uma ressalva deve ser feita: para os itens esporádicos, porém classe B de custo, o controle a ser utilizado será o 2 gavetas. Isto facilitará o controle, gestão do estoque e não acarretará em altos custos de armazenamento, já que estes itens não são classe A de custo. Por questões de lote mínimo de produção, estes itens tendem a ser produzidos a mais do que a sua necessidade real de demanda, o que faz com que estoques fiquem espalhados pela fábrica de forma descontrolada. Por isso, a sugestão é que se utilize o controle 2 gavetas para estes itens.

A seguir será tratado o dimensionamento do tamanho dos supermercados.

3.3. Dimensionamento do tamanho dos supermercados

O dimensionamento do supermercado de uma peça deve contemplar as seguintes partes: estoque de ciclo, estoque pulmão e estoque de segurança. A Figura 11 a seguir representa os três fatores citados:

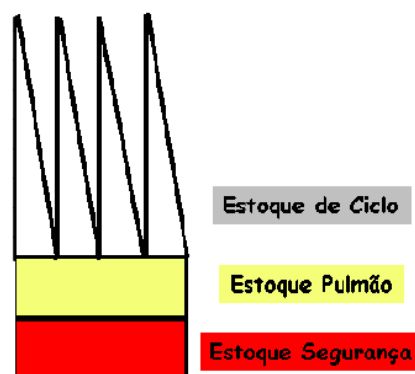


Figura 11 - Fatores a serem contemplados no dimensionamento do supermercado

Fonte: Adaptado de Smalley (2005)

No estoque de ciclo, dois fatores devem ser considerados: o *Lead Time* de reposição e o TPT. O *Lead Time* de reposição é o tempo de atravessamento da peça ao longo do *loop* considerado. Neste fator, devem ser considerados os tempos de processamento, de filas e de transporte. Já o TPT (Toda Parte Todo...) representa a frequência com que determinado item deve ser produzido. Se o TPT é 5 dias, significa que o item deve ser produzido a cada 5 dias. O cálculo do TPT será melhor explicado ainda neste método.

Já o estoque pulmão deve ser calculado para que a volatilidade da demanda não seja desprezada no dimensionamento do supermercado. Erros de previsão e a variação da demanda devem ser contemplados neste fator. O desvio padrão da demanda é a forma matemática para dimensionar-se o estoque pulmão.

O estoque de segurança também deve ser considerado. Este estoque deve contemplar os problemas que o processo enfrenta no dia-a-dia do chão de fábrica, como por exemplo: quebra de máquina, quebra de ferramenta, atraso na entrega de matéria-prima, refugo, dentre outros. Este estoque é dimensionado para que o supermercado possa suportar os problemas do dia-a-dia, sem comprometer o fornecimento ao processo cliente.

A Figura 12 a seguir representa os fatores contemplados no dimensionamento do supermercado:

$$\text{Tamanho Supermercado} = \left(\text{Demanda média} + \text{Desvio padrão} \right) \times \left(\text{TPT} + \text{Tempo de reposição} + \text{Estoque de Segurança} \right)$$

Estoque pulmão **Estoque ciclo** **Estoque segurança**

Figura 12 - Fórmula para cálculo do tamanho do supermercado

Fonte: Adaptado de Smalley (2005); Monden (1998)

A seguir será detalhado o cálculo para dimensionamento do tamanho do supermercado, de acordo com o que foi citado acima.

3.3.1. Identificação do recurso gargalo em cada loop

Para começar o dimensionamento dos supermercados, é importante que os gargalos em todos os loops sejam identificados. O dimensionamento do supermercado deve basear-se no recurso gargalo de cada loop. A capacidade do loop para repor o que foi consumido no supermercado deve basear-se na capacidade do recurso gargalo.

Por exemplo: em um loop que contém 3 processos (Processo 1, Processo 2 e Processo 3), temos os seguintes TPTs:

- TPT 1 = 2 dias
- TPT 2 = 5 dias
- TPT 3 = 1 dia

O TPT considerado para o loop todo deve ser o TPT de 5 dias (recurso gargalo). Não adianta querer fazer com que as peças girem numa frequência de 1 dia ou de 2 dias, já que o recurso gargalo só pode fazer com que as peças girem num TPT de 5 dias. No exemplo acima, o recurso gargalo identificado para o loop é o processo 2. Há situações em que o gargalo pode ser facilmente identificado por experiência dos envolvidos com os processos de produção. No caso em que o gargalo não é tão fácil de ser identificado, pode-se fazer o cálculo do TPT para cada processo. A seguir, será explicado como deve ser feito o cálculo do TPT de cada loop.

3.3.2. Cálculo do TPT de cada loop

O TPT (Toda Parte Todo...) representa a frequência com que o item pode ser produzido ou transportado em determinado loop. Para processos externos à fábrica, o TPT é a frequência com que determinado fornecedor pode entregar determinado item. Caso o fornecedor só possa entregar o item uma vez por semana (por diversos motivos), o TPT para este item deve ser igual a 5 dias, ou seja, a frequência com que o item pode ser disponibilizado é a cada 5 dias. Já para os itens produzidos internamente, será mostrado a seguir como deve ser feito o cálculo do TPT.

Para que o processo tenha um menor TPT, ele deve ter tempo suficiente para que todos os itens que passam por ele possam ser processados e ainda deve sobrar tempo para que os devidos setups possam ser realizados. Para calcular o TPT do processo gargalo, podemos seguir o seguinte procedimento:

- 1 - Calcular o tempo disponível total que o processo possui
- 2 - Calcular o tempo de carregamento total de todas as peças que passam pelo processo gargalo
- 3 - Calcular o tempo disponível para realização de setups
- 4 - Calcular o tempo total gasto com os setups das peças que passam pelo processo
- 5 - Calcular o número de ciclos de setup possível de ser realizado

Em todos os cálculos, deve-se seguir um mesmo período de tempo definido. Este período definido pode ser mensal, semanal ou diário. Neste caso, será tomado como base uma periodicidade mensal.

O primeiro passo é o cálculo do tempo disponível total que o processo possui. Deve-se definir a quantidade de dias úteis no mês, a quantidade de minutos úteis por dia, a quantidade de recursos gargalos que o processo possui e a taxa de eficiência do processo. O tempo disponível total é a multiplicação dos quatro fatores citados acima e pode ser resumido na Figura 13 a seguir:

Tempo Disponível Total (min)	=	Qtidade de dias úteis no mês	X	Qtidade de minutos úteis por dia	X	Qtidade de recursos gargalo	X	Taxa de eficiência
------------------------------	---	------------------------------	---	----------------------------------	---	-----------------------------	---	--------------------

Figura 13 - Cálculo do tempo disponível total

Tomando como base um exemplo qualquer, em que há 20 dias úteis no mês, 528 minutos úteis no dia (8,8 h x 60 min), 1 máquina gargalo (CNC) que possui uma taxa de eficiência de 85%, tem-se que o tempo disponível total é igual a 8976 min.

Depois de calculado o tempo disponível total, deve ser feito o cálculo do tempo de carregamento total de todas as peças que passam pelo gargalo. O tempo de carregamento de cada item é a multiplicação entre o tempo de ciclo e a demanda mensal do item em questão. O carregamento total é a somatória de todos os

carregamentos dos itens que passam pelo processo gargalo. Na Tabela 3 é mostrado um exemplo de cálculo de tempo de carregamento total. Neste caso, o tempo de carregamento total foi igual a 7200 min.

Item	Demanda média mensal	TC (min)	Tempo de carregamento (min)
1	400	1	400
2	250	1,5	375
3	300	2	600
4	150	4	600
5	500	3	1500
6	400	6	2400
7	600	1	600
8	290	2,5	725
TOTAL			7200

Tabela 3 - Cálculo do tempo de carregamento total

O tempo total disponível para a realização de setups é obtido ao subtrair-se o tempo de carregamento total do tempo total disponível. A Figura 14 ilustra o cálculo do tempo total disponível para realização de setups. No exemplo em questão, este tempo é de 1776 minutos (8976 minutos - 7200 minutos).

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Tempo disponível para realização de setups (min)} & = & \text{Tempo disponível total (min)} - \text{Tempo de carregamento total (min)}
 \end{array}$$

Figura 14 - Cálculo do tempo disponível para realização de setups

Após calculado o tempo disponível para realização de setups, deve-se calcular o tempo total gasto com setups das peças que passam pelo processo gargalo. Basta checar o tempo de setup de cada peça e fazer a somatória de todos

estes tempos. Na Tabela 4 é mostrado um exemplo de cálculo de tempo total gasto com setups. Neste caso, o tempo total gasto com setups é de 275 minutos.

Item	Demanda média mensal	TC (min)	Tempo de carregamento (min)	Tempo de setup (min)
1	400	1	400	40
2	250	1,5	375	45
3	300	2	600	30
4	150	4	600	25
5	500	3	1500	25
6	400	6	2400	25
7	600	1	600	45
8	290	2,5	725	40
TOTAL			7200	275

Tabela 4 - Cálculo do tempo total gasto com setups

Com todos estes dados em mãos, é possível fazer o cálculo do número de ciclos de setup possível de ser realizado no processo em questão. Basta dividir-se o tempo total disponível para a realização de setups pelo tempo total gasto com setups. Observe a Figura 15. No exemplo dado, basta dividir 1776 minutos por 275 minutos. Esta divisão é igual a 6,46. Portanto, no período considerado, é possível realizar-se 6,46 ciclos de setup.

$$\text{Número de ciclos de setup} = \frac{\text{Tempo disponível para realização de setups (min)}}{\text{Tempo total gasto com setups (min)}}$$

Figura 15 - Cálculo do número de ciclos de setup possível de ser realizado

Finalmente, após o cálculo do número de ciclos de setup, pode-se chegar à definição do TPT para o processo gargalo. Deve-se dividir o total de dias do período considerado pelo número de ciclos de setup calculado. Assim, dividindo 20 dias por

6,45 ciclos de setup, chega-se ao valor de TPT igual a 3,09. Arredondando o valor para 3, pode-se perceber que o processo em questão pode ter um TPT igual a 3, ou seja, todas as peças do processo podem ser feitas a cada 3 dias.

O valor do TPT do processo deve ser comparado com a frequência de demanda de cada item. Como valor final de TPT para cada item, deve ser considerado o maior valor entre o TPT do processo calculado e a frequência de demanda do item.

O cálculo do TPT deve ser feito para todos os processos gargalo de todos os loops projetados no novo sistema de planejamento e programação da situação futura. Após feito isso, pode-se fazer a definição da distribuição dos cartões no quadro Kanban (quadro semáforo).

3.3.3. Definição da distribuição dos cartões no quadro semáforo

Após ter calculado o TPT, deve-se definir também para cada loop do mapa futuro a quantidade em dias que se deve utilizar para o *Lead Time* de reposição e para a segurança. É necessário também definir para cada item que entrará em supermercado a quantidade de peças que pode ser colocada em cada contenedor. Esta quantidade de peças corresponderá ao tamanho de cada cartão, já que para cada contenedor, deve haver um cartão correspondente. Com isso em mãos, é possível fazer o cálculo de quantos cartões são necessários para colocar-se nas faixas verde, amarela e vermelha do quadro Kanban. As equações a seguir mostram o cálculo de quantos cartões devem ser colocados em cada faixa do quadro:

Verde => Total de cartões referentes ao ciclo da peça (TPT) = (Demanda média diária + desvio padrão) * TPT / Tamanho do cartão (1)

Amarelo => Total de cartões referentes ao tempo de reposição da peça = (Demanda média diária + desvio padrão) * *Lead Time* de reposição / Tamanho do cartão (2)

Vermelho => Total de cartões referentes ao estoque de segurança = (Demanda média diária + desvio padrão) * Lead Time de segurança / Tamanho do cartão **(3)**

Definindo um Lead Time de reposição igual a 2 dias e a segurança igual a 1 dia, com o TPT calculado anteriormente de 3 dias, podemos montar a seguinte tabela para os itens considerados no processo gargalo do loop exemplificado no tópico anterior.

Item	Demanda diária + Desvio Padrão (peças/dia)	TPT (dias)	LT reposição (dias)	LT segurança (dias)	Tamanho do Kanban (pcs)	Qtde Kanbans Verde	Qtde Kanbans Amarelo	Qtde Kanbans Vermelho
1	25	3	2	1	15	5	3	2
2	16	3	2	1	10	5	3	2
3	18	3	2	1	20	3	2	1
4	10	3	2	1	10	3	2	1
5	28	3	2	1	12	7	5	2
6	25	3	2	1	12	6	4	2
7	38	3	2	1	15	8	5	3
8	18	3	2	1	15	4	2	1

Tabela 5 - Dimensionamento da quantidade de cartões no quadro semáforo

Com o dimensionamento do supermercado feito, deve-se agora definir as sistemáticas de programação e controle da produção.

3.4. Definição das sistemáticas de programação e controle da produção

Para os itens que serão controlados por ordem, o disparo destas deve continuar sendo feito via sistema MRP, com as ordens sendo disparadas para os diversos processos considerando a defasagem de tempo entre estes. Para que haja uma padronização da sistemática de programação, estas ordens podem ser transformadas em cartões iguais aos cartões Kanban que serão utilizados. Nos cartões de ordem, deve-se escrever somente o código do item e a quantidade a ser

produzida em cada processo. Pode-se deixar nos quadros Kanban um espaço reservado para que sejam feitas as programações dos itens em ordem.

A quantidade a ser produzida para cada ordem deve ser quebrada de acordo com o TPT calculado para o processo correspondente. Por exemplo, se chega uma ordem mensal de 200 peças, e o TPT do processo é igual a 5 dias, deve-se quebrar esta ordem de 200 em 4 ordens de 50 peças para serem feitas a cada 5 dias, respeitando assim a capacidade do processo.

Como descrito anteriormente, os itens em ordem devem ter prioridade de produção em relação aos itens Kanban. A produção dos itens Kanban é feita para repor as peças que foram consumidas pelo processo cliente. Assim, a produção é para repor o supermercado. O dimensionamento do sistema é feito de forma que ainda haja uma quantidade de peças em supermercado destes itens, caso o processo cliente ainda necessite consumi-las. Já para os itens em ordem não há peças em estoque (supermercado). A produção destas é realizada para que estas possam ser usadas rapidamente nos processos subseqüentes. Assim, na programação do dia, deve-se fazer sempre os itens em ordem antes dos itens Kanban.

Os itens que estarão em Kanban devem ser marcados como itens-fantasma no sistema MRP, de modo a não serem geradas ordens de produção para estes itens. Toda a programação e controle da produção para estes itens funcionará através do cartão Kanban, que acompanha a peça, e quando o contenedor da peça é esvaziado, o cartão desta vai para o quadro semáforo.

Para os itens Kanban, há 2 formas de programação e controle: por quantidades fixas e por períodos fixos. Abaixo serão explicadas as 2 sistemáticas.

a) Programação e controle por quantidades fixas

Na programação e controle do sistema puxado por quantidade fixa, o período de tempo é variável, mas a produção deve ser realizada sempre que o primeiro cartão amarelo é colocado no quadro Kanban. Quando isto ocorre, é a sinalização que o item deve ser produzido. Apesar de ter sido dimensionado o TPT, a demanda não se comporta constantemente, e assim, pode ser que em algumas vezes, a faixa amarela seja atingida com menos dias que o TPT e em outras ocasiões, com mais dias que o TPT dimensionado. Dessa forma, a quantidade é fixa, mas o período de

chegada do cartão é variável. Este tipo de programação e controle deve ser usado para os itens 2 gavetas. Quando o cartão chega na faixa amarela, há a necessidade de produção de uma das gavetas.

Este tipo de política é comumente usada. Ela é simples, o disparo da produção e a gestão visual ficam bastante facilitados, principalmente quando não há tanto itens no quadro. Porém, quando há uma quantidade grande de itens e a demanda é bastante oscilante, a priorização e o seqüenciamento dos itens a serem produzidos podem se tornar difíceis de serem feitos.

Em ambientes com alta variedade de produtos e demanda desnivelada, os cartões podem ora chegar no quadro de uma vez, ora demorarem para chegar. Este fato pode causar desnivelamento da produção por causa do desnivelamento da demanda, gerando ora sobrecargas ora ociosidades nos processos produtores. Para fazer com que o sistema trabalhe de uma forma mais compassada, é sugerida a programação e controle por períodos fixos.

b) Programação e controle por períodos fixos

Na política de programação e controle por períodos fixos, a quantidade de itens a serem produzidos em cada vez é variável, mas os itens são distribuídos no quadro de forma a serem produzidos em determinado dia. Dessa forma, o período é constante, mas a quantidade produzida pode mudar.

Por exemplo: para um determinado item que deve ser produzido todas as segundas-feiras, a quantidade de cartões pode variar. Em algumas segundas podem ser produzidos alguns cartões da faixa verde, enquanto em outras segundas podem ser produzidos todos os da faixa verde e mais os da faixa amarela.

Dessa forma, os operadores do processo, normalmente, para cada dia da semana, fazem uma determinada quantidade de itens que estão programados para cada dia. Caso haja algum item em vermelho em outro dia da semana que não o atual, este item deve “furar a fila” e devem ser produzidos todos os cartões referentes a este item, mesmo que este item não esteja programado inicialmente para ser feito neste dia.

A distribuição dos itens no quadro deve ser feita de modo a balancear o mix ao longo dos dias. O ideal é que uma mesma quantidade de itens seja distribuída em todos os dias e que o carregamento total das peças para cada dia seja nivelado.

Outros fatores como similaridades de peças para aproveitamento de setup devem ser levados em consideração na distribuição do mix ao longo dos dias. Logicamente, a capacidade produtiva para cada dia não pode ser ultrapassada.

Esta política possibilita um melhor nivelamento da produção, mesmo que a demanda esteja desnivelada. Outra vantagem é que o quadro com as peças definidas para cada dia auxilia os operadores na tomada de decisão de quais peças devem ser priorizadas, dando um senso de previsibilidade da produção para cada dia da semana.

Como desvantagens, temos que pode haver o desperdício da superprodução, já que itens que não chegaram na faixa amarela devem ser produzidos, caso esteja em seu dia previsto para produção. Além disso, esta política requer um esforço maior para manutenção do sistema. Quando são feitos redimensionamentos, quando o TPT é alterado ou quando novas peças entram para o quadro, o mix deve ser recalculado e algumas vezes, quadros novos precisam ser confeccionados.

Cabe a empresa decidir qual sistemática de programação e controle para os itens Kanban deve ser utilizada. É importante dizer também que diferentes sistemáticas podem existir numa mesma empresa. Os diferentes *loops* podem ser programados e controlados seguindo políticas diferentes, alguns por quantidade fixa outros por período fixo.

É bom lembrar que a demanda deve ser revisada periodicamente e, assim, todos os itens podem ter alterações na quantidade de cartões, baseada na variação da demanda. É aconselhável que a demanda seja revisada a cada três meses. Assim, deve haver quatro trimestres que servem de base para o redimensionamento dos cartões: janeiro-março, abril-junho, julho-setembro e outubro-dezembro. Outros horizontes de tempo podem ser definidos para revisão da demanda e, conseqüentemente, redimensionamento dos cartões.

3.5. Programação e nivelamento do processo puxador

A produção de diferentes produtos deve ser uniformemente distribuída e nivelada ao longo dos dias. Isto faz com que os estoques possam ser reduzidos e dá

uma maior flexibilidade no que diz respeito ao mix de produção. Com um processo nivelado, os lotes de produção são menores e giram com mais frequência, ou seja, com um TPT menor. Com lotes menores, tem-se um melhor atendimento à demanda dos clientes. Os clientes podem fazer pedidos diariamente e a produção trabalhará de forma a atingir estes pedidos através do trabalho com lotes menores.

O processo puxador deve ter suas operações balanceadas e padronizadas de forma que todas elas possam trabalhar em fluxo contínuo e dentro do *Takt Time*. O mix de produção deve ser nivelado, de forma que a produção de diversos itens seja distribuída ao longo do tempo. Para que isso seja possível, pode ser necessário um trabalho de redução do tempo de setup, de forma a dar uma maior flexibilidade de mix para o processo puxador. O processo puxador deve procurar produzir sempre um nível constante e diversificado de itens. Caso a demanda mude, o volume total de produção do processo puxador também mudará e irá para outro patamar, mas este novo patamar deve ser mantido constante ao longo de certo período de tempo.

Em ambientes com alta variedade de produtos, é difícil garantir que o conteúdo de trabalho do processo puxador varie pouco entre os diversos itens. É difícil também garantir que todos os produtos possam trabalhar dentro do *Takt Time*. Se um ou mais produtos no processo puxador (ou em algum processo depois do processo puxador) possua tempo de processamento cerca de 30% maior que o *Takt Time*, alguns procedimentos podem ser feitos, como:

- Estocar peças acabadas destes itens;
- Trabalhar com horas extras;
- Utilizar operadores extras;
- Fazer a produção destes itens em outra célula de produção;
- Limitar a quantidade a ser realizada, de forma a não comprometer o atendimento à programação diária do processo puxador.

A distribuição de grandes lotes de produção acarreta numa falta de noção de *Takt Time*, distribuindo a carga de trabalho de forma irregular, dificultando o monitoramento do atendimento à programação e comprometendo o processo com a produção de um ou poucos itens, o que faz com que não haja flexibilidade de mix.

Ao estabelecer-se um ritmo de produção com nivelamento, é criado um fluxo de produção previsível, ficando fácil de visualizar quando a programação não pode ser cumprida. A liberação regular e consistente de pequenos e consistentes incrementos de trabalho no processo puxador gera uma programação visual e eficaz. Estes pequenos incrementos de trabalho que devem ser colocados no quadro de programação são chamados de *pitch*. O intervalo *pitch* é igual ao tempo necessário para produzir um cartão kanban.

O quadro de programação contendo os *pitches* de forma a nivelar a produção é chamado de *heijunka box*. Um *heijunka box* fácil de utilizar é um quadro contendo os horários de programação, de acordo com os *pitches* pré-estabelecidos. A Figura 16 mostra um quadro *heijunka box* para programação e nivelamento do processo puxador, com *pitches* de 10 minutos. Neste quadro, os cartões são colocados de acordo com a quantidade de *pitches* que vai ocupar. Se o cartão demora, por exemplo, 40 minutos para ser processado, um espaço de 4 *pitches* deve ser reservado no quadro. Assim, após a colocação deste cartão, outro cartão só poderá ser programado pulando-se 4 espaços desde este último cartão. Ao se colocar cartões no quadro, é feita a programação diária, e o líder do setor tem uma visão antecipada do que deve ser feito ao longo do dia. É fácil a detecção de problemas caso a programação não esteja sendo cumprida como programada e fica fácil para o líder a tomada de decisões para fazer ações corretivas para não prejudicar o cumprimento da programação diária. Outra vantagem é o senso de ritmo (*takt*) que é dado aos operadores do processo.

Hoje	Amanhã	
		06:20 - 06:30
		06:30 - 06:40
		06:40 - 06:50
		06:50 - 07:00
		07:00 - 07:10
		07:10 - 07:20
		07:20 - 07:30
		07:30 - 07:40
		07:40 - 07:50
		07:50 - 08:00
		08:00 - 08:10
		08:10 - 08:20
		08:20 - 08:30
		08:30 - 08:40

Figura 16 - Exemplo de quadro heijunka box

Para definir o tempo correspondente ao *pitch* de cada cartão kanban, deve-se multiplicar o *takt time* pela quantidade de peças do cartão kanban. Num ambiente de alta variedade de produtos, a quantidade de peças por cartão tende a variar bastante para os diferentes produtos. Com isso, deve-se adotar um intervalo *pitch* padrão aproximado, baseado num denominador comum entre os diversos *pitches* calculados. Este intervalo *pitch* adotado não deve ser nem tão grande e nem tão pequeno.

É difícil garantir que o conteúdo de trabalho para todos os produtos definidos no processo puxador varie pouco e que nenhum produto possua conteúdo de trabalho acima do *takt time* médio definido. No caso de variações acima de 30%, pode-se adotar o seguinte procedimento: utilizar o conceito de famílias de tempo e calcular o *takt time* individual para cada família de tempo.

Numa mesma família de tempo, devem ser agrupados os produtos que apresentam, para o processo puxador em questão, tempos de ciclo parecidos. É recomendável escolher o produto mais representativo da família e adotar um tempo de ciclo padrão para esta família de produto baseado no tempo deste item mais representativo.

Após definidas as famílias de tempo e os tempos de ciclo padrão para cada família, deve-se calcular um *takt time* individual para cada família de tempo. A adoção de um *takt time* único para as diferentes famílias de tempo pode causar distorções, gerando uma quantidade de *pitches* por cartão que pode não ser a ideal.

De acordo com a disponibilidade para cada família de tempo, deve-se definir no quadro micro o tempo reservado para cada família de tempo ao longo do dia, colocando-se para cada família uma certa quantidade de *pitches* por dia.

Após visto como deve ser feita a programação e o nivelamento do processo puxador, o próximo passo é definir como deve ser feita a implementação do novo sistema de planejamento, programação e controle da produção.

3.6. Implementação do novo sistema de planejamento, programação e controle da produção

Para a implantação do novo sistema de planejamento, programação e controle da produção, é aconselhada a utilização da metodologia *Kaizen* de implementação de mudanças. Esta técnica propõe a implantação rápida de melhorias, com participação efetiva de pessoal envolvido com o novo sistema. As características e peculiaridades do *Kaizen* estão descritas anteriormente, no tópico 2.1.5 *Kaizen*, da revisão bibliográfica.

É importante lembrar que todo o desenvolvimento e dimensionamento do sistema de planejamento, programação e controle da produção deve ser feito anteriormente. Somente a implantação é que deve usar a técnica do evento *Kaizen*, geralmente com duração de cinco dias. Todos os recursos necessários, como cartões, quadros e prateleiras devem estar comprados anteriormente, para que possam ser utilizados durante o *Kaizen*.

A seguir será mostrado um estudo de caso, com a aplicação do método proposto.

4. ESTUDO DE CASO

4.1. Apresentação da empresa

A empresa escolhida para a aplicação do método proposto fica localizada no interior de SP, na região de Botucatu. Esta empresa pertence ao setor metal-mecânico e fornece peças para veículos automotores e máquinas e equipamentos agrícolas, possuindo cerca de 200 funcionários.

A produção da empresa em questão está dividida nos seguintes macro processos:

- Usinagem: neste setor as matérias-primas em forma de barras são serradas e posteriormente seguem para a estamparia ou para outras operações de usinagem como tornos (CNC e revólver), fresas e furadeiras.
- Corte: formado por máquinas laser, é o primeiro processo das matérias-primas em forma de chapas.
- Estamparia: corresponde às prensas, guilhotina, dobradeira e calandra. As dobradeiras são as máquinas mais utilizadas e o gargalo da produção devido ao alto tempo de setup despendido.
- Solda: são treze cabines de solda manual, sendo uma de solda ponto mais um robô. Após serem soldadas, as peças seguem para calibragem e acabamento.
- Fosfatização: processo composto por vários tanques onde as peças são imersas, de modo a fazer um tratamento superficial para que as mesmas possam ser pintadas.
- Pintura: as peças sofrem o processo de pintura a pó, nas cores cinza, amarela, vermelha ou preta.
- Processos externos: alguns itens são enviados a terceiros para serem zincados ou sofrerem tratamento térmico. A zincagem é um tratamento superficial feito também em Botucatu, substituindo a fosfatização e pintura. O tratamento térmico é realizado por uma empresa de Sorocaba,

aumentando em 15 dias o *Lead Time* para as peças que passam por este processo.

- Montagem/Expedição: é setor responsável pela montagem final e expedição dos subconjuntos e conjuntos finais.

A empresa foi escolhida para a aplicação do método devido à alta variedade de produtos acabados (cerca de 1200) e à variedade ainda maior de componentes. Além disso, a empresa recebe pedidos em carteira de 3 meses, o que compromete a produção, que tende a produzir em grandes lotes. Assim, a empresa é também um bom exemplo para o estudo de nivelamento da produção a partir dos pedidos em grandes lotes feitos pelos clientes. Junto a isso, tem que se considerar o fato que há uma previsão de aumento da demanda em cerca de 30%, o que poderia ser um obstáculo para a aplicação do método.

Para iniciar os trabalhos, foi realizado o mapeamento do fluxo de valor da situação atual, a fim de ajudar a diagnosticar os principais problemas que poderiam estar atingindo a empresa. Este mapa pode ser observado na Figura 17 abaixo:

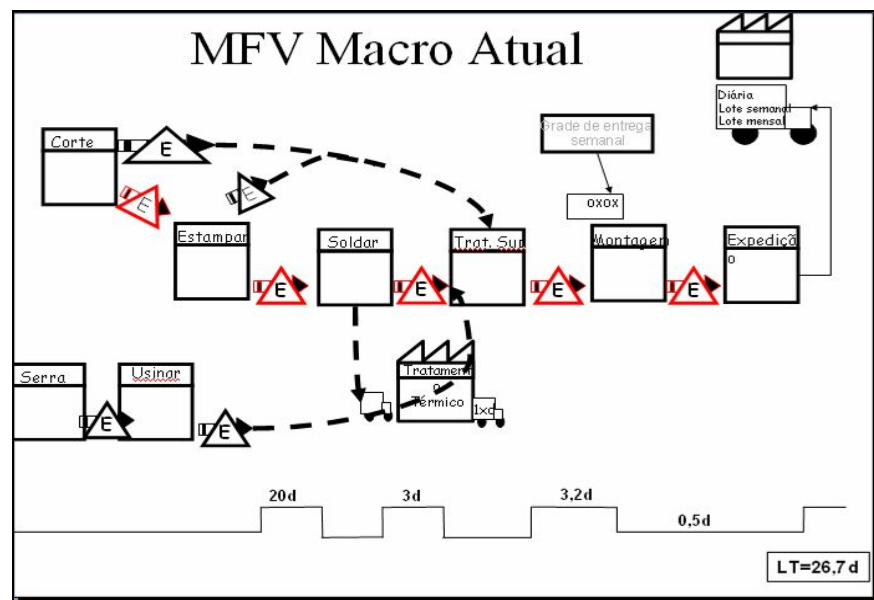


Figura 17 - Mapa de fluxo de valor (Situação Atual)

Os seguintes problemas foram identificados na empresa em questão:

- Excesso de estoque em processo;
- Ausência de gestão visual no chão-de-fábrica;
- Programação da produção empurrada, baseada em previsão mensal;

- Sistema de planejamento, programação e controle da produção genérico para todos os itens, obedecendo à política de lote econômico;
- Falta e sobra de componentes nos processos que exigem sincronização, como na solda e na montagem final;
- Atrasos nas entregas de peças para os clientes (baixa pontualidade);
- Uso freqüente de horas extras;
- Baixa produtividade na solda e na montagem final;
- Alto *Lead Time* de produção;

A seguir será descrita, passo a passo, a aplicação do método proposto na empresa selecionada.

4.2. Aplicação do método proposto

4.2.1. Projeto macro do sistema de planejamento e programação da produção

Após realizado o mapa de fluxo de valor da situação atual, foi feita a proposta do mapa de fluxo de valor futuro, com a definição dos pontos de supermercado que deveriam existir ao longo do fluxo de valor, além da identificação do processo puxador. A idéia foi quebrar o longo fluxo de valor em partes menores. Estas partes menores são chamadas de *loops*, que são caracterizados pela presença do quadro Kanban no primeiro processo e do supermercado após o último processo no mapa de fluxo de valor. Com a criação dos *loops*, a administração da produção é facilitada e os problemas que poderiam ocorrer ao longo do fluxo produtivo são minimizados, ficando restritos dentro dos *loops*. Foram definidos quatro pontos de supermercado, conforme indica o mapa de fluxo de valor futuro. A Figura 18 representa o fluxo de valor futuro:

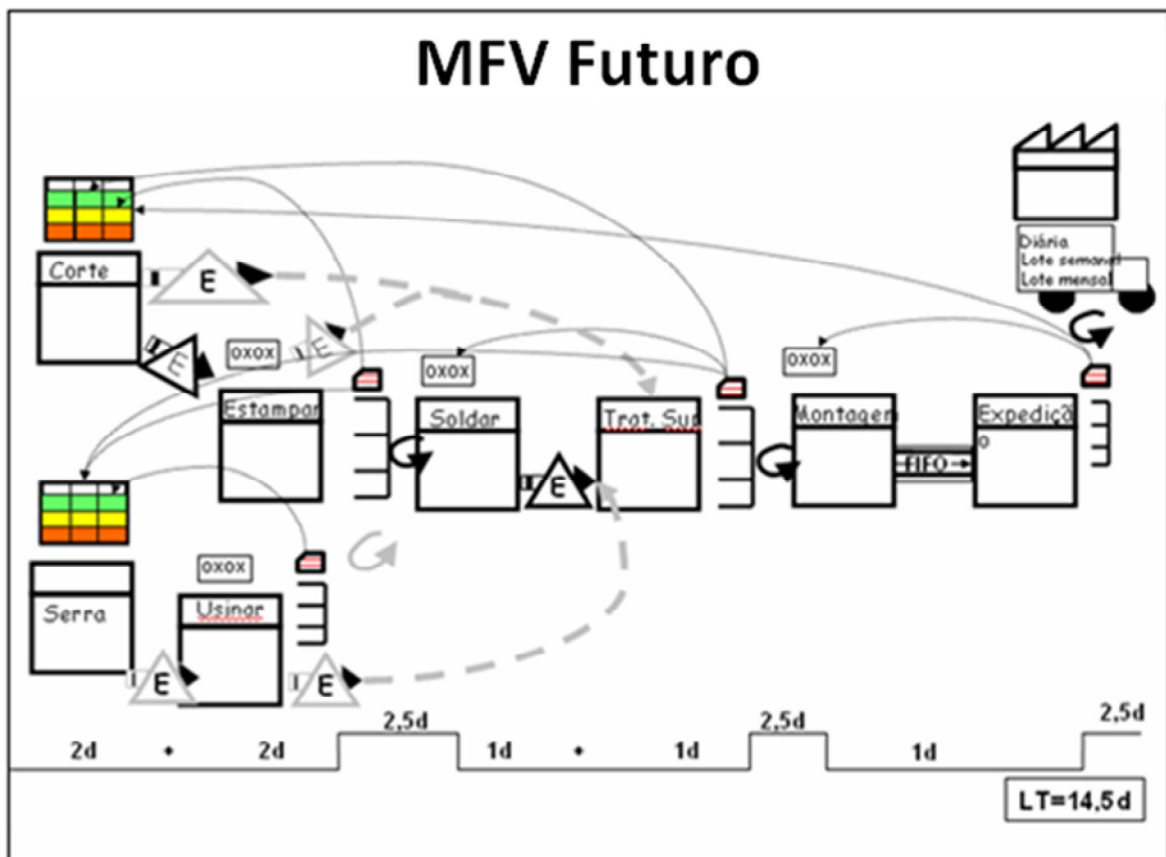


Figura 18 - Mapa de Fluxo de Valor (Situação Futura)

Da direita para a esquerda, o primeiro ponto de supermercado sugerido foi o de produtos acabados logo após a expedição. Assim, foi mudada a política de atendimento da demanda. O sistema passou a ser um sistema puxado de reposição e a política MTO (*Make-to-order*) foi mudada para a política MTS (*Make-to-stock*), garantindo assim uma resposta mais rápida para o cliente final. Dessa forma, os produtos mais representativos (*Best-Sellers*) ficam em estoque e quando o cliente faz o pedido de algum destes produtos, este já está disponível para pronta entrega. Os processos anteriores do fluxo de valor são requisitados para fazerem a reposição do que foi consumido. Os processos não produzem para atender diretamente ao cliente, mas sim para repor o que foi consumido pelos clientes no supermercado final de produtos acabados. Os pedidos eram colocados trimestralmente em carteira, mas firmados com um mês de antecedência.

O segundo ponto de supermercado foi criado para ficar antes da montagem. Este ponto foi criado de modo a evitar a falta dos componentes relacionados aos produtos acabados *best-sellers* na montagem final. Este ponto visa acabar com o

problema de falta e sobra na montagem. Anteriormente, com as ordens de produção espalhadas pelos processos ao longo do fluxo de valor, era difícil de garantir o sincronismo de todos os componentes na montagem final, comprometendo a produtividade desta e fazendo com que fosse necessário, muitas vezes, a utilização de horas extras para realizar a produção necessária para atender ao cliente no prazo estipulado.

Os outros pontos de supermercado foram criados de forma a garantir a disponibilidade dos componentes relacionados aos produtos acabados *best-sellers* para a solda. Assim como na montagem final, o fenômeno da falta e sobra seria eliminado com a criação destes dois pontos de supermercado. Além disso, este ponto de supermercado visa funcionar como regulador dos processos de corte a laser, usinagem e estamparia, já que há um alto mix de produtos que passam por estes processos. Sem a criação deste ponto de supermercado, fica difícil fazer a programação da produção de forma otimizada para estes processos.

No mapa futuro apresentado, a expedição foi definida como o processo puxador do fluxo de valor. O próximo passo do método é a definição das subfamílias de programação e controle da produção.

4.2.2. Definição das subfamílias de programação e controle da produção

Nesta etapa, o objetivo é definir, segundo alguns critérios, quais produtos acabados (PAs) deveriam ser programados e controlados via *kanban* e quais deveriam ser programados e controlados via ordem de produção. A partir dos PAs que irão ser controlados via *kanban*, deve-se checar a estrutura de produto e colocar em supermercado todos os componentes relacionados aos PAs, de acordo com os *loops* definidos anteriormente.

Os critérios utilizados para a definição das subfamílias de programação e controle da produção foram volume da demanda, frequência da demanda e custo.

Baseado na previsão dos três meses seguintes, os itens foram classificados em baixo, médio e alto volume. Levando-se em conta a média e o desvio-padrão dos

itens no período considerado, estes puderam ser classificados em freqüentes ou esporádicos (intermitentes). Finalmente, os itens foram classificados em alto e baixo custo.

Assim, para a definição do tipo de controle e do tamanho do TPT, foram criadas quatro diferentes subfamílias de programação e controle da produção. A Tabela 6 abaixo resume as diferentes subfamílias criadas, de acordo com os critérios adotados:

Sub-Família	Nível	Custo	Volume	Frequência	Controle	Tamanho
1	PA e Componentes	A	A	Frequente	Kanban	1*TPT
1	PA e Componentes	A	B	Frequente	Kanban	1*TPT
2		A	C	Frequente	Ordem	Pedido
1		B	A	Frequente	Kanban	1*TPT
2		B	B	Frequente	Ordem	Pedido
2		B	C	Frequente	Ordem	Pedido
3	PA (exceto soldados)	C	A	Frequente	2 Gaveta	20 dias/Gaveta
3	PA (exceto soldados)	C	B	Frequente	2 Gaveta	20 dias/Gaveta
3	PA (exceto soldados)	C	C	Frequente	2 Gaveta	20 dias/Gaveta
4	Componentes para Solda	C	A	Frequente	2 Gaveta	10 dias/Gaveta
4	Componentes para Solda	C	B	Frequente	2 Gaveta	10 dias/Gaveta
4	Componentes para Solda	C	C	Frequente	2 Gaveta	10 dias/Gaveta

Tabela 6 - Subfamílias de programação e controle

Para facilitar o trabalho, foi feita também uma divisão em família de *loops*, de acordo com o processo inicial e o processo final de cada *loop*. Na Figura 19 abaixo, pode-se ver dois exemplos de famílias de *loop*: a família A corresponde ao *loop* corte a laser-estamparia, enquanto a família B corresponde ao *loop* solda-fosfatização-pintura.

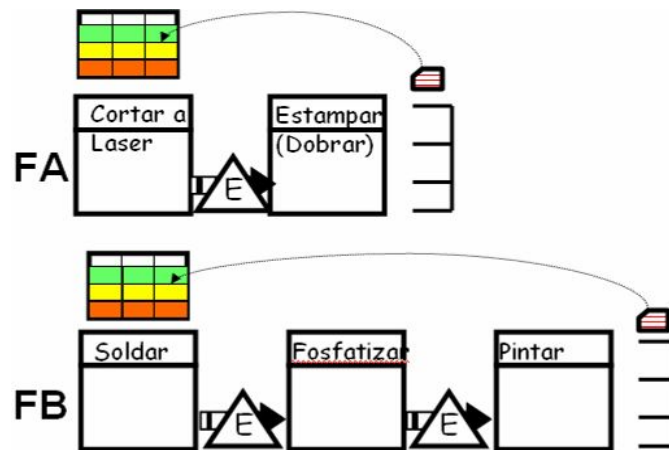


Figura 19 - Exemplos de famílias de loops

Fazendo-se a divisão descrita acima, observou-se que havia uma quantidade grande de famílias de *loops*. Para simplificar este fato, foi definido que cada família de *loops* seria considerada baseando-se somente no processo inicial e no processo final do *loop* em questão. Desse modo, foram formadas 9 famílias de *loops*. Observe a Tabela 7 abaixo:

	Processo Inicial	Processo Final
Família 1	Solda	Tratamento Superficial
Família 3	Corte	Estamparia
Família 4	Corte	Tratamento Superficial
Família 6	Serra	Estamparia
Família 7	Serra	Tratamento Superficial
Família 8	Serra	Usinagem
Família 9	Montagem	Expedição

Tabela 7 - Definição das famílias de loop

As famílias 2 e 5 são exceções. A família 2 compreende os itens que passam pelo processo de tratamento térmico, tendo um longo *lead time* (15 dias), enquanto a família 5 compreende os itens que sofrem o processo de usinagem em terceiros.

4.2.3. Dimensionamento do tamanho dos supermercados

Neste tópico será detalhado o cálculo do dimensionamento do tamanho dos supermercados. Neste dimensionamento, deve-se observar cada *loop*, já que pode haver diferenças de TPT, *Lead Time* de reposição e segurança entre os diferentes *loops*.

Para calcular o TPT de todos os *loops* houve uma restrição muito forte. Não havia tempos de ciclo (TCs) registrados disponíveis para fazer o cálculo. Dessa forma, o caminho escolhido foi estimar o TPT dos *loops* iniciais do fluxo de valor, ou seja, do supermercado do corte a laser e estamparia e do supermercado da serra e usinagem. Nestes processos, o mix de peças era muito grande e dessa forma, estes processos teriam, provavelmente, restrições de realizar muitos *setups*. Foi estimado inicialmente um TPT de 5 dias, ou seja, todas as peças seriam feitas, nestes *loops*, em média, a cada 5 dias. Caso fosse observado posteriormente que o TPT na prática estava sendo diferente do TPT estimado, dever-se-ia fazer uma revisão deste, podendo ser tanto aumentado quanto diminuído.

Para todos os outros *loops* foi adotado o TPT igual a 5 dias. Somente para os *loops* referentes aos supermercados da solda e da montagem é que foi feita uma tratativa diferente. Apesar da expedição, que passou a ser o processo puxador, puxar os itens uma vez por semana (lotes semanais), a solda e a montagem não tinha limitações com relação a tempos de *setup*. Dessa forma, estes *loops* não precisariam trabalhar produzindo sempre lotes semanais dos itens, o que poderia comprometer a flexibilidade de mix destes processos. Estes processos poderiam trabalhar com lotes diários. Posteriormente será detalhado como foi feito para que estes itens trabalhassem com lotes diários, já que a expedição fazia entrega de lotes semanais.

Após o TPT, foram definidos os Lead Times de reposição e de segurança para todos os *loops* de produção envolvidos. O *Lead Time* de segurança foi definido como um dia e o *Lead Time* de reposição foi definido de acordo com os processos envolvidos em cada *loop*. Os *Lead Time* de reposição de cada processo são os seguintes:

- Serra = 1 dia
- Corte a laser = 2 dias

- Usinagem = 2 dias
- Estamparia = 2 dias
- Solda = 1 dia
- Tratamento superficial = 1 dia
- Montagem = 1 dia

Para os itens que seriam controlados via 2 gavetas, foi definida cada gaveta com 15 dias. O tamanho do Kanban foi definido de acordo com a capacidade de armazenamento do contenedor de cada peça.

Com os dados de TPT, *Lead Times* de reposição e de segurança e quantidade de peças por contenedor definidos para todos os *loops*, foi possível fazer o dimensionamento do tamanho de todos os supermercados. Com estes dados citados, foi possível calcular a quantidade de cartões verde, amarelo e vermelho para todas as peças que seriam controladas via *kanban*.

Dando continuidade ao método proposto, o próximo passo é a definição das sistemáticas de programação e controle da produção.

4.2.4. Definição das sistemáticas de programação e controle da produção

Nesta etapa da aplicação, serão mostradas as novas sistemáticas de programação e controle da produção, tanto para os itens em ordem quanto para os itens Kanban.

Anteriormente, todos os itens eram programados e controlados através da emissão de ordens de produção ao longo do fluxo de valor, sendo um sistema empurrado. As ordens eram emitidas via sistema MRP, pela sistemática de “Lote a Lote”. Os itens eram programados de acordo com a previsão da demanda mensal e giravam uma vez por mês (lote mensal), quando poderiam girar num TPT menor. Os grandes lotes mensais prejudicavam a flexibilidade de mix do sistema, já que os processos passavam grande parte do tempo produzindo somente determinado item. Com o cálculo do TPT de 5 dias para cada fluxo, as ordens dos itens que seriam programados e controlados via ordem passaram a ser emitidas pela sistemática de

“Lote a Intervalo Fixo”. Dessa forma, os grandes lotes mensais eram transformados em lotes semanais e os itens de ordem passaram a girar num TPT de 5 dias, dando maior flexibilidade de mix para o sistema.

Para os itens que seriam programados e controlados via Kanban (sistema puxado), decidiu-se utilizar a política de reposição por ciclo de pedidos constante. Mas essa política foi usada de forma diferente em alguns *loops* de produção ao longo do fluxo de valor.

Para os *loops* iniciais de peças usinadas e cortadas, foi adotada uma política de reposição por ciclo de pedidos constante tradicional. As peças foram distribuídas de forma balanceada ao longo dos cinco dias da semana, tentando-se manter uma quantidade média de itens em cada dia e um carregamento médio nivelado para cada dia da semana. Dessa forma, as peças foram separadas de acordo com seus respectivos códigos em cada dia da semana, facilitando a gestão visual para a tomada de decisão por parte dos operadores de quais peças deveriam ser produzidas. Observe a Figura 20, que mostra o quadro *Kanban* do corte a laser.



Figura 20 - Quadro Kanban corte a laser

Para os *loops* fluxo abaixo, de peças soldadas e montadas, foi adotada uma política de reposição por ciclo de pedidos constante com retirada compassada. Apesar do processo puxador (expedição) puxar os itens uma vez por semana (lotes

semanais), escolheu-se trabalhar com lotes diários de produção, ou seja, os lotes semanais da expedição eram transformados em lotes diários para os processos de solda e montagem. Dessa forma, a solda e a montagem não ficariam muito tempo fazendo somente um mesmo tipo de peça, o que comprometeria a flexibilidade de mix de produção para estes processos.

Ao invés de utilizar-se quadros *Kanban* na solda e na montagem, foram utilizados quadros de programação com janelas de dias da semana, de forma a regular a reposição dos lotes semanais dos itens *Kanban*. Quando o líder de cada um destes setores recebia os cartões *Kanban* referentes a determinada peça, ele distribuía estes cartões ao longo da semana, tentando quebrá-los de forma uniforme em lotes diários. Observe a Figura 21, que mostra o quadro de programação macro da solda.



Figura 21 - Quadro de Programação Macro da Solda

À medida que novos itens foram entrando em sistema puxado, o quadro macro mostrou-se deficiente, já que não considerava os diferentes tempos de solda e de montagem para os diferentes itens. Ou seja, o quadro não mostrava se os processos estavam ficando sobrecarregados ou não, de acordo com o mix escolhido. Num determinado dia, poderiam estar sendo programados somente itens “fáceis” de serem feitos (itens com tempos menores de produção), enquanto em

outros dia poderiam estar sendo programados itens difíceis de serem produzidos (itens com tempos maiores de produção).

Para solucionar este problema, foram definidas famílias de janelas de tempo. Os itens foram agrupados nestas famílias de acordo com o tempo de reposição do respectivo cartão. Para cada família, foi definida a quantidade média de *Kanbans* que teria por dia e o respectivo tempo de ciclo. Assim, poder-se-ia chegar ao valor do carregamento diário de cada família e dessa forma, definir a porcentagem relativa que cada família teria dentro do carregamento total. Com isso, pôde-se reservar para cada família de tempo uma certa quantidade de janelas de tempo (*pitches*) para cada dia da semana. O quadro macro deveria ser programado respeitando-se a quantidade máxima disponível de *pitches* para cada família. Observe a Tabela 8 abaixo:

Famílias de Janelas de Tempo	Quadro Macro Qde. Média Kanbans/Dia	T/C 1 Kanban (min)	T/C Lote Diário (min)	% Relativa do T/C Lote Diário
Células				
Família 1	39,5	30,0	1185,0	18%
Família 2	29,9	60,0	1794,0	27%
Família 3	12,0	90,0	1080,0	16%
Família 4	2,8	120,0	336,0	5%
Família 5	2,4	150,0	360,0	5%
Família 6	0,0	180,0	0,0	0%
Família 7	1,6	210,0	336,0	5%
Família 8	0,7	240,0	168,0	3%
Família 9	2,0	270,0	540,0	8%
Família 10	1,0	300,0	300,0	4%
Família 11	1,0	330,0	330,0	5%
Família 12	0,8	360,0	288,0	4%
Total	93,70		6717,0	100%

Tabela 8 - Cálculo da porcentagem relativa para cada família de tempo (células solda)

A partir dos quadros macro da solda e da montagem, os líderes destes processos deveriam retirar os cartões e transferi-los para os quadros micro, que ficariam em todas as cabines de solda e bancadas de montagem. Os quadros micro indicavam a programação, de forma visual, do que deveria ser feito ao longo do dia para cada uma das cabines e para cada uma das bancadas.

Estes quadros *Heijunka Box* forneceria senso de ritmo para os soldadores e montadores. Foi definido que os *pitches* seriam de 30 minutos. Em cada cartão,

ficava definida a família que o cartão da peça pertencia e cada família tinha uma quantidade definida de *pitches*. Dessa forma, bastava olhar a família descrita no cartão e programá-lo respeitando sua quantidade de *pitches*. Se o cartão era referente a uma peça da família 3, a peça deveria ser programada no quadro micro utilizando 3 janelas de tempo de 30 minutos. Ou seja, seriam gastos 90 minutos para que a peça fosse soldada ou montada, gastando-se 3 espaços no quadro micro. Observe a Figura 22, que mostra um exemplo de quadro de programação micro da solda:



Figura 22 - Exemplo de quadro de programação micro

O próximo passo é o que diz respeito à programação e nivelamento do processo puxador.

4.2.5. Programação e nivelamento do processo puxador

O quinto passo do método proposto é a programação e nivelamento do processo puxador. O processo puxador, como dito anteriormente, passou a ser a expedição. A maioria dos itens era puxada semanalmente, mas havia alguns itens que eram puxados mensalmente. Estes itens, puxados mensalmente, quase sempre atrasavam, além de causarem sobrecarga nos processos devido ao grande tamanho

dos lotes. Para estes itens, eram feitas entregas parciais, o que era ruim para a imagem da empresa perante os clientes.

Para solucionar este problema, foi criada uma sistemática para empenho de lotes semanais ao longo do mês. Foi criado na expedição um quadro de programação dos empenhos. Com isso, os itens de entrega mensal seriam submetidos ao mesmo giro (TPT) dos itens de entrega semanal. A única diferença é que a expedição separava os itens empenhados à medida que estes eram produzidos. A expedição poderia entregar o pedido para o cliente assim que o lote mensal fosse consolidado.

O sexto e último passo do método proposto é a implementação do novo sistema de planejamento, programação e controle da produção.

4.2.6. Implementação do novo sistema de planejamento, programação e controle da produção

Nesta etapa, foi definida como seria feita a transição do antigo sistema para o novo sistema de planejamento, programação e controle da produção, conforme projetado. Para a implementação do novo sistema, foi utilizada a técnica do evento *Kaizen*. Foram necessários quatro eventos *Kaizen* para a implantação das melhorias propostas.

Antes dos eventos, todos os recursos que seriam necessários eram projetados e disponibilizados, para que o mínimo de imprevistos viesse a ocorrer durante o evento *Kaizen* em si. Esta etapa era chamada de pré-Evento *Kaizen* e nela eram projetados, por exemplo, os quadros *Kanban*, os quadros de programação, a disposição física dos supermercados, dentre outros.

Cada evento *Kaizen* era iniciado com um treinamento de abertura sobre a situação futura que seria implementada com a realização do evento. Após o treinamento, a equipe começava as atividades práticas de implementação. Durante as implementações, os supermercados eram criados, organizados e as peças eram identificadas seguindo um padrão definido. Além disso, todos os quadros projetados eram montados durante os eventos. Além das implementações referentes ao novo

sistema, foram feitas algumas melhorias de layout, de forma a otimizar o fluxo produtivo. Para a solda, por exemplo, foi implementado um layout em fluxo contínuo, unindo os processos de solda e de acabamento, criando-se as chamadas células de solda.

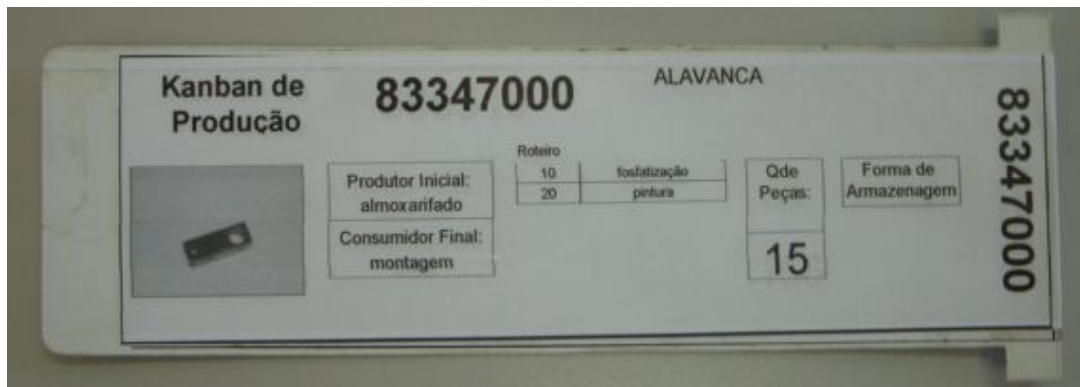


Figura 23 - Exemplo de cartão Kanban implementado



Figura 24 - Exemplo de supermercado implementado

Ao final dos eventos *Kaizen*, foram realizadas apresentações para toda a empresa sobre o novo sistema de planejamento, programação e controle da produção, de forma a fazer com que este sistema fosse disseminado e, assim, entrasse cada vez mais na cultura da empresa.

Para as tarefas que não eram cumpridas durante o evento, eram definidos responsável e prazo, de forma a fazer com que estas não deixassem de ser feitas. Estas atividades eram colocadas num cronograma específico para atividades Pós-*Kaizen*.

Foram criados também, folhas de apontamento nos processos, de forma a registrar quantos cartões eram planejados e quantos eram produzidos para os itens

Kanban todos os dias. Quando não se conseguia produzir todos os cartões planejados, os operadores eram instruídos a marcar as causas que impediam o cumprimento da meta de produção. Reuniões semanais eram feitas de forma a discutir os problemas e realizar planos de ação para que os problemas pudessem ser solucionados.

Com a técnica do evento *Kaizen*, as melhorias projetadas puderam ser realizadas e o novo sistema de planejamento, programação e controle da produção pôde ser implantado. Para garantir a sustentabilidade da implantação, os apontamentos de produção foram criados e as reuniões para discussão de problemas viraram rotina da empresa. Isto garantiu o sucesso do novo sistema projetado.

A seguir serão comentados os principais resultados obtidos com a implantação do novo sistema de planejamento, programação e controle da produção na empresa em questão.

5. RESULTADOS OBTIDOS

Os principais resultados obtidos pela empresa, com a implantação do novo sistema, foram:

- Redução de 45% no Lead Time de 26,5 dias para 14,5 dias, conforme mostram os mapas de fluxo de valor anteriormente.

- Ganho de 20% na produtividade global da fábrica. A produtividade foi medida a partir do faturamento médio por funcionário. No início da implementação, o faturamento médio encontrava-se na casa dos R\$1100,00 faturados por funcionário. Após pouco mais de um ano, o índice chegou ao valor de cerca de R\$1300,00 por funcionário. Observe a Figura 25 abaixo:

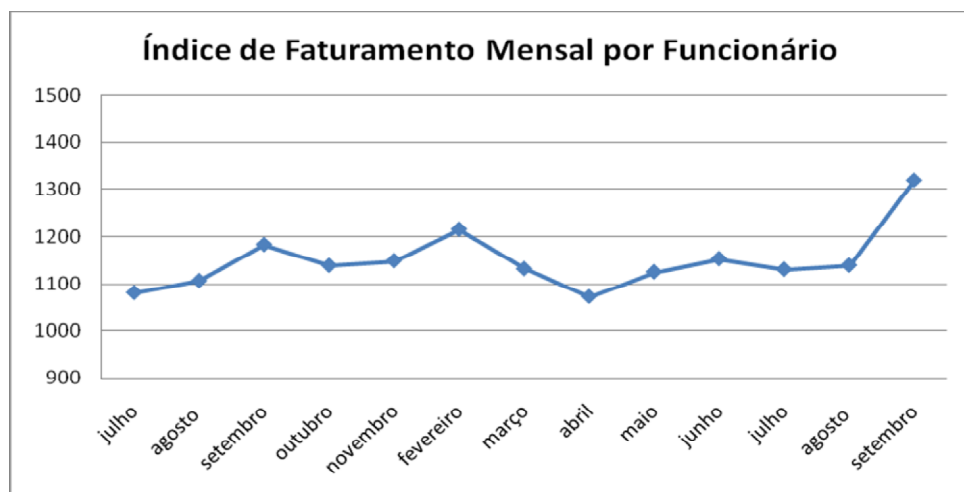


Figura 25 - Gráfico do Índice de Faturamento Mensal por Funcionário

- Foi criado ao longo do projeto um índice de atendimento ao cliente. Este índice era medido pela relação entre a quantidade de peças entregues pela quantidade de peças em atraso. Em 6 meses de acompanhamento, este índice passou do valor de 3,01 para o valor de 24,99. Observe a Figura 26 a seguir:

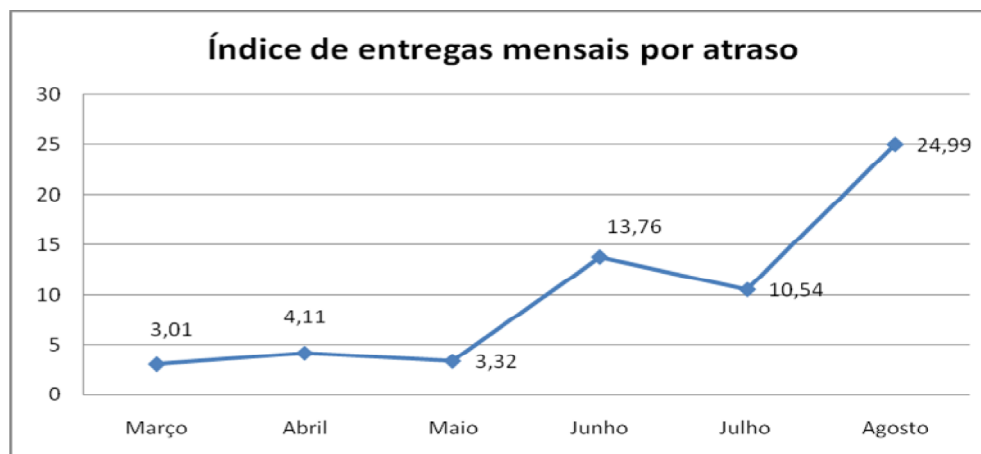


Figura 26 – Gráfico do Índice de Entregas Mensais por Atraso

O aumento de produtividade de 20% da empresa estudada possibilitou o atendimento de uma demanda que estava reprimida. A aplicação do novo sistema de PCP ajudou a empresa a aumentar o seu faturamento mensal de R\$3.500.000,00 para R\$5.000.000,00.

6. CONCLUSÃO

Os objetivos apresentados no início do trabalho foram atingidos. Para escolher o sistema de PCP a ser utilizado num ambiente em que a variedade de produtos é muito alta, o método proposto por Nazareno (2008), em sua tese de doutorado “Desenvolvimento de Sistemas Híbridos de Planejamento e Programação da Produção com Foco na Implantação de Manufatura Enxuta”, foi estudado e, visto pelo autor da monografia, como um método bom para ser aplicado. Foram vistos também, ao longo do trabalho, os benefícios dos nivelamentos, tanto de vendas quanto de produção.

Pode-se dizer que o método proposto foi bem atendido em sua aplicação prática que foi realizada. Esta aplicação por si só não é suficiente para a validação do método, sendo que seriam desejáveis outras aplicações para que o método pudesse ser definitivamente validado.

É bom lembrar que outras melhorias relacionadas à produção enxuta foram realizadas juntamente com a implantação do novo sistema de planejamento, programação e controle da produção. Dessa forma, os bons resultados obtidos na aplicação não podem ser justificados somente à implantação do novo sistema de PPCP. As principais melhorias desenvolvidas ao longo do projeto foram:

- Programa de capacitação em produção enxuta junto aos líderes para disseminação da filosofia enxuta dentro da empresa
- Aplicação de SMED para diminuição dos tempos de Setup gastos nas dobradeiras e nas CNC, de forma a aumentar a capacidade produtiva
- Mudança de layout da fábrica, implantando o fluxo contínuo sempre que possível
- Implantação de técnicas de padronização de trabalho na montagem final
- Utilização do sistema de endereçamento flexível, de forma a otimizar o espaço físico utilizado nos supermercados
- Aplicação de técnicas de *Lean Office* no desenvolvimento de produtos

A aplicação estudada foi muito bem escolhida, já que possuía uma alta variedade de produtos e componentes. Apesar de não sofrer com picos de demanda em certos períodos definidos, a carteira de pedidos era desnivelada, sendo que havia pedidos semanais convivendo com pedidos mensais e até com pedidos trimestrais simultaneamente. Pôde-se ver que o trabalho de nivelamento da produção para amenizar a carteira de pedidos desnivelada foi bastante útil durante o projeto realizado.

Com relação ao PCP, é complicado dizer que somente um sistema de planejamento e controle deve ser implantado. Muitas organizações caracterizadas por trabalharem em mercados de alta variabilidade de produtos e componentes acreditam que o sistema puxado não possa ser aplicado. Estas organizações acabam fazendo uso somente do sistema MRP como forma de planejamento e controle da produção. E acabam convivendo com problemas ao longo do fluxo de valor, que foram identificados na aplicação realizada.

O trabalho de implantação do novo sistema de planejamento, programação e controle da produção foi de fundamental importância, trazendo melhoras nos indicadores de produtividade, *lead time* e atendimento ao cliente. A abordagem híbrida, trabalhando numa mesma empresa tanto itens *Kanban* quanto itens controlados via ordem, mostrou-se bastante válida. Este sistema mostrou-se bastante vantajoso e foi muito bem assimilado pela empresa.

Dessa forma, pode-se concluir que o desenvolvimento do trabalho, com o método proposto e a aplicação realizada foram muito satisfatórios. Foi visto que não foi somente o método proposto o responsável pelos bons indicadores apresentados durante a realização do projeto na empresa em questão. Com certeza, outras melhorias contribuíram para os bons resultados apresentados. Além disso, o método deve ser testado em outras empresas, com características similares, de forma a validá-lo como proposta de método de implantação de sistemas de planejamento e controle da produção. Seria interessante também, aplicá-lo numa empresa que sofre com desnivelamento de vendas em determinadas épocas, como nos finais de meses, por exemplo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTONELLI, L.G.G. (2008). **Medição de Desempenho Enxuta como Ferramenta de Adequação de Sistemas de Produção Puxados**. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia de São Carlos – USP.

BEZERRA, D.K. (2008). **Aplicação do Método de Nivelamento de Produção e Demanda em Empresas de Tipologia de Produção ETO com Baixo Volume e Alta Diversidade de Produtos**. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia de São Carlos – USP.

CARDOSO, A. (2007). **Eliminando os picos artificiais de vendas**. Artigo retirado do site <<http://www.lean.org.br>>, Acessado em: 20 de maio de 2009.

CORRÊA, H.L.; GIANESI, I.G.N. (2007). **Just in Time, MRP II e OPT – um enfoque estratégico**. São Paulo, Atlas.

CORRÊA, H.L.; GIANESI, I.G.N.; CAON, M. (2008). **Planejamento, Programação e Controle da Produção**. São Paulo: Atlas.

GAURY, E.G.A.; PIERREVAL, H.; KLEIJNEN, J.P.C. (2000). An Evolutionary approach to select a pull system among kanban, conwip and hybrid. **Journal of Intelligent Manufacturing**, New York, v.11, n.2, p. 157-167.

HINES, P.; TAYLOR, D. (2000) **Going Lean. A guide to implementation**. Lean Enterprise Research Center, Cardiff, UK.

JINA, J.; BHATTACHARYA, A.K.; WALTON, A.D.; (1997). **Applying lean principles for high product variety and low volumes: some issues and propositions**. Logistic Information Management, Bradford, v.21, n.9, p. 1205-1221.

LEAN ENTERPRISE INSTITUTE (2007). **Léxico Lean. Glossário ilustrado para praticantes do Pensamento Lean.**

LIKER, J. K. (2005). **O Modelo Toyota**, Editora artmed.

MONDEN, Y. (1998). **Toyota Production System: an integrated approach to just-in-time**. 3. ed. Industrial Engineering and Management Press.

NAZARENO, R. R. (2008). **Desenvolvimento de sistemas híbridos de planejamento e programação da produção com foco na implantação de manufatura enxuta**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

OHNO, T. (1997). **O sistema Toyota de produção – além da produção em larga escala**. Bookman.

PERIN, P. C. (2005). **Metodologia de padronização de uma célula de fabricação e de montagem, integrando ferramentas de produção enxuta**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

RENTES, A.F. et al. (2005). **Lean production for enterprises with high variety of products**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FLEXIBLE AUTOMATION AND INTELLIGENT MANUFACTURING, 15., 2005, Bilbao. Proceedings...[S.1:s.n.] v.1, p.334-339.

ROTHER, M.; HARRIS, R. (2001). **Criando o fluxo Contínuo. Um Guia de Ação para Gerentes, Engenheiros e Associados da Produção**. São Paulo, SP. Lean Institute Brasil.

ROTHER, M.; SHOOK, J. (1999) **Aprendendo a Enxergar – Mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício**. São Paulo, SP. Lean Institute Brasil.

SCARPELLI, M. (2004). **Sistemas de produção agroalimentar: arquitetura para as funções de planejamento e controle da produção**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

SILVA, T. F. A. (2007). **Estudo sobre Sistema de Medição de Desempenho Baseado nas Ferramentas da Produção Enxuta**. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia de São Carlos – USP.

SMALLEY, A. (2005). **Criando o sistema puxado nivelado: um guia para aperfeiçoamento de sistemas lean de produção, voltado para profissionais de planejamento, operações, controle e engenharia**. Brookline: Lean Enterprise Institute.

STEFANELLI, P. (2007). **Utilização da Contabilidade dos Ganhos como Ferramenta para a Tomada de Decisão em um Ambiente com Aplicação dos Conceitos de Produção Enxuta**. Tese (Graduação) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

VOLLMANN, T.E. et al. (1997). **Manufacturing planning and control systems**. New York: Irwin McGraw Hill.

WOMACK, J. P. JONES, D. T. ROOS, D. (1992). **A Máquina que mudou o mundo**. Campus: Rio de Janeiro.

WOMACK, J. P. e JONES, D.T. (1996). **Lean thinking – banish waste and create wealth in your corporation**. New York, Simon & Schuster.