

Implantação do modelo de manufatura enxuta em uma indústria do setor metal mecânico

Deployment of manufacturing technique in a steel-and-metal industry

João Flávio de Freitas Almeida* – joao.flavio@dep.ufmg.br

*Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Belo Horizonte, MG

Article History:

Submitted: 2017 - 12 - 23

Revised: 2018 - 02 - 25

Accepted: 2018 - 09 - 03

Resumo: Este estudo de caso apresenta a análise da implantação de princípios da manufatura enxuta no setor de produção de uma empresa do setor metal mecânico e a replicação do modelo implantado para os setores complementares da empresa. A empresa é reconhecida como uma das maiores fabricantes de escadas de fibra de vidro no país. Diante do cenário de crise vivido pela indústria nacional, o modelo proposto é válido por ser replicável e por trazer soluções e resultados práticos para o aumento dos índices de produtividade da empresa. A implantação do projeto-piloto foi base para a criação do modelo de manufatura em setores complementares da empresa. A implementação do projeto consistiu em determinar a equipe do projeto e adotar as técnicas de mapeamento do fluxo de valor (MFV), o balanceamento de linhas de produção, o redesenho de layout, o redesenho do procedimento operacional padrão (POP) após a retirada de atividades que não agregavam valor, o 5S, o 5W2H e a redução de estoque intermediário. O aprendizado da implantação do projeto-piloto motivou a geração de propostas de melhorias, através do *feedback* de todos envolvidos no projeto. Como resultado, a empresa obteve o balanceamento de suas atividades, a redução de aproximadamente 60% do tempo de fabricação no recurso gargalo e de 47% de movimentação de pessoas e materiais. O maior ganho, no entanto, reside na capacidade de se conseguir replicar o modelo de um processo para outros.

Palavras-chave: Manufatura enxuta; Modelo replicável, Indústria metalúrgica

Abstract: This case study presents the analysis of the implementation of lean manufacturing principles for a metalworking company sector and the lean manufacturing model replication to complementary sectors. The company is known as one of the largest manufacturers of fiberglass ladders in the country. Given the crisis experienced by the national industry, the proposed model is valid because it can be replicated and bring practical solutions and results to increase the company's productivity indexes. The implementation of the pilot project was the basis for the development of the manufacturing model in complementary sectors of the company. The following techniques were implemented: Value Stream Mapping (VSM), production line balancing, layout redesign, redesign of the standard operating procedure (SOP) after a withdrawal of activities that did not add value, 5S, 5W2H, and the intermediate stock reduction. The learning from the pilot-project implementation motivated the generation of proposals for improvements, through feedback from all involved in the project. As a result, the company achieved a balance of its activities, reducing approximately 60% of manufacturing time in bottleneck resource and 47% of movement of people and materials. The biggest gain, however, lies in the company's ability to replicate the model of one process for others.

Keywords: Lean manufacturing; Replicable model; Metalworking Company

1. Introdução

A indústria nacional vive um período de crise e tem tido dificuldade em encontrar soluções para o aumento dos índices de produtividade. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da Confederação Nacional da Indústria (CNI), os indicadores das indústrias tem apresentado desempenho negativo, com redução da produção física, do faturamento real e do emprego, entre os períodos de março de 2014 e março de 2017. (CNI, 2017)

A produtividade, definida como o volume produzido por hora trabalhada, é um dos principais indicadores de competitividade da indústria. No Brasil, a produtividade do trabalho efetiva segue estagnada entre 2011 e 2015, e acumula uma queda de 32% entre os anos de 2000 e 2015 (CNI, 2017). Um indicador complementar que evidencia a crise no setor industrial nacional é seu baixo desempenho perante o mercado mundial, com queda das participações nas exportações e na produção mundial. A melhoria dos indicadores de produtividade das empresas contribui para o desenvolvimento da indústria nacional. Assim, muitas empresas brasileiras têm revisto as suas estratégias a fim de desenvolver vantagens competitivas sustentáveis (Arbix; de Negri, 2005; Oliveira *et al.*, 2011).

O presente estudo faz uma análise de uma empresa do setor metal mecânico reconhecida como uma das maiores fabricantes de escadas de fibra de vidro no país. Neste estudo são avaliados tanto a de implantação quanto a replicação de princípios da *manufatura enxuta* nos diversos setores da organização. A manufatura enxuta é entendida como uma filosofia de organização industrial instituída inicialmente na Toyota no Japão e principal responsável pelo significativo aumento produtivo e competitivo da indústria automotiva japonesa em um período de crise econômica no período pós-guerra. Entende-se que a aplicação desses princípios adaptada ao contexto da organização Brasileira contribui com o aumento de sua produtividade e competitividade.

Fundada em 1986, a empresa de MG possui um galpão de 7.000m² onde são produzidas cinco famílias de produtos de escadas de fibra de vidro, classificadas em: extensiva, singela, oblongo, autossustentável e multiuso. Cada família é composta por três tipos de produtos que variam de acordo com tamanho, quantidade, tipo de degraus, acessórios e itens de acabamento. A fábrica possui três linhas de produção de escadas; uma célula de metalurgia, que fornece produtos intermediários; uma célula de degraus de alumínio e uma célula de degraus de fibra.

A linha que contempla os subgrupos de escadas extensivas e singelas é responsável pela produção de aproximadamente 85% dos produtos.

As etapas deste estudo compreendem um diagnóstico da organização; a implantação de métodos de manufatura enxuta em um setor da empresa; a avaliação dos resultados e aprendizados do projeto-piloto e a replicação para um setor complementar. O diagnóstico foi realizado através do alinhamento das diretrizes do projeto com diretores e gerentes de produção sobre o setor piloto a ser implementado, no caso, a linha de escadas extensivas e singelas, por sua representatividade. A implantação de métodos de manufatura enxuta consistiu em determinar a equipe de projeto, realizar o mapeamento do fluxo de valor e determinar os principais indicadores para análises da produção, como por exemplo, a “escada padrão”, alinhado aos indicadores utilizados pela empresa, facilitando assim o fluxo de informação e entendimento por parte de todos da equipe. A avaliação dos resultados e os aprendizados do projeto-piloto consistem em avaliar o nível resultante de balanceamento operacional; uma análise de valor agregado de cada processo produtivo; a análise de movimentação e propostas de melhorias, através do *feedback* de todos envolvidos no projeto.

Este estudo procura contribuir à literatura de manufatura enxuta em pequenas e médias empresas através da avaliação de implantação de um projeto piloto na linha de produção do produto padrão e principalmente pela análise da replicabilidade dessa metodologia para implantação do método em setores complementares na empresa e a identificação de eventuais limitações no processo de replicação do método. Entende-se por setores complementares os setores fabris em que o processo piloto não havia sido implementado na empresa. A avaliação de replicabilidade de métodos de manufatura enxuta tem sido pouco explorada na literatura.

Este artigo está organizado na seguinte forma: na Seção 2 é realizada uma revisão da literatura com o estado da arte sobre a filosofia, as ferramentas de maior relevância para o estudo e conceitos de replicabilidade. Em seguida, na Seção 3, é descrita a metodologia de estudo de caso utilizada no trabalho contemplando a descrição da implantação do projeto-piloto e a maneira como as informações foram usadas para a criação do modelo replicável em outros setores da empresa, proposta no atual estudo de caso. O diagnóstico de um novo setor da empresa é formulado pelos pesquisadores, assim como as propostas de melhoria. A Seção 4 apresenta os resultados obtidos no setor onde o método foi implementado e os resultados esperados com a implantação do método no novo setor da empresa. Discute-se, portanto, o

modelo e a sua replicabilidade. As conclusões e limitações do trabalho são apresentadas na Seção 5, assim como os direcionamentos de trabalhos futuros e oportunidades de pesquisa.

2. Revisão bibliográfica

A Manufatura Enxuta é um sistema de produção que surgiu na fábrica da Toyota e se desenvolveu no Japão, entre 1948 e 1975. É também conhecido como Sistema de Produção Enxuta, *Lean Manufacturing* ou TPS (*Toyota Production System*). Womack *et al.* (2004) definem *Lean Production* como um sistema de produção inovador que combina as vantagens do sistema de produção artesanal com o sistema de produção em massa, evitando o custo elevado do primeiro e a rigidez do segundo.

O Sistema Toyota de Produção (STP) é apoiado na eliminação de desperdício, no envolvimento dos funcionários na produção e no esforço de aprimoramento contínuo (Harrison, 1992). Ele evoluiu da necessidade. Restrições de mercado exigiam a produção de pequenas quantidades de muitas variedades em condições de baixa demanda no período do pós-guerra. Estas restrições serviram como um critério para testar se os fabricantes de carros japoneses poderiam se estabelecer e sobreviver competindo com os sistemas de produção e de vendas em massa já estabelecidos na Europa e nos Estados Unidos. A estratégia do sistema era criar um mercado interno forte, criar uma concorrência interna que forçasse as empresas a gradualmente substituírem importações e desenvolverem capacitação de produção compatível com as necessidades de exportação de produtos japoneses (Corrêa; Corrêa, 2004).

O sistema STP é apoiado por técnicas de nivelamento de produção (*heijunka*), ferramentas de gestão de fluxo de materiais (*kanban*), filosofias de melhoria contínua (*kaizen*), conceitos de autonomia (*jidoka*), técnicas de mapeamento do fluxo de valor e o balanceamento de linhas de produção (Ohno, 1997).

O nivelamento da produção (*heijunka*) visa programar a produção de forma a mantê-la o mais constante possível (Womack; Jones, 2004). Ao programar pequenos lotes de produtos de forma constantes ao longo do tempo, é possível reduzir o excesso de estoques e da sobrecarga dos operadores e do equipamento, garantindo um fluxo contínuo de produção. Variações no fluxo do produto levam ao aumento do desperdício porque equipamento, operários, inventário e outros elementos exigidos para a produção precisam estar sempre preparados para um pico. Se o processo posterior varia sua retirada das peças em tempo e quantidade, a extensão destas flutuações aumentará conforme elas forem avançando na linha em direção aos processos anteriores (Ohno, 1997).

O *kanban* é uma ferramenta que operacionaliza o sistema de planejamento e controle puxado e surgiu de uma analogia aos supermercados. Um supermercado é o local onde um cliente pode obter (1) o que é necessário, (2) no momento em que é necessário, (3) na quantidade necessária. Os operadores dos supermercados, portanto, devem garantir que os clientes possam comprar o que precisam em qualquer momento (Ohno, 1997; Slack *et al.*, 2015). O sistema mais difundido atualmente é o sistema de dois cartões, o *kanban* de produção, que dispara a produção de um lote de peças de determinado tipo, em um centro de produção, e o *kanban* de transporte, que autoriza a movimentação do material do centro que fabrica o lote de peças para o centro que o consome as peças em seu processo (Corrêa; Corrêa, 2004).

O processo de melhoria contínua (*kaizen*) é definido por Toledo *et al.* (2013) como o conjunto de atividades para integrar os conceitos e práticas da melhoria da qualidade em todos os níveis da empresa. Já a autonomação, ou automação com toque humano, consiste em adotar pequenos dispositivos automáticos, simples e baratos capazes de aumentar a eficiência de produção dos operários (Ohno, 1997), enquanto que o mapeamento do fluxo de valor consiste em registrar o caminho da produção de um produto ou serviço do início ao fim, detectando atividades diretas e indiretas que apoiam o processo direto, e focalizando e distinguindo atividades que agregam e aquelas que não agregam valor (Slack *et al.*, 2015). Por fim, o sistema adota o balanceamento de linhas de produção, que relaciona: o tempo de ciclo e o *takt time* para reduzir ociosidades nas linhas de manufatura.

O tempo de ciclo é definido tanto pelos tempos unitários de processamento em cada máquina/posto quanto pelo número de trabalhadores na célula/linha, ou seja, o tempo despendido para a conclusão de um processo, não incluindo o tempo de espera (Alvarez *et al.*, 2001). O *takt time* é o ritmo da demanda, ou seja, taxa com a qual a empresa precisa produzir um produto para atender a demanda do cliente. Ele é a velocidade com a qual os clientes solicitam os produtos acabados, sendo esta determinada pela divisão do tempo total disponível de produção por turno pela demanda do cliente (Tapping *et al.*, 2002; Rother; Harris, 2002).

2.1 Implementação e replicabilidade

A implementação de projetos de manufatura enxuta deve seguir as seguintes etapas: (1) Identificação de valor agregado; (2) Identificação e otimização o fluxo de valor; (3) Busca da suavização do fluxo de produção, controlando e eliminando desperdícios; (4) Produção puxada a partir da sincronização com a demanda do cliente e fluxo de informação; (5) Busca pela perfeição em todos os processos, produtos e serviços (Womack; Jones, 2004).

Uma visão complementar destaca quatro fatores críticos para implementação do projeto de manufatura enxuta. O primeiro é a habilidade do gestor em liderar e planejar estrategicamente. Em segundo lugar, a capacidade da empresa em se comprometer financeiramente com o projeto, devido aos custos com treinamentos, melhorias e possíveis contratações. Em terceiro, a *expertise* da equipe envolvida na implementação. E por último, a cultura da organização. É essencial a criação de uma cultura organizacional favorável a mudanças (Achanga *et al.*, 2005).

Wu e Wee (2009) propõem uma metodologia de resolução de problemas baseado em quatro passos para demonstrar como o mapa de fluxo de valor da manufatura enxuta afeta custos e qualidade do produto: são eles: identificação do problema, ideia, obstáculo e solução. O mapeamento do fluxo de valor é utilizado como ferramenta para identificação de problemas de custo e *lead time* enquanto que o ciclo PDCA é usado para agir no indicador de qualidade. Uma metodologia complementar é proposta em Parry e Mills (2010), sendo eles: análise de mercado, fluxo de valor visível, avaliação sobre o que é valor para o cliente e modelagem financeira a partir da quantificação sobre o que é valor para o cliente.

Os fatores de sucesso de uma boa implementação são: (1) Gestão e liderança; (2) Cultura organizacional; (3) Metas e objetivos; (4) Resolução de problemas; (5) Habilidades; (6) Melhoria contínua; (7) Capacidade financeira; (8) Indicadores de desempenho; (9) Mudança; (10) Educação e (11) Planejamento (Anvari *et al.*, 2010). O aumento a eficácia dos processos de aprendizado confere vantagem competitiva, pois a empresa desenvolve maior capacidade de gerenciar melhor os riscos da adaptação em vez de apenas estimular a tomada de riscos (Zook, 2012). Segundos os autores, a complexidade e burocracia são os “assassinos silenciosos” do crescimento das empresas. A complexidade que avança sobre as empresas confunde o aprendizado, retarda as reações e drena energia organizacional e gerencial.

Por outro lado, apesar do potencial de melhoria de desempenho pela adoção do sistema enxuto de manufatura, existem vários relatos de fracassos, justamente por erros de interpretação sobre como aplicar as ferramentas para cada ambiente e situação (Tiwari *et al.*, 2007). Além disso, um problema frequente enfrentado na implementação de projetos de manufatura enxuta consiste na falta de compreensão das técnicas e da necessidade de melhorar o sistema de forma holística (Wyrwicka; Mrugalska, 2017).

3. Método proposto

Esta pesquisa é classificada como exploratória, pois tem como principal objetivo desenvolver, esclarecer e adaptar conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores (Gil, 2010). Pretende-se demonstrar a partir de dados qualitativos e quantitativos como foi possível melhorar os resultados gerenciais e eficiência da produção em uma empresa do setor metal mecânico do ramo de escadas através da implementação da filosofia de manufatura enxuta. Os dados coletados têm caráter tanto descritivos como numéricos, por isso, a pesquisa pode ser classificada como qualitativa quantitativa.

O estudo de caso, metodologia adotada no presente trabalho, é uma abordagem de natureza empírica, que tem como foco compreender os processos de um ou mais objetos (casos), a partir da exploração de informações e realização de análises detalhadas (Miguel, 2007).

3.1 Projeto piloto

O projeto-piloto foi implantado em um setor da empresa. A principal linha produtiva da empresa foi definida como o objeto de estudo e implementação das ferramentas de manufatura enxuta. A linha principal é responsável pela fabricação das escadas extensivas e singelas e representa 85% da produção da empresa. A fábrica possui grande diversidade de produtos, três linhas de produção de escadas, uma célula de metalurgia que fornece alguns produtos intermediários, uma célula de degraus de alumínio e uma célula de degraus de fibra.

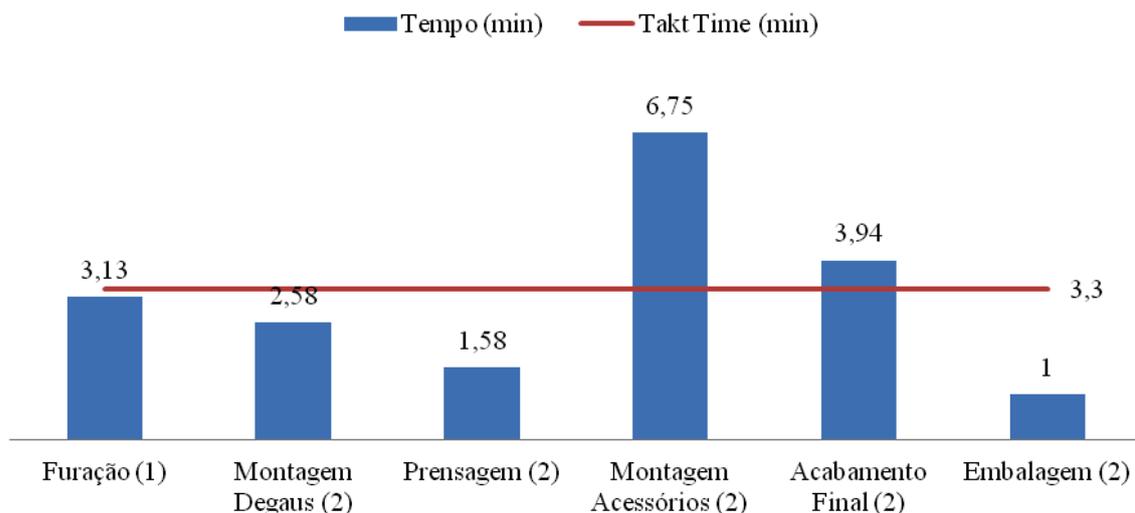
Os operadores têm muita importância para o sucesso da implementação da manufatura enxuta, por isso é preciso dar-lhes autonomia. Para tanto, foi montada uma equipe composta pelo gerente da fábrica, supervisor, analista de produção e um operador de cada processo produtivo. O objetivo, com isso, foi engajar todos os níveis hierárquicos envolvidos no processo analisado e dar voz para os níveis operacionais, possibilitando sugestões de melhoria e inovação.

A etapa seguinte foi o mapeamento do fluxo de valor. Para a construção do mapa os tempos de ciclo de cada processo foram cronometrados, tendo como base a medição da produção da escada vazada de 6,8 metros. Em seguida, foi elaborado um gráfico de balanceamento operacional a partir dos tempos de ciclo mensurados na etapa anterior, na quantidade de operadores por processo e da meta de produção estabelecida pela direção para o ano de 2017. O planejamento estabelecia uma produção média de 3 mil escadas padrão por mês,

sendo que os produtos da linha principal representam aproximadamente 85% do valor. Com isso, o cálculo da demanda diária foi estabelecido a partir da divisão de 85% da demanda mensal pela quantidade de dias úteis no mês, ou seja, para uma demanda mensal de 3000 escadas padrão, a demanda da linha principal é de 2600 escadas/mês ($3000 \times 85\%$), ou 120 escadas/dia (2600 escadas/20 dias).

Após estabelecer a demanda diária, e o tempo de setup médio da linha, foi calculado o *takt time*. O tempo de setup é de 120 minutos, enquanto que a jornada de trabalho, de 528 minutos. Dessa forma, o *takt time* é de $(528 \text{ min/dia} - 120 \text{ min/dia}) / (120 \text{ escadas/dia})$, ou seja, 3,4 escadas/min. Assim, para atingir a meta é preciso produzir 1 escada a cada 3,4 minutos, ou seja, o processo produtivo de maior tempo de ciclo (gargalo) não pode ser maior que 3,4 minutos, como visto na Figura 1.

Figura 1- Balanceamento operacional do projeto piloto



A Figura 1 indica que dois processos estão acima do *takt time*, a montagem de acessórios e o acabamento. A forma como as atividades estavam distribuídas não permitiria a produção de 2600 escadas por mês. A linha não possuía um fluxo contínuo de produção, nem trabalho padronizado, além de gerar grandes estoques intermediários. Portanto, para atender a demanda, os operadores dos processos de menor tempo de ciclo eram realocados na montagem de acessórios e acabamento.

A etapa seguinte foi a análise de valor agregado, realizada a partir da gravação de cada processo da fabricação de um lote de 10 escadas padrão. Após as gravações, os vídeos foram estudados. Cada operação realizada era classificada pela equipe em atividade com valor agregado, sem valor agregado e incidental, ou seja, é necessária, porém não agrega valor. O

processo de montagem foi dividido entre montagem de lance móvel, montagem de lance fixo e montagem final, como apresentado na Figura 2. As atividades que não agregam valor foram detalhadas a ponto de identificar os desperdícios a serem eliminados, como visto na Figura 3.

Figura 2 - Análise de valor agregado dos processos produtivos

	% Agrega valor	% Incidental	% Não agrega valor
Furação	15%	15%	70%
Montagem de degraus	41%	33%	26%
Prensagem	21%	43%	36%
Montagem de lance móvel	66%	5%	29%
Montagem de lance fixo	91%	7%	2%
Montagem final	61%	12%	27%
Acabamento	57%	7%	35%

Figura 3 - Porcentagem de tempo de atividades que não agregam valor

	Furação	Montagem De Degraus	Prensagem de Degraus	Montagem De Acessórios	De Acabamento
Transporte	19%	24%	23%	31%	11%
Buscar Ferramenta / Material	0%	0%	0%	1%	23%
Aguarda operação (máq.)	19%	0%	13%	0%	0%
Desempeno	0%	0%	0%	2%	0%
Outros	11%	2%	1%	2%	9%

Concluído o diagnóstico, iniciou-se a etapa de desenvolvimento de melhorias. Para a elaboração das melhorias, utilizou-se a ferramenta dos 5 porquês, visando compreender a causa raiz de cada problema e conseqüentemente propor ações para correção. Os principais problemas, que geram desperdício e baixa eficiência na linha, são: (1) Excesso de movimentação; (2) Excesso de estoque intermediário; (3) Ociosidade de alguns operadores; (4) Atividades realizadas em posturas inadequadas no acabamento; (5) Super-processamento. As causas raízes encontradas para os problemas foram: (1) Falta de padronização da quantidade, e insumos que deveriam ser abastecidos na bancada de montagem; (2) Falta de local para armazenamento de ferramentas próximo ao posto de trabalho; (3) Layout inadequado; (4) Desbalanceamento da linha; (5) Falta de estudo para otimização e sequenciamento padrão das operações.

A implantação de melhoria foi realizada em etapas. Em primeiro momento, foram desenvolvidos painéis de ferramentas para cada posto de trabalho. Para isso foi aplicado a metodologia 5S, um levantamento com todas as ferramentas utilizadas em cada posto de

trabalho foi realizado. As ferramentas foram fixadas em seus respectivos quadros, e desenhado o contorno das mesmas como forma de evitar falha no armazenamento e identificação e melhorar a organização do painel. Todos os painéis seguem o mesmo padrão.

Os operadores foram treinados e devidamente responsabilizados pelos seus respectivos quadros de ferramentas. Para a redução da movimentação de escadas pela linha, propôs-se tanto a alteração do layout da linha, para reduzir as distâncias entre os processos subsequentes e facilitar o balanceamento das atividades, como a elaboração de uma plataforma para transporte de escadas. Tal plataforma foi desenvolvida para a evitar que as escadas ficassem instáveis ao serem empilhadas e transportadas. A plataforma possui um limite de capacidade de escadas, projetado a partir do novo estoque intermediário definido de 12 escadas, o que permitiu aumentar a eficiência dos operadores de acabamento que antes carregavam as escadas uma a uma. Com o balanceamento do processo de acabamento e embalagem, dois operadores foram alocados na nova bancada de montagem e dois operadores no acabamento e embalagem. Além disso, tais operações que antes eram realizados em uma postura inadequada passaram a ser realizadas na bancada de montagem, com uma ergonomia adequada.

Tabela 1 - Operações Montagem x Acabamento (antes e depois)

MONTAGEM ANTES			ACABAMENTO ANTES		
Atividades	Tempo (min)	Operadores	Atividades	Tempo (min)	Operadores
Desempenar escada	6,25	2	Montagem de bandeirola	2,25	4
Montagem do cavalete			Montagem de sapada		
Montagem da guia L			Amarração de corda		
Montagem de Ponteiras			Colar placa, adesivo e silk		
Montagem de encosto			Embalar	1,1	
Montagem de catraca			Cortar corda	0,27	

MONTAGEM DEPOIS			ACABAMENTO DEPOIS		
Atividades	Tempo (min)	Operadores	Atividades	Tempo (min)	Operadores
Montagem de bandeirola	2,15	4	Placa de patrimônio	0,5	2
Montagem de sapada			Colar adesivo		
Amarração de corda			Silk		
Montagem do cavalete					
Montagem da guia L					

Montagem de ponteiros					
Montagem de encosto			Embalar	1,1	
Montagem de catraca			Cortar corda	0,27	

Finalmente, foi implementada a padronização do sequenciamento de operações de montagem. As etapas de consistiram, primeiramente, em um estudo dos tempos de cada tarefa de montagem, seguida de uma análise de otimização os processos para evitar operações desnecessárias. Diversos sequenciamentos diferentes foram executados e gravados, com participação dos operadores e engenheiros, até estabelecer o melhor sequenciamento. Por fim, foi realizado um treinamento com os operadores para padronizar o procedimento operacional. A Tabela 1 apresenta a distribuição de operações entre montagem, acabamento e embalagem e seus respectivos tempos de ciclo.

Após a implantação, foram realizadas medições das melhorias do projeto. A análise de movimentação mostrou, através de um diagrama de espaguete, que houve uma redução de movimentação de aproximadamente 47%. Antes, cada operador se movimentava 358 metros na montagem de um lote de 10 escadas, enquanto que atualmente, ele se movimenta 188 metros para cada lote de 10 escadas montadas. Além disso, os processos de montagem de acessórios e acabamento obtiveram uma redução com tempo desperdiçado em atividades que não agregam valor, aumentando a quantidade de tempo com atividades que agregam valor ao cliente, como visto nas Figura 4 e Figura 5. O principal fator de contribuição para os indicadores positivos obtidos foi a redução da movimentação de escadas.

Figura 4 - Gráfico comparativo de valor agregado no processo de montagem de acessórios (antes x depois)

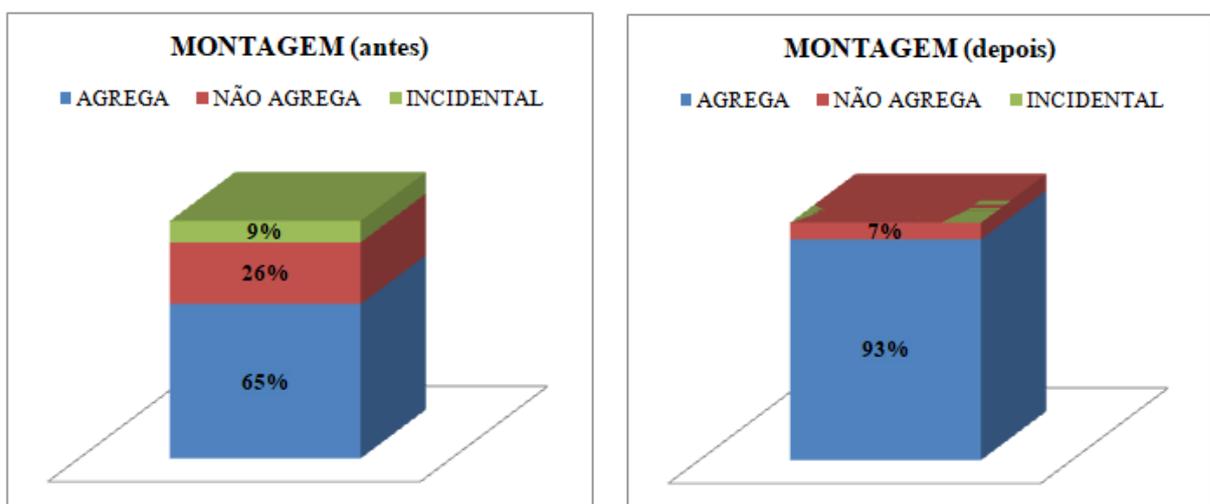
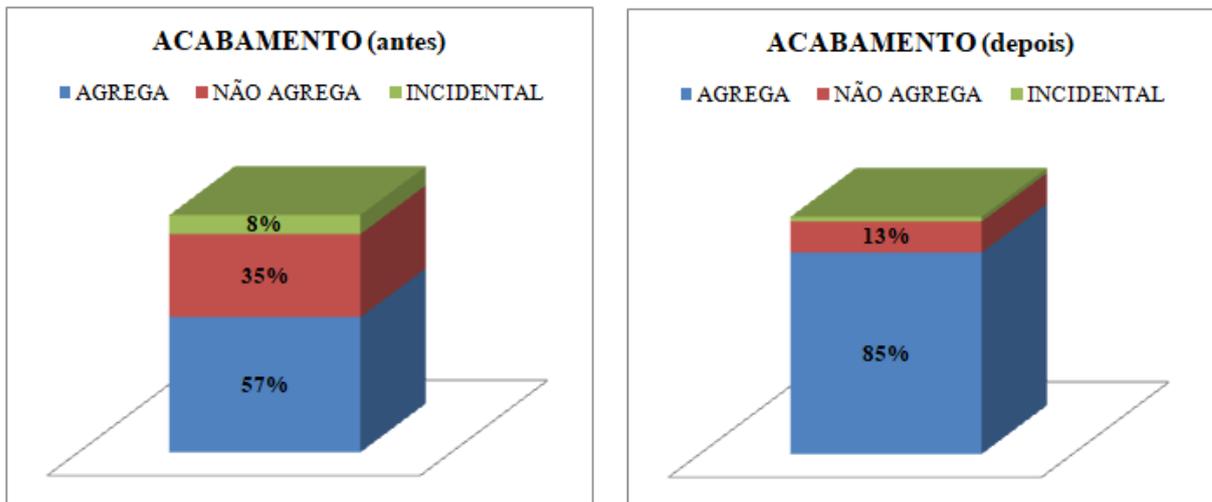
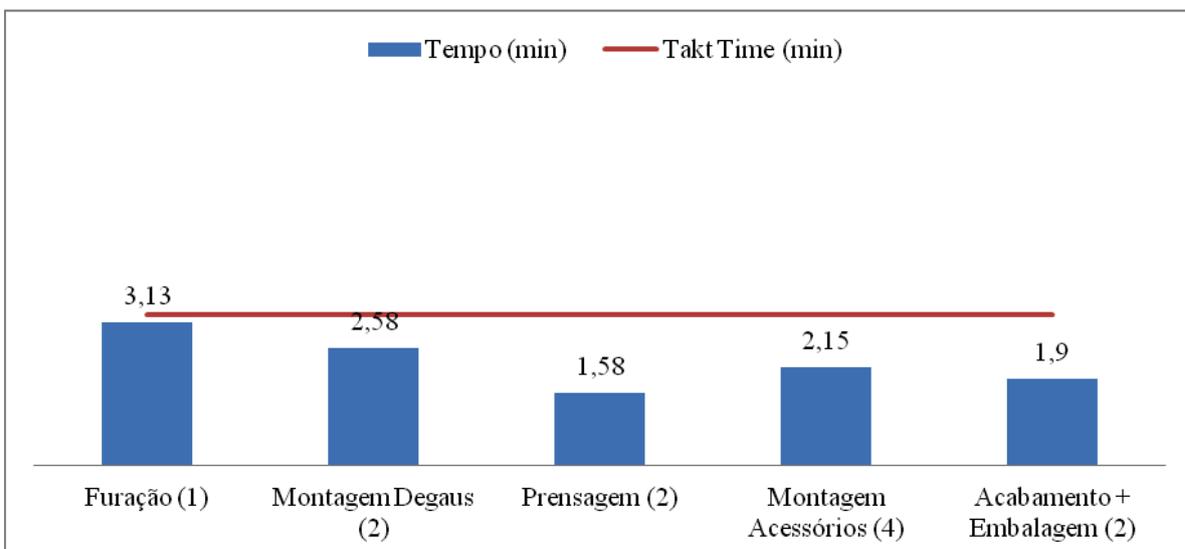


Figura 5- Gráfico comparativo de valor agregado no processo de acabamento (antes x depois)



O gráfico de balanceamento operacional também se alterou com as modificações, de forma em que todos os processos estão com tempos de ciclo abaixo do *takt time*, conforme a Figura 6.

Figura 6 - Balanceamento operacional do projeto piloto (depois)



3.2 Replicação do método para outros setores da empresa

Os resultados na seção anterior validam a implementação do modelo do projeto piloto para outra linha da mesma empresa visando a replicabilidade do modelo. Sua implantação consiste em (1) Realizar o diagnóstico do estado presente; (2) Identificação de problemas e propor melhorias e (3) Avaliar os resultados esperados. A linha de produção de escada com degrau de fibra de vidro foi selecionada para a replicação do método utilizado no projeto piloto. A escada de degrau de fibra de vidro representa aproximadamente 8% da quantidade de escadas produzidas por mês pela Síntese, e mais de 10% do faturamento mensal da empresa, portanto,

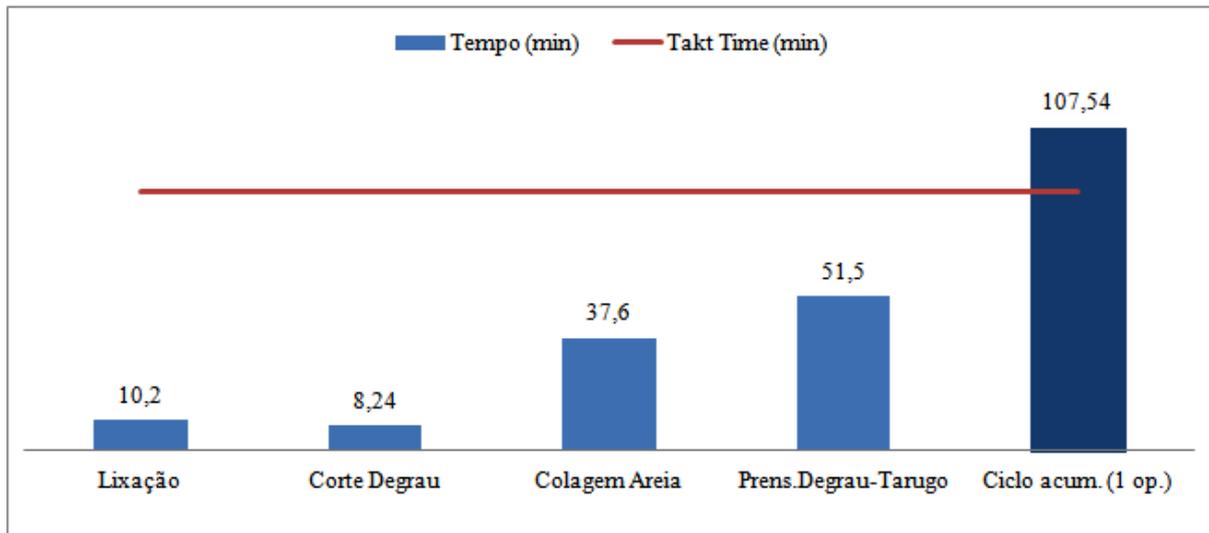
possui relevância para o faturamento da empresa. Os processos de produção consistem nas seguintes etapas:

- a) Lixação: processo no qual o operador lixa a superfície de um perfil redondo de fibra de vidro. O tamanho do perfil de fibra de vidro é de aproximadamente 7 metros. Após lixar, o operador transporta o perfil para um estoque intermediário próximo a serra de esquadria onde ocorrerá o próximo processo;
- b) Corte dos degraus: nesse processo o operador pega o perfil redondo de fibra de vidro e corta no tamanho dos degraus na serra de esquadria. Cada perfil de fibra de vidro produz em média 20 degraus, uma vez que os tamanhos de perfil podem variar;
- c) Colagem de areia: o operador inicialmente recolhe uma quantidade aleatória de degraus e posiciona na bancada de colagem. Em seguida, é preparado uma mistura contendo componentes químicos para colar a areia, e despejado em um dispositivo com dois roletes. Deve-se considerar que não existe uma receita padrão para a mistura. Com o dispositivo abastecido, o operador e em seguida rola o degrau em uma caixa de areia preta. A cada três degraus produzidos, o operador os transporta para a bancada de secagem e retorna para continuar seu processo;
- d) Secagem: o processo de secagem da areia no degrau tem duração variada pois depende da quantidade de catalisador na mistura. Entretanto, pode-se considerar que esse processo dura aproximadamente 40 minutos e não depende da alocação de nenhum operador; e
- e) Prensagem Degrau-Tarugo: o operador recolhe uma quantidade aleatória de degraus e tarugos e posiciona na bancada. Em seguida, o funcionário prepara uma mistura para colar os degraus nos tarugos. Passa-se cola nas extremidades de cada degrau e dentro dos tarugos de alumínio. Após passar a cola, os tarugos são alinhados e prensados no degrau com a utilização de uma prensa manual.

A etapa seguinte ao diagnóstico consiste no balanceamento operacional. Baseando-se na meta de produção estabelecida pela direção da empresa para o ano de 2017, e na proporção de escadas de degrau de fibra de vidro, têm-se uma demanda mensal média de 5920 degraus de fibra de vidro para 20 dias de produção, ou seja, uma demanda diária de 296 degraus. Para uma meta de 85% de produtividade, ou 85% de 3.860 segundos/dia, tem-se que pelo *takt time*, a empresa precisa produzir um degrau a cada 90,9 segundos, como visto na equação (1).

$$Takt\ Time = \frac{26928 \frac{\text{segundos}}{\text{dia}}}{296 \frac{\text{degraus}}{\text{dia}}} = 90,9 \frac{\text{segundos}}{\text{degrau}} \quad (1)$$

Figura 7- Gráfico de balanceamento operacional do estudo de caso (antes)



A partir da análise do tempo de ciclo acumulado no Gráfico de Balanceamento Operacional demonstrado na Figura 7 é possível perceber que um operador não consegue atender a demanda diária, o que justifica o fato de mais de um operador ser constantemente alocado na linha. Além disso, o gráfico também mostra porque, em diversas ocasiões, a linha principal fica parada por falta de degraus de fibra de vidro.

Em seguida, uma análise de valor agregado foi elaborada a partir da gravação de cada processo da fabricação. Para as etapas de lixação e corte, o lote analisado foi de 5 perfis de fibra de vidro, equivalente à produção de 87 degraus. Já para os processos de colagem de areia e prensagem do degrau no tarugo, foi analisado um lote de fabricação de 40 degraus. Após as gravações, as atividades foram descritas, cronometradas e classificadas. As atividades que não agregam valor foram classificadas e analisadas em detalhe. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 2 e na Tabela 3.

Tabela 2 - Análise de valor agregado dos processos produtivos da fabricação do degrau de fibra de vidro

	% Agrega valor	% Incidental	% Não agrega valor
Lixação	0%	78%	22%
Corte degrau	43%	46%	12%
Colagem areia	21%	39%	40%
Prensagem degrau	17%	44%	39%

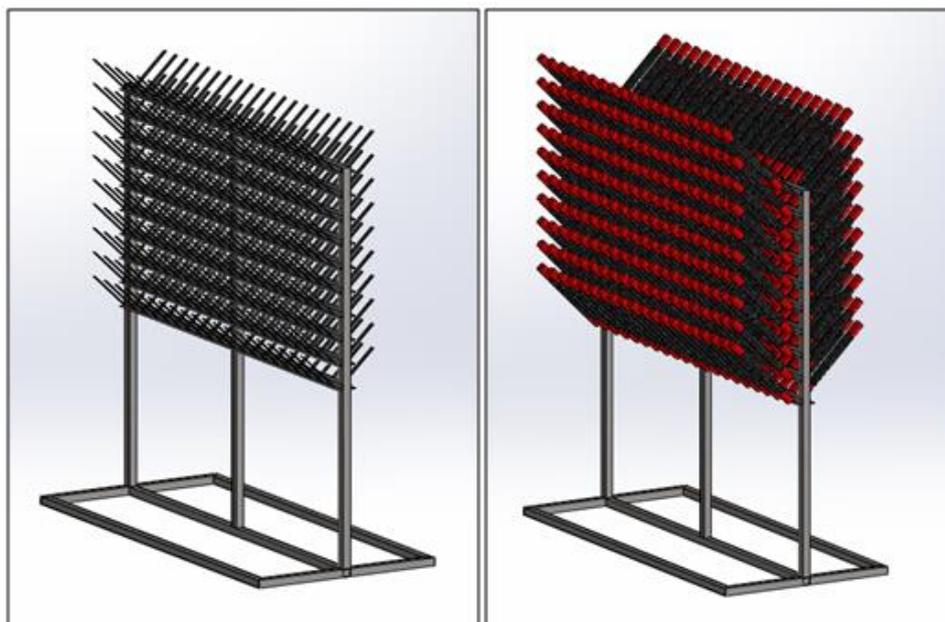
Tabela 3 - Porcentagem de tempo de atividades que não agregam valor

	Lixação	Corte Degraus	Colagem Areia	Prensagem Degrau
Transporte	14%	7%	27%	7%
Buscar Ferramenta / Material	5%	0%	13%	7%
Super-processamento	0%	0%	0%	22%
Outros	3%	4%	0%	0%

Os desperdícios com transporte, super-processamento e busca de material representam a maior parte das atividades que não agregam valor na produção de degrau de fibra de vidro e, portanto, serão estudados profundamente mais adiante, a fim de agir na causa raiz dos problemas. As causas raízes encontradas para os problemas são: (1) Falta de padronização da atividade, (2) Fator humano (2 mãos), (3) *Layout* inadequado, (4) Bancada de secagem grande demais e, (5) Desbalanceamento operacional.

Os operadores realizam atividades desnecessárias passando cola tanto no degrau quanto no tarugo de alumínio, pois acreditam estar aumentando a qualidade do produto reduzindo o risco de descolar. No entanto a atitude é inútil e gera desperdício de tempo e de cola. A fim de sanar esse problema, propõe-se a padronização da atividade de colagem. Para os problemas de excesso de movimentação causados pelo fator humano, *layout* inadequado e bancada de secagem muito grande, propõe-se a fabricação de um suporte para secagem de degraus (Figura 8) alteração do *layout* (Figura 9).

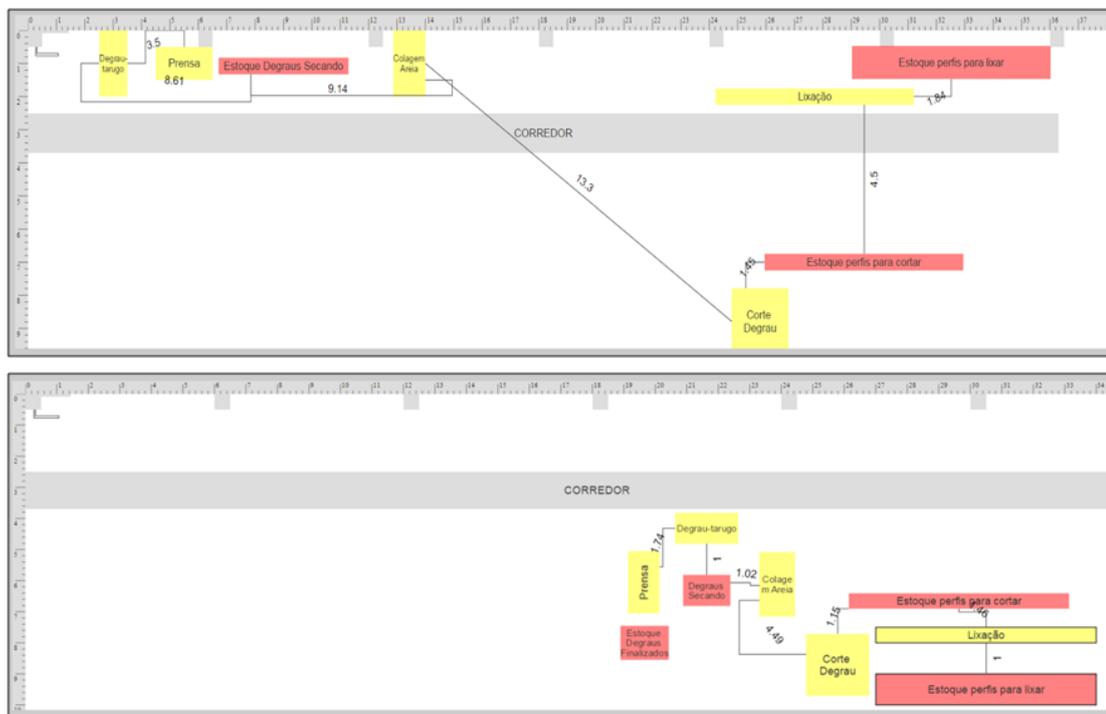
Figura 8 - Suporte para secagem de degraus sem degraus e com degraus



No suporte de secagem cabem 400 degraus simultaneamente. O suporte deve ficar posicionado ao lado do posto de trabalho onde o operador cola a areia nos degraus. Dessa forma,

elimina-se o deslocamento do operador até a bancada de secagem, o qual é repetido inúmeras vezes, pois o operador não consegue carregar muitos degraus de uma só vez.

Figura 9 - Layout original atual e layout proposto



O novo layout, observado na Figura 11, é misto, composto de uma parte em formato em “U” e a outra em formato linear. A técnica de usar linhas em forma de “U” facilita a movimentação entre postos de trabalho de forma a contribuir com o balanceamento operacional da célula (Ohno, 1997; Slack *et al.*, 2015).

4. Resultados

Diferentemente do projeto piloto no qual as medições de resultados foram obtidas a partir da análise do estado real após as melhorias implementadas, aqui são expostas as projeções de resultados esperados a partir da realização das mudanças propostas uma vez que, por se tratar de um estudo de caso, os pesquisadores não atuam diretamente na realidade da empresa.

Com a mudança de *layout* proposto e o desenvolvimento do suporte para secagem de degraus, é possível projetar uma redução de movimentação de aproximadamente 82%. Sabendo que no estado atual, para a fabricação de um lote de 40 degraus de fibra de vidro o operador percorre 164,7 metros, com as melhorias implementadas ele percorrerá apenas 29 metros para a fabricação do mesmo lote. Tal resultado é possível devido à redução da distância dos postos de trabalhos e estruturação em formato de “U” da célula de fabricação de degraus. Para

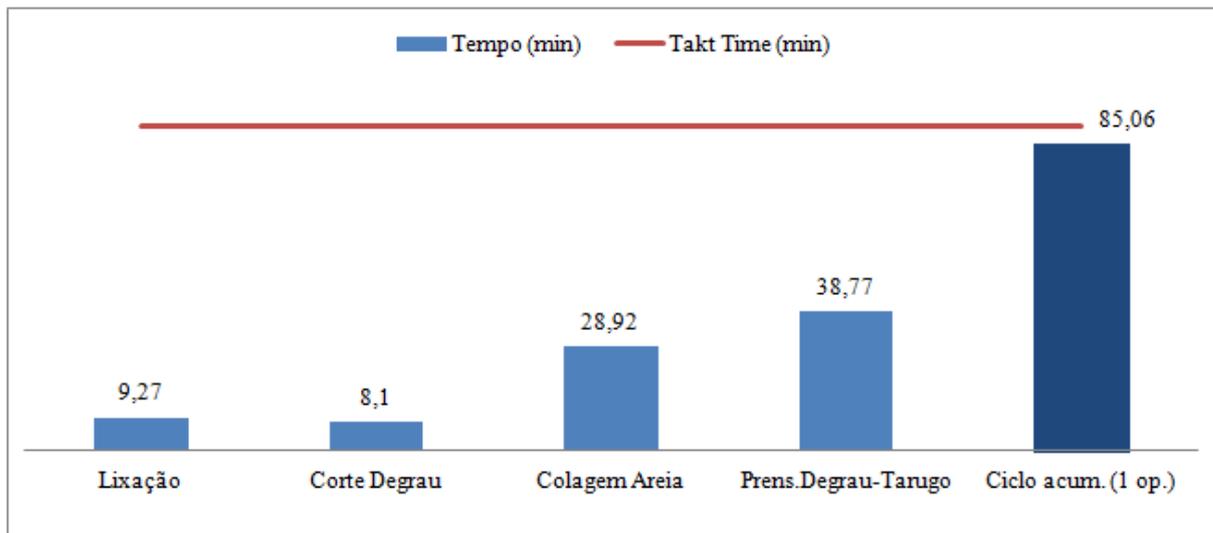
obtenção da projeção de 29 metros de movimentação tem-se a seguinte análise de movimentação para a fabricação de um lote de 40:

- a) 3 vezes a movimentação (ida, volta, ida) de 1 metro de distância entre o estoque de perfil redondo e os cavaletes para lixação. Operador busca 2 perfis, o que correspondem a 40 degraus cortados, para lixar;
- b) 3 vezes a movimentação (ida, volta, ida) de 1,46 metros de distância entre a lixação e o estoque de perfis para cortar;
- c) 1 vez a movimentação (ida) de 1,15 metros de distância entre o estoque de perfis para cortar e a serra;
- d) 1 vez a movimentação (ida) de 4,49 metros de distância entre a serra de cortar degraus e a mesa para colagem de areia;
- e) 13 vezes a movimentação (7 idas, 6 voltas) de 1,02 metros de distância entre a mesa para colagem e o suporte para secagem de degraus;
- f) 1 vez a movimentação (ida) de 1 metro de distância entre o suporte para secagem de degraus e a mesa para colar o degrau no tarugo de alumínio; e
- g) 1 vez a movimentação (ida) de 1,74 metros de distância entre a mesa para colar o degrau no tarugo de alumínio e a prensa manual.

Ao eliminar a atividade de passar cola dentro do tarugo de alumínio, as movimentações são reduzidas, tem-se uma nova análise de valor agregado. Para o cálculo foi considerado que a redução do tempo de movimentação segue a mesma proporção da redução da distância entre os postos. Para o processo de lixação, a redução de 67% da distância entre o estoque de perfil para lixar e os cavaletes para lixação representam uma redução de 9,12% no tempo de ciclo, passando de 10,2 segundos para 9,27 segundos. Para o processo de corte do degrau, a redução de 20,7% de distância entre a serra de esquadria e o estoque de perfis lixados representam 1,5% de redução no tempo de ciclo, de 8,2 segundos para 8,1 segundos. No processo de colagem da areia no degrau, a redução é mais significativa, pois além da redução da distância entre a mesa de cola e o estoque para secagem (88% de redução), há a implementação do suporte para colagem de degrau. A diminuição prevista para tempo de ciclo é de 23,17%, passando de 37,65 segundos para 28,92. Já no processo de prensagem do degrau no tarugo de alumínio, a eliminação da operação de passar cola no tarugo e a redução de 88% da distância do estoque intermediário representa uma redução de 24,8% no tempo de ciclo. Prevê-se um novo tempo de

ciclo de 38,77 segundos. A partir dos tempos de ciclo previstos, é possível obter um novo Gráfico de Balanceamento Operacional, apresentado na Figura 10.

Figura 10- Gráfico de balanceamento operacional do estudo de caso (depois)



As projeções de resultados determinam que o tempo de ciclo atual, superior ao *takt time* de 90,9 segundos, pode ser reduzido com a implantação das melhorias viabilizando que o operador consiga produzir e atender a demanda diária de 296 degraus. Com a projeção do tempo de ciclo acumulado de 85,06 segundos é possível definir um lote padrão de produção de 29 degraus. Considerando que o processo de secagem da areia é de aproximadamente 40 minutos, tem-se que um operador conseguirá produzir 29 degraus nesse período de secagem, evitando que o produto fique parado no estoque intermediário por mais tempo que o necessário.

Com as reduções dos tempos dos processos e a redução dos desperdícios é possível projetar o aumento de produtividade de 26%. Ou seja, atendendo o rendimento previsto pela gestão da empresa de 85%, um operador, que era capaz de produzir aproximadamente 250 degraus diariamente será capaz de produzir aproximadamente 317 degraus por dia.

Os resultados previstos validam o sucesso da implementação do modelo proposto no projeto piloto, para a linha de produção de escada com degrau de fibra de vidro da mesma empresa estudada. Entretanto, o trabalho foi realizado visando, também, a replicabilidade do modelo utilizado para outras empresas de pequeno e médio porte e de outros setores. Este estudo propõe as seguintes etapas:

- Formação de equipe com pessoas de diferentes níveis hierárquicos e conhecimentos;
- Definição do objetivo com descrição dos processos e suas peculiaridades;
- Estabelecimento de indicadores de desempenho de custo, produtividade e qualidade;

- d) Mapear o fluxo de valor e suas inter-relações;
- e) Medir o desempenho ainda na fase do diagnóstico servindo como parâmetro;
- f) Identificação os problemas e selecionar os que geram maior impacto na solução;
- g) Propor melhorias fáceis e agir na resolução das mesmas;
- h) Implementar melhorias e ajustá-las de acordo com as dificuldades encontradas;
- i) Medir os resultados: validar o sucesso de forma quantitativa;
- j) Replicar: padronizar implantar a metodologia de forma sistemática em outros processos.

Apesar de o estudo de caso usar ferramentas específicas para cada etapa, o sucesso da implementação do modelo em setores complementares depende da flexibilidade e adaptação das ferramentas à realidade da companhia. O sucesso de qualquer estratégia de gestão depende das características organizacionais, considerando as particularidades de cada organização (Shah; Ward, 2003).

5. Conclusões

O presente estudou avaliou a implantação da filosofia de manufatura enxuta a um setor de produção da empresa Síntese Escadas, assim como a capacidade de replicação deste modelo para setores complementares da empresa. O processo de implantação dos métodos de manufatura enxuta no setor de manufatura em forma de projeto-piloto foi fundamental para criação de conhecimento e aquisição de habilidades práticas para replicar os métodos nos setores complementares da empresa.

A composição da equipe integrando membros responsáveis pelas atividades de gestão, coordenação e operação na etapa inicial do projeto-piloto foi fundamental para o seu sucesso e para a motivação de replicação do método em setores complementares. Dentre as técnicas adotadas destaca-se o MFV auxiliado pelo método 5W2H que motivou a etapa seguinte de redesenho de *layout*. Em seguida, foi implementado balanceamento de linhas de produção, que consistiu em dimensionar as atividades de forma equilibrada retirando a sobrecarga de alguns postos de trabalho e redistribuindo para postos que até o momento estavam ociosos. O balanceamento de linha foi implementado concomitantemente com o 5S tornando o ambiente de trabalho limpo e organizado. As mudanças organizacionais e de rotina viabilizaram o redesenho do POP. Dessa forma, o POP só pôde ser projetado após a retirada de atividades que claramente não agregavam valor. Finalmente foi possível implementar a redução de estoques intermediários sem comprometer a capacidade de entrega dos produtos. Tal redução impactou diretamente nas finanças da empresa viabilizando o aumento do fluxo de caixa.

O aprendizado da implantação do projeto-piloto motivou a geração de propostas de melhorias, através do *feedback* dos funcionários envolvidos no projeto. Foi mostrado como a empresa obteve aumento de produtividade e redução de custos a partir da implementação do modelo aqui proposto. Como resultado, a empresa obteve o balanceamento de suas atividades, a redução de aproximadamente 60% do tempo de fabricação no recurso gargalo e de 47% de movimentação de pessoas e materiais.

Os estudos e análises fornecem um método sistemático de replicação de métodos de manufatura enxuta para os setores complementares ao setor de produção do produto padrão na empresa. Este, portanto, é destacado como a maior contribuição da implantação do projeto. Dessa forma, este trabalho contribuiu tanto na literatura de replicação dos métodos de manufatura enxuta, que é escassa neste segmento, quanto para o problema prático. Pesquisas complementares devem ser conduzidas tanto em indústrias de diferentes portes e setores de atuação, como na área de serviços contribuindo para a robustez e generalização do método e sua aplicabilidade para empresas de outros setores da economia.

Trabalhos futuros podem abordar a integração da manufatura enxuta e métodos baseados em controle estatístico de processos, como a metodologia seis sigmas, em sistemas de projetos sob demanda, assim como explorar a literatura sobre modelos replicáveis no setor de serviços de pequenas empresas.

REFERÊNCIAS

- Achanga, P., Shehab, E., Roy, R., & Nelder, G. (2006). Critical success factors for lean implementation within SMEs. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 17(4), 460-471.
- Alvarez, R. dos R., & Antunes Jr, J. A. V. (2001). Takt-Time: Conceitos e Contextualização dentro do Sistema Toyota de Produção. *Gestão e Produção*, 8(1), 1-18.
- Arbix, G., & de Negri, J. A. (2005). A nova competitividade da indústria e o novo empresariado: uma hipótese de trabalho. *São Paulo em perspectiva*, 19(2), 21-30.
- Anvari, A. R., Norzima, Z., Rosnay, M. Y., Hojjati, M. S. H., & Ismail, Y. (2010). A comparative study on journey of lean manufacturing implementation. *AIJSTPME*, 3(2), 77-85.
- Corrêa, H. L., & Corrêa C. A. (2004). *Administração de Produção E Operações: Manufatura E Serviços: Uma Abordagem Estratégica*. Editora Atlas SA, 2ª Ed.
- Gil, A. C. (2010). *Métodos e técnicas de pesquisa social*. In: Ed. São Paulo: Atlas.
- Harrison, A. (1992). *Just-in-Time: manufacturing in perspective*. Prentice Hall.
- Miguel, P. (2007). Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. *Produção*, 17(1), 216-229.
- Oliveira, J. A., De Nadae, J., De Oliveira, O. J., & Salgado, M. H. (2011). Um estudo sobre a utilização de sistemas, programas e ferramentas da qualidade em empresas do interior de São Paulo. *Produção*, 21(4), 708-723.
- Ohno, T. (1997). *O sistema Toyota de produção além da produção*. Bookman.

- Parry, G., & Mills, J. (2010). Lean competence: integration of theories in operation management practice. *Supply chain management: An international journal*, 15 (3), 216-26.
- Rother, M., & Harris, R. (2002). Criando Fluxo Contínuo: um guia de ação para gerentes, engenheiros e associados da produção. São Paulo: *Lean Institute Brasil*.
- Shah, R., & Ward, P.T. (2003). Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. *Journal of Operations Management*, 21(2),129-149.
- Slack, N., Brandon-Jones, A., & Johnston, R. (2015). *Administração da produção*, Atlas, 4ª Ed.
- Tapping, D, Luyster, T., & Shuker, T. (2002). Value Stream Management: eight steps to planning, mapping, and sustaining lean improvements. *Productivity Press*. New York, p.169
- Tiwari, A., Turner, C., & Sackett, P. (2007). A framework for implementing cost and quality practices within manufacturing. *Journal of manufacturing Technology Management*, 18(6), 731-760.
- Toledo, J. C. D., Borrás, M. Á. A., Mergulhão, R. C., & Mendes, G. H. D. S. (2013). *Qualidade: gestão e métodos*. Rio de Janeiro: LTC, 48-62.
- Womack, J. P.; Jones, D. T. (2004) *A máquina que mudou o mundo*. Gulf Professional Publishing.
- Wyrwicka, M K., & Mrugalska. B. (2017). Mirages of lean manufacturing in practice. *Procedia Engineering* 182, 780-785.
- Wu, S., & Wee, H. M. (2009). How lean supply chain effects product cost and quality – a case study of the Ford Motor Company. 6th Conference on Service Systems and Service Management -*IEEE Conference*. Xiamen, China.
- Zook, C., Allen, J., Earle, N., & Keen, P. (2012). *Profit from the Core*. Boston, MA: Harvard Business School Press.