

Aplicação do nivelamento heijunka em uma empresa de equipamentos hospitalares

Application of heijunka leveling in a medical devices company

Gerson Pereira Araujo* – gersonpereira.a@hotmail.com
Francisco Ignácio Giocondo Cesar* – giocondo.cesar@gmail.com
Alessandro Lucas da Silva* – alessandro.silva@fca.unicamp.br
Paulo Sérgio de Arruda Ignácio* - paulo.ignacio@fca.unicamp.br

*Universidade Estadual de Campinas – (UNICAMP)

Article History:

Submitted: 2017 - 07 - 09

Revised: 2017 - 09 - 30

Accepted: 2017 - 10 - 01

Resumo: Um dos grandes desafios das empresas é satisfazer seus clientes entregando produtos nas datas e quantidades requerida, e ao mesmo tempo que mantem seus baixos níveis de inventários assim como lead-time reduzidos. Para tanto, uma das formas de atingir este objetivo é utilizando o *Lean Manufacturing*, tendo como base o *heijunka*, que tem como princípio o nivelamento da capacidade de acordo com a demanda, esperando-se dessa forma, a redução dos níveis de inventários e lead-time. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi estudar a aplicação da ferramenta de nivelamento *heijunka* em uma pequena empresa de produtos hospitalares, que se caracteriza pela produção em baixos volumes e com demanda instável. Este estudo baseou-se em um levantamento bibliográfico exploratório com o objetivo de identificar estudos existentes sobre o assunto; realizou um estudo de caso com aplicação da ferramenta e descreveu sua aplicação nessa empresa assim como suas consequências. Os resultados mostram a necessidade de adaptá-lo à situação de cada empresa, que envolva determinar um nível ideal de nivelamento, para que seja possível obter as vantagens que essa ferramenta proporciona.

Palavras-chaves: Produção Enxuta; *Heijunka*; Nivelamento; PME; Processos instáveis.

Abstract: One of the great challenges for companies is to satisfy their customers by delivering products on the dates and quantities required, while keeping low inventories levels as well as reduced lead times. In order to achieve this goal, the Lean Manufacturing with heijunka as a foundation, based on capacity leveling according to demand and is expected to reduce inventories and lead-time levels. In this sense, the objective of this work was to study the application of the heijunka leveling tool in a small medical devices company, characterized by low volume production and unstable demand. This study was based on an exploratory bibliographical survey with the objective of identifying existing studies on the subject; Carried out a case study with application of the tool and described its application in this company as well as its consequences. The results show the need to adapt it to the situation of each company, which involves determining an ideal level of leveling, so that it is possible to obtain the advantages that this tool provides.

Keywords: Lean Production; Heijunka; Leveling; SME's; Unstable processes.

1. Introdução

Nos últimos anos, o *Lean Manufacturing* vem se mostrando uma atividade essencial para a competitividade das empresas em um mundo globalizado marcado pela alta concorrência. Os autores Womack, Jones e Roos (2004) evidenciam o crescente destaque competitivo do modelo Toyota a partir dos anos 80 em relação ao antigo processo de produção em massa de Henry Ford adotado pelas empresas ocidentais. Esse modelo de gestão que proporcionaram tamanho desempenho nas indústrias japonesas ficou conhecido mais tarde como *Lean Manufacturing*.

Para obter competitividade, é importante que uma empresa saiba garantir processos de baixo custo e com alta confiabilidade na entrega. De acordo com Hayes e Pisano (1994) a definição de manufatura enxuta é usar o mínimo de tudo requerido para produção do produto ou serviço. Nesse sentido, o modelo de manufatura enxuta traz uma série de ferramentas para conquistar esses objetivos.

Dentre muitos conceitos, difundidos pelo modelo de *Lean Manufacturing*, um deles em particular merece muita atenção por executar um papel essencial para a manutenção desse modelo de gestão, que é o *Heijunka* (Coleman e Vaguefi, 1994)

Segundo Coleman e Vaguefi (1994), *Heijunka* consiste em distribuir uniformemente um mix de produtos a serem fabricados ao longo de um dia, semana ou mês. Os mesmos autores acrescentam que *Heijunka* vai além da ideia básica do mix-de-produção, incorporando também o conceito de nivelamento e balanceamento de linha que consiste em fazer com que cada processo trabalhe no mesmo ritmo. Com isso, a aplicação desse modelo permite a redução de inventário, redução da capacidade produtiva requerida, e redução de *lead time*.

O estudo da aplicação da ferramenta *Heijunka* em empresas com características específicas que fogem do contexto automobilístico ainda se encontra bastante escasso. Segundo Araujo (2009) “a literatura aborda apenas modelos clássicos e genéricos de aplicação em caráter informal”, dessa maneira, fica evidente estudar a aplicação da ferramenta *Heijunka* em outros modelos de empresas. Esse trabalho tem como motivação, ajudar o desenvolvimento da literatura nesse contexto.

O presente trabalho será realizado em uma empresa de pequeno porte fabricante de aparelhos eletrônicos para hospitais. Essa empresa é caracterizada por um processo de produção em pequenos lotes de um mix de equipamentos. A demanda por esse produto é marcada pela

instabilidade, o que dificulta sua previsão. A empresa trabalha com um processo *make-to-stock* e a fabricação de seus produtos é realizado em lotes em células de produção com processos altamente artesanal.

Nesse sentido, o objetivo desse trabalho é estudar a aplicação dessa ferramenta nessa empresa. Esse trabalho trará a aplicação do nivelamento da produção *Heijunka* nesse tipo particular de empresa, e baseando-se na revisão da literatura e análise do processo de aplicação dos conceitos do *Heijunka* servirá para constatar as consequências da aplicação dessa ferramenta no modelo de empresa em estudo.

2. Referencial Teórico

Esse tópico trará os principais conceitos que envolve a aplicação do *Heijunka*, conceitos específicos serão detalhados na aplicação da ferramenta no estudo de caso.

2.1. *Lean Manufacturing*

O *Lean Manufacturing* é o termo mundialmente popularizado que descreve a filosofia de gerenciamento de negócio mais eficiente depois do Fordismo, originada na indústria automobilística Toyota, onde inicialmente foi conhecido como de “Sistema de Toyota de Produção” (Liker, 2004).

Essa filosofia se desenvolveu em um ambiente em que as indústrias japonesas passavam por sérias dificuldades. Após a segunda guerra mundial o Japão passava por uma forte crise. As indústrias automobilísticas não possuíam recursos para manter altos volumes de investimentos que o modelo de produção em massa *Ford* exigia. Para contornar esse problema, a Toyota buscou meios para que a produção pudesse ser realizada com menos estoques em processo, menor quantidade de recursos humanos, de investimentos, e eliminação de defeitos (Bhamu e Sangwan, 2014). Esses meios deram origem à filosofia conhecida como Sistema Toyota de Produção, cujos pioneiros no desenvolvimento foram os engenheiros Taiichi Ohno e Shigeo Shingo.

De maneira geral, o objetivo do *Lean Manufacturing* é proporcionar a eliminação de desperdícios e criar valor pelo ponto de vista do cliente (Womack e Jones, 2003). Valor é a capacidade de entregar o produto para o cliente no momento certo e com o preço apropriado (Womack e Jones, 2003). Desperdício ou “muda” pode ser entendido como tudo aquilo que não agrega valor ao produto (Womack e Jones, 2003).

Segundo Corrêa e Giansi (2009), Shigeo Shingo definiu sete tipos de desperdícios, sendo eles: (i) Superprodução, (ii) Espera, (iii) Transporte, (iv) Processamento desnecessário, (v) Movimento desnecessários, (vi) Produtos defeituosos e (vii) desperdícios de estoques. Ao eliminar esses desperdícios, a empresa estará agregando valor ao seu processo e produto entregando ao cliente final melhor qualidade, menor custo, segurança, rapidez e consequentemente sua satisfação. Os vários conceitos que envolvem o *lean* podem ser descritos na forma de uma casa, onde sua estrutura é fundamental para que suas vantagens sejam possíveis.

2.1.1. A casa do Sistema Toyota de Produção

De acordo com Liker (2004) muitas empresas que buscam implementar o *Lean Manufacturing* fazem de maneira superficial ao confundir o *lean* com um conjunto de ferramentas isoladas em vez de um sistema que deve permear a cultura de uma organização. Nessa mesma linha de raciocínio, o *lean* pode ser ilustrado na forma de uma casa, onde cada conceito ou ferramenta possui um papel estrutural importante para que a filosofia seja efetivamente implementada. Esse modelo é chamado de “Casa do Sistema Toyota de Produção” (Liker; 2004). A base do *Lean Manufacturing* é representada pelo conceito de estabilizar e padronizar os processos. As técnicas aplicadas nesse nível permitem o alcance desses objetivos que servem para manutenção das outras práticas do *Lean Manufacturing* representadas pelos pilares e finalmente alcançar os resultados representados pelo teto. Fazem parte desse nível os conceitos *Heijunka* para balanceamento da produção, *Standardized work*, para a realização das tarefas de maneira sempre igual, gerenciamento visual e melhoria contínua com o *kaizen* (Liker, 2004).



Figura 1: Casa do Sistema Toyota de Produção
Fonte: Liker (2004, pg. 33)

Os pilares, cuja função é sustentar o andamento do Lean Manufacturing na empresa são compostos pelos conceitos de Just-in-time (JIT) e Autonomação. Just-in-time está relacionado a fabricação em entrega dos produtos corretos na quantidade certa e no momento em que é solicitado. Autonomação, também conhecido como Jidoka que representa a ideia de dar autonomia para o trabalhador para prevenir erros podendo parar a linha de produção quando perceberem quando algo está errado e resolverem o problema pessoalmente (Liker, 2004), isso permite criar um senso de urgência em resolução de problemas que o modelo tradicional de altos estoques permitem adiar.

O conceito de produção nivelada (*Heijunka*) faz parte do alicerce da casa da Toyota. Isso evidencia a grande importância que essa ferramenta exerce na manutenção do lean na empresa. Através de um sistema nivelado, é possível trabalhar com JIT e Autonomação promovendo melhoria contínua com a eliminação de perdas.

2.2. Nivelamento da produção Heijunka

De acordo com Coleman e Vaghefi (1994), *Heijunka* é um método de planejamento da produção que consiste em distribuir a produção de diferentes itens em um período específico de

tempo, podendo ser dia, semana ou mês. Essa distribuição acontece de maneira homogênea e quanto menor for esse período de tempo, mais nivelada a produção será (Tardin, 2001).

O modelo tradicional de acompanhamento da demanda envolve produzir grandes volumes de cada item para atender à uma demanda formada em espaço de tempo longo. De acordo com Araujo (2010) foi essa a grande dificuldade que a Toyota possuía nos anos 50. Com o crescimento das vendas de veículos, era muito difícil prever a demanda que em alguns dias eram marcadas por picos, que exigiam um trabalho em alta capacidade e outros dias haviam quedas fazendo com que a fábrica ficasse ociosa. Esse problema também afetava na incerteza da necessidade de matérias primas que resultava em falta, e a qualidade da produção que ficava comprometida.

Com o intuito de resolver o problema de instabilidade, *Heijunka* incorpora os conceitos de nivelamento e balanceamento de linha. Nivelamento envolve balancear a necessidade de carga de trabalho nos processos para que a capacidade da empresa em termos de máquinas e mão de obra seja suficiente para permitir que as tarefas sejam completadas (Coleman e Vaghefi 1994). Isso significa suavizar o volume de produção bem como o seu mix para que haja pouca variação de período a período. O balanceamento de linha consiste em buscar equalizar a quantidade de trabalhos necessários em cada etapa para atender a produção total. Isso significa que cada etapa de fabricação de um produto deve trabalhar no ritmo da demanda suavizada.

A Implementação do *Heijunka*, exige fracionar a produção de grandes lotes em lotes menores, isso permite atender aos clientes mesmo quando sua rotina de compra seja alterada. De modo geral, quando há oscilação na demanda, os picos e vales formam uma demanda relativamente estável em um determinado período, permitindo uma produção de maneira mais estável do que se fosse acompanhar a demanda (Araujo, 2009).

Como resultado, o *Heijunka* permite a flexibilidade necessária para atender à demanda mesmo com variações. Em vez de fabricar grandes lotes do mesmo produto, são fabricadas pequenas quantidades de vários produtos (Gomes, 2002).

Algumas das vantagens da implementação do *Heijunka* citadas por Coleman e Vaghefi (1994) é a redução do nível geral de estoques, redução da capacidade produtiva requerida e redução de *lead-time*. Araujo (2009) ainda menciona algumas outras vantagens, que são a satisfação dos fornecedores, previsibilidade da programação da produção, atendimento total da demanda dos clientes, estabilidade transmitida para os fornecedores e economia de horas extras.

Segundo Tardin (2001) as vantagens do balanceamento da produção podem ser alcançadas tanto para a produção puxadas quanto empurrada. No entanto, o mesmo autor afirma que mesmo tendo a capacidade de nivelar a produção, as empresas nem sempre fazem isso; ao realizar entregas em períodos específicos elas não conseguem enxergar a necessidade de fracionar a produção em períodos menores do que os períodos de entrega.

Como alicerce da Casa do Sistema Toyota de Produção, o *Heijunka* é um dos pré-requisitos para o sucesso da implementação do *Lean Manufacturing*. Uma empresa não conseguirá implementar o *Lean* sem antes conseguir estabilizar os processos através do nivelamento e balanceamento, além disso o resultado pode ser ainda mais desastroso quando se busca implementar o *lean* sem o conceito *Heijunka*. Um processo que tenta seguir totalmente a demanda, sem o nivelamento é um problema, pois tendo períodos com trabalho e outros com paradas, resultando em sobrecarga em alguns momentos e ociosidade em outros, resulta em baixa qualidade, é mais difícil criar processos padronizados, ser produtivo, aplicar o conceito *just-in-time* e manter melhoria contínua (Liker, 2004).

3. Metodologia

Esse trabalho será um estudo de caso que visa estudar a aplicação do conceito *Heijunka* em uma fábrica de equipamentos hospitalares. Para tanto, foi realizado uma revisão bibliográfica a fim de fornecer conhecimentos a respeito da maneira como o conceito é abordado. Para o estudo de caso, será analisado a aplicação dessa ferramenta na empresa com base nas informações verificadas na literatura. Para cada etapa da aplicação da ferramenta na empresa, serão descritos os conceitos encontrados na literatura que forneçam o embasamento teórico necessário para a estruturação da ferramenta. Com base nos conceitos que envolvem o *Heijunka* e o contexto da empresa, as consequências da aplicação da ferramenta serão discutidas bem como sugestão para futuros trabalhos.

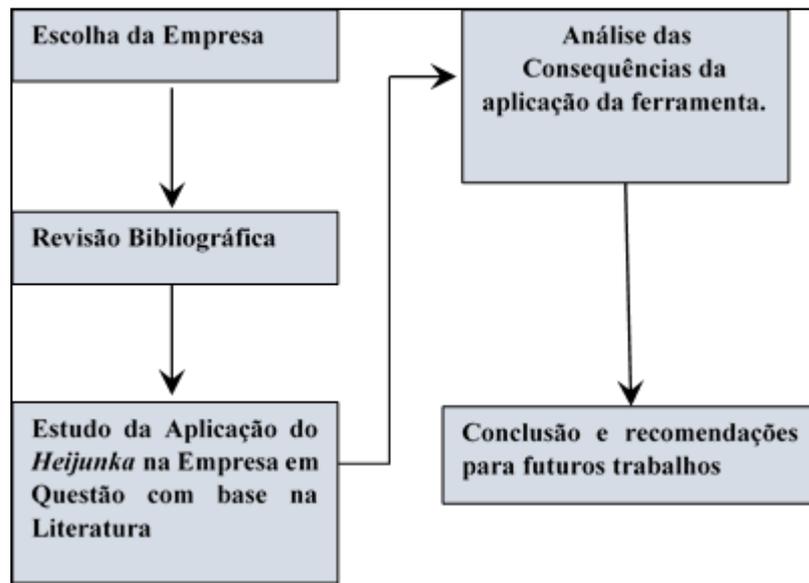


Figura 2: Etapas do Trabalho

Fonte: Autor

4. Estudo de caso

Esse capítulo tem como objetivo estudar a aplicação da ferramenta *Heijunka* na empresa. Para tanto, a característica da empresa bem como o processo de planejamento da produção será descrita no item 4.1., e nos tópicos seguintes será estudada a implantação da ferramenta.

4.1 Caracterização da Empresa

A empresa faz parte de um grupo multinacional no ramo de equipamentos hospitalares composta por mais de 250 plantas espalhada pelo mundo com um total de aproximadamente 98.000 funcionários e atende mais de 140 países com seus produtos.

Essa fábrica, localizada no interior de São Paulo é responsável pela produção de equipamentos e acessórios médicos. No total, a empresa é responsável pela venda de mais de 240 tipos de produtos; sendo 9 equipamentos, e os demais, acessórios. A produção da empresa atende o mercado nacional e internacional com um faturamento bruto de em média US\$ 8 milhões ao ano.

No total, a instalação onde foi realizado o estudo, conta com 70 funcionários, sendo que 30 deles compõe mão-de-obra direta e indireta. Quanto ao processo de fabricação, processo é organizado de forma celular, onde cada etapa é produzida, estocada e utilizada em etapas posteriores. Para cada processo a empresa utiliza mais ou menos mão-de-obra, de acordo com

a necessidade nessa etapa, o treinamento do funcionário assim como sua é limitada a necessidade de cada etapa.

Para cada tipo de processo, a empresa utiliza células de calibração, resina, montagem de placas, sub-montagens, montagem de acessórios, usinagem, rotulagem e inspeção onde os funcionários são revezados de acordo com a carga horária necessária e treinamento. Além dos processos internos, a empresa terceiriza algumas atividades, tais como, pintura, niquelagem, usinagem de alguns materiais, injeção plástica e esterilização.

4.1.2. Modelo tradicional de planejamento da produção na empresa

Com base na previsão da demanda oferecida pelo departamento comercial externo à empresa, é realizado inicialmente um plano de produção à longo prazo que compreende à um período de 12 meses. Esse plano serve para a capacidade geral da empresa necessária para o atingimento dessa demanda.

Em seguida, é realizado o planejamento mestre da produção onde se busca determinar as quantidades a serem produzidas e os estoques finais em um horizonte de 6 meses.

Com base no plano mestre, as necessidades de compra de materiais, de MOD por setor bem como as necessidades de produção de cada subconjunto dos produtos finais são calculadas através do MRP (*materials requirements planning*).

A partir das necessidades dos materiais calculadas pelo MRP são geradas as Ordens de Produção para cada produto ou subconjunto ou itens intermediários e as mesmas são sequenciadas através da programação da produção realizada mensalmente e revisada semanalmente.

As quantidades das Ordens de Produção são geradas de acordo com os lotes mínimos de fabricação estabelecidos e seus múltiplos, seguindo a necessidade, urgência e níveis de mão de obras disponíveis.

A quantidade de produtos acabados mantidos em estoque compreende ao estoque de segurança, que é proporcional ao nível de oscilação da demanda no decorrer do tempo. Alguns itens intermediários (subconjuntos) possuem seus estoques de segurança de acordo com a quantidade demandada por período de fabricação; à medida que esses produtos são requisitados em Ordens de Produção mãe, outras ordens de produção são abertas para a reposição desses itens formando um processo onde a necessidade de produção dos produtos acabados “puxam” a fabricação dos produtos anteriores a ele (subcomponentes, subconjuntos) bem como a

necessidade de compra de matérias primas. Já as matérias primas são compradas a partir do atingimento do ponto de pedido; o volume comprado é determinado pelo lote econômico de compra (LEC) e um estoque de segurança é mantido proporcional à demanda variabilidade pelo material bem como a variabilidade no prazo de entrega pelos fornecedores.

4.2. Delimitação do estudo de caso

Para a análise da aplicação do conceito *Heijunka* foi delimitado uma parcela de produtos representativas para o estudo dessa ferramenta sem a necessidade de análise de todos os produtos, pois tornaria o trabalho exaustivo.

Como pode ser observado na tabela abaixo, a empresa fabrica 9 tipos de equipamentos que correspondem à mais de 50% de suas vendas, os acessórios fabricados internamente representam no total 134 itens. Quanto ao nível de mão de obra utilizada, os equipamentos também superam os acessórios. As estruturas dos equipamentos adotam a forma de “A” que segundo Slack *et al.* (2002) apenas um produto final é formado por um grande número de componentes distribuídos por uma estrutura contendo até 10 níveis.

Tabela 1- Participação dos produtos no faturamento e consumo de MOD

Grupo	Quantidade	Faturamento 2016 em %	% de MOD
Equipamentos	9	54.2%	55.1%
Acessórios	134	29.1%	44.9%
Materiais de Revenda	98	16.7%	-
Total:	241	100.0%	100.0%

Fonte: Dados internos da Empresa

Dessa maneira, será utilizado o fluxo de produção dos equipamentos pela sua importância no faturamento, no volume de horas trabalhadas e sua maior complexidade no plano de produção uma vez que é composto de vários níveis de subconjuntos.

4.3. Aplicação do *Heijunka* nas etapas do planejamento

O processo de aplicação do *Heijunka* na empresa envolve seguir os seguintes passos:

- a) Nivelamento do Volume de Produção;
- b) Plano mestre de Produção e Nivelamento do Mix;
- c) MRP para determinar as quantidades a serem produzidas em cada nível dos produtos;
- d) Determinação da Capacidade Necessária em cada Linha de Produção;
- e) Alocação dos Funcionários para cada Linha de acordo com a necessidade;

- f) Determinar dos lotes de fabricação;
- g) Cálculo do *Takt-Time*, intervalo *Pitch* de cada item da estrutura; e
- h) Sequenciar a produção de cada linha.

4.3.1. Nivelamento da demanda e plano mestre de produção

Na empresa em estudo, inicialmente o departamento comercial informa a previsão da demanda dos próximos 12 meses no final de cada ano fiscal. Com base nesses dados o departamento de PCP (planejamento e controle da produção) determina as quantidades a serem produzidas de cada produto baseando-se na demanda projetada e o nível final de estoque projetado para cada mês. A Tabela 2 informa as características de cada produto quanto sua variabilidade em relação à demanda e os níveis de estoques projetados que equivalem aos estoques de segurança. Como pode ser observado, os níveis de estoques de segurança são maiores que a média de venda mensal.

Tabela 2 - Variabilidade da demanda e estoque de segurança

Produto	Média de Vendas mensais	Desvio Padrão	Nível de Serviço	Estoque de segurança
Equip1	26	15	94.4%	28
Equip2	7	4	81.6%	14
Equip3	49	31	93.1%	97
Equip4	7	5	79.2%	15
Equip5	5	3	72.4%	10
Equip6	32	-	-	-
Equip7	31	24	87.8%	62
Equip8	45	26	94.5%	90
Equip9	14	12	84%	29

Fonte: Dados internos da empresa

O processo de planejamento da produção utilizando o conceito *Heijunka* inicia-se através do nivelamento da produção ou de volume. De acordo com Araujo (2009) essa etapa envolve distribuir a carga de trabalho de maneira mais constante no decorrer dos períodos. É sabido na literatura que em situações que há grande instabilidade da demanda, os picos e vales dessas variações podem ser amenizados determinando uma demanda média para um período específico. Nesse sentido, devem-se juntar todos os pedidos de um período e dividi-los buscando igualar ao máximo em cada período.

Partindo-se dos dados da previsão da demanda e projeção para estoques finais de cada mês, foram analisadas as consequências da aplicação do nivelamento no planejamento da produção comparando-as com o modelo adotado tradicionalmente na empresa que busca produzir a quantidade necessária para atender a demanda prevista e repor os estoques de segurança. A Tabela 3 compara as quantidades médias a serem produzidas por mês e o desvio padrão antes e depois do nivelamento. Como pode ser observada, a variação mensal da quantidade planejada diminuiu significativamente, mas não foram todos zerados, pois para alguns dos itens, procurou-se evitar a produção em meses que não houvesse demanda para o produto.

Tabela 3 - Dados da Produção mensal nivelada e não nivelada

PRODUTO	Média de Produção		Desvio Padrão	
	Nivelado	Não nivelado	Nivelado	Não nivelado
Equip1	12	12	9	11
Equip2	8	8	3	6
Equip3	45	45	0	9
Equip4	8	8	0	3
Equip5	5	5	0	2
Equip6	32	32	17	17
Equip7	33	33	0	9
Equip8	48	48	0	10
Equip9	17	17	0	16

Fonte: Autores

A Tabela 4 informa a média dos valores dos estoques mensais no período de 12 meses. Pode-se verificar que em média houve uma ligeira diferença para entre nivelado e não nivelado. O nivelamento da produção faz com que a produção constante não acompanhe a demanda e a necessidade de reposição de estoques de maneira imediata, o que leva a produzir itens para estoque com o objetivo de preencher picos de demanda em meses futuros, portanto a tendência do nivelamento é aumentar os níveis de estoques dos produtos acabados. O produto “Equip6” é um caso particular de produção sob encomenda, apesar de haver o plano de produção em alguns meses, essa produção só será começada com a formalização do pedido do cliente.

Tabela 4 - Valor médio dos estoques finais

Código	Média mensal em Reais	
	Não Nivelado	Nivelado
Equip1	R\$ 97,785.67	R\$ 74,037.72
Equip2	R\$ 88,188.61	R\$ 118,826.90
Equip3	R\$ 183,496.24	R\$ 183,496.24
Equip4	R\$ 24,141.77	R\$ 23,038.14
Equip5	R\$ 42,767.87	R\$ 43,606.45
Equip6	R\$ 0.00	R\$ 0.00
Equip7	R\$ 133,726.74	R\$ 105,525.86
Equip8	R\$ 148,339.67	R\$ 165,346.76
Equip9	R\$ 88,400.31	R\$ 114,582.57
Total	R\$ 806,846.87	R\$ 828,460.66

Fonte: Dados internos da empresa

As Figuras 3 e 4 informam a evolução do estoque da produção e demanda agregados para o nivelamento e produção não nivelada. Por se tratar de uma previsão, a demanda naturalmente possui a aparência estável, no entanto, pode haver picos de demanda bem superiores ou inferiores do que o valor previsto. Pode-se verificar que no modelo nivelado, os estoques finais iniciam-se com saldo abaixo dos níveis de estoques de segurança requeridos, o que leva a concluir a consequência do modelo nivelado em produzir quantidades constantes que não seguirá diretamente as necessidades da demanda prevista e de reposição de estoques finais. Isso implica no comprometimento no nível de serviço dos estoques de segurança projetados para cada mês, uma forma manter o nível planejado dos estoques de segurança é manter uma quantidade maior de equipamentos em estoques para absorver as flutuações da demanda em relação à produção nivelada constante.

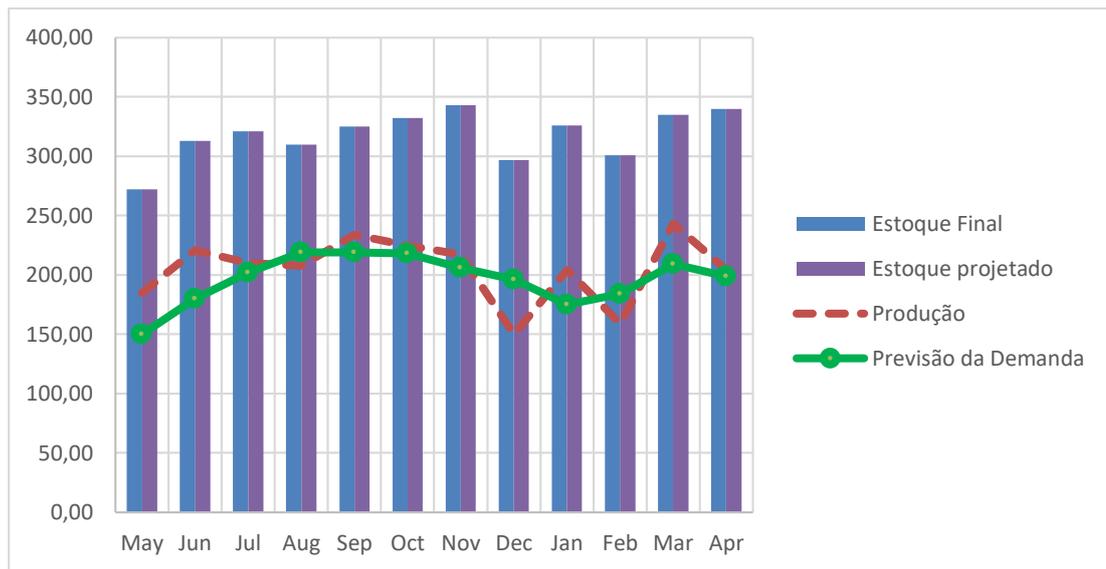


Figura 3 - Planejamento da Produção Situação não nivelada

Fonte: Autores

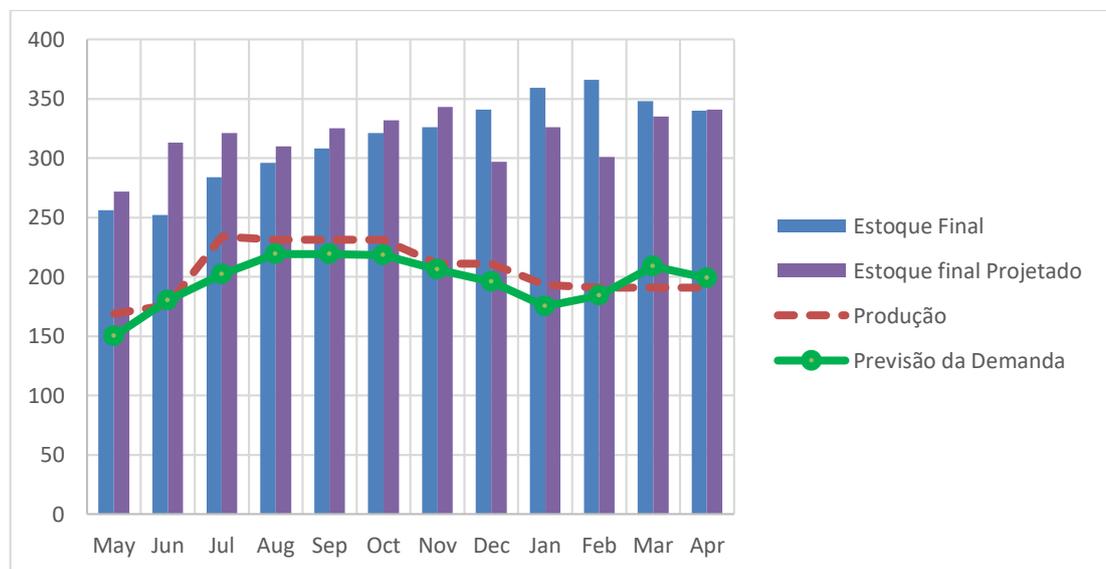


Figura 4 - Planejamento da Produção Situação Nivelada

Fonte: Autores

4.3.2. Nivelamento do mix e aplicação do *Heijunka* na programação da produção

Com a demanda nivelada, o próximo passo diz respeito ao nivelamento do produto ou mix de produção. Nivelamento do Mix envolve aumentar a frequência de diversos itens em um determinado período de tempo (Araujo, 2009). Para tanto, existe a forte necessidade de redução de *lead-time* bem como a redução do lote de fabricação (Liker, 2004). Isso resulta em maior flexibilidade do sistema, mas exige uma maior frequência na troca de ferramentas, por isso a redução de tempo de *setup* é de grande importância nessa fase. Para esse estudo, será considerado o lote mínimo de fabricação definido para cada produto e seus subconjuntos. A

empresa trabalha com a produção tamanha de lotes variados obedecendo às limitações das linhas quanto à multiplicidade dos lotes e de acordo com a demanda no mês.

Para esses lotes, o tempo de *setup* se encontra distribuído no tempo unitário de fabricação de cada material. Devido à dificuldade de mensurar o tempo de *setup* desses produtos por estarem incluídos muito indiretamente nas operações, não será possível analisar separadamente esse tempo, por isso, essa será uma limitação desse estudo. Ao adotar o lote mínimo de fabricação, é possível trabalhar com os tempos padrões estabelecidos para cada produto cujo tempo de setup já está incluso indiretamente.

A Tabela 5 representa as principais etapas da estrutura dos equipamentos, por serem da mesma família, possuem estruturas similares. A primeira coluna informa os Subconjuntos da Montagem final desses equipamentos, a segunda os seus respectivos níveis. Pode-se notar que Subconjuntos de níveis diferentes são produzidos nos mesmos setores, por isso a programação da produção envolve escolher o sequenciamento tanto dos mesmos subconjuntos de aparelhos diferentes quanto subconjuntos diferentes do mesmo aparelho, todos na mesma linha.

Tabela 5 - Informações sobre o tempo de fabricação e estrutura dos subconjuntos por produto

Dados dos Sub-Conjuntos			Tempos unitários de fabricação em Horas								
Sub-conjunto ou Processo	Nível	Setor	Equip1	Equip2	Equip3	Equip4	Equip5	Equip6	Equip7	Equip8	Equip9
Caixa	3	Sub-Montagem	0.23	0.20	0.17	0.00	0.25	0.12	0.12	0.12	0.17
PCI Caneta	3	Placas	0.00	2.24	0.49	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.49
PCI Caneta - Insp	6	Calibração	0.00	0.50	0.06	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06
PCI MB	4	Placas	2.77	0.20	3.96	0.00	1.48	2.10	2.10	2.10	4.00
PCI MB - Insp	2	Calibração	0.51	0.77	0.33	0.00	0.00	0.20	0.20	0.20	0.20
PCI CPU	5	Placas	3.50	0.00	3.50	1.36	2.02	3.00	3.00	3.00	3.50
PCI CPU - Insp	4	Placas	0.08	0.00	0.06	0.13	0.08	0.06	0.06	0.06	0.08
Módulo	6	Sub-Montagem						0.70	0.70	0.70	0.00
P.Dianteiro	2	Sub-Montagem	0.25	0.58	0.41	0.43	0.37	0.17	0.21	0.21	0.41
P. Traseiro	2	Sub-Montagem	0.41	0.94	0.70	0.59	0.64	0.35	0.25	0.27	0.70
Montagem do Equipamento	2	Sub-Montagem	0.21	0.19	0.26	0.55	0.77	0.26	0.26	0.26	0.26
Lab- Calibração do Equipamento	1	Calibração	1.58	3.95	2.06	0.56	1.01	0.92	0.92	0.92	2.06
CQ - Inspeção Final do Equipamento	1	Inspeção	1.37	2.84	2.17	0.67	0.95	1.27	1.27	1.27	2.17
Total	-	-	10.91	12.40	14.17	5.36	7.57	9.15	9.10	9.12	14.10

Fonte: Dados internos da empresa

Tabela 6 - Quantidades a serem produzidas no mês

Dados dos Sub-Conjuntos	Quantidade Necessária para Produção								
	Equip1	Equip2	Equip3	Equip4	Equip5	Equip6	Equip7	Equip8	Equip9
Caixa	19	0	45	0	6	0	33	48	18
PCI Caneta	0	0	27	0	0	0	0	0	0
PCI Caneta - Insp	0	0	45	0	0	0	0	0	18
PCI MB	17	0	45	0	6	0	33	25	18
PCI MB - Insp	19	0	45	0	0	0	33	48	18
PCI CPU	0	0	45	0	0	0	0	0	18
PCI CPU - Insp	0	0	45	0	0	0	33	48	18
Módulo	0	0	0	0	0	0	33	48	0
P. Dianteiro	19	0	45	0	6	0	33	47	18
P. Traseiro	19	0	45	0	6	0	33	47	18
Montagem do Equipamento	19	0	45	0	6	0	33	48	18
Lab- Calibração do Equipamento	19	0	0	0	6	0	33	48	18
CQ - Inspeção Final do Equipamento	19	0	0	0	6	0	33	48	18

Fonte: Dados internos da empresa

Baseando-se no plano mestre, as necessidades de produção de cada um dos componentes e o tempo de mão-de-obra são definidas em cada mês através do cálculo MRP da empresa. Para efeito de comparação, foram calculadas as necessidades de MOD com o plano não nivelado e o plano nivelado, os resultados são mostrados na figura abaixo.

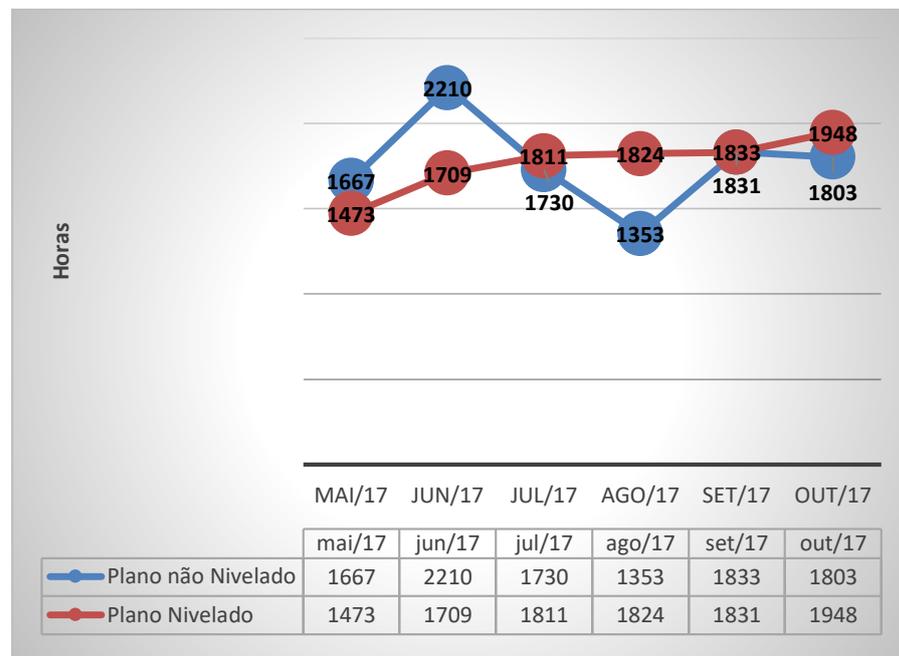


Figura 5 - Quantidade total de horas por mês

Fonte: Autores

Tendo em vista que a programação da produção tradicional envolve o período de 1 mês, a fim de avançar na aplicação do conceito *Heijunka*, esse período será analisado de acordo com as horas disponíveis nesse período, portanto, para cada item, será calculado o período de reposição em horas e de acordo com o lote de produção será definido o intervalo de produção

para cada item. No entanto, faz-se necessário à definição de tempo de ciclo, *Takt-Time*, e intervalo *pitch*, que são conceitos importantes dentro do processo de implantação do *Heijunka*.

O *Takt-Time* é um conceito fundamental para o nivelamento e define o ritmo que uma determinada linha deve produzir. Esse ritmo depende da demanda do cliente e é calculado dividindo o tempo disponível de trabalho de um determinado período de tempo pela demanda média do período (Tardin, 2001). Ainda segundo Tardin (2001) o *Takt-Time* é necessário para o planejamento da produção em ambientes de formato celulares.

O *Takt-Time* pode ser definido pela seguinte expressão:

$$\text{Takt - Time} = \frac{\text{Tempo Disponível no Período}}{\text{Demanda Média do Período}} \quad (1)$$

De acordo com Alvarez e Antunes (2011), o tempo disponível para a produção não deve ser confundido com o tempo de duração do expediente. Assim, devem-se descontar os tempos de paradas que houver dentro do período. Uma vez que o tempo necessário para a produção por linha foi definido no planejamento mestre, o processo de alocação dos funcionários nas linhas terá como objetivo atingir a meta de tempo necessário para a produção do mês, sendo assim o processo de determinar o tempo disponível terá os seguintes passos:

Passo 1: Verificar os setores em que cada funcionário possui treinamento para executar as tarefas.

Tabela 7 - Matriz polivalência dos colaboradores

Operator	Usinagem	Rotulagem	Resinagem	Sub-Montagem	Acessórios	Placas	Calibração	Inspeção
Adélio	X							
Adriana Carvalho						X		
Adriana Faria						X		
Amanda (QA)		X						
Andréia								
Daniela			X			X		
Denise		X			X			
Diego						X		
Eloisa			X	X				
Fabrcio	X							
Gabriel				X			X	
Giovana								X
Hericson				X	X		X	
Isaque						X	X	
Laís						X		
Liliane								X
Luciana								
Matheus								X
Renan				X	X			
Sara					X			
Valdir	X							

Fonte: Dados internos da empresa

Passo 2: Alocar os funcionários para cada linha de modo que atinja as quantidades de horas necessárias para o volume de produção. A Tabela 8 representa a matriz de Funcionários

versus setor e indica a fração de tempo cedida a cada linha de produção. Sendo assim, o funcionário que se dedica integralmente à uma função possui o valor 1, caso ele seja alocado a mais de um setor esse valor é fracionado para esses setores.

Tabela 8 - Matriz de distribuição da MOD

Operador	Usinagem	Rotulagem	Resinagem	Sub-Montagem	Acessórios	Placas	Calibração	Inspeção
Adélio	1							
Adriana Carvalho						1		
Adriana Faria						1		
Amanda (QA)		1						
Andréia								
Daniela			0.1			0.9		
Denise		0.8			0.2			
Diego						1		
Eloisa			0.1	0.9				
Fabício	1							
Gabriel				0.1			0.9	
Giovana								1
Herícson				0.05	0.05		0.9	
Isaque						0.5	0.95	
Laís						0.7		
Liliane								1
Luciana								
Matheus								1
Renan				0.35	0.35			
Sara					1			
Valdir								

Fonte: Dados internos da empresa

Passo 3: são definidas as quantidades totais de horas mensais por setor multiplicando os índices de ocupação das linhas pela carga horária líquida mensal de cada funcionário. A Tabela 9 indica a Quantidade de Horas alocadas para as linhas consideradas nesse estudo.

Tabela 9 - Quantidade de horas Alocadas por setor no Mês

Mês	Calibração	Placas	Sub-Montagem	Inspeção	Total
mai/17	205	662	255	174	1296

Fonte: Dados Internos da Empresa

Uma vez que as quantidades demandadas no mês e as quantidades de horas disponíveis para cada setor forma definidos, é possível calcular o *Takt-Time*. Através do *Takt-Time* podemos calcular o intervalo *pitch* que representa a extensão máxima que processo pode ser nivelado pelo mix. Ele é calculado pela multiplicação do *Takt-Time* pelo lote a ser produzido, que pode ser a quantidade em uma embalagem padrão, valor do lote determinado no *kanban* (Araujo, 2009).

Alvarez e Antunes (2011) define o tempo de ciclo como “o período transcorrido entre a repetição de um mesmo evento que caracteriza o início ou fim desse ciclo”. Nesse sentido, o tempo de ciclo pode ser entendido como o tempo unitário de fabricação de cada produto.

Aplicando esse conceito nesse estudo de caso, pode-se considerar o tempo de ciclo como o tempo unitário de fabricação de cada subconjunto mostrado na tabela 10.

Como exemplo, considere o item PCI Caneta do Equipamento 3 na Tabela 10; a necessidade líquida é de 27 unidades no mês, sendo produzida no setor de Placas que dispõe de 662 horas mensais, assim o *Takt-Time* será $662/27$ ou seja, a cada intervalo de 25 horas deve ser produzido 1 peça. O intervalo *pitch* será o lote de produção multiplicado pelo *Takt-Time*. Para esse item, o lote de fabricação é de 32 peças, portanto o intervalo *pitch* será 785 horas, ou seja, a cada 785 horas de trabalho gastas nesse setor deve-se produzir 32 unidades desse item.

A tabela abaixo ilustra o cálculo do *Takt-Time* e intervalo *pitch* da linha de fabricação de placas. Pode-se notar que no cálculo agregado, onde são considerados todos os itens como um único produto, o *Takt-time* e o tempo de ciclo são iguais por unidade de produto. Isso era esperado uma vez que a quantidade de MOD alocada para esse setor foi planejada de acordo com a necessidade da demanda como foi visto nas etapas anteriores.

Tabela 10 - Dados para a programação da produção no setor de Placas

Sub Conjunto	Necessidade	Disponibilidade de Horas no Mês	TC Unitário	<i>Takt-Time</i>	Lote Mínimo	Intervalo Pitch	TC do Lote	
PCI Caneta Equip3	27	662	0.49	24.5	32	785	16	1
PCI MB Equip1	17	662	2.77	38.9	20	779	55	1
PCI MB Equip3	45	662	3.96	14.7	10	147	40	4.500
PCI MB Equip5	6	662	1.48	110.3	10	1103	15	1
PCI MB Equip7	33	662	2.10	20.1	10	201	21	3
PCI MB Equip8	25	662	2.10	26.5	10	265	21	3
PCI MB Equip9	18	662	4.00	36.8	10	368	40	2
PCI CPU Equip3	45	662	3.50	14.7	10	147	35	4.500
PCI CPU Equip9	18	662	3.50	36.8	10	368	35	2
Agregado	234	662	2.83	2.83	13.271	38	38	18

Fonte: Autores

Essas informações são utilizadas para realizar a programação diária de fabricação desses Subconjuntos, o mesmo raciocínio pode ser aplicado nos outros setores. A Figura 7 representa o resultado da programação aplicando as informações da tabela anterior.

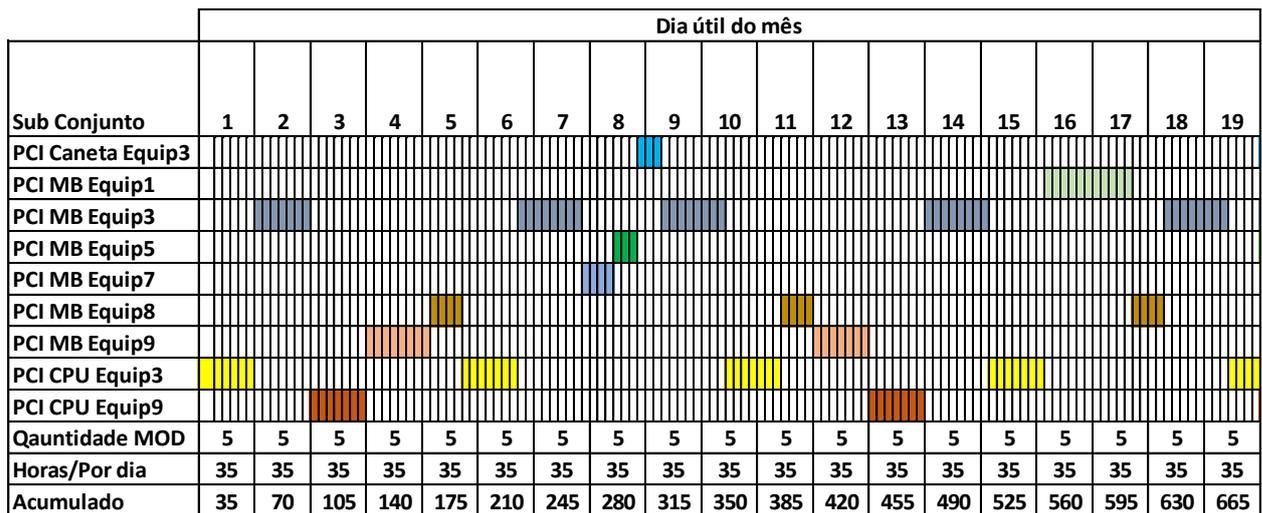


Figura 7 - Gráfico de Gantt para a programação da produção da produção de Placas

Fonte: Autores

O sequenciamento dos itens foi realizado de maneira heurística (tentativa e erro), respeitando a ordem da estrutura para cada equipamento. Uma dificuldade encontrada no processo de sequenciamento dos itens envolve aloca-los sem que houvesse sobreposição entre eles (a mesma linha produzindo itens diferentes ao mesmo tempo) devido essa restrição, houve a necessidade de antecipar ou postergar a produção dos itens em relação ao intervalo *pitch* estabelecido. Portanto a programação da produção obedecendo ao *Takt-Time* e intervalo *pitch* é uma etapa significativamente exaustiva e as vezes é inviável realizar uma sincronização perfeita do processo. No entanto, a busca por sincronizar a produção gera os benefícios de produzir os itens na quantidade certa, padronização do processo de fabricação (haverá sempre a mesma sequência de itens a serem produzidos).

5. Análise dos resultados

Esse trabalho teve como objetivo principal a aplicação do *Heijunka* em uma empresa de equipamentos hospitalares. No entanto, a escolha de um plano de nivelamento deve levar em consideração algumas consequências.

A busca por um nivelamento completo da produção em uma empresa com demanda instável e um processo de produção voltado a estoque exige uma quantidade adicional significativa de estoques que visa “amortecer” a produção dos picos e vales de demandas e torna a empresa menos flexível na capacidade de responder à demanda, pois ela terá que operar com um plano de produção fixado. Nesse estudo de caso, por exemplo, notou-se a dificuldade do plano nivelado em manter os níveis de estoques de segurança projetado o que na realidade poderia acarretar em não atender certas flutuações na demanda.

Por outro lado, as vantagens do nivelamento envolvem: padronizar o processo de produção, redução ou eliminação dos estoques intermediários de todos os processos precedentes aos produtos finais, transmitir estabilidade no fornecimento de matérias primas, contribuindo para garantir um fluxo estável na cadeia de suprimentos; além disso, resulta na possibilidade de usar uma menor capacidade de produção, uma vez que não haverá incertezas relacionadas à flutuações da demanda e conseqüentemente a não necessidade de uma capacidade “reserva”.

Por isso, existem dois lados extremos que devem ser equilibrados para obter um melhor resultado, ou seja, existe a necessidade de decidir um plano intermediário entre a produção nivelada e segundo a demanda para que vantagens de ambas sejam conciliadas.

Além disso, para evitar a necessidade de manter altos estoques, a literatura recomenda a diminuição de lotes de fabricação, o que resulta na necessidade de redução de *setup* dos processos um ponto fundamental na aplicação do nivelamento *Heijunka*. A fabricação em lotes menores resulta em um menor tempo de materiais estocados em processos ou como produto final. O que resulta na necessidade de maior flexibilidade nos processos internos. Outra sugestão, é a redução do estoque dos produtos acabados e conseqüentemente a disponibilização de materiais intermediários para uma alta resposta em relação a demanda.

Portanto, é fundamenta a análise de estratégias mixadas no planejamento da produção, buscando um resultado ótimo que conciliam as vantagens do planejamento não nivelado com o planejamento nivelado.

6. Considerações finais

Esse trabalho buscou expor o processo de nivelamento *Heijunka* em uma empresa de equipamentos hospitalares. Durante sua aplicação foi possível perceber as vantagens práticas da aplicação da ferramenta que são estabilização dos processos, padronização do sequenciamento dos produtos e sincronização das operações no ritmo da demanda. Essas medidas resultam na diminuição dos estoques intermediários entre os processos, estabilidade na necessidade de mão de obra, consumo constante de matérias-primas que são essenciais para a redução do efeito chicote na cadeia de suprimentos. Mesmo com a limitação de não ter sido analisado os tempos de *setups* nos processos foi possível constatar as vantagens da aplicação da ferramenta. No entanto, é possível notar a desvantagem do nivelamento da produção em relação aos estoques finais que tendem a aumentar se comparado a um processo não nivelado. Para trabalhos futuros, recomenda-se a busca de uma maior compreensão sobre como aproveitar

ao máximo suas vantagens sem tornar o processo inflexível do ponto de vista do cliente e as consequências de um processo nivelado para a capacidade de entrega no prazo de matérias primas pelos fornecedores.

REFERÊNCIAS

- Alvarez, Roberto dos Reis; Antunes JR, José Antonio Valle. (2001) *Takt-time: conceitos e contextualização dentro do Sistema Toyota de Produção. Gestão e Produção*, 8(1): 1-18.
- Araujo, L (2009). *Nivelamento de Capacidade de Produção utilizando Quadros Heijunka em Sistemas Híbridos de Coordenação de Ordens de Produção*. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18140/tde-08052009-082635/publico/LarissaElaineDantasdeAraujo.pdf>
- Bannister, Allison Rose; Bickford, Jeanne Paulette; Swanke, Karl Vance (2014). Demand smoothing. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 27(3): 335-340. <https://doi.org/10.1109/TSM.2014.2312358>
- Blazejuk, Stephanie; Tortorella, Guilherme Luz; Gerchman, Marcos (2015). Aplicação do Mapeamento do Fluxo de Valor como ferramenta para um modelo de programação de produção nivelada. *Produção em Foco*, 5(1): 42-61.
- Bohnen, Fabian; Buhl, Matthias; Deuse, Jochen (2013). Systematic procedure for leveling of low volume and high mix production. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 6(1): 53-58. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2012.10.003>
- Coleman, B. J.; Vaghefi, M. R (1994). Heijunka (?): A key to the Toyota Production System. *Production and Inventory Management Journal*. 35(4), 31 – 35.
- Elmaraghy, Hoda; Deif, Ahmed M (2014). Dynamic modelling of impact of lean policies on production levelling feasibility. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 63(1): 389-392. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2014.03.108>
- Hayes, R. H.; Pisano, G. P (1994). Beyond World-Class: The New Manufacturing Strategy. *Harvard Business Review*, January-February.
- Liker J.K (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill, New York, NY.
- Slack, Nigel; Chambers, Stuart; Johnston, Robert (2013). *Operations management*. Pearson education.
- Tardin, G. G (2001). *O sistema puxado e o nivelamento da produção*. Dissertação (mestrado). Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Departamento de Engenharia mecânica.
- Womack, J. P., Jones, D. T. e Ross, D. (2004). *A máquina que mudou o mundo: Baseado no estudo do Massachusetts Institute of Technology sobre o futuro do automóvel*. Rio de Janeiro: Elsevier.