

Sistema de produção *seru*: Implementação de células de montagem em uma fábrica de eletrodomésticos

Seru production system: Assembly cells implementation in a house appliance factory

Jonathas Beber – jobeber@gmail.com

Universidade Federal de Santa Catarina – (UFSC), Florianópolis, SC

Article History:

Submitted: 2018 - 03 - 27

Revised: 2018 - 04 - 22

Accepted: 2018 - 04 - 23

Resumo: Os sistemas de produção de células de montagem (*seru*) tem atraído considerável atenção em virtude de seus potenciais ganhos oferecidos, desse modo, por meio de uma aplicação prática em uma fábrica de eletrodomésticos, o presente trabalho tem por objetivo apresentar a mudança de um sistema de linha de montagem para células de montagem, aplicado no processo de produção de fogões, discutindo aspectos de sua implementação bem como os resultados e dificuldades encontradas. A pesquisa pôde evidenciar expressivos ganhos com a adoção das células de montagem, mensurados por meio do aumento da produtividade, diminuição de área ocupada, melhoria na qualidade e polivalência dos colaboradores. Contudo, como condicionantes do sucesso de tal aplicação, pode-se citar a definição de uma equipe multifuncional bem orientada, um planejamento detalhado de implantação, o patrocínio e envolvimento da liderança, treinamentos focados nas necessidades e no desenvolvimento das pessoas, o desenvolvimento de líderes de times de trabalho, e a construção de um sistema de abastecimento inovador. Por fim, a presente pesquisa vem contribuir para a discussão das questões relacionadas às células de montagem (*seru*), sua relação com o pensamento *lean* e um caso real de aplicação.

Palavras-chave: Fluxo contínuo; Fluxo de uma única peça; Linha de montagem

Abstract: The assembly cells production systems (*seru*) has attracted considerable attention due to its potential gains, thus, through a practical application in a house appliance factory, the present work aims to present the change from an assembly line system to assembly cells, applied in the stove production process, discussing aspects of its implementation as well as the results and difficulties encountered. The research was able to show significant gains with the adoption of the assembly cells, measured in the increase of productivity, decrease of occupied area, improvement in the quality and polyvalence of the collaborators. However, as determinants of the success of such an application, we can mention the definition of a well-oriented multifunctional team, detailed planning of implementation, sponsorship and involvement of the leadership, training focused on the needs and development of the people, the development of leaders of work teams, and the construction of an innovative supply system. Finally, the present research contributes to the discussion of issues related to assembly cells (*seru*), their relationship with lean thinking and a real case of application.

Keywords: Continuous flow; One-piece-flow; Assembly line

1. Introdução

Com vistas a se manterem sempre competitivas no mercado global, as empresas estão em contínua busca por ganhos de produtividade e redução de custos de seus recursos produtivos. A proliferação da variedade de produtos e as maiores exigências por parte dos consumidores têm levado a um cenário no qual as indústrias se veem forçadas a investir em métodos e sistemas produtivos mais efetivos em termos de flexibilidade e responsividade (Kaku, 2016).

Nesse contexto, os princípios e técnicas do *lean manufacturing* vêm auxiliando as empresas a reduzirem seus desperdícios e a estabelecerem processos produtivos mais eficientes e voltados as reais necessidades dos clientes (Womak e Jones, 2004). Com isso, uma importante prática dos sistemas enxutos trata-se do uso de células de produção (também chamadas de *Serus*, em japonês) em substituição as clássicas linhas de produção de alta escala (Miyake, 2006).

Nos últimos anos, o sistema *seru* de produção tem atraído considerável atenção no meio acadêmico bem como no ambiente empresarial, podendo-se destacar as grandes empresas da indústria de eletrônicos que tomaram a iniciativa de reconfigurar suas linhas de montagem em direção aos sistemas *serus* (Stecke, 2012; Yin *et al.*, 2008). Fator motivado, pela possibilidade da eliminação de uma série de perdas existentes na movimentação de materiais e pessoas, além do estímulo ao trabalho em equipe, o aumento da flexibilidade e facilidade no monitoramento da qualidade, gerando melhores índices de produtividade (Kaku, 2016; Liu *et al.*, 2012; Miyake, 2006; Rother e Harris, 2002).

Contudo, quando não devidamente adaptado e aplicado à empresa para a qual se destina, alguns obstáculos podem surgir e reduzir as vantagens propostas pelos *serus* (Isa e Tsuru, 2002). De acordo com Liu *et al.* (2014), uma serie de fábricas não obtiveram desempenho satisfatório no desenvolvimento da produção *seru* em virtude da falta de conhecimento de como implementar tal sistema.

Nesse sentido, de modo a contribuir como uma fonte de consulta sobre o tema de células de produção, o objetivo deste trabalho é apresentar a mudança de um sistema de linha de montagem para células de montagem, aplicado no processo de montagem de fogões em uma fábrica de eletrodoméstico, discutindo aspectos de sua implementação bem como os resultados e dificuldades encontradas.

2. Revisão bibliográfica

2.1. *Seru e o lean manufacturing*

O sistema de produção *seru* é um sistema inovador de fabricação baseado em células de trabalho, que se originou da reconfiguração de longas linhas de montagem de produtos eletrônicos para buscar flexibilidade. A palavra *seru*, de origem japonesa, significa organismo celular, e trata-se de uma organização de fabricação (geralmente uma unidade de montagem) composta por algum equipamento e um ou mais trabalhadores que produzem uma família de peças (Yin *et al.*, 2008; Stecke *et al.*, 2012)

Em termos históricos, a produção *seru* teve início na fábrica da Sony no Japão em 1992, e desde então, inúmeras fábricas da indústria eletrônica japonesa reconfiguraram suas linhas de montagem em células de montagem *seru*, das quais se citam Canon, Panasonic, Fujitsu, NEC, Sharp, Sanyo, Yamaha e Hitachi. Conseqüentemente, em virtude dos ganhos de flexibilidade de resposta à demanda e da redução de mão de obra e área ocupada, as células de produção *seru* tornaram-se o modo de produção mais aplicado na indústria eletrônica japonesa (Liu *et al.*, 2014).

Nesse sentido, o sistema *seru* está firmemente fundamentado em alguns princípios fundamentais do *lean manufacturing*, entre os quais, vale ressaltar o conceito de estabelecer processos orientados pela demanda puxada JIT (*Just in time*) e do compromisso com a melhoria contínua dos processos por meio da eliminação dos desperdícios (Suzuki, 2004).

Não obstante, o sistema *seru* foi explicitamente desenvolvido como uma alternativa ao STP (o precursor do *lean manufacturing*), haja vista que o desenvolvedor do conceito *seru*, Hitoshi Yamada (um especialista no STP), concluiu que implementar o STP em uma indústria inovadora não seria apropriado, onde o principal objetivo é responder à volatilidade da demanda e aos ciclos rápidos de desenvolvimento de produtos (Yin *et al.*, 2017).

Em termos de definição conceitual, pode-se observar que as células *seru* buscam atender tanto os princípios de *lean manufacturing* como também os de manufatura ágil. De fato, uma considerável literatura define que a produção *lean* é melhor alcançada por meio da redução dos estoques e eliminação da volatilidade da demanda, ao passo que a manufatura ágil promove uma resposta flexível a variação da demanda, com o objetivo de criar um sistema de produção amplamente responsivo (Narasimhan *et al.*, 2006; Shah e Ward, 2007; Yin *et al.*, 2017). A produção *lean* busca reduzir a volatilidade da demanda principalmente pelo uso do princípio de

nivelamento da produção (*heijunka*), à medida que as células *seru* muitas vezes preferem desenvolver uma flexibilidade de fabricação aprimorada para se tornar capaz de perseguir a demanda do mercado em vez de nivelar a carga do volume de produção (Miyake, 2006).

Por fim, nota-se que alguns autores argumentam que o *lean manufacturing* serve como antecedente da manufatura ágil (Narasimhan et al., 2006), enquanto outros sustentam que os conceitos *lean* e o ágil envolvem estruturas e políticas conflitantes que tornam sua implantação simultânea desafiadora (Hallgren e Olhager, 2009).

2.2. Células *seru*

Uma questão que surge naturalmente em relação às células *seru* é a comparação com as tradicionais células de manufatura baseadas na tecnologia de grupo (*group-technology* – GT). De acordo com alguns autores, a maioria das implementações de células de manufatura têm sido voltadas para a manufatura de peças usinadas e para a conversão de arranjos de produção funcional (*job shop*) em arranjos de produção celular (Wemmerlöv e Johnson, 1997; Miyake, 2006; Yin et al., 2017), ao passo que as células *seru* têm sido voltadas principalmente para a conversão de linhas de montagem (Miyake, 2006; Stecke et al., 2012; Liu et al., 2014).

Ademais, a busca por flexibilidade torna-se um dos focos principais, de modo que o sistema de produção *seru* é um tipo de fabricação celular que se distingue pelo fato das células serem configuráveis em vez de fixas, ou seja, enquanto as células tradicionais priorizam flexibilidade de troca de modelos de produtos em uma dada infraestrutura, as células *seru* priorizam a flexibilidade de troca da própria estrutura (Yin et al., 2017).

Os sistemas *seru* são projetados com um conceito centrado no ser humano, de maneira a desenvolver múltiplas habilidades nos trabalhadores. Em vez de executarem as tarefas em tempos de ciclo curto ao longo de uma linha de montagem, os trabalhadores podem operar mais de uma tarefa por ciclo e ainda se deslocar para concluí-las. O formato em U é a forma mais popular adotada dentre as células e, além disso, expressam uma preferência por estruturas simples e de soluções de baixa tecnologia. Todas essas abordagens priorizam a remoção de recursos desnecessários e a eliminação de atividades que não agregam valor (desperdício). Para tanto, faz-se necessário o envolvimento dos trabalhadores em treinamento multifuncional e aprendizado contínuo, além de delegar maior responsabilidade e autonomia para execução de suas tarefas (Miyake, 2006; Liu et al., 2012; Stecke et al., 2012).

Dentre os principais tipos de células *seru* utilizados (Figura 1), pode-se destacar três formas: a) *seru* divisional; b) *seru* rotativa e; c) *yatai*.

Em um *seru* divisional, cada operador é responsável por uma operação que pode se deslocar entre várias estações de trabalho específicas. No final de cada operação, uma área especial é prevista para o material em processo (representada pelas caixas cinza da Figura 1). Ao desmontar uma linha de montagem, os *serus* divisionais são geralmente adotados no estágio inicial, visto que um *seru* divisional é adequado para um baixo nível de treinamento multifuncional do operador, além de, ser eficiente para produtos complexos com um grande número de componentes, especialmente para novos produtos e para produtos que requerem operações de precisão.

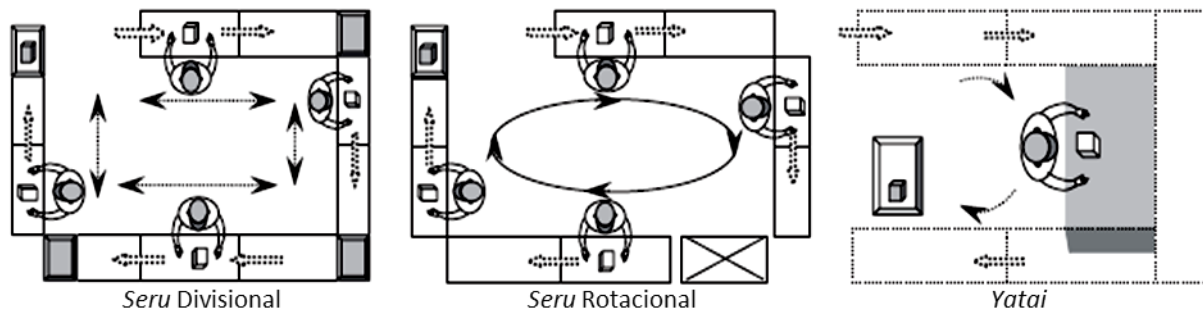
Por outro lado, no *seru* rotativo, cada operador executa todas as tarefas do início ao fim. Esses operadores, um por um em uma ordem fixa, concluem todas as tarefas de montagem movendo-se de uma estação de trabalho para outra. Depois que um produto é produzido, o operador retorna à primeira estação de trabalho e inicia uma nova rodada. Esse formato tem um bom desempenho em ambientes com certa variedade de volumes de produção, estrutura de produtos moderadamente complexa e operadores completamente treinados que tenham aproximadamente o mesmo nível de proficiência em cada tarefa. Flutuações na demanda podem ser acomodadas aumentando ou diminuindo o número de *serus* ou o número de operadores em cada *seru*, porém se houver grandes variações nos tempos de operação dos operadores dentro de um *seru* rotativo, o operador mais lento perturbará o ritmo de trabalho dos outros operadores, levando a uma queda na produtividade.

Por fim, um *yatai* é adequado para produtos que necessitem de técnicas difíceis e de alta precisão, e que exijam operadores com altos níveis de proficiência. *Yatais* podem atender eficientemente aos requisitos de produção de pequenos lotes ou variações frequentes em um *mix* de produtos. Em termos de flexibilidade, o *yatai* é a evolução dos *serus* divisional e rotativo, no entanto, o custo de investimento normalmente tende a ser maior, visto que cada operador necessitará de um conjunto exclusivo de ferramentas e máquinas para a sua *yatai* (Isa e Tsuru, 2002; Miyake, 2006; Liu *et al.*, 2012).

Não obstante, a partir do uso dos três tipos básicos de *serus*, sistemas compostos podem ser obtidos a partir de diferentes combinações de *serus*. Um *seru* composto é um conjunto de *serus* ligados em série ou paralelo para funcionar em conjunto para montar um produto, e são projetados para produtos com construção complexa e modularização proeminente. Uma análise

detalhada do planejamento da produção e balanceamento eficiente das operações deve ser realizada para garantir uma produtividade satisfatória.

Figura 1 – Tipos principais de *seru*



Fonte: Adaptado de Liu *et al.* (2014)

2.3. A implementação do sistema seru de produção

Tendo em vista as condições mercadológicas bem como as peculiaridades de cada empresa, o processo de implementação de células *seru* não segue uma fórmula única. No entanto, alguns métodos ou diretrizes gerais são discutidos na literatura e podem servir de guia para o estudo e implementação de tal sistema de produção.

De acordo com Sakazume (2006), pode-se delinear onze condições para a implementação bem sucedida da produção *seru*, nas quais foram categorizadas em três critérios: a) condições de mercado (*mix* de produtos variável, demanda variável, necessidade de produção de múltiplos produtos); b) condições do produto (horas totais de montagem, baixa quantidade de componentes, produtos e componentes pequenos) e; c) condições do processo (operadores com várias habilidades, poucas operações difíceis, sem necessidade de equipamentos caros, alto uso de equipamentos compartilhados, equipamentos pequenos).

Nesse sentido, Yagyuu (2003) *apud* Liu *et al.* (2014) discute o procedimento de construção de um sistema *seru* em oito etapas, incluindo seleção de sistema de manufatura e tipo de produto, investigação e melhoria das condições atuais de fabricação, projeto de engenharia do sistema de manufatura, planejamento de operação, treinamento multifuncional de operadores, balanceamento de produção, redesenho para equipamentos de baixa automação e trabalho de estabilização para produção. Além disso, Liu *et al.* (2014) também propõem um *framework* para implementação que divide o processo em cinco etapas principais, iniciando com a seleção do tipo de produto e processo, e desdobrados no planejamento do tipo de *layout*, fluxo do processo, formas de abastecimento, balanceamento de operações e treinamento multifuncional. O *framework* fornece também informações sobre a fase de estabilização de

operação de um *seru* bem como formas de avaliação de desempenho e a busca pela melhoria contínua.

Ademais, no trabalho de Rother e Harris (2002) é apresentado um método de onze passos sequenciais para implementação de células de fluxo contínuo, que serve como um guia geral para implantação de células de produção. Os autores não utilizam o termo *seru*, preferindo chamar simplesmente de célula, contudo, percebe-se claramente que o método tem abrangência tanto para células de manufatura tradicionais como para *serus*.

De maneira geral, o método inicia-se com a identificação de uma família de produtos que deve ser desdobrada nos seguintes aspectos: flexibilidade da célula, variação no conteúdo total de trabalho, similaridade das etapas do processo e dos equipamentos, tempo *takt*¹ e localização dos clientes. Em seguida, devem-se identificar os elementos de trabalho e o tempo real necessário para completar uma operação em cada estação de trabalho, bem como a verificação da capacidade das máquinas em atender a demanda, o nível de automação e o arranjo físico do processo para garantir o fluxo das peças. Com isso, pode-se determinar o número de operadores necessários e definir o tipo de distribuição do trabalho (balanceamento das operações), que pode ser de seis tipos diferentes: a) divisão do trabalho; b) circuito; c) fluxo reverso; d) combinações; e) um operador por estação; e f) serrote ou corte. Por fim, orienta-se o projeto do fluxo de informação entre a programação da produção e a célula de produção, recomendando o nivelamento do volume e do *mix* de produtos.

Ademais, o método discute também a questão do planejamento e implementação do projeto, recomendando a divisão em cinco fases: projeto inicial, simulação e projeto-piloto, remoção de problemas e manutenção do fluxo (Rother e Harris, 2002).

3. Método proposto

Com o intuito de garantir um melhor entendimento sobre o processo de desenvolvimento do presente trabalho, neste capítulo apresenta-se os procedimentos metodológicos adotados para a condução e elaboração do mesmo.

A presente pesquisa é caracterizada por ser aplicada, quantitativa e exploratória, pois visa gerar maior conhecimento sobre o tema em estudo por intermédio da investigação e aplicação prática em uma situação específica. No que tange ao procedimento de pesquisa

¹ Tempo *takt* pode ser definido como a frequência com que é produzido um produto, é calculado dividindo-se o tempo disponível de trabalho pelo volume da demanda do cliente.

utilizado, a pesquisa-ação foi o método adotado visto que o trabalho se desenvolveu diante a interação direta do autor com o objeto da pesquisa, ou seja, o envolvimento participante no processo de mudança do sistema de produção de linhas de montagem para células de montagem.

O trabalho desenvolveu-se durante um período de quinze meses na qual envolveu a criação de uma equipe multifuncional de projeto na empresa, bem como o estudo teórico acerca de células de produção e práticas enxutas, além da realização de reuniões de projeto, treinamentos das pessoas envolvidas, observação e atuação participante direta nos problemas e situações vivenciadas. Diante disso, o processo metodológico da presente pesquisa foi estruturado de acordo com as quatro fases principais da metodologia de pesquisa-ação sugeridas por Thiollent (1997):

- a) Fase Exploratória – nessa etapa, identificou-se o problema da empresa e definiu-se uma equipe de projeto multifuncional para o estudo e a solução deste. O problema tratava-se da necessidade de maior capacidade produtiva de fogões frente ao aumento da demanda previsto e de maior flexibilidade na produção de diferentes modelos. Com isso, definiu-se que a implantação de células de montagem à luz dos conceitos enxutos seria o objetivo da equipe de projeto. A adoção de células de montagem frente a uma nova linha de montagem se justificou com base na possibilidade de ganhos de produtividade e flexibilidade de *mix* de produção, e principalmente, por permitir um incremento gradual da capacidade produtiva com baixo investimento de capital;
- b) Fase de Aprofundamento – de maneira a obter maior entendimento sobre o projeto e deliberar as ações de implantação, definiu-se o método de implantação (baseado no método de Rother e Harris (2002) – seção 2.3) que nortearia todo o processo de mudança. Nesta etapa, baseado no princípio de PDCA, realizou-se o planejamento macro do projeto, que se desenvolveu de modo interativo ao processo de aprofundamento teórico e da coleta e análise de dados. Estabeleceu-se reuniões semanais com a equipe durante um período de 4 meses de modo a desenhar e detalhar o projeto das células de montagem, além de aplicar treinamentos sobre fluxo contínuo e conceitos enxutos para todos os envolvidos no projeto;
- c) Fase de Ação – nessa fase efetuou-se a implementação das novas células de montagem, que será descrita no capítulo 4. Durante um período de 12 meses, a fase de implementação envolveu a simulações de melhorias *in loco*, os ajustes, a instalação das células e a estabilização dos processos de montagem;

- d) Fase de Avaliação – com base nos resultados colhidos da implementação do projeto e no conhecimento adquirido, é realizada a avaliação final da pesquisa. Assim, avalia-se a eficácia e funcionamento das células de montagem implementada, os problemas não esperados, pontos de reflexão e sugestões para trabalhos futuros. Formaliza-se essa fase por meio da elaboração deste trabalho.

4. Resultados

Neste capítulo apresenta-se o processo de mudança de linha de montagem de fogões para células de montagem aplicado na empresa em estudo, discutindo as diretrizes principais de implantação e dificuldades encontrados.

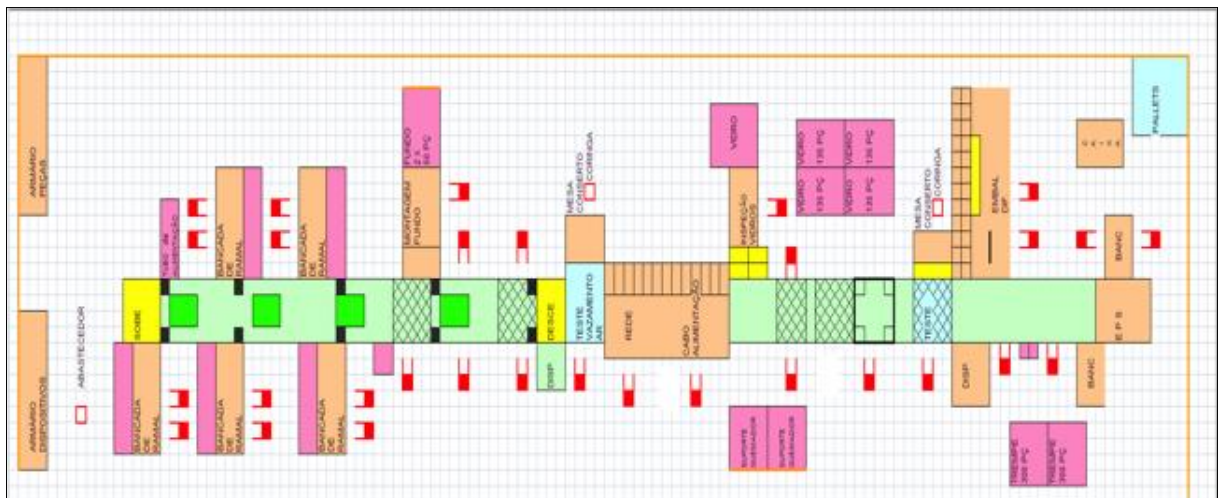
4.1. Linha de montagem da empresa

A empresa em estudo está situada no sul do Brasil, empregando cerca de 800 funcionários e com faturamento anual de 450 milhões de reais. No seu portfólio de produtos de eletrodomésticos, tem-se a produção de fornos, fogões, secadoras, micro-ondas, coifas e uma série de eletroportáteis.

O processo de montagem da empresa era caracterizado pelo o uso de uma linha de montagem em formato retilíneo na qual as estações de trabalho e os operadores eram localizados em ambos os lados da linha, dependendo do espaço necessário e das especificidades de cada posto de trabalho. A linha era operada por uma esteira transportadora que movimentava os produtos de uma estação de trabalho para outra, obedecendo a uma determinada velocidade baseada na demanda do plano de produção.

A linha de montagem operava em dois turnos de trabalho e envolvia um total de 30 operadores por turno, que eram subdivididos em vinte e oito operadores de montagem e dois líderes de time. O líder de time tinha a função de treinar novos funcionários, substituir operadores nos postos de trabalho e liderar o atingimento de metas. Dentre os operadores de montagem, dois deles eram responsáveis pelo abastecimento dos materiais nos postos de trabalho, ou seja, tinham a função de desembalar os materiais que eram entregues ao lado da linha e abastecê-los nos pontos de uso de montagem. As Figuras 2 e 3 ilustram, respectivamente, uma vista de topo e uma foto real da linha de montagem da empresa.

Figura 2 – Vista de topo da linha de montagem de fogões



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 3 – Linha de montagem de fogões



Fonte: Elaborado pelo autor

As ordens de produção eram entregues conforme programação semanal pelo departamento de planejamento e controle de produção (PCP) aos setores de produção e logística interna. O setor de logística interna separava os lotes de material (de acordo com a ordem de produção) no armazém central e os entregava ao lado da linha de montagem respeitando a sequência da programação.

Todas as famílias de produtos de fogões eram fabricadas na linha de montagem, no entanto, tal flexibilidade era alcançada à custa de longos e complicados tempos de *setup* de linha (troca de modelos) e de reduzida produtividade, resultante da dificuldade de balanceamento das operações entre os operadores e da adaptação de dispositivos e equipamentos aos diferentes modelos de fogões.

Além disso, outros desperdícios eram aparentes na linha de montagem, tais como:

- a) Superprodução que era observada nos excessos de estoque dos postos de trabalho. Em virtude dos desbalanceamentos das operações e a falta de controle, os estoques se acumulavam em algumas estações de trabalho;
- b) O controle de qualidade era delegado a um inspetor no final da linha que verificava se o funcionamento e a estética do produto estavam de acordo com as especificações;
- c) Operadores sem capacitação para operarem em vários postos (multifuncionalidade) e não havia o acompanhamento consistente de um trabalho padronizado;
- d) Condições não ergonômicas de trabalho, como por exemplo: peças longe do alcance dos operadores, embalagens pesadas, necessidade de se curvar até o chão, e inexistência de rodízio de função nas operações de montagem;
- e) Abastecimento e embalagens não padronizadas;
- f) As práticas de limpeza e organização do trabalho eram insuficientes, não existindo uma padronização deste procedimento; e
- g) O controle de produção era verificado ao final do turno, confrontando o volume produzido com a meta do turno, bem como os problemas de qualidade e paradas de linha.

4.2. Implantação das células de montagem

Conforme mencionado na seção 3.1, o processo de implantação das novas células envolveu a criação de uma equipe de projeto multifuncional composta por membros dos departamentos de produção, logística, controle de qualidade, melhoria contínua e engenharias de produto e manufatura. Ademais, dois operadores de montagem experientes faziam parte da equipe, além dos gerentes de produção e engenharia que eram os patrocinadores do projeto.

Vale ressaltar que, a estratégia adotada para a implantação das células se dividiu em duas etapas: a) desenvolvimento de apenas uma célula de montagem que atenderia a uma determinada família de produtos; b) replicação do novo sistema produtivo para implantação de mais três células. Desse modo, durante a primeira etapa, a linha de montagem continuaria a operar em paralelo a nova célula desenvolvida, sendo desativada somente após a implantação das outras três células. Além disso, as lições aprendidas na implantação da primeira célula acabariam servindo de catalizador para o desenvolvimento mais rápido e assertivo das outras três unidades.

Em relação à capacidade produtiva, as células produziram cerca de metade da quantidade produzida na linha de montagem, ou seja, para produzir o mesmo volume de uma linha de montagem eram necessárias duas células. Sendo assim, os tempos de ciclo e *takt* nas células seriam duas vezes maiores do que na linha de montagem. Vale ressaltar que, as células seriam do tipo *seru* divisional, ou seja, cada operador seria responsável por um conjunto de operações, podendo se deslocar entre estações de trabalho (dependendo da operação).

Com isso, definiu-se que a primeira célula focaria na família de fogões chamada de “4Q”, que representava cerca de 45% da demanda total e tratava-se de produtos de média complexidade, ao passo que as outras células seriam totalmente flexíveis, capazes de fabricar todos os modelos de fogões.

No que tange ao processo de desenvolvimento, um ponto importante abordado nas reuniões de projeto foi a discussão de alternativas para a alteração, diminuição e substituição de componentes que poderiam facilitar o processo de montagem bem como a redução de custo do produto. Desse modo, soluções de curto e até longo prazo foram sugeridas e implementadas, tais como o fornecimento de conjuntos de peças pré-montadas pelos fornecedores, substituição de parafusos por fixadores de engate rápido, e até mudanças estruturais no produto. De fato, parte dessas sugestões de melhoria sugira em função do levantamento dos motivos que mais geravam instabilidade no processo de montagem.

Em relação ao tempo necessário para o desenvolvimento de cada etapa do projeto, destaca-se o processo de desenvolvimento dos postos de trabalho que demandou um tempo considerável da equipe, pois necessitou-se definir toda a padronização das embalagens de peças utilizadas, pontos de uso, bem como testar e validar melhorias nos dispositivos de montagem, ferramentas e equipamentos. Além disso, por meio de uma estrutura de bancadas improvisada (*mock-up*) realizou-se simulações do processo de montagem das novas células, que possibilitou validar várias questões relativas ao novo processo, tais como: *layout* da célula, distâncias de montagem, ângulos de trabalho, tempos de operação e eficácia das soluções em geral. Vale ressaltar que, nesta fase ocorreu uma grande participação dos operadores experientes junto a engenharia de manufatura e melhoria contínua.

Outro ponto de destaque foi a necessidade de desenvolver um sistema de abastecimento de peças para as células, que envolveu a definição de uma nova sistemática de trabalho no setor de logística interna da empresa. De fato, o processo de abastecimento usado pela empresa considerava entregas de material equivalentes a um turno de produção, ao passo que o novo

sistema de rotas de abastecimento exigia entregas com frequência horária, realizadas mediante o uso de trens logísticos que controlavam todo o fluxo de material entre as células e o armazém central de componentes.

Destaca-se também, a mudança conceitual em relação a responsabilidade pela qualidade dos produtos montados, que passou a ser dos próprios operadores da célula. Isso implicou a conscientização e treinamento dos operadores no que concerna as inspeções de qualidade. Contudo, amostragens e auditorias de qualidade foram realizadas com maior frequência no período inicial de funcionamento das células, com vistas a averiguar se as inspeções estavam sendo realizadas.

Uma questão fundamental para a efetividade da implementação, foi o envolvimento e capacitação de todos os operadores de montagem, almoxarifes e supervisores dos setores. Treinamentos sobre células de manufatura, abastecimento *lean* e resolução de problemas contribuíram para o entendimento de todos no projeto, além de facilitar o engajamento dos operadores na multifuncionalidade e rodízio de funções.

Além disso, fez-se necessário criar um novo cargo de liderança, que se tratou da redefinição da função dos líderes de linha de montagem que já existia na empresa. O facilitador, assim denominado, passou a ter competência para a resolução de problemas de menor complexidade e para o treinamento de novos funcionários, além de exercer a liderança da equipe e a substituição de postos de trabalho. O facilitador deveria possuir um perfil de boa comunicação e de liderança interpessoal, e não somente uma liderança técnica junto aos funcionários. Para isso, conforme já ressaltado em diversos trabalhos – Rother e Harris (2002), Miyake (2006), Liu *et al.* (2014) e Yin *et al.* (2017) – definiram-se capacitações em métodos de resolução de problemas, cursos de liderança e o uso de uma metodologia de ensino (baseada na metodologia TWI²) das operações para novos funcionários.

Vale ressaltar também que, após a fase de estabilização do funcionamento das células (que durou por volta de 5 semanas), definiu-se um novo procedimento para as atividades de limpeza e organização do trabalho, na qual a liderança e todos os operadores foram treinados. Desse modo, foi estabelecido um novo padrão de 5S que contribuiu para aguçar o sentimento de propriedade e pertencimento ao local de trabalho, além de contribuir para a estabilidade básica do processo de montagem.

² TWI (Training within Industry) foi uma metodologia de treinamento desenvolvida para a indústria como suporte aos esforços de guerra dos Estados Unidos durante a 2ª Guerra Mundial.

Outro ponto de destaque foi o estabelecimento de uma estrutura de bancadas simples, porém separada das células de montagem, que simulavam o funcionamento dos postos de trabalho. O objetivo era enriquecer o processo de ensino e acelerar a curva de aprendizagem dos novos operadores, permitindo uma absorção mais eficiente dos tempos de ciclo de trabalho. Até o presente momento desta pesquisa, tal estrutura estava sendo utilizada somente para o ensino das operações mais fundamentais, ficando o restante do aprendizado para ser absorvido direto nas células, no entanto, ações estavam planejadas para permitir também o ensino das operações mais complexas. Segundo Iwamuro (2004) *apud* Liu *et al.* (2014), para algumas operações complexas nas quais os operadores não podem atender aos requisitos de treinamento em um curto espaço de tempo, é adequado e eficaz realizar o treinamento fora do posto de trabalho em locais que simulem as tarefas reais.

No tocante as dificuldades encontradas ao longo do processo de implementação, pode-se elencar alguns pontos de destaque:

- a) Estabilização do processo de montagem: embora a polivalência para trabalhar em vários postos de trabalho tenha sido bem aceita pelos operadores, o processo de capacitação e domínio das operações demandava tempo considerável. Tempo que era influenciado pela rotatividade de novos colaboradores, a inexistência de um padrão para o ensino das operações de montagem e o tempo de aprendizado particular de cada pessoa. Ademais, alguns dispositivos e ferramentas de montagem tiveram que ser ajustados durante um tempo além do esperado.
- b) Paradas de produção por motivo de falha no abastecimento: o setor de logística da empresa enfrentou dificuldades para estabilizar as atividades de abastecimento no curto prazo, visto que o novo sistema exigia o cumprimento padronizado das operações de movimentação e armazenagem dos materiais. De fato, o novo sistema de abastecimento era completamente diferente do anterior, passando de um sistema empurrado de grandes lotes para um sistema puxado de reposição frequente. Inclusive, conforme já mencionado por Iwamuro (2004) *apud* Liu *et al.* (2014), treinamentos específicos de programação e movimentação de materiais foram ministrados para a equipe de logística.
- c) Facilitador com perfil adequado e devidamente capacitado: a definição e a preparação para treinar um facilitador (líder de célula) exigiu o esforço de vários departamentos, desde a metodologia de ensino das operações até formalização do cargo junto ao departamento de recursos humanos. Inclusive, em determinados momentos, fez-se

necessário selecionar candidatos de outros departamentos haja vista que os atuais não apresentavam as características necessárias para atuarem como facilitador, além disso, dois candidatos em fase de treinamento desistiram das capacitações alegando assumirem muitas responsabilidades; e

- d) Aumento na infraestrutura logística: fez-se necessário dar um grande suporte ao departamento de logística interna, em virtude do aumento de mão de obra, aquisição de novos equipamentos e capacitação em novos procedimentos de controle. De fato, a necessidade de aumento de mão de obra foi uma questão amplamente discutida e explanada, ou seja, o investimento em infraestrutura logística era um dos condicionantes para o aumento da eficiência operacional das células de montagem.

4.3. As células de montagem

Uma vez finalizada a implantação e a fase de estabilização, as novas células de montagem já apresentavam ganhos de produtividade, qualidade e custo em relação ao processo anterior de montagem em linha.

De fato, as células de montagem foram concebidas com base na filosofia *lean*, de modo que os conceitos enxutos deveriam estar presentes na sua concepção e funcionamento. Nesse sentido, pode-se citar algumas práticas *lean* atendidas pelas novas células: *layout* celular em formato de U; fluxo de uma única peça (*one piece flow*); colaboradores multifuncionais, operadores e principalmente o facilitador capacitados em técnicas para resolução de problemas; o facilitador como líder formal do time de trabalho possuindo autonomia para reconfigurar ciclos de trabalho e parar o processo quando necessário; gestão a vista dos indicadores de desempenho produtivo (tempo *takt*, tempo de ciclo, balanceamento das operações, produção horária, paradas de linha e problemas de qualidade); abastecimento de materiais puxado via sistema *kanban*; e rotinas de limpeza e organização do trabalho.

Contudo, outras práticas como sistema *andon* para sinalizar de forma imediata problemas no processo e práticas de manutenção autônoma por parte dos operadores não estavam ainda implantadas nas células.

No que tange ao funcionamento das células, pôde-se observar uma diferença expressiva nos métodos, ferramentas e dispositivos de montagem utilizados, além de uma completa mudança no sistema de abastecimento de materiais. O tamanho e as distâncias entre as estações de trabalho também foram reduzidos para que se pudesse trabalhar com somente um produto

por vez, de maneira a buscar o princípio de fluxo de uma única peça. Outro fator que possibilitou a redução de área ocupada foi o estoque de materiais nas estações de trabalho, que estava dimensionado para suportar, no máximo, três horas de consumo da célula. Ademais, com a mudança na forma de abastecimento (de empilhadeira para trens logísticos), a largura dos corredores da fábrica pôde ser reduzida de 2,5 metros para 2 metros.

A transferência dos produtos entre os postos de trabalho era realizada de forma manual pelos operadores (não era utilizado esteiras transportadoras automáticas), utilizando somente trilhos fixos nas bancadas para facilitar a passagem dos produtos. A estrutura de bancadas e dispositivos era de fácil desmontagem e reconfiguração, e apesar de alguns equipamentos apresentarem maior tecnologia (como máquinas para teste de funcionamento do produto), a flexibilidade para rearranjá-los também era simples. Ou seja, as células se caracterizavam por ser de mão de obra intensiva, sem o uso de máquinas com alto nível de automação que pudessem implicar em carregamento ou descarregamentos automáticos.

Assim sendo, apesar da demanda não apresentar alto nível de volatilidade, as estruturas das células eram passíveis de se reconfigurar com facilidade. Além disso, de maneira a facilitar a flexibilidade na distribuição das operações e a movimentação entre as estações de trabalho, os operadores trabalhavam na postura em pé – prática comum da produção *seru* segundo Hasegawa *et al.* (2009) *apud* Liu *et al.* (2014).

A quantidade de colaboradores distribuídos em cada uma das células, era de 8 operadores para a célula de “4Q” e 10 operadores para cada uma das três células flexíveis. De acordo com Liu *et al.* (2010), células *seru* devem ser limitadas para no máximo 7 operadores por célula, evitando desbalanceamento nas operações, interferência entre operadores e distância de entregas aumentadas. Entretanto, nas células implantadas, dois postos de trabalho eram praticamente idênticos em operações e as distâncias percorridas pelos operadores eram mínimas (apenas um operador se deslocava para executar as tarefas), atenuando possíveis interferências no trabalho dos operadores.

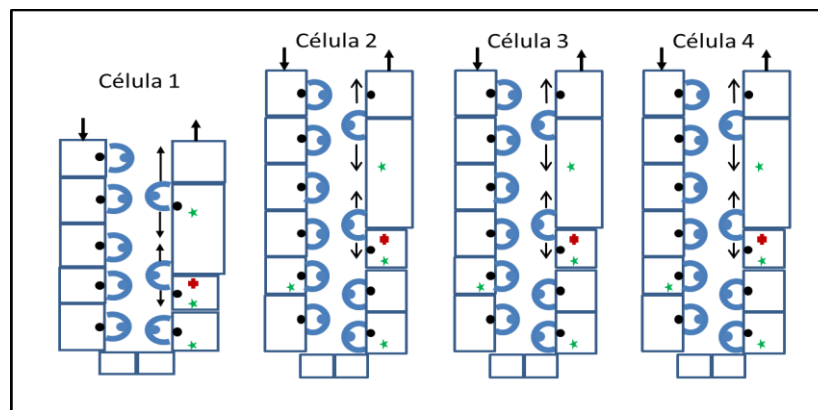
Isto posto, as Figuras 4 e 5 ilustram a imagem de uma célula de montagem implantada e a vista de topo das quatro células, respectivamente.

Figura 4 – Célula de montagem de fogões



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 5 – Vista de topo das células de montagem de fogões



Fonte: Elaborado pelo autor

Em relação ao planejamento das ordens de produção de fogões, as células eram programadas da mesma maneira que os outros recursos produtivos da empresa, ou seja, com base em um plano mestre de produção que visava atender uma previsão de vendas. No entanto, com a configuração de quatro células de montagem, era possível responder com mais rapidez as mudanças de demanda no *mix* de produtos, além de possibilitar uma programação mais nivelada da produção.

Assim sendo, os resultados de performance alcançados com a mudança de sistema produtivo de linha para células de montagem são apresentados na Tabela 1. Por questões de confidencialidade, os valores apresentados são expressos em porcentagem, e não em valores absolutos.

Tabela 1 – Indicadores de desempenho para comparação entre células e linha de montagem

Indicador	Valor (%)
Produtividade Operacional (pçs/homem/hora)	Aumento de 45%
Produtividade do Sistema (pçs/homem/hora)	Aumento de 29%
Área Ocupada Operacional (m ²)	Redução de 15%
Área Ocupada Total (m ²)	Redução de 7%
Problemas de Qualidade (unidades/mês)	Redução de 8%
Paradas de Linha (minutos/mês)	Redução de 9%

Fonte: Elaborado pelo autor

Além de evidenciar um expressivo aumento na produtividade dos operadores (45%), buscou-se apresentar o ganho de eficiência total do sistema (29%), ou seja, avaliar a produtividade somando-se tanto a mão de obra do processo produtivo como também a do departamento de logística. Em outras palavras, apesar da redução de mão de obra no setor de montagem, no departamento de logística ocorreu um significativo aumento (triplicou o número de almoxarifes), porém em termos globais houve aumento da produtividade (29%).

Outra vantagem foi a redução de área ocupada (15%), no entanto, se levado em consideração também os corredores, o ganho passa para 7%. Isto é, apesar da largura dos corredores ter diminuído, o número de corredores aumentou, em virtude da necessidade de abastecimento dos materiais ao longo de todo o perímetro das células. Além disso, problemas de qualidade e paradas de linha foram significativamente reduzidos, 8% e 9%, respectivamente.

Por fim, vale ressaltar a melhoria na polivalência dos operadores e a frequência nas mudanças dos postos de trabalho (*job rotation*), na qual os operadores eram capacitados para operarem em todos os postos de trabalho, além de mudarem de posto a cada sessenta minutos, melhorando desse modo, a questão ergonômica de fadiga muscular (Tabela 2).

Tabela 2 – Comparativo referente a polivalência e *job rotation*

Indicador	Linha de Montagem	Células de Montagem
Polivalência	4 postos de trabalho	9 postos de trabalho
Rodízio de função	A cada 4 horas	A cada hora

Fonte: Elaborado pelo autor

5. Conclusões

A presente pesquisa buscou contribuir como uma fonte de consulta sobre a implementação de células de montagem à luz das práticas da produção *seru*, cujos princípios de funcionamento remontam aos conceitos de *lean manufacturing* e manufatura ágil. De fato, as células de montagem *seru* aliam altos níveis de responsividade à volatilidade de demanda sem perderem a eficiência dos sistemas enxutos.

Nesse contexto, o relato da mudança de uma tradicional linha de montagem de fogões para células de montagem pôde contribuir para a discussão sobre o tema. Percebeu-se a importância de se definir uma equipe multifuncional para levar a cabo o processo de mudança, além do patrocínio ativo da alta liderança da empresa. Assim sendo, a estratégia de implantação em duas fases (implantar primeiro uma célula, depois mais três unidades) revelou-se assertiva para a empresa haja vista o grau de inovação que requeria o novo sistema bem como para a comprovação dos resultados, possibilitando futuros investimentos.

Por se tratar de um sistema sociotécnico, as diretrizes e dificuldades de implantação puderam ser observadas tanto nas questões técnicas como nas comportamentais. No tocante as questões técnicas, pôde-se perceber alguns pontos de destaque: a) a necessidade de conhecimento aprofundado por parte da equipe de implantação sobre técnicas *lean* e células de montagem; b) o estudo para redução do número de componentes e o *redesign* do produto orientado ao processo de montagem revelaram-se fundamentais para a eliminação de desperdícios; c) o uso de estruturas simplificadas para executar simulações de trabalho dos operadores durante o desenvolvimento das células foi importantíssimo para validação de hipóteses e; d) a definição de um sistema de abastecimento puxado com entregas frequentes em pequenos lotes implicou um estudo detalhado de padronização de embalagens, equipamentos e procedimentos, além de ajustes durante toda a fase de estabilização.

No que tange as questões comportamentais, a necessidade de treinamentos para todos os envolvidos foi uma constante durante o processo de implementação, com destaque para a definição e capacitação dos facilitadores das células. De fato, as instruções contribuíram para criar um senso de importância no aprendizado dos colaboradores, que por consequência, refletia no engajamento de todos. Vale ressaltar que, a capacitação dos operadores em vários postos de trabalho foi quesito mandatório para o funcionamento efetivo das células de montagem.

Em suma, as células de montagem demonstraram desempenho superior ao sistema tradicional de linha de montagem, apresentando ganhos em diversos quesitos de performance,

tais como, produtividade, espaço ocupado, qualidade e polivalência dos colaboradores. Entretanto, vale ressaltar que, a linha de montagem apresentava desperdícios visíveis em termos de desbalanceamento das operações, distância dos materiais e estoque em processo.

Contudo, não existem regras rígidas e imutáveis para a implementação do sistema produtivo de células de montagem (*seru*), a seleção do tipo de célula deve considerar vários fatores, como as características do produto, do processo produtivo, da demanda e dos níveis de habilidade dos operadores. Ademais, as configurações das células podem evoluir constantemente em virtude das mudanças nas condições internas de produção e do ambiente de mercado externo, demandando ajustes conforme necessidade.

Por fim, como sugestão de continuação de pesquisa, poder-se-ia avaliar os benefícios da alteração de alguma das atuais células de montagem para trabalhar no sistema de *seru* rotacional, *yatai* ou sistema composto, ou seja, analisar os benefícios e investimentos necessários para tal reconfiguração. Outro ponto de investigação seria avaliar de forma estruturada a eficácia dos treinamentos fora dos postos de trabalho bem como da metodologia de ensino aplicada para tal fim.

REFERÊNCIAS

- Hallgren, M., & Olhager, J. (2009). Lean and agile manufacturing: External and internal drivers and performance outcomes. *Int. J. Operations Production Management*, 29(10): 976-999.
- Hasegawa, K., Fukuta, Y., & Saito, M. (2009). A study on the workload in seru production (in Japanese). *The Japanese Journal of Ergonomics*, 45(4): 219-225.
- Isa K, Tsuru T. (2002). Cell production innovation and workplace in Japan: Toward a new model for Japanese manufacturing? *Industrial Relations*, 41(4): 548-78.
- Iwamuro, H. (2004). An Easy Book About Seru Production (in Japanese). Nikkan Kogyo Shimibun, Tokyo.
- Kaku, I. (2016). A fundamental positive investigation into Japanese seru production systems. IFAC (International Federation of Automatic Control) - Papers online, 337-342.
- Liu, C.G., Lian, J., Li, W.J., & Yin, Y. (2010). Seru seisan – An innovation of the production management model in Japan. *Asian Journal of Technology Innovation*, 18(2): 89-113.
- Liu, C.G., Lian, J., Li, W.J., & Yin, Y. (2012). Reconfiguration of assembly systems: From Conveyor assembly to serus. *Journal of Manufacturing Systems*, 31(3): 312- 325.
- Liu, C.G., Stecke, K.E., Lian, J., & Yin, Y. (2014). An implementation framework for seru production. *International Transactions in Operational Research*, 21(1): 1-19.
- Miyake, D. I. (2006). The shift from belt conveyor line to work-cell based assembly system to cope with increasing demand variation and fluctuation in the Japanese electronics industries. *Automotive Technology and Management*, 6(4): 419-39.
- Narasimhan, R., Swink, M., & Kim, S.W. (2006). Disentangling leanness and agility: An empirical investigation. *Journal Operations Management*, 24 (5):440-457.
- Rother, M., & Harris, R. (2002). *Criando Fluxo Contínuo*: Um guia de ação para gerentes, engenheiros e associados da produção. São Paulo: Lean Institute do Brasil.

- Sakazume, Y. (2006). Conditions for successful implementation of assembly cells. *Industrial Engineering and Management Systems*, 5(2): 67–73.
- Shah, R., & Ward, P.T. (2007). Defining and developing measures of lean production. *Journal Operations Management*, 25 (4): 785-805.
- Stecke, K.E., Yin, Y., Kaku, I., & Murase, Y. (2012). Seru: the organizational extension of JIT for a super-talent factory. *International Journal of Strategic Decision Sciences*, 3(1): 106–119.
- Suzuki, Y. (2004) Structure of the Japanese production system: elusiveness and reality. *Asian Business & Management*, 3 (2): 201-219.
- Wemmerlöv, U., Johnson, D. J. (1997). Cellular manufacturing at 46 user plants: Implementation experiences and performance improvements. *International Journal of Production Research*, 35(1): 29–49.
- Womack, J; & Jones, D. (2004). *A Mentalidade Enxuta nas Empresas: Elimine o desperdício e crie riqueza*. Rio de Janeiro: Campus/Elsevier, 6ª ed.
- Yagyuu, S. (2003). *Synchronized Seru Production Mode: Beginning from One* (in Japanese). Nikkan Kogyo Shimbun, Tokyo.
- Yin, Y., Kaku, I., & Stecke, K.E. (2008). The evolution of seru production systems throughout Canon. *Operations Management Education Review*, 2: 27–40.
- Yin, Y., Stecke, K. E., Swink, M., & Kaku, I. (2017). Lessons from seru production on manufacturing competitively in a high cost environment. *Journal of Operations Management*, 49(51): 67-76.