

MINISTERIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGE3M

Leonardo Pitrez Guinsburg

Aumento de produtividade em processos de forjamento através da redução de desperdícios: Oportunidades latentes em grandes multinacionais

Orientador: Prof. Dr. Ing. Lírio Schaeffer

Porto Alegre

2021

Leonardo Pitrez Guinsburg

Aumento de produtividade em processos de forjamento através da redução de desperdícios: Oportunidades latentes em grandes multinacionais

Dissertação submetida ao programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais - PPGE3M da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Orientador(a): Prof(a).Dr.Ing.Lirio Schaeffer

Porto Alegre

2021

Esta Dissertação será julgada para obtenção do título de Mestre em Engenharia, área de concentração de Processos de Fabricação. Ainda precisa ser aprovada em sua forma final, pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: Prof. Dr. –Ing. Lirio Schaeffer

Banca Examinadora:

Prof. PhD. Eng. Tarcisio Abreu Saurin – UFRGS / Departamento de Engenharia de Produção

Dr. Eng. Paulo Ghinato – Lean Way / CEO

Dr. Eng. Jeferson Andre Sbalchiero– Parker Hannifin / Departamento de Engenharia - MSG

Dedico a minha esposa que sempre esteve ao meu lado e me incentivou a ser
uma pessoa melhor.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. –Ing. Lirio Schaeffer pela oportunidade, orientação e confiança no desenvolvimento deste mestrado.

A banca de examinadora que de forma clara e objetiva contribuiu muito com a qualidade final do trabalho.

Ao gerente de engenharia da Maxiforja, Tomaz Petracco, que me incentivou a iniciar o mestrado e buscar meu desenvolvimento acadêmico para assim contribuir com a empresa, a sociedade e minha carreira.

Ao gerente da qualidade da Parker Hannifin, Isaac Santos, que me motivou a seguir com o mestrado mesmo atuando em um ramo diferente do processo de forjamento.

As empresas Parker Hannifin e a Maxiforja que permitiram que eu tivesse jornada flexível de trabalho para conciliar o trabalho e a academia.

As empresas e seus colaboradores que abriram as portas e me receberam com muita dedicação e carinho para que eu pudesse aprofundar os conhecimentos apresentados neste trabalho aplicando na prática o estado da arte de processos produtivos na área de forjamento.

As minhas equipes e meus colegas que mesmo eu me ausentando da fábrica conduziram de forma exemplar as atividades e me deram segurança e tranquilidade para continuar os estudos.

A todos que colaboraram, direta ou indiretamente, para elaboração deste trabalho, o meu reconhecimento.

RESUMO

O presente trabalho visou a utilização de técnicas amplamente conhecidas da manufatura enxuta como o Mapeamento de Fluxo de Valor (MFV), Setup rápido (TRF), 7 perdas do Sistema Toyota de Produção (STP) e os cinco sentidos (5S) em processos de forjamento para obter aumentos expressivos de produtividade e redução do tempo de processamento com baixos investimentos. Estas metodologias cientificamente comprovadas foram aplicadas em um processo de forjamento gerando grandes ganhos de produtividade e redução de custos. Após identificados desperdícios de movimentação ou transporte, espera, superprodução, estoque, defeitos, processamento em excesso e habilidades não utilizadas, além de oportunidades de melhoria no fluxo produtivo, ações foram implementadas levando a produção a novos patamares. Os resultados mais expressivos foram a redução do tempo de setup de 1 hora e 18 minutos para 12 minutos, redução de tempo jateamento liberando mais de 31 horas de hora máquina no mês, aumento de produtividade de uma célula de forjamento em mais de 24% e aumento de produtividade de cortes por cisalhamento em 9x.

Palavras-chave: Forjamento; Manufatura Enxuta; Agrega Valor; Sistema Toyota de Produção; Desperdícios.

ABSTRACT

This study aims to apply techniques widely known thanks to lean manufacturing such as *Value Stream Mapping* (VSM), Toyota Production System (increase production through waste elimination) and 5S system can provide significant increase of productiveness in a forging company to obtain significant increases in productivity with low investments. These scientifically proven methodologies were apply in a forging process resulting in great productivity gains and cost reduction. After identifying several waste (movement, transport, wait, over production, over processing, abilities not used and inventory) and improvements opportunities in the shop floor, actions were implemented taking production to new levels. Reduction of the setup time from 1 hour and 18 minutes to 12 minutes, reduction of shot blasting time releasing more than 31 hours of machine time per month, through the cell balancing technique increased productivity in +24 and increased productivity of billet shearing cell over 9x.

Key words: Forging; Lean Manufacturing; Value Add; Toyota Production System (TPS); Kaizen.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 Comparativo entre processos de corte de blank
- Tabela 2 Cálculo tempo de produção de um blank
- Tabela 3 Resultado das melhorias do processo de corte de blank
- Tabela 4 Cálculo tempo de produção de um blank antes e após melhorias
- Tabela 5 Redução do tempo de granalha
- Tabela 6 Análise de setup recalçadora e resultado após melhorias

LISTA DE SIGLAS

ASM	<i>American Society for Metals</i>
CLP	Controlador Lógico Programável
FIFO	<i>First In, First Out</i>
MFV	Mapeamento do Fluxo de Valor (<i>VSM – Value Stream Mapping</i>)
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
SHP	Sistema Hyundai de Produção
STP	Sistema Toyota de Produção
TRF	Troca rápida de ferramenta (<i>SMED – Single Minute Exchange of Die</i>)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivos	12
1.1.1 Objetivo Geral	12
1.1.2 Objetivos Específicos	12
1.2 Justificativa	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1 Produção Enxuta	14
2.1.1 Sete perdas +1	15
2.1.2 Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV)	17
2.1.3 Nivelar a carga de trabalho	21
2.1.4 Troca Rápida de Ferramenta (TRF)	23
2.1.5 Cinco Sensores (5S) aplicado a TRF	27
2.3 Processo de forjamento	27
2.3.1 Corte de matéria prima.....	28
2.3.2 Forjamento de blanks.....	30
2.3.3 Jateamento com Granalha	31
2.3.4 Tratamento térmico	33
3 METODOLOGIA	34
4 ANÁLISE EXPERIMENTAL.....	36
4.1 Alinhamento de expectativas	36
4.2 Atividade no chão de fábrica	36
4.2.1 Estoque de matéria prima	40
4.2.2 Processo de corte de blanks	40
4.2.3 Processo de forjamento de blanks	44
4.2.4 Processo de jateamento com granalha	46
4.2.5 Processo de Setup	48
4.2.6 Procedimento Melhoria Continua	53
5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	54
6 CONCLUSÃO	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

1 INTRODUÇÃO

O ser humano vive em um mundo em constante mudança. Novas tecnologias estão sendo lançadas constantemente e grande parte das empresas não tem recursos para investir em todas essas novas tecnologias. Caso a concorrência venha a investir de forma assertiva isso pode afetar consideravelmente sua posição no mercado. Por outro lado, é possível avaliar o processo atual da empresa em busca do aumento de produtividade e dos lucros sem grandes investimentos. No caso das forjarias brasileiras, muitas possuem um parque fabril composto por máquinas com mais de 30 anos de operação, pré indústria 4.0, o que significa baixo nível de automação e controle.

A competitividade global exige negócios mais flexíveis e inovadores. Neste cenário equipamentos defasados somado a desperdícios (muitos deles invisíveis aos olhos de pessoas não treinadas), mão de obra cara, ineficiente e matéria prima responsável por grande parte do custo do produto e alta carga tributária são a receita para o fracasso.

Os economistas apontam como a principal causa do retrocesso na indústria brasileira a defasagem tecnológica, os juros e as taxas de câmbio desfavoráveis, a transferência de operações para outros países com custo de produção menores e a estagnação do consumo devido à baixa renda da população. Nardocci (2019) comenta que uma única empresa europeia investiu na Ásia e Europa U\$1 Bilhão em busca de excelência operacional e sustentabilidade dos negócios.

Segundo Mawakdiye (2019), entre 2013 e 2016 os investimentos no setor de transformação reduziram 23,85%, o que já era pouco diminuiu em quase 1/4. Considerando que os custos dos equipamentos aumentam ano a ano, isso significa que o setor vem se desatualizando de forma muito acelerada. O uso das novas tecnologias de forjamento pode ajudar as indústrias a aumentar a eficiência e reduzir desperdícios, diminuindo custos e aumentando a competitividade das empresas.

Com o surgimento da norma regulamentadora de número 12 (NR-12), as fábricas foram obrigadas a adaptar ou a substituir suas máquinas por equipamentos que atendessem os novos níveis de segurança exigidos no item 12.38:

As zonas de perigo das máquinas e equipamentos devem possuir sistemas de segurança, caracterizados por proteções fixas, proteções móveis e dispositivos de segurança interligados, que

garantam proteção à saúde e à integridade física dos trabalhadores (NR-12, 2018).

A mesma norma também determina que no caso máquinas já em uso seriam necessárias adaptações para mitigar riscos aos operadores, conforme o item 12.38.1:

A adoção de sistemas de segurança, em especial nas zonas de operação que apresentem perigo, deve considerar as características técnicas da máquina e do processo de trabalho e as medidas e alternativas técnicas existentes, de modo a atingir o nível necessário de segurança previsto nesta Norma (NR-12 2018).

Ao que tange equipamentos utilizados no processo de forjamento, por serem equipamentos de alto valor agregado, a adaptação do equipamento para atendimento dos requisitos da NR-12 ao invés de aquisição de novos equipamentos que atendem a norma se tornou uma opção comumente usada na indústria brasileira. Segurança é a prioridade máxima ligada a produtividade, pois um equipamento que oferece risco não controlado não deve operar. As mudanças em prol da segurança por muitas vezes restringiram acessos inseguros, criaram redundâncias e restrições diversas que acarretaram em redução de produtividade. KUBAT (2019) reforça que atender leis não é uma opção, mas que a melhoria contínua existe para auxiliar as empresas a reduzirem desperdícios e aumentar gradualmente os resultados operacionais. A Figura 1 apresenta as etapas macro do fluxo produtivo de um processo de forjamento.



Figura 1 – Fluxo produtivo simplificado de um processo de forjamento a quente.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar um processo de forjamento considerado eficiente e consolidado em busca de oportunidades de melhoria e implementar ações de baixo investimento que promovam o aumento de produtividade.

1.1.2 Objetivos Específicos

Obter aumento de produtividade através da redução de desperdícios, boas práticas e normas internacionais.

Reduzir drasticamente o tempo de setup de um equipamento sem modernos conceitos de troca rápida de ferramenta através da aplicação da técnica TRF.

Definir e padronizar o uso de ferramentas do sistema de produção enxuta em forjarias.

1.2 Justificativa

Equipamentos de forja são máquinas de alto valor agregado e precisam produzir por muitos anos para justificar o investimento em novos equipamentos. Quando o aumento de demanda é repentino ou não justifica o investimento em um novo equipamento a empresa deixa atender a demanda do cliente. Por tanto, no sentido de identificar perdas e reduzi-las para atender aumentos de demanda acima da capacidade atual, se propõe a utilização de ferramenta de Mapeamento de Fluxo de Valor, Troca Rápida de Ferramenta, Cinco Sentidos, Nivelamento da Carga de Trabalho e Sete Perdas do Sistema Toyota de Produção. Observando o sistema como um todo e aplicando melhorias locais, espera-se obter aumentos de produtividade que permitam atender à crescente demanda do cliente sem a necessidade de investimento em novos equipamentos de forjamento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentada a revisão bibliográfica que fundamenta e direciona o trabalho prático.

2.1 Produção Enxuta

Será realizada uma breve explanação sobre o Sistema Toyota de Produção (STP) e abordadas algumas de suas técnicas. Ao contrário do sistema de produção em massa criado por Henry Ford, segundo Ohno (1997), o STP visa a produção em pequenas quantidades e com foco em redução de desperdícios. Após o final da segunda guerra mundial o Japão estava com sua indústria destruída (NEWMAN, 2020). Wada (2020) menciona que a escassez de recursos como mão de obra, máquinas e matéria prima formou o cenário para o surgimento de uma nova forma de trabalho. Não havia espaço para desperdícios e foi então que as técnicas hoje amplamente aplicadas a indústrias de manufatura e serviços foram criadas. Para Ohno (1997), não há espaço para desperdícios. Originalmente estas técnicas foram chamadas de Sistema Toyota de Produção (STP), mas depois de sua popularização passou a ser conhecida por Produção Enxuta.

Gaiardelli (2017) destacou a produção enxuta como importante tecnologia para as modernas fábricas da atualidade.

Scheller et al. (2021) estudaram empresas localizadas em países em desenvolvimento e concluíram que mesmo sabendo da importância da produção enxuta, muitas enfrentaram dificuldade na implementação. Ramirez et al. (2018) estudou empresas do Equador e México e também identificou problemas na implementação da cultura de produção enxuta.

De acordo com Bednarek et al. (2020) um dos fatores chaves da implementação da melhoria continua é o treinamento nas técnicas de produção enxuta. Quais técnicas a utilizar dependem da avaliação da equipe. Rossini et al. (2019) destaca que não existe uma única linha de trabalho e que cada evento deve ser estudado e escolhidas as técnicas de acordo com a situação.

A seguir serão apresentadas ferramentas e técnicas que irão nortear o trabalho aplicado.

2.1.1 Sete perdas +1

A filosofia de eliminação de perdas é a base do Sistema Toyota de Produção e grande parte das ferramentas deriva deste conceito, chamado no Japão de “muda” (LIKER, 2005). Goyal et al. (2019) reforçam a capacidade de se obter reduções de desperdícios com baixo investimento e os reflexos destas ações ainda são perceptíveis no que tange redução de custos e liberação de recursos para outras atividades.

Scheller et al. (2021) concluíram que a redução de desperdícios é a chave para reduzir o tempo de produção.

Uma questão importante para entender o conceito de perdas é a definição clara do que são atividades que Agregam Valor (AV) e que Não Agregam Valor (NAV). Segundo Liker (2005), agregar valor em qualquer processo significa transformar, seja fisicamente um produto, eletronicamente dados em informação, realização de um serviço ou atividade que o cliente deseja e está disposto a pagar. Por exemplo: Deformar plasticamente um *blank*.

Para Bednarek et al. (2020), desperdício é tudo o que não agrega valor para o cliente. Estas atividades devem ser eliminadas. Quando não ocorre transformação não está sendo agregado valor, como no caso de virar um blank para posicioná-lo na matriz. Um outro exemplo clássico são as inspeções que de acordo com Free (2021), quando não são requisitos específicos do cliente, aumentam o custo do produto. Cabe reforçar que existem casos de inspeção pagas por clientes e assim como um serviço a mesma agrega valor. Muitas atividades que NAV são necessárias e não podem ser eliminadas com facilidade, como por exemplo o movimento de afastamento do operador para acionar a prensa. Estas atividades devem ter seu tempo minimizado.

Ohno (1997) destaca que o primeiro passo para eliminar as perdas é identificá-las.

Quando da criação do STP, sete perdas foram amplamente estudadas e são a base do sistema de produção enxuta. Liker (2005) incluiu uma oitava perda que posteriormente passou a ser observada por diversos autores como destaca Saxby et al. (2020): o desperdício relacionado ao mal-uso do capital humano.

1- Superprodução: Considerado por Liker (2005) e Ohno (1997) como o pior desperdício (pois esconde e potencializa os demais), é percebido quando se faz

mais peças do que a demanda. Gera ocupação da Mão de Obra e máquina, aumenta transporte e estoque. Exemplos são a antecipação de produção e os lotes mínimos (muitas vezes defendidos como lotes econômicos) que mascaram um problema de troca de produto lento.

2- Defeitos: Quando o produto não atende as especificações e por consequência as necessidades do cliente (interno ou externo). É requerido retrabalho, inspeção ou até mesmo descarte. Segundo Palmer (2021), nenhum cliente aceita pagar por defeitos.

3- Super processamento: Quando se realizam passos desnecessários para manufaturar a peça e como destaca Liker (2005): Entregar produtos com qualidade superior ao que o cliente necessita.

4- Espera: É observado quando o operador estiver parado aguardando a próxima peça chegar, quando o material aguarda para ser processado, quando a máquina fica parada aguardando o início do novo ciclo. Em muitos casos a espera é reflexo de atividades mal balanceadas (este conceito será detalhado mais adiante). Palmer (2021) acredita ser um dos desperdícios mais impactantes, porque o tempo não pode ser recuperado

5- Transporte: Referente a movimentação da peça. Durante o fluxo produtivo a peça é movimenta nas diferentes etapas. O transporte pode ser realizado por esteira, empilhadeira, carros de transporte, carrinhos ou até mesmo em mão pelo colaborador, mas como consome tempo é considerado desperdício. Rossini et al. (2019) obteve reduções de tempo mudando a linha de lugar para reduzir transporte. Em casos extremos, destacou Palmer (2021), atraso na produção pode gerar custos de fretes expressos.

6- Movimentação: Qualquer movimento realizado por um colaborador é considerado movimentação. Um passo, um movimento de braço para pegar ou largar uma ferramenta ou uma peça ou até mesmo um giro de tronco ou cabeça é considerado movimento. Toda e qualquer atividade que venha a consumir tempo e esteja ligada ao colaborador é considerada movimentação.

7- Excesso de estoque: São considerados excessos de estoques matéria prima, material em processamento e peças prontas. Peças ou matéria prima são sinônimo de capital de giro da empresa parado. Os estoques prejudicam o fluxo de caixa (imobilizam recursos e espaço). Estes excessos causam aumento de tempo de atravessamento, aumentam os custos de transporte e armazenamento além de

ocultarem diversas falhas de gestão como problemas de desbalanceamento, defeitos, erros de programação, entregas de fornecedores em atraso e máquinas em manutenção.

8- Habilidades não utilizadas: Após muitos anos da criação e difusão das 7 perdas, Liker (2005) apresentou esta oitava perda, que chamou de “desperdício da criatividade dos funcionários”. Trata-se do não uso da criatividade da força de trabalho. Seja pelo não uso de ideias, desmotivação dos colaboradores, descrédito de projetos/pessoas ou até mesmo ao aumento de rotatividade. Palmer (2021) lembra que trabalhadores talentosos são um recurso escasso e devem ser utilizados da melhor forma.

2.1.2 Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV)

Após extensa pesquisa, Rother e Shook (2003) identificaram que uma técnica utilizada na Toyota como um simples instrumento de comunicação poderia ser a solução para tornar muito mais simples a implementação e sustentabilidade da Produção Enxuta. Eles reuniram o mapeamento do fluxo de informação e material da montadora com conceitos e técnicas enxutas que eram encontradas isoladas na literatura e formalizaram a ferramenta conhecida hoje como Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV). Para Jasti et al. (2020), é a ferramenta de mapeamento que se sobrepõe as demais, pois permite a visualização do fluxo de informação entre a manufatura e a cadeia de fornecimento e auxilia visualização de desperdícios. Silva et al. (2019) explicam que esta técnica permite detalhar o fluxo tanto do material como da informação desde o cliente até o fornecedor e ver o processo como um todo e não como etapas individuais, facilitando o entendimento de onde estão os maiores desperdícios e agindo na causa. Esta ferramenta auxilia a produção enxuta, pois vem de encontro com duas das metas indicadas por Scheller et al. (2021): Sincronizar o fluxo e reduzir o tempo de atravessando.

Jasti et al. (2020) dizem ser uma das ferramentas críticas para obter sucesso na produção enxuta. Eles aplicaram a técnica em uma empresa centenária onde alcançaram significativas reduções de desperdícios e aumento de produtividade.

Segundo Rother e Shook (2003), o mapeamento é realizado em quatro etapas. A seguir são descritas as quatro etapas descritas pelos autores e utilizadas no processo de mapeamento.

- 1- Identificar uma família de produtos;
- 2- Desenhar o mapa do estado atual;
- 3- Desenhar o mapa do estado futuro;
- 4- Elaborar o plano de trabalho.

A Figura 2 representa o Mapa do Fluxo de Valor (MFV) do estado atual de um processo genérico com fins didáticos. Silva et al. (2019) destaca que o MFV permite observar atividades que agregam valor e auxilia na criação de um fluxo mais eficiente. O mapeamento permite observar diversos desperdícios, como frequências de entrega semanais, estoques de matéria prima e entre operações além de programações mensais que podem ser mais frequentes para reduzirem os estoques e tempo de atravessamento.

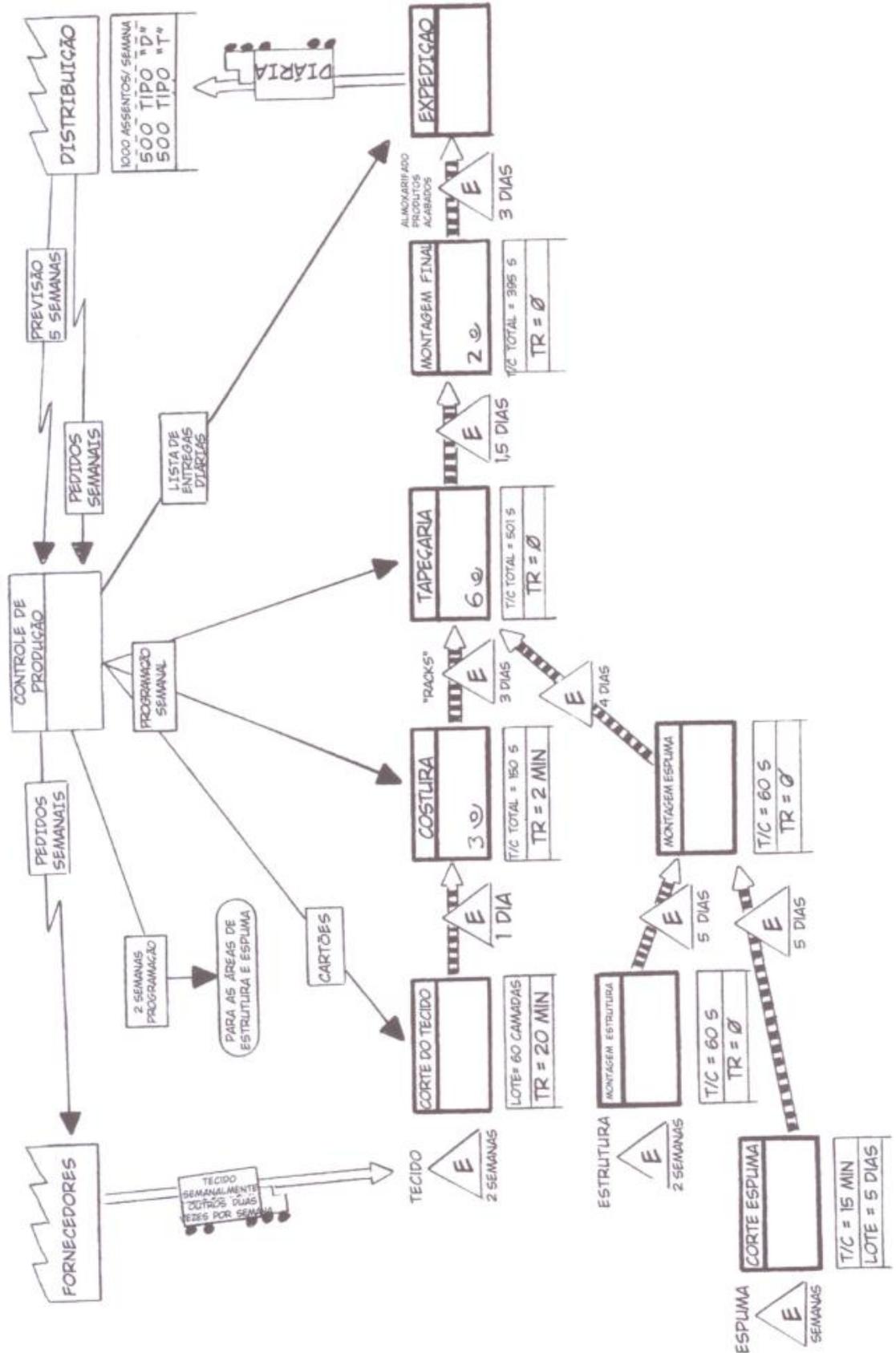


Figura 2 – Exemplo de Mapeamento do Fluxo de Valor do estado atual.

Fonte: Rother e Shook (2003)

A Figura 3 representa o estado futuro, onde é possível observar alterações significativas no fluxo, como implementação de supermercados, redução dos estoques intermediários, redução do tempo de atravessamento, fluxo peça a peça e alterações de frequência de pedidos para fornecedores.

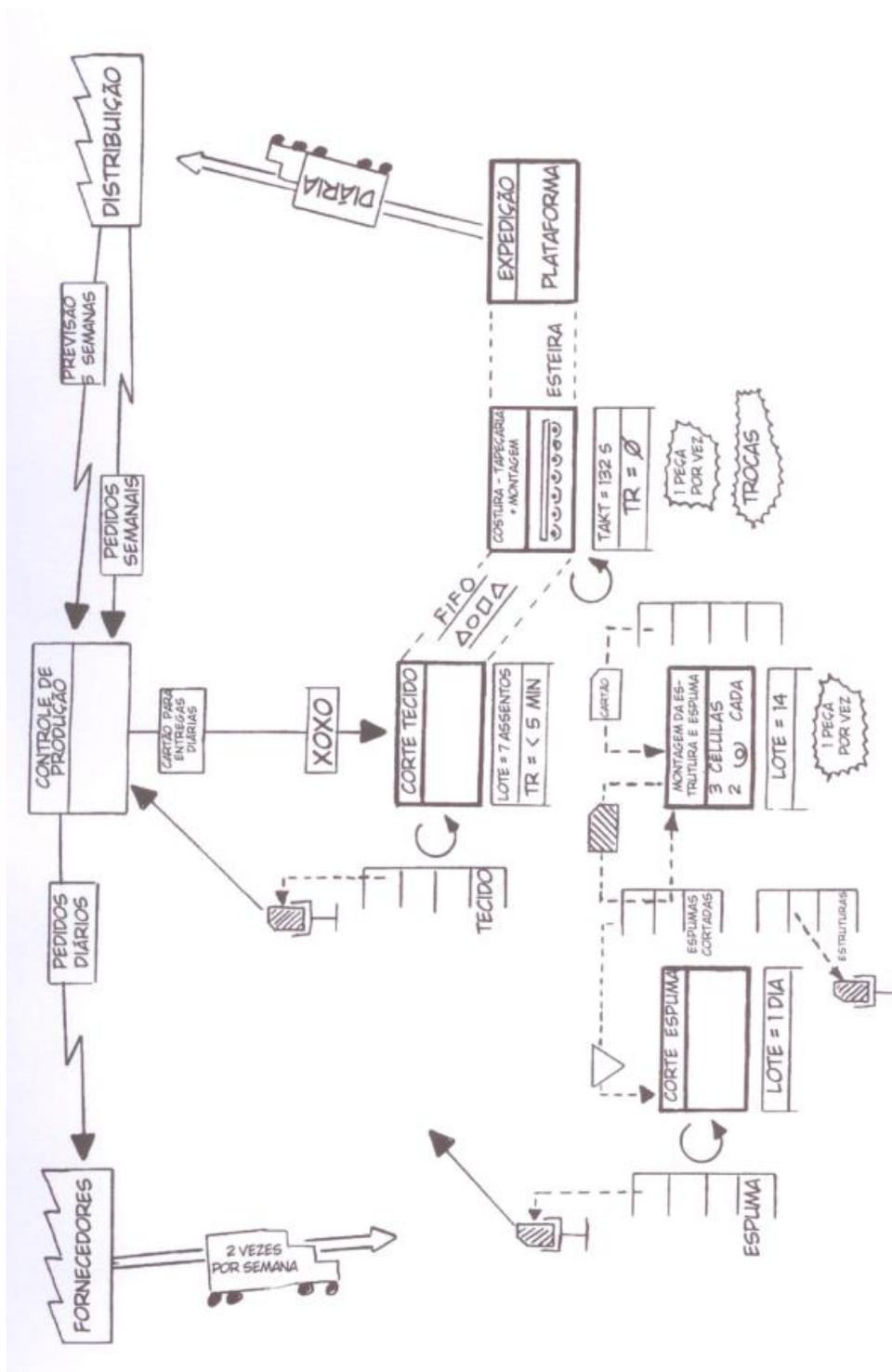


Figura 3 – Exemplo de Mapeamento do Fluxo de Valor do estado futuro.

Fonte: Rother e Shook (2003)

2.1.3 Nivelar a carga de trabalho

Segundo Liker (2005) o desejo de muitas empresas americanas é fabricar somente após o pedido do cliente, mas se as perdas não forem eliminadas, o que acontece é uma entrega defasada com a necessidade do cliente. Conforme Cannas et al. (2018), o nivelamento da carga de trabalho somado a redução de perdas e a sobrecarga (fabricar o que não precisa antes do tempo correto) é fator chave para reduzir o tempo de atravessamento. Muitas vezes as fábricas parecem estar sobrecarregadas e em outros momentos ociosas, esse efeito pode ser resultado do desnivelamento das linhas de produção que hora parecem não ter condições de atender a demanda e em outros momentos antecipam programação para não ficarem paradas (outro desperdício).

Heijunka é o termo em japonês que significa nivelamento da produção, não conforme a entrada de pedido, mas uma equação entre o volume total de pedidos de um período e a fabricação de todos os produtos todos os dias (LIKER, 2005). Em modelos tradicionais, se produz em lotes, a fim de se obter economia de escala, mas devido os diferentes produtos que se fabrica na mesma linha este modelo é um grande gerador de desperdícios e ineficiências. Na Fig. 4 poderá ser observada a sequência tradicional, onde se produz grande quantidade de um produto cada vez que este tem que ser produzido devido a ajustes necessários a cada troca de produto.

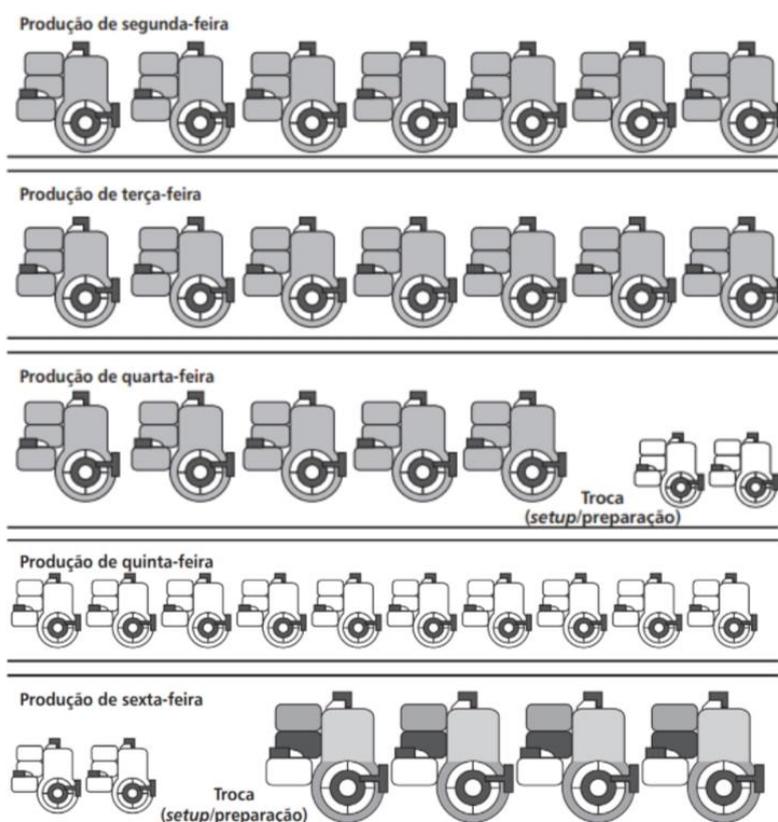


Fig. 4 – Produção tradicional desnivelada

Fonte: (LIKER, 2005)

No modelo de produção proposto pelo STP, representado pela Fig. 5 se objetiva fabricar conforme a demanda do cliente e para isso diferentes produtos são produzidos em menores intervalos de tempo e menores quantidades. Neste modelo de produção o resultado é menores estoques intermediários e redução de tempo de atravessamento, que significa menos desperdícios. Veja que o cliente quer o produto maior todos os dias. No modelo tradicional ele só terá o produto na sexta feira, enquanto no modelo proposto pelo STP, o produto maior será produzido e entregue todos dias. Na manufatura, geralmente são vários clientes (internos ou externos) demandando diversos produtos em momentos distintos ou semelhantes, nesta analogia, mais clientes são atendidos mais cedo e se toda a cadeia produtiva adotar a mesma técnica o fluxo do material será constante e com menos estoques. Esta complexidade foi destacada por Cannas et al. (2018) como uma das dificuldades de aplicar o nivelamento de produção.

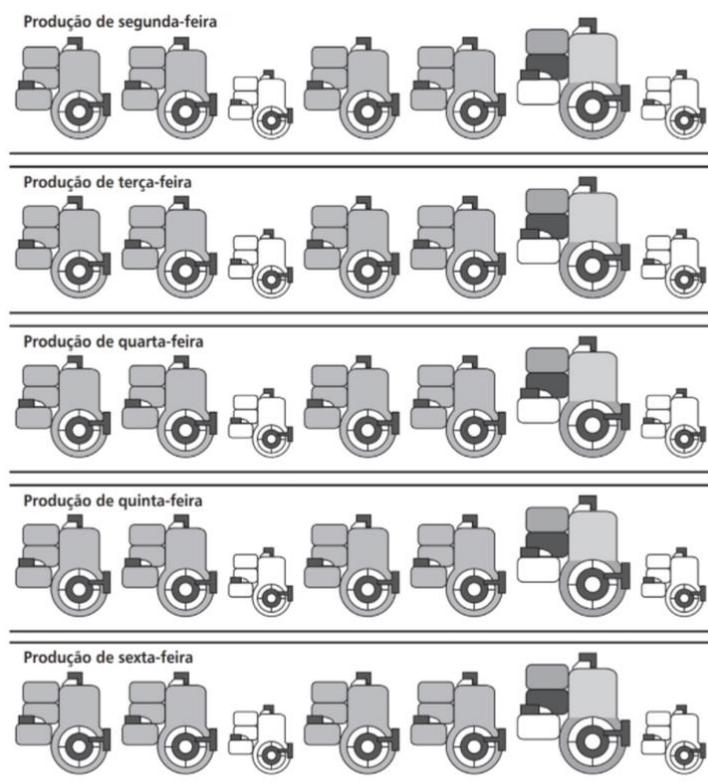


Fig. 5 – Produção nivelada

Fonte: (LIKER, 2005)

Para atingirmos o proposto na Fig. 5, Liker (2005) menciona que devesse reduzir os tempos de setup, pois esta atividade gera ociosidade do operador e máquina. Uma técnica que contribui muito para que isto seja possível é a Troca Rápida de Ferramenta, que será apresentada no item 2.1.4.

As maiores vantagens de ter uma produção nivelada são: Atendimento da demanda dos clientes, redução de estoques, uso balanceado de mão de obra e máquinas e uma demanda uniforme para os fornecedores.

2.1.4 Troca Rápida de Ferramenta (TRF)

De acordo com Rodrigues et al. (2020), a TRF é uma das ferramentas amplamente conhecidas que auxilia a redução de desperdícios. Tem por objetivo troca de ferramenta da produção atual para o próximo produto em um tempo menor que 10 min (remete ao nome da técnica em inglês: *Single Minute Exchange of Die*).

Shingo (2017) define que o tempo de setup pode ser definido como o tempo entre a última peça em conformidade do lote que estava sendo produzido e a primeira peça em conformidade do item que entrou em produção.

Liker (2005) reforça que esta técnica é chave para a implementação do *Heijunka*, pois permite a redução de tamanhos de lotes. O autor ainda comenta que a prática se tornou quase que um esporte no Japão. Uma empresa do setor automotivo foi premiada na década de 80 por conseguir reduzir o tempo de troca de uma prensa de portas de centenas de toneladas que antes precisava de algumas horas para apenas 52s. Rodrigues et al. (2020) destaca que é a ferramenta chave para redução de lotes em ambientes com diferentes produtos disputando os mesmos recursos.

Shingo (2017) desenvolveu o método de quatro etapas que são resumidas na Fig. 6.

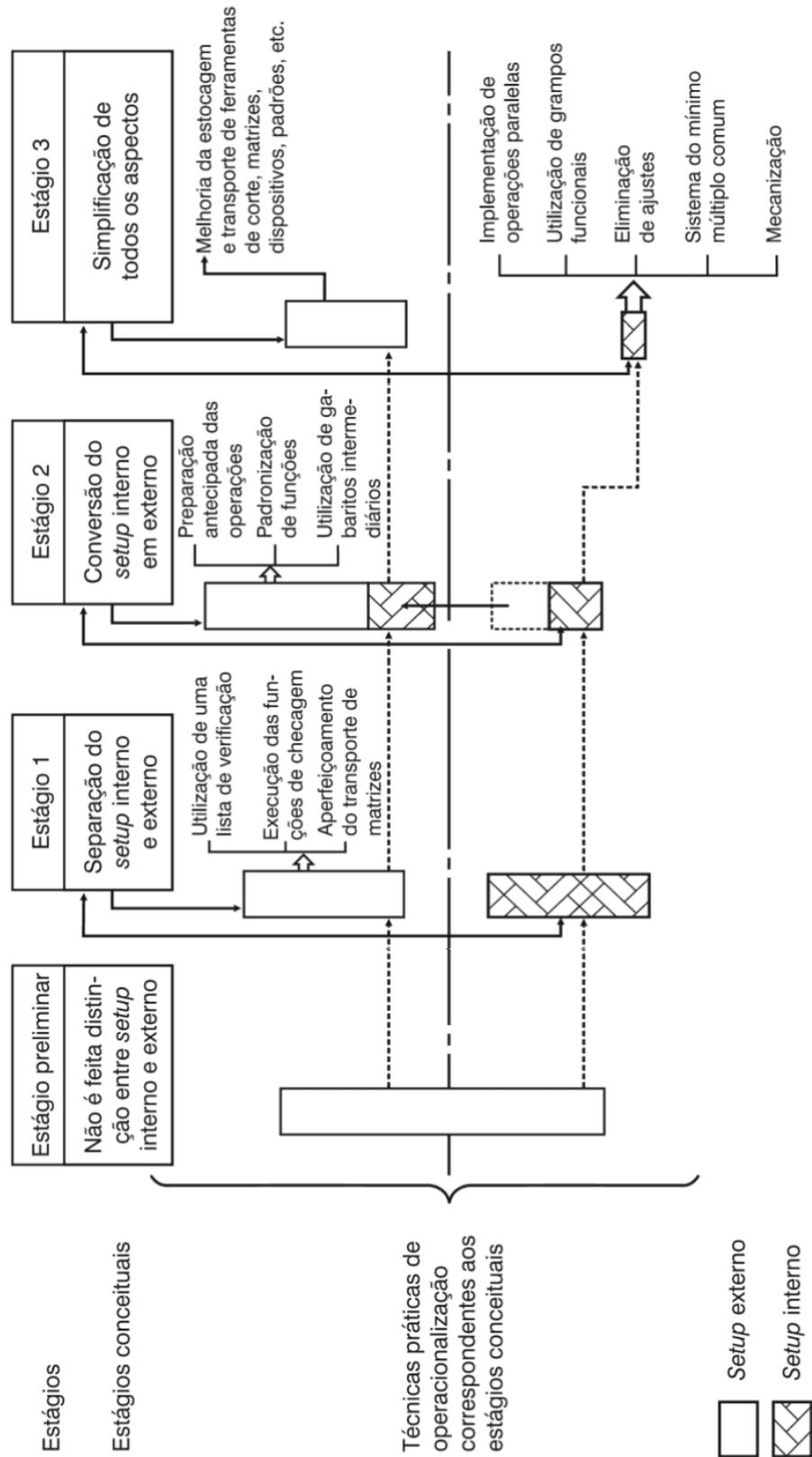


Fig. 6 – A troca rápida de ferramentas (TRF): Estágios conceituais e técnicas de operacionalização.

Fonte: (SHINGO, 2007)

Diversos autores como Antosz (2018), Liker (2005), Sabadka (2017) e Zakaria (2017) acompanham Shingo (2007) na sequência de ações. Sugerem que a primeira análise a ser realizada é a distinção de setups internos em externos, seguido da separação do que pode ser realizado com a máquina parada, posteriormente conversão e então simplificar todas as demais atividades. É surpreendente o número de atividades que são realizadas apenas quando a máquina está parada e que podem ser realizadas enquanto o equipamento ainda está produzindo.

Seguem exemplos comuns trazidos pelos autores Antosz (2018), Liker (2005), Sabadka (2017) e Zakaria (2017):

1- Preparação de dispositivos: O setup do item que vai entrar em produção já deve estar pronto quando a máquina parar. Se um dispositivo é comum, a duplicação permitirá que a ferramenta seja preparada antes e estar disponível para ser instalada.

2- Preparação de ferramentas: As ferramentas que serão substituídas devem estar disponíveis.

O último passo é eliminar ou minimizar os tempos das atividades se setup interno. Neste ponto são inúmeras as possibilidades, serão listadas algumas:

1- Eliminar talhas: Sempre que houver necessidade de erguer algo que o operador não seja capaz de levantar sozinho pode-se criar sistemas de deslizamento. Esta é uma atividade chave na busca de um dígito e que muitas vezes é ignorada.

2- Disponibilizar ferramentas: Todas as ferramentas necessárias para a realização da atividade devem estar disponíveis no ponto de uso.

3- Aproximar ferramentas: Reduz a movimentação do operador. Painéis de ferramentas, carrinhos e eliminar ferramentas desnecessárias também contribuem.

4- Eliminar/reduzir roscas: Rosquear demanda tempo, deve-se optar por sistemas de encaixe, pinos ou grampos funcionais.

5- Padrões de medição: Estes permitem que o tempo até a primeira peça aprovada (fim do setup) seja mais curto.

6- Minimizar regulagens com uso de batentes: Quando não for possível eliminar os ajustes, padrões ou batentes podem ser criados para reduzir a dificuldade da atividade, como por exemplo laminas de folga.

7- Gestão visual: Pintar dispositivos e ferramentas, construir quadro de sombras e melhorar as identificações para auxiliar o operador na atividade.

2.1.5 Cinco Sentos (5S) aplicado a TRF

O programa 5S é amplamente conhecido na indústria, mas poucas empresas vinculam os benefícios a TRF. Ramirez et al. (2018) identificou que a metodologia muitas vezes é utilizada apenas como forma de organização superficial do ambiente de trabalho. Rodrigues et al. (2020) destaca que o 5S é um dos passos para obter uma produção mais eficiente. Aplicar os cinco sentos na atividade de troca rápida de ferramenta permite minimizar os tempos para realização de um setup.

1- Senso de utilização: Separar o que é útil do que não é. Diversas ferramentas podem ser requeridas para trocar um molde, mas as que não são devem ser retiradas do local para permitirem que as corretas sejam localizadas rapidamente.

2- Senso de limpeza: A limpeza auxilia a identificação de problemas como vazamentos e quebras

3- Senso de organização: Identificar as ferramentas e os locais delas, utilizar um carrinho ou quadros de ferramentas permite que o operador seja muito mais ágil para encontrar o que precisa e realizar a atividade no menor tempo possível.

4- Senso de padronização: Padronizar através de documentação clara e detalhada o estado da arte da atividade. Com isto é possível treinar os operadores e a longo prazo verificar aderência ao que foi proposto.

5- Senso de disciplina: De nada adianta termos carrinhos, ferramentas, quadros de dispositivos se ao realizarmos uma atividade os mesmos não estiverem nos locais destinados. Manter o que foi amplamente discutido e implementado é chave para a sustentabilidade do sucesso a longo prazo.

Rodrigues et al. (2020) mencionam que a implementação dos cinco sentos auxilia a obtenção de resultados rápidos e duradouros no médio e longo prazo.

2.3 Processo de forjamento

A importância do forjamento para os processos de transformação do aço em produtos industrializados é tão relevante que o ASM Metal Handbook (1993) classifica como umas das 3 maiores tecnologias, ao lado de fundição e metalurgia do pó, sendo a mais antiga e madura das técnicas. Krauss (2015) menciona que nos

primórdios do forjamento se utilizava o aço e outros metais na forma que eram encontrados na natureza.

Forjamento é um processo de conformação mecânica largamente empregado na indústria metal mecânica. Segundo Schaeffer (2016) a produção por conformação mecânica reduz custos e aumenta a competitividade das empresas que dominam esta arte milenar. O forjamento também se torna relevante porque torna possível atingir propriedades mecânicas que outros processos não conseguem alcançar.

De acordo com Unver e Kara (2019), o processo de forjamento é formado por diversas etapas bem definidas. Cada fábrica tem características específicas e define as etapas que irão fazer parte do seu processo produtivo. Schaeffer (2016) apresentou algumas como o corte, o aquecimento de *billets*, pre forma, forjamento, calibração, tratamento térmico e granalha. Essas etapas são definidas dependendo do produto e do desenho do processo. As mesmas serão apresentadas em detalhes.

2.3.1 Corte de matéria prima

A matéria prima do forjamento é normalmente fornecida em barras de diferentes tamanhos, bitolas e tipo de aço (conforme projeto e disponibilidade da usina). O corte transforma as barras em *billets* (ou *blanks*), que nada mais são que frações das grandes barras laminadas fabricadas nas usinas. O corte destas barras laminadas pode ser realizado de várias formas. O manual ASM Metal Handbook (1993) apresenta as mais utilizadas, como corte por cisalhamento a temperatura ambiente ou com aquecimento da barra, serras fita ou até mesmo serras circulares de alto desempenho, corte a laser e jato de água com material abrasivo. A escolha do processo depende de vários fatores como disponibilidade do equipamento, custo, produtividade, qualidade do acabamento e limitação técnica.

Conforme Dias (2013) os diferentes processos de corte apresentam vantagens e desvantagens e cabe a empresa definir qual o melhor método para o seu processo ou produto. O cisalhamento é geralmente mais rápido, mas não deixa um bom acabamento superficial e dimensional, além de afetar o estado de tensões do *blank*. A Figura 7 mostra a representação de um *blank* cortado por cisalhamento.

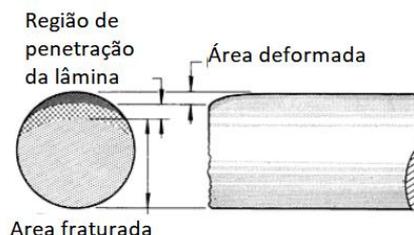


Figura 7: Representação de um *blank* cortado por cisalhamento.

Fonte: adaptado de ASM Metal Handbook (1993).

Uma alternativa apresentada por Dias (2013) é o corte por serra que pode garantir melhor qualidade dimensional e de acabamento praticamente não afetando as tensões residuais, porém Unver e Kara (2019) destacam que serrar é um processo mais lento e caro que o cisalhamento.

Segundo ASM Metal Handbook (1993), a escolha do método depende de fatores como diâmetro da barra laminada, temperatura do material no momento do corte (a barra pode ser aquecida para reduzir o esforço de corte), do acabamento desejado nas extremidades do corte (para o forjamento pode gerar trincas ou dobras) e as tolerâncias do produto (forjamento de matriz aberta o excesso é convertido em perda por rebarba, mas em matrizes fechadas reflete em sobre carga e até quebras). Unver e Kara (2019) ainda destacam que a geometria do acabamento pode prejudicar a primeira operação se o billet precisar ficar na posição vertical e estática. Os *blanks* podem ser cortados por peso ou comprimento. No caso de forjamento em matriz fechada, o objetivo é alcançar a massa desejada para preencher totalmente a matriz.

Um ponto importante para a produtividade nos processos de corte por cisalhamento é a vida útil da lamina até a afiação. O ASM Metal Handbook (1993) menciona que o ideal é que a lâmina suporte no mínimo o tempo de trabalho até uma parada programada. Laminas podem cortar de 5000 a mais de 2.000.000 de *blanks* sem necessidade de nova afiação. Este número depende do tipo de aço e do tratamento térmico da lâmina, da dureza do material que está sendo cortado, design da lamina e da velocidade de corte. As laminas com mais longevidade são as fabricadas em aço rápido M2, com dureza entre 60 e 62 HRC.

2.3.2 Forjamento de blanks

Schaeffer (2016) salienta a importância econômica do processo de forjamento. Recentemente os novos equipamentos permitem a fabricação de grandes quantidades de peças em menor tempo. Além disso alguns produtos só atendem as especificações de propriedades mecânicas se fabricados por conformação mecânica.

O ASM Metal Handbook (1993) apresenta diversos processos de forjamento. Todos se diferenciam em alguma característica, mas na essência geram deformação plástica permanente através da conformação mecânica. Esse processo ocorre basicamente entre duas matrizes. Dentre eles existe o forjamento em matriz aberta, matriz fechada (em martelos e prensas).

2.3.2.1 Forjamento em matriz aberta

De acordo com o ASM Metal Handbook (1993) se torna uma opção quando o produto a ser forjado tem dimensões muito grandes para ser conformado em uma matriz fechada, quando as propriedades mecânicas não poderem ser obtidas por outro processo de deformação, quando a quantidade de produtos é muito pequena e não justifica investimento em uma matriz fechada ou quando a entrega do produto é tão próxima que não há tempo de fabricar uma matriz fechada. Segundo Campi et al. (2020) o processo é escolhido quando o produto tem geometria simples e precisa de altas propriedades mecânicas, mas os volumes são baixos.

Os limites para este método são basicamente a capacidade do equipamento para deformar, mover e garantir a temperatura do material a ser forjado.

Autores como GAIKWAD et al (2016) apresentam outras aplicabilidades para o forjamento a frio em matriz aberta, como o aumento das propriedades mecânicas de um eixo em aço inox austenítico, representado na Figura 8.

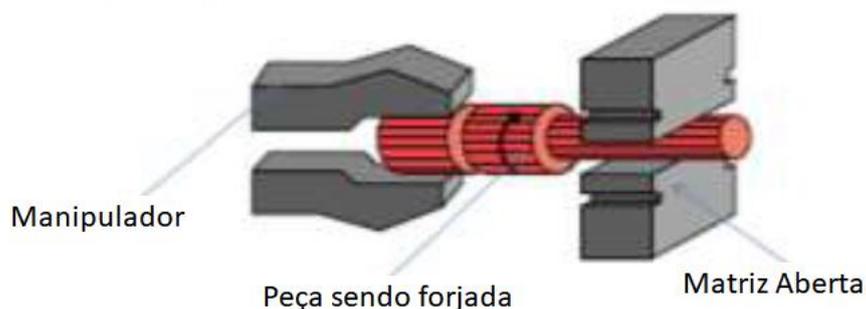


Figura 8: Representação de um eixo sendo forjado em matriz aberta para melhorar propriedades mecânicas.

Fonte: adaptado de GAIKWAD et al (2016).

2.3.2.2 Forjamento em matriz fechada

Neste processo existe uma matriz superior e outra inferior. O material a ser conformado é posicionado entre as duas matrizes forçando o aço a preencher as cavidades e copiando assim a forma da matriz. O ASM Metal Handbook (1993) destaca a que a barra deve ser cortada considerando o volume de aço que será necessário para preencher a matriz somado a rebarba que tem papel importante no alívio da carga de forjamento.

2.3.3 Jateamento com Granalha

Existem vários usos para limpeza de peças com jateamento por granalha, ISO 8501-1: 2007 menciona a preparação da superfície para receber pintura e remoção de oxidação, Santos Junior (2018) destaca a versatilidade do uso, de uma simples limpeza da superfície até a técnica de incidir tensões compressivas. No caso de forjamento a quente, a ISO 8501-1: 2007 reforça que é um excelente recurso para remoção de carepas. Unver e Kara (2019) indicam que aços forjados a quente e deixados ao ar para atingir a temperatura ambiente formam muita carepa, tornando a etapa importante para se garantir um bom nível de acabamento superficial.

Vieira (2019) comenta que em muitos casos é recomendado jatear a peça antes do processo de tratamento térmico para evitar que a carepa queime as resistências do forno e ou que contamine o meio de tempera.

Após tratamento térmico Vieira (2019) reforça que os motivos são diferentes de antes do tratamento térmico. Etapa final de acabamento da peça tem por objetivo

principal remover impurezas proveniente do processo de tratamento térmico que podem afetar as operações posteriores. Alguns benefícios são melhorar a proteção contra oxidação para peças que ficarão estocas mesmo que por pequenos períodos, preparar a superfície para receber pintura e evitar a contaminação do fluido de corte em operações de usinagem.

A norma ISO 8501-1:2007 indica que uma mistura de granalhas novas, médias e pequenas é mais adequado para garantir eficiência de limpeza (reduz tempos de processamento drasticamente). A granalha é formada por pequenas sessões de metal que vão desgastando cada vez que se chocam contra a peça, com o uso e reposições programadas se obtém um mix de granalhas novas, médias, pequenas e pó (cada uma tem papel fundamental na eficácia). As novas fazem a limpeza pesada, mas não conseguem cobrir toda a superfície da peça, enquanto as menores não têm força para remover a sujidade mais robusta, porém cobrem melhor a superfície. Por isso a mistura é tão importante. A Figura 9 mostra uma relação entre o poder de limpeza e cobertura de superfície de granalhas novas e de granalhas usadas, enquanto a Figura 10 representa o alto poder de limpeza da superfície de um mix de granalhas.

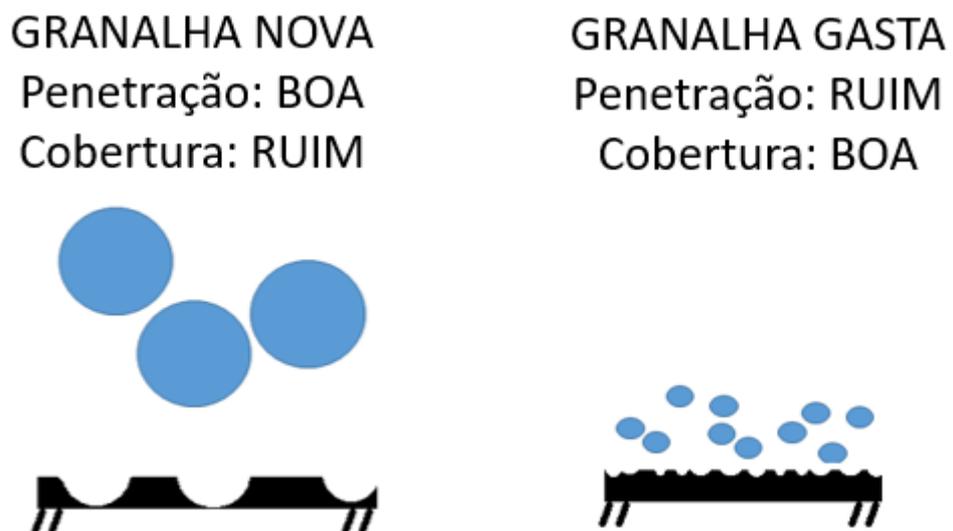


Figura 9: Poder de limpeza e cobertura de superfície de granalhas novas e de granalhas usadas.



Figura 10: Poder de limpeza e cobertura de superfície de mix ideal de granalhas.

2.3.4 Tratamento térmico

Processo comumente utilizado para atingir as propriedades mecânicas esperadas para o projeto ZWIERZCHOWSKI (2020), consiste em aquecer a peça forjada a uma temperatura especificada e resfriar em meio de tempera. Em muitos casos, após o forjamento o produto atinge as propriedades mecânicas exigidas em projeto tornando esta etapa não ser aplicável, por este motivo não será dada tanta ênfase a esta etapa do processo.

Segundo Gronostajski (2020), em processos de forjamento a quente estão sendo aplicados aços que permitem a tempera direta. A peça ainda quente do aquecimento antes do forjamento é submetida ao meio de tempera. Processo com grande economia de energia e tempo (não precisa aquecer novamente).

3 METODOLOGIA

Frente a uma situação bastante difícil para a empresa de aumento de demanda e impossibilidade de atendimento com a atual capacidade produtiva. A atividade se baseou na busca do aumento de produtividade a partir da identificação de oportunidades. As ferramentas aplicadas foram Mapeamento de Fluxo de Valor, Troca Rápida de Ferramenta, Cinco Sentidos, Nivelamento da Carga de Trabalho e Sete Perdas do Sistema Toyota de Produção.

A análise de perdas exige observação do processo produtivo por pessoas treinadas para enxergar desperdícios. O uso de filmagens auxilia a análise detalhada e minimização de erros, pois permite a verificação de detalhes que podem ter passado despercebidos em um primeiro momento e também auxilia a conferência do tempo de cada micro atividade.

A empresa onde foi aplicado o trabalho é uma forjaria localizada no sul do Brasil, com mais de 500 funcionários. A empresa atua no setor automotivo leve, pesado, construção e agrícola, tendo como seus principais clientes todas as maiores montadoras de veículos, máquinas e equipamentos com plantas fabris no Brasil. A empresa tem fortes concorrentes locais e está constantemente sendo desafiada a reduzir custos e aumentar a produção para que possa atender novas demandas. Possui treinamentos formais em produção enxuta e equipe de melhoria contínua, mas os projetos são focados na fábrica de usinados, poucos trabalhos foram realizados nos últimos anos na forjaria.

Peças forjadas da família de Yokes e eixos recalçados foram o objeto do estudo. No sentido de buscar oportunidades dentro dessas fronteiras, o processo foi mapeado. Foram identificadas oportunidades em atividades e células gargalo que por sua vez foram priorizadas para obtenção de maiores resultados. Aplicada a ferramenta TRF para redução de tempos de setup, técnicas de organização e aumento de produtividade dos cinco sentidos, distribuição de atividades em células para reduzir o tempo do gargalo, adequação e padronização de processos conforme normas internacionais resultaram em uma nova e melhor condição de produtividade.

A experiência de uma liderança treinada é fundamental para auxiliar na identificação dos ganhos rápidos. Muitas vezes uma atividade pode estar sendo executada de forma exemplar perante o trabalho padrão, mas aos olhos das

melhores práticas de mercado, desperdícios invisíveis para pessoas não treinados podem ser registrados e corrigidos.

Entrevistar a equipe que irá acompanhar o trabalho é muito importante para entender o quanto poderão contribuir e de que maneira se dará a comunicação. Se o nível de conhecimento das técnicas de análise de desperdício for médio ou baixo deve-se dedicar parte do tempo inicial para treinamento.

Nivelado o conhecimento da equipe parte-se para o chão de fábrica, registra-se tempos das atividades, observações relevantes e percepções dos funcionários entrevistados sobre oportunidades de melhoria. Com o layout em mãos se torna mais simples seguir o fluxo e definir o que está dentro e fora do escopo.

Durante a visita ao chão de fábrica diversas oportunidades são observadas. Deve-se registrar todas para posteriormente avaliar através de uma matriz de esforço impacto a priorização.

Após a execução das ações novos registros de tempo foram realizados para avaliar a eficácia das ações.

4 ANÁLISE EXPERIMENTAL

4.1 Alinhamento de expectativas

Foi realizada uma reunião virtual para apresentar o objetivo geral do trabalho. Durante a vídeo conferência, apresentou-se a intensão de realizar visita técnica em busca de desperdícios que pudessem ser resolvidos com baixo investimento e elaborar um plano de ação de médio prazo para as mudanças que necessitassem de aprovação de investimento.

Os contatos da empresa apresentaram os principais problemas relatando custos de manufatura altos, muitos setups, atrasos nas entregas, falta de matéria prima e quando uma urgência de entrega surge o tempo para finalizar o processo é considerado muito longo.

Foram então apresentados os objetivos específicos, como treinar a equipe da fábrica para auxiliar na visita ao chão de fábrica, executar ações rápidas, elaborar plano de ação para todos os pontos observados, montar uma matriz de esforço impacto para tomada de decisão gerencial.

Para obter resultados mais expressivos é importante atuar nos principais problemas. Foi solicitado que no dia da realização do trabalho pratico os colaboradores que fosse participar do trabalho apresentassem as famílias de produtos de maior volume e que antecipadamente programassem setups.

4.2 Atividade no chão de fábrica

Com todos os membros da equipe e gerência média presentes é realizada uma reunião de abertura. Nesta cerimonia o objetivo geral do trabalho foi apresentado e a equipe teve a oportunidade de se conhecer quanto sua experiência com as técnicas da produção enxuta e análise de desperdícios.

Definida a família de produtos que iria ser o foco do trabalho iniciou-se o mapeamento do processo, pois a partir dele serão discutidas possíveis melhorias locais com impacto global. O mapa de processo atual pode ser verificado na Figura 11.

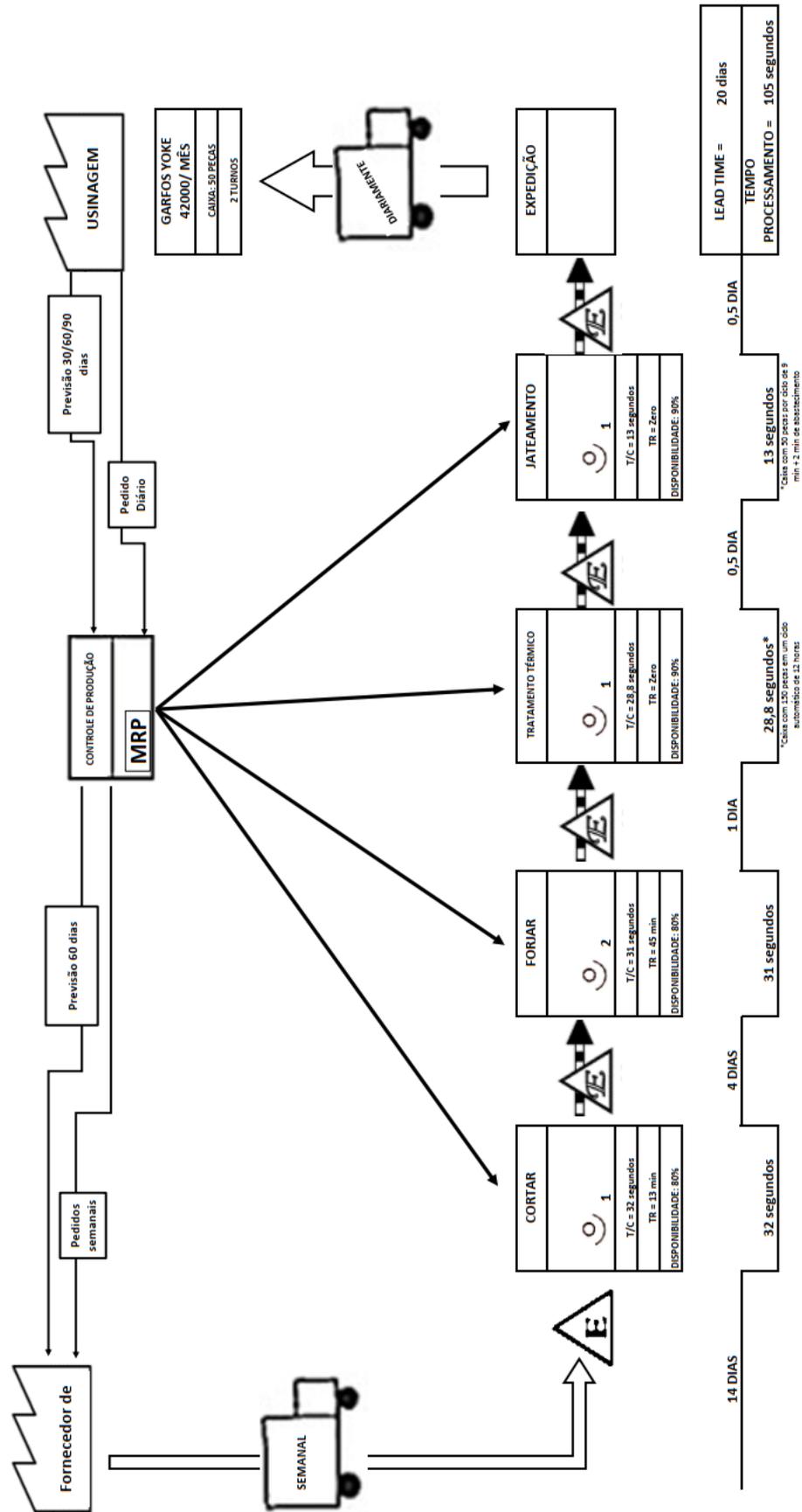


Figura 11 – Mapeamento do fluxo de processo atual.

No mapeamento do processo é normal se observar um grande tempo de atravessamento (normalmente em dias) e tempo de processamento baixo (normalmente em segundos). Esse resultado assusta os menos experientes mas motiva as mudanças.

Observando o mapa do processo atual ideias sobre um novo processo surgem e o mapa do estado futuro é desenhado para que um plano de ação seja proposto e as áreas envolvidas acionadas.

O mapa do estado futuro foi desenhado a mão com dados de tempo de tempos e frequências ainda subjetivos, porém após a implementação das ações e coleta de dados, foi possível desenhar o mapa de processo completo apresentado na Figura 12.

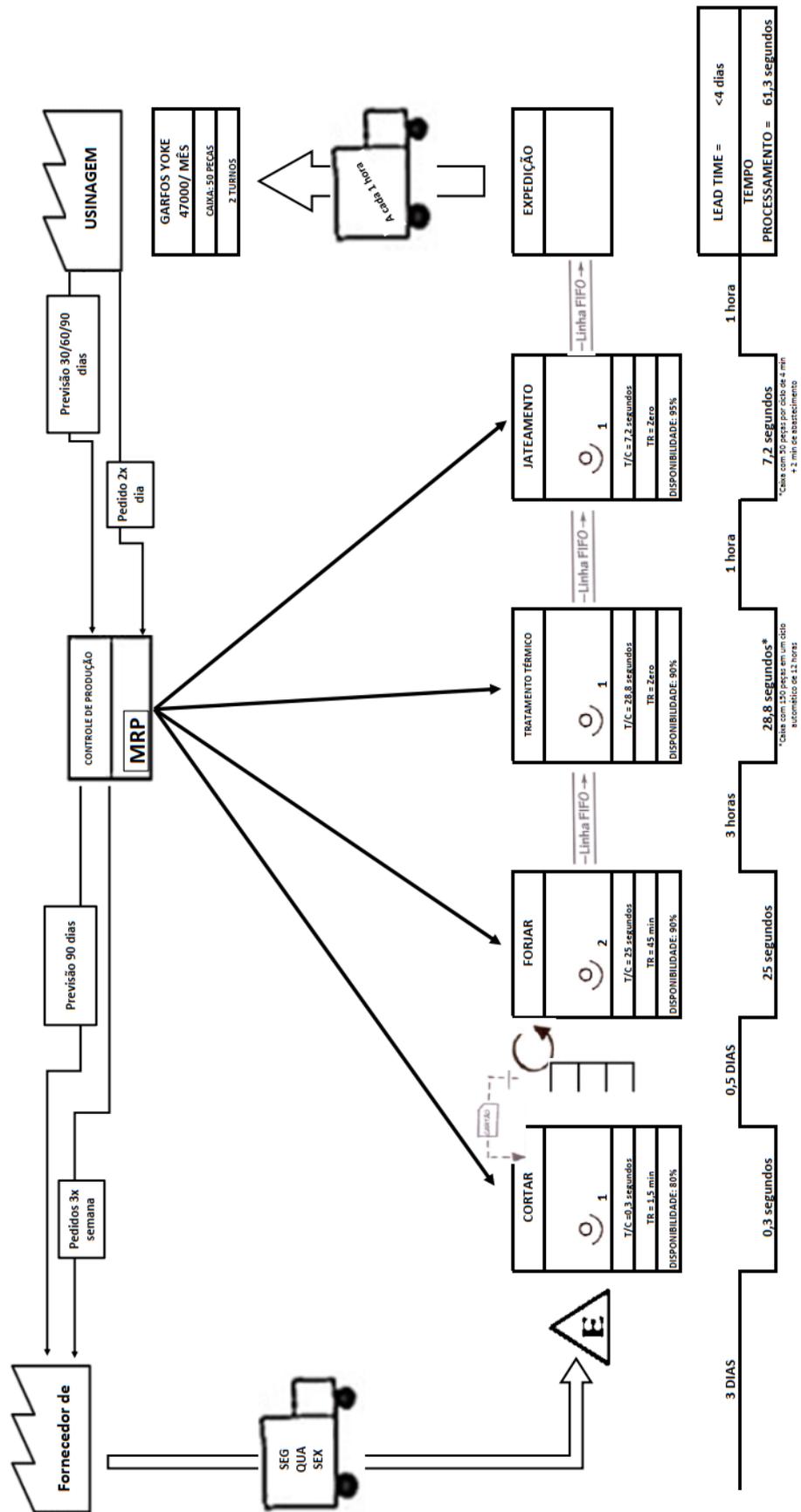


Figura 12 – Mapeamento do fluxo de processo futuro.

As principais propostas de mudanças são relacionadas para o atendimento da nova demanda. Alteração na frequência de entrega de matéria prima, aumento da disponibilidade das cisalhadoras e jateamento (compartilhada com outros produtos), redução de estoques intermediários através de criação de supermercados, organização de FIFO (sigla do inglês que significa primeiro produto que entra para ser processado é o primeiro a sair) e aumento de produtividade da célula de forjamento para atender a demanda do cliente. O mapa do estado futuro norteia o trabalho e as ações serão detalhadas por etapas dentro de cada processo.

4.2.1 Estoque de matéria prima

O estoque de matéria prima (MP) é organizado e possui equipamentos adequados para armazenamento e movimentação. Foram observadas oportunidades relacionadas tempo que os materiais ficam parados em estoque. Para a família estudada (Garfos Yoke) identificou-se que o material permanece 14 dias estocado (de um tempo total de atravessamento de 20 dias), para isso se propôs que o material seja entregue em menores intervalos de tempo.

4.2.2 Processo de corte de blanks

A empresa estudada possui 3 processos distintos de corte. A escolha de qual processo a barra será cortada é definido no desenvolvimento do produto. A definição depende basicamente do diâmetro da matéria prima e da qualidade de acabamento esperado (sempre optando pelo processo mais barato dentro das limitações técnicas e de capacidade). A empresa possui três processos distintos: Serras por cisalhamento, serras a disco e serras fita. A Tabela 1 apresenta um comparativo entre os processos e justifica a escolha da empresa pelo corte por cisalhamento.

Tabela 1 – Comparativo entre processos de corte de blank.

Processo de corte	Custo	Qualidade do acabamento	Velocidade
Cisalhamento	Baixo	Atende	Alto
Serras a disco	Alto	Alto	Médio
Serras fita	Médio	Médio	Médio

Avaliou-se o corte do produto em uma das 3 cisalhadoras da empresa. As máquinas são idênticas, logo as melhorias são extensíveis a todas. O tempo padrão registrado na ficha de processo é de 0,03 min/peça (1,8 seg). Com um cronometro se registrou o tempo de corte e confirmou-se que se tratava do mesmo tempo, mas não sai da máquina um blank a cada 1,8 segundo. Não estava sendo considerado o tempo de reabastecimento da máquina, a colocação automática de uma segunda barra quando a que estava sendo cortada termina e o tempo necessário para corte da ponta inicial de cada barra (necessário para garantir tamanho e qualidade de acabamento). O tempo de ciclo total deve considerar todos os tempos mencionados acima, dividir o tempo total entre o número de peças cortadas por barra e somar ao tempo de corte de cada blank para se chegar ao correto tempo necessário para produzir cada peça. Para uma barra de 6 metros de comprimento, com 21 barras e produzindo blanks de 118cm, obteve-se o resultado real de 32 segundos por peça e não os 1,8 segundos registrados. Os detalhes podem ser vistos na Tabela 2.

Tabela 2 – Cálculo tempo de produção de um blank.

	Tempo por barra (HH:MM:SS)	Tempo por peça (118cm) (HH:MM:SS)
Tempo de cortar uma barra	00:01:40	00:00:02
Abastecimento a cada barra	00:02:49	00:00:03
Corte da ponta	00:01:32	00:00:02
Tempo de parada para reabastecimento (a cada 21 barras)	00:08:45	00:00:25
Total	00:14:46	00:00:32

Etapas a cada blank podem ser observadas na Tabela 3. Cabe salientar que o tempo de cada micro atividade é na ordem de décimos de segundo, sendo assim o tempo de cada uma não pode ser registrado com precisão e por isso não foi apresentado individualmente.

Tabela 3 – Resultado das melhorias do processo de corte de blank.

CORTE POR CISALHAMENTO		
Etapa	Atividade	Observações / Melhorias
1	Abertura morsa	Abrir enquanto retorna a navalha
2	Avanço da barra	Em paralelo a abertura da morsa
3	Avanço do posicionador	Em paralelo (na mesma velocidade que a barra)
4	Fechamento da morsa	Manter ao sinal de que o posicionador atingiu o curso
5	Recuo do posicionador	Após posicionar a barra (não esperar morsa fechar)
6	Movimentação da navalha superior	Manter início do movimento após fechamento da morsa e padronizar altura
Tempo	Tempo atual: 1,8 segundos / blank	=> Tempo após melhorias: 0,9 segundos / blank

Foi possível observar que os movimentos automáticos do equipamento estavam sendo realizados somente após a finalização de cada etapa em curso, o que acarretava em desperdício de movimento automático. Como o equipamento é dotado de Controlador Lógico Programável (CLP), a ação de realizar etapas em paralelo foi muito simples de ser implementada. A navalha superior foi regulada para ficar mais baixa. Para reduzir o tempo de movimentação, um sensor foi instalado para que o equipamento fizesse a leitura de que a barra atual estava acabando e assim abastecer a próxima barra em paralelo, reduzindo o tempo gasto à zero. As amarras do próximo feixe foram cortadas antes de o material ser içado, permitindo abastecer o equipamento sem ter que entrar nele (e parar o equipamento para realizar a atividade).

O setup pode ser melhorado com o uso de laminas de folga ou padrões para ajustar com precisão a distância da lamina do ponto de parada até a barra. A lâmina estava um pouco alta o que gerava um prejuízo de décimos de segundo por peças. Para obtermos o tempo de desperdício foi necessário fazer o ajuste, registrar o tempo de ciclo com o tempo antes da melhoria.

Outra oportunidade identificada de setup é quando ocorre a troca de matéria prima. Quando a última barra está sendo cortada já não existe risco de mistura de matéria prima e um feixe do próximo material a ser produzido já pode ser posicionado no banco de barras reduzindo drasticamente o tempo de máquina parada. O mesmo conceito aplicado para reabastecimento do mesmo material. O tempo de setup registrado no sistema é de 20 min, porém a empresa não considera o tempo total do setup sugerido por Shingo (2017) que é o tempo da última peça boa até a primeira peça aprovada. Essa diferença explica boa parte do problema de falta de capacidade da empresa para atender a demanda do cliente, pois reduz a disponibilidade do equipamento.

Com as ações implementadas foi possível registrar os ganhos totais apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Cálculo tempo de produção total de um blank antes e após melhorias.

	Tempo por barra sem melhorias	Tempo por barra com melhorias	Melhorias	Tempo por peça sem melhorias	Tempo por peça com melhorias
Tempo de cortar uma barra	00:01:40	00:00:50	Baixar navalha superior (muito alta) e posicionar avançar em paralelo	00:00:02	00:00:01
Abastecimento a cada barra	00:02:49	00:00:00	Instalar sensor para identificar que a barra atual esta acabando e derrubar a próxima antes de acabar	00:00:03	00:00:00
Corte da ponta	00:01:32	00:01:32	Nenhuma observação	00:00:02	00:00:02
Tempo de parada para reabastecimento	00:08:45	00:00:00	Retirar as amarras para abastecer sem precisar entrar na máquina e largar antes de cortar a última barra	00:00:25	00:00:00
Total	00:14:46	00:02:22	Total:	00:00:32	00:00:03

A afiação das navalhas é fator chave na qualidade do acabamento e garantia da estabilidade do processo. A empresa não possui controle de vida útil das navalhas, o que não permite responder quantos blanks são cortados com cada navalha, quando o operador sabe que deve virar a navalha, trocar por uma reafiada ou até mesmo saber se a navalha está atendendo as expectativas de durabilidade esperadas para aquele material. Como consequência de não ter este controle não foi surpresa também não ser possível identificar uma identidade em cada navalha. Algumas ações de 5S como identificação (gravar um código individual) é o ideal para entender como está o desempenho do componente. Necessário implementar controle de afiações na ferramentaria além de um controle na máquina onde o operador deve registrar o número de peças fabricadas. Na máquina deve ficar apenas um par de navalhas, assim o setor de ferramentas só troca a navalha caso o operador apresente o registro de produção junto com a navalha a ser trocada. Também é possível verificar no sistema de controle de produção a quantidade produzida desde última entregue até a que está sendo trocada (considerando todos os PN que aquela navalha corta) e monitorar o motivo da troca pode explicar a causa raiz de trocar prematuras. Vida útil é a base para saber se algo está errado com as navalhas e/ou processo. Fornecedores de navalha também tem problemas de qualidade e elas podem estar sendo as responsáveis por muitas paradas.

4.2.3 Processo de forjamento de blanks

Observa-se algumas células de forjamento quanto a oportunidades de melhoria. Optou-se por dedicar mais tempo no processo de forjamento de Yokes e realizar observações em células que usam recursos compartilhados com a família de Yoke (Matéria Prima, Corte, Tratamento Térmico e Jateamento).

4.2.3.1 Célula de Yoke

Yoke é um terminal que compõe o sistema de transmissão. Ele pode ser soldado ou montado através de estrias envolventes (depende do projeto e aplicação do produto). Para melhor entendimento do produto, trazemos a Figura 13 que mostra um Yoke forjado e usinado. Devido às restrições de confidencialidade solicitadas pela empresa, a foto foi registrada de um produto à venda na distribuição.



Figura 13 – Imagem de um Yoke forjado e usinado.

Produto de alto volume que representa grande importância no faturamento da empresa. Atualmente a empresa não atende à demanda do cliente e está perdendo novos negócios por falta de capacidade. Foi possível perceber espera entre ciclos por parte de dois operadores. Para identificar as causas de ociosidade em células a primeira etapa de avaliação é a realização de uma análise de balanceamento de linha. Medimos o tempo de operação em cada uma das etapas (representado na Figura 14) e percebe-se que a operação estava desbalanceada. Tempo da operação de forja era muito superior ao das outras duas operações. Foram registrados 31s para forja, contra 17s para rebarbação e 16s para abastecimento de blanks.

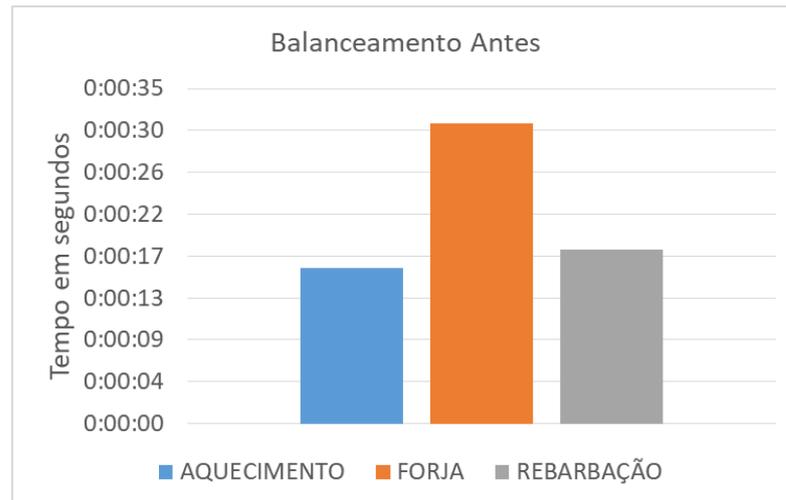


Figura 14 – Tempos de cada etapa da célula Yoke.

Após a análise dos tempos a equipe se reuniu e Definiu-se alterar a operação de aplicação de desmoldante, colocando um aplicador bidirecional, alterar a etapa de retirar a peça da matriz de forja para o operador da rebarbadora (retirando uma etapa da forja e esta sendo realizada em paralelo a aplicação do desmoldante) e instalar uma chapa inclinada na rebarbadora para que a peça caia e só tenha que ser empurrada para cair na caixa de peças aprovadas.

Concluídas as ações foram registrados os novos tempos e obteve-se redução no tempo de forja de 16s. Antes o tempo do gargalo (operação mais lenta) era de 31s e após as melhorias se registrou um tempo de 25s (Figura 15)

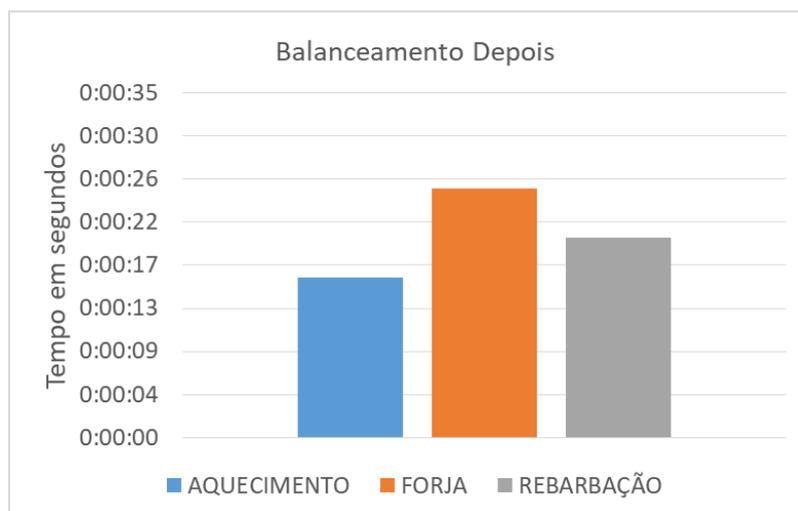


Figura 15 – Tempos de cada etapa da célula Yoke após melhorias implementadas.

O tempo total disponível para produção nos dois turnos considerando disponibilidade 100% seria de 16 horas. A redução de 6 segundos por ciclo permitiu um aumento de 1858 peças dias para 2304 peças dias, ou seja, um acréscimo de 446 peças por dia (ou +24%) com a mesma estrutura. Este aumento de capacidade não só permite o atendimento da demanda do cliente (42000/mês) como a possibilidade de atender novas demandas que não eram aceitas por falta de capacidade (+5 mil/mês imediato).

4.2.3.2 Prensa de forjamento 1000 Toneladas

Blanks estavam descartados junto a rebarba, o que pode impactar em problemas de acurácia nos apontamentos de inventário e conseqüentemente distorções no custo do produto. Percebe-se que o operador lubrificou apenas a matriz superior em quase todos os ciclos observados. Ao ser questionado, o operador alegou que não era necessário lubrificar, mas ao se observar o trabalho padrão foi possível comprovar que era necessário. Avaliou-se junto a ferramentaria o histórico de regravação das matrizes e observou-se um aumento nas regravações nos últimos dois anos. A alternativa escolhida pela equipe foi adotar o aplicador bidirecional (duplo para cima e simples para baixo). Desta forma a escolha não depende mais do operador. A aplicação passa a ser simultânea nos dois lados, aplicando o dobro na matriz superior (que devido a geometria da peça precisa de mais desmoldante que a inferior).

A alteração não gerou aumento significativo na produção, pois não era a atividade gargalo da célula, mas aumentou a vida útil da matriz e reduzindo paradas para setup. Não foram identificadas outras melhorias de simples implementação nesta operação, o que mostra que nem todos os processos tem oportunidades tão claras.

4.2.4 Processo de jateamento com granalha

O processo possui certo nível de automação e alguns conceitos muito interessantes para reduzir desperdícios. A caixa de peças é disposta pelo operador de empilhadeira na base do elevador. Uma espécie de degrau soldado na base do

elevador trava a caixa para que ela não caia junto com as peças quando o elevador vira os itens a serem processados, garantindo um tempo de abastecimento de 2 min. Enquanto o processo de granalha ocorre a caixa vazia é disposta na saída do equipamento para que o processo de descarregamento faça a disposição das peças na mesma caixa que o material chegou a operação.

O primeiro ponto de melhoria que chamou a atenção na granalha foi que todas as peças são processadas por 9 min. Diferentes geometrias requerem tempos distintos. Algumas peças de geometria simples ou peças grandes podem ficar prontas com tempos inferiores ao padronizado.

É importante avaliar qual o acabamento esperado para as peças. Produtos que terão todas as superfícies usinadas não precisam ter um acabamento tão bom quanto peças que a superfície forjada receberá pintada. Optou-se por um dos produtos que estava aguardando para ser processado e pedimos ao operador para reduzir o tempo para 4 min. O produto foi avaliado pela engenharia de processos e qualidade e considerado aprovado já que não apresentava carepas. Apesar de visualmente a limpeza não era tão completa, a sujidade foi considerada aceitável para não contaminar o fluido de corte do centro de usinagem para onde o material é enviado na próxima etapa de processamento. A ação recomendada é criar famílias de produtos e definir tempos para cada grupo gerando grande aumento de produtividade.

Foram criadas 3 famílias de produto:

- A- Peças que receberão pintura sobre o forjado bruto;
- B- Peças com geometria complexa;
- C- Peças com geometria simples.

Após ajustar o mix de granalha (detalhes serão mostrados a seguir), iniciou-se os ciclos com 8 min, reduzindo a caixa nova 1 minuto do ciclo e observando se o acabamento era aceitável ou não. Após aproximadamente 10 ciclos por família, se chegou aos tempos ideais. Redução de 1 min para família A, 4 min para família B e 3 min para família C. Resultando uma redução mensal de 31,5 horas (jornada de 21 horas, 22 dias úteis). A Tabela 5 detalha estes resultados de forma estruturada.

Tabela 5 – Redução do tempo de granalha.

Família	Classificação	Tempo inicial (minutos)	Tempo novo (minutos)	%	Ganho de tempo diário	Ganho de tempo mensal
A	A serem pintadas	9	8	33	7 min	2,5 Horas
B	Geometria simples	9	3	41	52 min	19 Horas
C	Geometria complexa	9	4	26	27 min	10 Horas

Um ponto muito importante para a estabilidade do processo é a qualidade da granalha. O atual controle da qualidade da granalha consiste em o operador abastecer a máquina quando percebe que não está limpando bem (adiciona 1 saco de 25kg) ou se o amperímetro da máquina indica nível baixo de granalha (adiciona em média 100kg), sem frequência definida. A equipe fez uso de peneiras com diferentes aberturas e identificou que havia uma pequena quantidade de granalha nova e muita granalha miúda, além de muito pó.

Verificou-se o consumo mensal e dividimos pelos dias trabalhados. Em média são consumidos 20kg diários. Foi solicitado ao operador que todos os dias no início do turno colocasse um saco de granalha. Também foi regulada a abertura para que saísse um pouco mais de pó no descarte. Duas semanas depois a equipe fez novamente a medição com o auxílio das peneiras e comprovou que haviam quantidades semelhantes de vários tamanhos de granalha. Com o mix corrigido foi possível fazer a determinação dos tempos de cada família mencionados acima. O mix adequado permitiu a redução do tempo em mais de 10%.

Para garantir que esta ação permaneça sendo realizada ao longo dos anos, um trabalho padrão de abastecimento e um procedimento detalhado explicando os motivos foi criado e publicado.

Com os ajustes do mix de granalha e redução dos tempos de processamento demonstrados na Tabela 5, houve redução significativa no tempo de atravessamento.

4.2.5 Processo de Setup

Na reunião de abertura foi reportado que são realizados em média 7 setups por turno, o que resulta em 21 setups por dia na empresa. A equipe considera o tempo para realização da atividade adequado e não considera que seja um ponto a ser observado.

Conforme visto na revisão bibliográfica, o tempo de um setup é o tempo entre a última peça boa do lote que estava sendo produzido e a primeira peça aprovada do item que entrou em produção. Todo o tempo da máquina parada devido ao evento de troca de produto deve ser considerado. Quando discutido o conceito, a equipe voltou atrás e decidiu que todos os tempos registrados deveriam ser revistos, pois era considerado somente parte do tempo de setup. Aquecimento da matriz e medição eram desconsiderados.

Ao terminar a última peça do item que estava em produção começou o registro do tempo da atividade. Os dois operadores já executam esta atividade a bastante tempo e se dividiram de forma sincronizada para realizar a troca das matrizes. Enquanto um subia na prensa para soltar parafusos o outro posicionava tacos no chão para largar com a talha as matrizes e permitir assim que a empilhadeira levasse as mesmas. Todas as ferramentas e dispositivos estavam disponíveis para realizar a atividade o que permitiu que a remoção das matrizes fosse realizada rapidamente. Houveram dificuldades para posicionar a matriz em cima dos tacos e não havia uma empilhadeira dedicada para realizar a atividade, o que acarretava em longos momentos de espera. Um suporte específico poderia ser confeccionado. Outra falha foi não ter a próxima matriz disponível para troca antes mesmo de começar a atividade ou enquanto a que estava em produção era removida. Depois de remover houve muito tempo de espera até a nova matriz chegar.

Quando os operadores terminaram de apertar o último parafuso sinalizaram o fim do setup. Esta atitude reforçou que o conceito divergente ao que está na literatura está presente em todas as esferas funcionais. Conclui-se que os tempos de setup na forjaria são muito superiores aos que estão sendo considerados pela equipe. O tempo no sistema de controle de produção foi confrontado e explicou o motivo de não atendimento de produção no tempo esperado. Não se trata de ineficiência da produção e sim erro no parâmetro. Isso implica uma mudança radical na classificação dos custos.

O vídeo continuou sendo gravado, o tempo registrado e os operadores orientados a seguirem com a atividade. Já estavam sendo aquecidos no forno blanks. Os mesmos foram dispostos sobre a matriz para aquecer a mesma. Nos informaram que a partir deste momento era necessário aguardar 30 min (padrão para todas as matrizes) e então poderiam forjar a primeira peça que depois seria

medida. Foi aguardado o tempo padrão de 30 min. Enquanto isso os operadores não tinham outras atividades para realizar e ficaram ociosos. A primeira peça foi forjada e considerada aprovada. Neste momento o registro do tempo foi parado e considerado finalizado o setup.

Na Tabela 6 foram registrados os tempos detalhados das atividades realizadas no setup e depois de implementadas as melhorias os novos tempos registrados. Passou-se de um setup que levava 01:18:34 para um setup de 00:12:10 com praticamente nenhum investimento financeiro.

É possível observar que o maior tempo do setup é consumido pelo aquecimento da matriz. O processo em questão é um dos mais demorados, então para outros setups o aquecimento representa muito mais tempo em relação ao tempo total da troca. É necessário alterar o método de aquecimento das matrizes. As mesmas devem ser aquecidas em forno e levadas aquecida para o posto de trabalho momentos antes de serem fixadas. Eliminando assim a necessidade de aquecimento de blanks (risco de segurança que será abordado em seguida) e redução drástica do tempo de setup em 30 min, a cada setup. Considerando que são realizados em média 7 setups por turno, o impacto desta ação é tão grande que merece todos os esforços para acontecer o mais rápido possível. A empresa possui um forno adequado a esta atividade e não precisou fazer investimento para alterar o método.

Alterar o método de aquecimento das matrizes é uma mudança cultural muito significativa. A equipe ficou receosa com a ideia e levantou o risco de segurança ao manusear a matriz aquecida. Como o risco é o mesmo de remover a matriz quente que estava em uso ao final do forjamento, não houveram impeditivos para levar a ação adiante.

Importante retomar o risco de utilizar blanks para aquecer as matrizes. Foi relatado que os blanks são segregados e após estarem na temperatura ambiente retornam para a linha de produção. Existem vários problemas relacionados a isto. Um dos problemas enfrentados pela empresa é a falta de matéria prima, se a quantidade de blanks for exatamente o que se precisa, pode ser que o tempo necessário para esfriarem não seja suficiente até retornarem ao forno e se um blank ainda não estiver em temperatura ambiente e for inserido no forno por indução o mesmo irá exceder a temperatura máxima. Caso o sistema de detecção automática venha a falhar, uma peça com problema estrutural pode chegar ao cliente. Sistemas de detecção mesmo que muito robustos podem falhar. Durante a visita foram evidenciados diversos blanks segregados nas caixas boca de lobo o que merece investigação da equipe já que não deve ser considerado comum ver blanks segregados por temperatura excessiva. Também foi verificado que durante a visita no lugar de uma estrutura conhecida como boca de lobo (depois depositada uma peça não é possível retirar pelo local de entrada, somente por uma porta ou gaveta com acesso restrito) estava um carrinho aberto.

A equipe foi questionada sobre o conceito de troca rápida de ferramenta (TRF). Disseram conhecer, mas não tinham como objetivo estabelecer a troca de qualquer ferramenta em menos de 10 minutos (tempo entre a última peça boa e a primeira peça liberada). Muitas boas práticas que auxiliam o TRF foram observadas e estabelecer esta meta pode tornar possível reduzir drasticamente os tempos de setup.

Por questões de segurança, jamais deve-se esfriar uma peça em água ou em óleo para medir na liberação, pois isso implica em alteração das propriedades mecânicas do aço e risco de segurança ao usuário final caso a peça não seja segregada corretamente (e no caso de medição ela estaria na mão de uma pessoa, livre para ser segregada incorretamente). A alternativa a ser explorada para reduzir o tempo de medição é ter em mente que a maioria das características são garantidas pela matriz (que é fabricada e regravada em um equipamento de alta precisão), é possível medir as características de deslocamento de matriz e espessura ainda quentes considerando a dilatação do aço. Posteriormente com a peça da liberação em temperatura ambiente realiza-se as medições mais precisas para os registros (com risco de não conformidade minimizado).

Evidenciou-se necessidade de atravessamento de itens urgentes que não foram produzidos a tempo devido a mudança de superprodução de produtos que não eram necessários. Setups rápidos são um alento para a programação da fábrica, pois permite que lotes menores sejam produzidos reduzindo estoques em processamento, consumo da matéria prima no tempo que realmente é necessário e minimização do tempo de atravessamento.

4.2.6 Procedimento Melhoria Continua

Com o intuito de fixar e multiplicar o conhecimento adquirido neste trabalho, um procedimento foi escrito para determinar as ferramentas e passos que devem ser seguidos sempre que a empresa desejar realizar um trabalho com foco em aumento de produtividade. O procedimento foi vinculado ao departamento de melhoria continua e publicado no sistema da empresa. As etapas definidas são criação de MFV para avaliar o antes e o depois, aplicação de TRF em todos os equipamentos do escopo que sofram setup, identificação de gargalos, análise de desperdícios, e nivelamento da carga de trabalho.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O alinhamento de expectativas foi muito importante para melhor aproveitamento dos dias de trabalho de observação, coleta de dados, elaboração de MFV, plano de ação, implementação de ações e coleta de resultados. Foram programados setup críticos, os dados solicitados sobre produção e famílias de produtos estavam disponíveis e os representantes dos setores visitados estavam cientes de todo o trabalho que estaria sendo realizado.

Pode-se perceber que apesar da empresa ter conhecimento dos conceitos fundamentais cometeu erros na definição de tempo de setup e tempo de corte de blanks. O setup era considerado o tempo de parada até o início do aquecimento da matriz e não o tempo entre a última peça boa e a primeira aprovada. No corte era considerado o tempo de produção somente o tempo entre um corte e outro. Estas mudanças permitiram melhor controle de produção e explicaram parte dos problemas de não atendimento da demanda do cliente.

Melhorias no processo de setup permitiram reduzir de 1 hora e 18 min para 12 min o tempo de troca de matriz e retomada da produção entre o produto que estava sendo produzido e o próximo item programado. Permitindo a empresa fazer melhor nivelamento da produção, redução dos estoques intermediários, redução do consumo de matéria prima que não precisaria ter sido cortado (ocupando o setor de corte) e conseqüentemente redução do tempo de atravessamento.

O tempo de corte foi ajustado e diversas ações implementadas permitiram um aumento de produtividade de 9x, aumentando a capacidade que era um dos gargalos ao atendimento da demanda do cliente.

A célula de terminal Yoke teve aumento de produtividade de 24% basicamente com a observação de que a célula estava com as operações desbalanceadas e era possível reduzir o tempo do gargalo em 6s. Cannas et al. (2018), indicou em seu trabalho a importância do balanceamento e redução de desperdícios. Essa redução do tempo do gargalo representou um aumento de produção diária de 1858 peças/dia para 2304 peças/dia, o que permitiu à empresa o atendimento da demanda do cliente (2000/mês) e também aceitar novos pedidos que não eram aceitos por falta de capacidade (+238 Yokes/dia).

No processo de jateamento com granalhas se percebeu o quanto um processo sem controles pode ser impactado com melhorias simples. O processo atual havia sido padronizado para tempo único de processamento para todas as peças e não se controlava a qualidade da granalha, ponto chave destacado na norma ISO 8501-1:2007. As ações de controle da qualidade da granalha e definição de famílias de produtos liberou 31 horas/mês do processo, reduzindo tempo de atravessamento.

A criação de procedimento para o departamento de melhoria continua e trabalho padrão permitirá a empresa replicar no futuro trabalhos semelhantes e treinar os novos colaboradores.

6 CONCLUSÃO

Foi possível perceber que mesmo empresas de grande porte, com muitos recursos e equipes qualificadas nem sempre percebem desperdícios e oportunidades de melhoria que estão visíveis a olhos de pessoas treinadas, pois através da observação foram identificadas todas as perdas do STP. Desperdícios de movimentação/transporte, espera, superprodução, estoque, defeitos, processamento em excesso e habilidades não utilizadas foram reduzidos, permitindo redução no tempo de atravessamento de 20 dias para menos do que 4 dias. Conhecer os cinco sentidos permitiu a proposição de ações objetivas e criativas.

Observou-se significativo aumento de produtividade em processos gargalo. Com pequenas melhorias e balanceamento de atividades, obteve-se aumento de produtividade de 24% na célula de Yokes. Alterações no processo de corte por cisalhamento tornaram a produtividade 9 vezes maior. Jateamento de granalha de aço liberou 31 horas máquina no mês com a adequação do mix das granalhas que permitiu a redução dos tempos de operação. Muitas das melhorias só foram possíveis de serem observadas graças as sete perdas do STP.

Conseguiu-se observar detalhadamente um setup crítico para a empresa sob a ótica das 4 etapas de Shingo (2007). O estudo detalhado permitiu redução de desperdícios, alterações na sequência da atividades e implementação de melhorias (incluindo cinco sentidos) que resultaram na redução do tempo de setup de 1 hora e 18 minutos para 12 minutos. O setup gerava restrições para a programação da produção, pois acarretava em muito tempo de máquina parada, o setup próximo a 10 min permite que a programação da produção seja em lotes menores, baseada na demanda do cliente (*Heijunka*), reduzindo consumo de matéria prima, estoques intermediários e redução de tempo de atravessamento.

Os processos estudados geraram grandes ganhos para a empresa e estas mesmas análises podem ser replicadas a outros processos, basta um olhar treinado e foco.

O processo de melhoria é contínuo e mesmo após as melhorias implementadas, quando a próxima equipe avaliar o processo novas oportunidades serão observadas. O procedimento criado permite que as mesmas etapas sejam seguidas de forma padronizada e também sejam replicadas a outros processos.

Após a implementação das ações e conseqüente aumento de produtividade foi possível atender a demanda do cliente. Com a redução dos tempos de setups houve redução significativa da falta de matéria prima porque passou-se a cortar somente o que era necessário para a produção programada e o aumento de produtividade das células mais críticas permitiu a eliminação das horas extras para atender a produção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTOSZ, Katarzyna; PACANA, Andrzej. **Comparative analysis of the implementation of the SMED method on selected production stands**. *Tehnički vjesnik*, v. 25, n. Supplement 2, p. 276-282, 2018.

ANTUNES, J.; et al. **Sistemas de produção: conceitos e práticas para projeto e gestão da produção enxuta**. Porto Alegre: Bookman, p. 326, 2008.

BEDNAREK, Mariusz; BUCZACKI, Aleksander; BIELAKOWSKI Lukasz; GLADYSZ, Bartłomiej and BRYKE, Mariusz. **"Postgraduate Studies on Lean Management— A Review of Initiatives"** *Education Sciences* 10, no. 8: 197, 2020. <https://doi.org/10.3390/educsci10080197>

CAMPI, Frederico; MANDOLINI, Marco; FAVI, Claudio; CHECCACCI, Emanuele and Germani, Michele. **An analytical cost estimation model for the design of axisymmetric components with open-die forging technology**. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 110, 1869–1892, 2020. [https://doi-org.ez45.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s00170-020-05948-w](https://doi.org.ez45.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s00170-020-05948-w)

CANNAS Violetta Giada, PERO Margherita, POZZI Rossella, ROSSI Tommaso. **Complexity reduction and kaizen events to balance manual assembly lines: an application in the field**. *International Journal Production Research* 56:3914–3931. 2018. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1427898>

DE LIMA NUNES, Fabiano; MENEZES, Felipe Morais. **SISTEMA HYUNDAI DE PRODUÇÃO E SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO: SUAS INTERAÇÕES E DIFERENÇAS**. *Revista Acadêmica São Marcos*, v. 4, n. 2, p. 101-120, 2015.

DIAS, Vinicius Waechter. **Influência dos procedimentos de corte sobre as distribuições de tensões residuais em barras redondas trefiladas de aço ABNT 1045**. Tese de Doutorado. Dissertação de M. Sc., UFRGS/PPGE3M. Porto Alegre, 2013

FREE, Miles. "Quality — A Better Definition for Manufacturing". **Production Magazine**. Vol. 21 No. 6, p. 13-14, Junho, 2021. Disponível em: <https://pm.mydigitalpublication.com/publication/?m=59269&i=707693&p=20>. Acesso em: 06/06/2021.

GAIARDELLI, Paolo. **Faster, better, cheaper' in the history of manufacturing: from the stone age to lean manufacturing and beyond**. *Production Plan Control* 29:184. 2017. <https://doi.org/10.1080/09537287.2017.1368429>

GOYAL, Ankur; AGRAWAL, Rajat, CHOKHANI, Rakesh Kumar, & SAHA, Chiraranjan. **Waste reduction through Kaizen approach: A case study of a company in India**. *Waste Management & Research*, v. 37, n. 1, p. 102-107, 2019. <https://doi.org/10.1177/0734242X18796>

GRONOSTAJSKI, Z; M. HAWRYLUK, P. JABŁOŃSKI; M. ZWIERZCHOWSKI; A. BARELKOWSKI; P. WIDOMSKI. **The Effect of Heat Treatment of Forgings Directly from the Forging Temperature on their Properties.** Archives of Metallurgy and Materials, p. 685-696, v65, 2020. <https://doi.org/10.24425/amm.2020.132807>

ISO 8501-01 – **Preparation of steel substrates before application of paints and related products – Visual assessment of surface cleanliness - Part 1: Rust grades and preparation grades of uncoated steel substrates and of steel substrates after overall removal of previous coatings.** Stockholm: SIS, 2007

KRAUSS, George. **Steels: Processing, Structure, and Performance.** Ohio: American Society for Metals International, 2015.

KUBAT, Rony. **"Balancing Compliance and Continuous Improvement in Highly Regulated Industries: Learn how several innovative manufacturers are balancing compliance and continuous improvement in their operations."** Quality Magazine, vol. 58, no. 10, Oct. 2019, p. 48+. Gale Academic OneFile, link.gale.com/apps/doc/A604716587/AONE?u=capes&sid=bookmark-AONE&xid=ecbe4769. Accessed 10 July 2021.

JASTI, Naga Vamsi Krishna, KOTA, Srinivas and SANGWAN, Kuldip Singh **"An application of value stream mapping in auto-ancillary industry: a case study"**. The TQM Journal, Vol. 32 No. 1, p. 162-182. 2020. <https://doi.org.ez45.periodicos.capes.gov.br/10.1108/TQM-11-2018-0165>

LEE, B. H.; JO, H.J. **The mutation of the Toyota Production System: Adapting the TPS at Hyundai Motor Company.** International Journal of Production Research, v.45, n. 16, p.3665–3679, 2007. <https://doi.org/10.1080/00207540701223493>

LIKER, Jeffrey K. **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo.** Porto Alegre: Editora Bookman, 2005. 316p.

LIKER, Jeffrey K. **O modelo Toyota: manual de aplicação.** Reimpressão 2008. Porto Alegre: Editora Bookman, 2007. 432p.

MAWAKDIYE, Alberto. **Rumo a extinção?.** Revista ABM Metalurgia, materiais & mineração, São Paulo, v. 75, n. 654, p. 4-5, out./dez. 2019

METALS HANDBOOK. Vol.14 **-Forming and Forging.** 9. Ed. Ohio: American Society for Metals International,1993.

NARDOCCI, Tadeu. **Navegar é preciso.** Revista ABM Metalurgia, materiais & mineração, São Paulo, v. 75, n. 654, p. 10-11, out./dez. 2019

NEWMAN, Carson Nathaniel. **Douglas MacArthur's Nation-Building: The Reconstruction of Japan.** Lynchburg: Liberty University, 2020.

NR-12 - **Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos**. p. 6, dez. 2018
<http://www.trabalho.gov.br/images//Documentos/SST/NR/NR12/NR-12.pdf>

OHNO, Taiichi. **O sistema Toyota de Produção: Além da produção em larga escala**. Tradução por Cristina Schumacher. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997

PRIYONO, Anjar; IDRIS, Fazli. **Analysing the adoption of Lean production in remanufacturing industry**. Journal of Industrial Engineering and Management, [S.l.], v. 11, n. 4, p. 697-714, oct. 2018. ISSN 2013-0953. Disponível em: <<http://www.jiem.org/index.php/jiem/article/view/2614/879>>. Acessado em: 13 julho 2021. <http://dx.doi.org/10.3926/jiem.2614>.

RAMÍREZ Karla Maria Alvarado; ÁLVARO, Victor Hipolito Pumisacho; DAVILA, José Ángel Miguel; SUÁREZ, Manuel Barraza. **Kaizen, a continuous improvement practice in organizations: a comparative study in companies from Mexico and Ecuador**. TQM Journal 30:255–268, 2018. <https://doi.org/10.1108/TQM-07-2017-0085>

RODRIGUES, Jorge; SÁ, José Carlos; SILVA, Francisco José Gomes, FERREIRA, Luís Pinto; JIMENEZ, Genett and SANTOS, Gilberto. **"A Rapid Improvement Process through "Quick-Win" Lean Tools: A Case Study"** Systems 8, no. 4: 55. 2020. <https://doi.org/10.3390/systems8040055>

ROSSINI, Matteo; AUDINO, Francesco; COSTA, Federica; CIFONE, Fabiana Dafne; KUNDU, Kaustav and STAUDACHER, Alberto Portioli. **Extending lean frontiers: a kaizen case study in an Italian MTO manufacturing company**. Int J Adv Manuf Technol 104, 1869–1888 (2019). <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03990-x>

ROTHER, Mike SHOOK, John. **Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor eliminar desperdício**. Lean Institute Brasil: São Paulo, 2003

SABADKA, Dusan; MOLNAR, Viero Slav; FEDORKO, Gabriel. **The use of lean manufacturing techniques–SMED analysis to optimization of the production process**. Advances in Science and Technology Research Journal, v. 11, n. 3, p.187-195, 2017.

SANTOS JÚNIOR, E. C. **Desempenho em serviço de granalhas de aço alto carbono: influência da microestrutura e parâmetros de processo**. São Bernardo do Campo, 2018. Dissertação de Mestrado.

SAXBY, Robert; KOUROUKLIS, Michele Cano AND VIZA, Evi. "An initial assessment of Lean Management methods for Industry 4.0", The TQM Journal, Vol. 32 No. 4, pp. 587-601, 2020. <https://doi.org.ez45.periodicos.capes.gov.br/10.1108/TQM-12-2019-0298>

SCHAEFFER, Lirio. **Manufatura por Conformação Mecânica**. Porto Alegre: Editora Imprensa Livre, 2016.

SCHELLER, A.C., Sousa-Zomer, T.T. and Cauchick-Miguel, P.A. (2021), "**Lean Six Sigma in developing countries: evidence from a large Brazilian manufacturing firm**", International Journal of Lean Six Sigma, Vol. 12 No. 1, pp. 3-22. <https://doi.org.ez45.periodicos.capes.gov.br/10.1108/IJLSS-09-2016-0047>

SHINGO, Shigeo. **O Sistema Toyota de produção: o ponto de vista da engenharia de produção**. Tradução Eduardo Schaan. Porto Alegre: Bookman, 2007. 281p

SILVA, Iris Bento; GODINHO FILHO, Moacir.; AGOSTINHO, Oswaldo Luiz; LIMA JUNIOR, Orlando. Fontes. **A new Lean Six Sigma framework for improving competitiveness**. Acta Scientiarum. Technology, v. 41, n. 1, p. e37327, 2 May 2019. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v41i2.37327>

TODD, Palmer. "**Wastes that detract from quality**". Production Magazine. Vol. 21 No. 6, p. 18-19, Junho, 2021. Disponível em: <https://pm.mydigitalpublication.com/publication/?m=59269&i=707693&p=20>. Acesso em: 06/06/2021.

UNVER, Umit; KARA, Ozlem. **Energy efficiency by determining the production process with the lowest energy consumption in a steel forging facility**. Journal of Cleaner Production, v. 215, p. 1362-1370, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.168>.

VIEIRA, Marcelo Duarte. **Aumento da capacidade de tratamento térmico de peças em uma indústria de motocicletas**. 2019. Tese de Doutorado.

WADA, Kazuo. **The Evolution of the Toyota Production System**. Singapura: SPRINGER, 2020.

ZAKARIA, N.H.; MOHAMED, N. M. Z. N.; RAHID, M. F. F. A.; ROSE, A. N. M.; GHANI, S. A. C.; HAMZAH, W. A. W.; ALIAS, A. **Lean manufacturing implementation in reducing waste for electronic assembly line**. In: MATEC Web of Conferences Vol. 90. EDP Sciences, 2017. p. 01048.

ZWIERZCHOWSKI, M. **Analysis of the possibilities of using forging heat in isothermal annealing processes for AISI 4140 alloy**. Archives of Metallurgy and Materials, v. 65, p. : 951-958, 2020. <https://doi.org/10.24425/amm.2020.132843>