ConBRepro
XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
EVENTO ON-LINE
02 a 04 de dezembro de 2026
Inovação e Transformação Digital como Estratégia Competitiva nas Engenharias

OTIMIZAÇÃO DO FLUXO PRODUTIVO: A INTEGRAÇÃO ENTRE BALANCEAMENTO DE LINHAS E TEORIA DAS RESTRIÇÕES

Dennys Kelvin Freitas Silva
Departamento de Engenharia de Produção - Universidade Federal do Piauí (UFPI)
Edmar de Paula Rocha Júnior
Departamento de Engenharia de Produção - Universidade Federal do Piauí (UFPI)
Lara Fernanda Damasceno Melo
Departamento de Engenharia de Produção - Universidade Federal do Piauí (UFPI)
Patrícia Pereira de Moraes Lima
Departamento de Engenharia de Produção - Universidade Federal do Piauí (UFPI)
Kaíque Barbosa de Moura
Departamento de Engenharia de Produção - Universidade Federal do Piauí (UFPI)

Resumo: O Balanceamento de Linhas e a Teoria das Restrições (TOC) são ferramentas utilizadas para melhorar o desempenho de sistemas produtivos por meio da redução de desequilíbrios e da identificação de gargalos. Este trabalho tem como objetivo demonstrar a aplicação integrada dessas abordagens em uma linha de produção, com base em um estudo de caso do setor de mobiliário escolar. A partir dos dados apresentados, foram demonstrados os cálculos de balanceamento da linha e analisada a influência das restrições sobre a capacidade produtiva. Os resultados mostram que a identificação do gargalo, aliada à redistribuição das atividades entre as estações de trabalho, contribui para melhorar o fluxo de produção e aumentar a eficiência da linha. Conclui-se que a utilização conjunta do Balanceamento de Linhas e da TOC constitui uma alternativa para apoiar a melhoria contínua dos processos produtivos.

Palavras-chave: Balanceamento de Linhas, Teoria das restrições, gargalos, Planejamento e Controle da Produção; Eficiência da Produção.

PRODUCTION FLOW OPTIMIZATION: INTEGRATING LINE BALANCING AND THE THEORY OF CONSTRAINTS

Abstract: Line Balancing and the Theory of Constraints (TOC) are tools used to improve the performance of production systems by reducing imbalances and identifying bottlenecks. This study aims to demonstrate the integrated application of these approaches in a production line, based on a case study from the school furniture sector. Based on the presented data, line balancing calculations were demonstrated, and the influence of constraints on production capacity was analyzed. The results show that identifying the bottleneck, combined with the redistribution of tasks among workstations, contributes to improving production flow and increasing line efficiency. It is concluded that the combined use of Line Balancing and TOC represents a viable alternative to support the continuous improvement of production processes.

Keywords: Line Balancing, Theory of Constraints, Bottleneck, Production Planning and Control, Production Efficiency

1. Introdução

Considerando o contexto de mercado, nota-se que a competitividade está cada vez mais presente no cotidiano dos gestores, forçando a utilização de estratégias para manter o negócio (OLIVEIRA, 2021). De acordo com Callefi *et al.* (2013), empresas que não conhecem os seus processos de produção não têm condições de oferecer ao seu cliente final um produto de qualidade com baixo custo, muito menos ter maior lucratividade por meio de melhorias de processo.

Nesse contexto, a adoção de técnicas de gestão contribui para melhorar o desempenho da produção. Rodrigues (2016) aponta a necessidade da aplicação de conceitos fundamentais para a otimização de um fluxo produtivo, como o Balanceamento de Linhas, que propõe adequar a capacidade produtiva à demanda do mercado. Essa aplicação, ainda segundo Rodrigues (2016), busca melhorar a qualidade para todo o sistema produtivo. Além disso, o balanceamento de linha promove estabilidade e melhoria ao processo, em função da busca por equidade entre as tarefas, na redução de filas e, principalmente, em manter a qualidade do produto da empresa (DA SILVA, 2021).

Outro aspecto importante para o desempenho produtivo é a Teoria das Restrições (TOC), que se destaca nesse meio como uma abordagem metodológica voltada à identificação e superação de gargalos sistêmicos. A proposta do modelo é concentrar esforços de melhoria no ponto de maior impacto, utilizando um ciclo contínuo composto por cinco etapas: identificar, explorar, subordinar, elevar e reiniciar o processo de foco (DE OLIVEIRA, 2025). Silveira et al. (2021) afirmam que fundamentos como os da Teoria das Restrições têm sido utilizados com muito sucesso para melhoria de desempenho em organizações de diversos segmentos.

Dessa forma, percebe-se que a convergência entre o Balanceamento de Linhas e os preceitos da Teoria das Restrições (TOC) forma uma dupla eficiente de ferramentas para melhorar os processos produtivos. Nessa perspectiva, Da Silva (2021) aponta que quanto mais complexo um processo, maior a necessidade de técnicas de análise. Tendo isso em vista, o presente estudo tem como objetivo geral analisar a aplicação integrada dos conceitos de Balanceamento de Linhas e da Teoria das Restrições, utilizando dados do estudo de caso desenvolvido por Leite *et al.* (2017) em uma indústria do setor de mobiliário escolar.

2 Referencial Teórico

2.1 Balanceamento de linhas

O balanceamento da linha de produção consiste na atribuição de tarefas às estações de trabalho que formam a linha de forma que todas as estações demandem aproximadamente o mesmo tempo para a execução da tarefa. Quando o produto avança passo a passo, a velocidade de confecção depende do Tempo de Ciclo (TC), estabelecendo o maior tempo permitido por estação para satisfazer as necessidades (STEVENSON, 2021). Sua fórmula é dada por:

$$TC = \frac{Capacidade\ Disponível}{Demanda} \quad (1)$$

Outro indicador importante do fluxo envolve o Lead Time, que representa o tempo total que vai desde a entrada da matéria-prima no sistema até a saída da mercadoria final. Ao projetar

o layout físico linear, calcula-se o Número Mínimo Teórico de Postos de Trabalho (Nmín), projetando a situação ideal para alocação de funções sem perdas por desequilíbrio.

$$Nmín = \frac{\sum Tempos\ Individuais}{Tempo\ de\ Ciclo} \quad (2)$$

Ainda nesse contexto, o indicador de Eficiência de Balanceamento (E) serve para apontar o desempenho da configuração adotada, calculando a proporção de tempo utilizado efetivamente em comparação com a duração total acessível no ponto de restrição.

$$E = \frac{\sum t_i}{N \times TC} \times 100 \quad (3)$$

Em que E indica o percentual de utilização da linha de produção, representa a soma do tempo total das tarefas, N é o número de estações de trabalho e TC é o tempo de ciclo.

Por fim, o Output representa a quantidade de unidades produzidas por um sistema produtivo em determinado intervalo de tempo. Em linhas de produção, esse indicador está diretamente relacionado ao tempo necessário para a execução das atividades. Para determiná-lo, pode-se utilizar a seguinte expressão:

$$Output = \frac{Tempo\ Disponível}{Tempo\ por\ Peça} \quad (4)$$

Conforme Goldratt e Cox (2014), a capacidade efetiva do sistema é limitada pelo recurso restritivo, motivo pelo qual o Output deve ser calculado considerando o gargalo da produção.

2.2 Teoria das restrições (TOC)

A Teoria das Restrições (TOC) é uma abordagem filosófica de melhoria contínua sustentada por um conjunto de conhecimentos e técnicas para gerenciar aspectos que limitam ou restringem a utilização máxima que a empresa poderia ter de sua capacidade instalada, impedindo-a de alcançar seus objetivos (DE SOUSA, 2026). No contexto do Planejamento e Controle da Produção, a otimização do fluxo operacional depende do entendimento de que o desempenho global do sistema é ditado pelo recurso de menor capacidade, sendo responsável por limitar o desempenho do sistema. Sob essa premissa, Goldratt e Cox (2014) em seu livro “A Meta” postulam que a produtividade constitui todo ato que aproxima a organização de sua meta fundamental, que consistem em ganhar dinheiro, exigindo que a gestão atue simultaneamente no aumento do ganho pelas vendas, na redução do inventário imobilizado e na diminuição das despesas operacionais. Para isso, a TOC propõe cinco etapas: identificar a restrição, explorá-la, subordinar as demais atividades, elevar sua capacidade e reiniciar o ciclo de melhoria. Essa dinâmica elimina desperdícios e reduz drasticamente o Lead Time em linhas de montagem (PUERTA, 2024).

3 Metodologia

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa quali-quantitativa e de caráter exploratório, desenvolvida por meio do procedimento técnico de pesquisa bibliográfica. De acordo com as diretrizes metodológicas de Gil (2022), a pesquisa bibliográfica constitui um procedimento racional e sistemático fundamentado em material já elaborado, composto principalmente por livros e artigos científicos, sendo amplamente utilizada em estudos dessa natureza. A vertente qualitativa manifesta-se na análise teórica e conceitual da integração entre as filosofias de gestão, enquanto o caráter quantitativo evidencia-se na coleta, tratamento e aplicação matemática de tempos operacionais, capacidades e indicadores de eficiência baseados no estudo de caso publicado por Leite *et al.* (2017).

Foram selecionados livros, artigos científicos e materiais técnicos relacionados ao Balanceamento de Linhas, à Teoria das Restrições (TOC) e ao Planejamento e Controle da Produção (PCP), priorizando publicações que abordam o gerenciamento de gargalos, tempo de ciclo, eficiência da linha e organização de postos de trabalho. O levantamento bibliográfico incluiu obras de referência, como A Meta, de Goldratt e Cox (2014), e *Operations Management*, de Stevenson (2021). Os cálculos apresentados correspondem à aplicação das equações apresentadas no referencial teórico aos dados disponibilizados por Leite et al. (2017). O estudo foi escolhido por apresentar dados completos de tempos operacionais e redistribuição das atividades, permitindo a demonstração das ferramentas expostas no referencial teórico. Após a seleção das referências, foi realizada a leitura exploratória e a análise dos conteúdos, buscando relacionar os conceitos da TOC com as técnicas de balanceamento de linhas e suas aplicações na melhoria do desempenho produtivo.

4 Análise dos Resultados e Discussões

Para ilustrar a aplicação prática do balanceamento de linhas, foi adotado como referência o estudo desenvolvido por Leite et al. (2017) em uma indústria do setor de mobiliário escolar. Nesse projeto, os autores verificaram o fluxo de produção do negócio e usaram métodos de balanceamento para mover tarefas entre as estações. A reorganização das atividades permitiu reduzir os desequilíbrios existentes na linha de produção, otimizar a utilização dos recursos disponíveis e elevar a eficiência operacional, demonstrando a importância dessa ferramenta para a melhoria contínua dos processos industriais.

4.1 Demonstração do cálculo do balanceamento

Considerando os dados do estudo, assume-se que a soma dos tempos das operações é de 18 minutos por peça e que a empresa precisa produzir 120 peças durante um turno de 480 minutos. O primeiro passo é calcular o tempo de ciclo (TC) utilizando-se da equação (1) apresentada anteriormente:

$$TC = \frac{480}{120} = 4\ min/peça$$

Dessa forma, a linha deve produzir uma peça a cada 4 minutos para atender à demanda. Em seguida, calcula-se o número mínimo de estações de trabalho por meio da fórmula (2):

$$Nmín = \frac{18}{4} = 4{,}5$$

Como não existe meia estação de trabalho, o resultado é arredondado para cima: Nmín = 5 estações. Após a redistribuição das atividades, calcula-se a eficiência do balanceamento pela equação (3):

$$E = \frac{18}{5 \times 4} \times 100 = \frac{18}{20} \times 100 = 90\%$$

Com esse resultado, a linha utiliza 90% da capacidade disponível, restando apenas 10% de tempo ocioso.

4.2. Como as restrições alteram o output

Durante o estudo, observou-se que algumas operações possuíam tempos superiores aos das demais, tornando-se restrições (gargalos) do processo. Essas estações acumulavam filas de produtos, enquanto outras permaneciam parcialmente ociosas. Por exemplo, considere a seguinte distribuição inicial das tarefas:

Tabela 1 – Distribuição dos tempos da linha

Estação	Tempo (min)
E1	3,2
E2	3,8
E3	5,1
E4	2,9
E5	3,0

Fonte: Adaptada de Leite et al. (2017)

Como o tempo de ciclo é de 4 minutos, a Estação 3, com 5,1 minutos, torna-se o gargalo da linha. Nesse caso, o Output real deixa de ser determinado pela demanda e passa a ser limitado pela estação mais lenta. Aplicando a equação (4) aos dados apresentados, obtém-se:

$$Output = \frac{480}{5{,}1} = 94\ peças/turno$$

Assim, mesmo com capacidade nas demais estações, o Output passou a ser limitado a aproximadamente 94 peças por turno.

Após o balanceamento, parte das atividades dessa estação foi redistribuída para outras com capacidade ociosa, reduzindo o gargalo e permitindo que a linha atendesse à demanda planejada. A análise mostra que a combinação entre o balanceamento de linhas e a TOC contribui para reduzir gargalos e melhorar o fluxo produtivo. A redução do gargalo também tende a diminuir o Lead Time do processo, uma vez que reduz a formação de filas entre as estações.

4.3 Contribuições da teoria das restrições ao balanceamento

Os resultados apresentados nas seções anteriores mostram que o balanceamento de linhas, por si só, não é suficiente para garantir o melhor desempenho do sistema quando existe uma estação que limita o fluxo de produção.

Nessa situação, uma redistribuição das atividades baseada apenas na busca por equilíbrio entre os postos poderia não resultar em ganhos significativos caso a restrição permanecesse inalterada. Sob a perspectiva da TOC, a prioridade consiste em identificar esse recurso crítico e direcionar as ações de melhoria para eliminar ou reduzir sua influência sobre o fluxo produtivo.

Após a identificação do gargalo, o Balanceamento de Linhas redistribui parte das operações para estações com capacidade disponível, reduzindo a sobrecarga do recurso restritivo. Dessa forma, as duas abordagens deixam de atuar de maneira isolada e passam a compor um processo integrado, no qual a TOC orienta a tomada de decisão e o balanceamento fornece os meios para sua implementação.

Observa-se, portanto, que a integração dessas ferramentas favorece uma utilização mais eficiente da capacidade produtiva. No estudo analisado, essa estratégia permitiu eliminar o principal gargalo do processo, aproximando a capacidade produtiva da demanda prevista e tornando o fluxo de produção mais equilibrado. Esses resultados reforçam que o balanceamento produz melhores resultados quando as ações de redistribuição são direcionadas previamente pela identificação da restrição do sistema.

5 Considerações Finais

Os resultados obtidos permitem responder ao objetivo proposto neste trabalho, demonstrando que a aplicação integrada da Teoria das Restrições (TOC) e do Balanceamento de Linhas contribui para melhorar o equilíbrio do fluxo produtivo. A análise prática, fundamentada no estudo de caso da indústria de mobiliário escolar de Leite et al. (2017), evidenciou que a combinação dessas técnicas permite identificar desequilíbrios, redistribuir atividades e elevar a eficiência da linha.

A aplicação da TOC evidenciou que o desempenho global não supera o recurso mais restritivo, a Estação 3, com 5,1 minutos frente a um ciclo de 4 minutos, limitou o Output a apenas 94 peças por turno. Após a redistribuição das atividades, o tempo das estações tornou-se mais equilibrado, aumentando a eficiência da linha para 90%, com apenas 10% de tempo ocioso.

A integração entre as duas abordagens reforçou a proposta apresentada na introdução de que a inteligência operacional é o alicerce estratégico das organizações competitivas (RODRIGUES, 2016). A aplicação integrada dessas técnicas permitiu identificar o gargalo da linha, redistribuir as tarefas e adequar a produção à demanda prevista de 120 peças por turno. Esse resultado está de acordo com as observações de Silveira et al. (2021).

Apesar dos resultados satisfatórios, o estudo apresenta limitações inerentes ao seu caráter bibliográfico e exploratório. Os dados numéricos utilizados partem de um único estudo de caso, restringindo a generalização das conclusões para diferentes setores produtivos. Variáveis como fadiga dos operadores, sazonalidade da demanda e falhas não planejadas de equipamentos não foram incorporadas ao modelo, elementos que, no ambiente real de produção, exercem influência direta sobre a capacidade efetiva e a eficiência de balanceamento.

Para estudos futuros, recomenda-se a aplicação empírica das duas metodologias integradas em diferentes segmentos industriais, como calçados, alimentos e automotivo, a fim de verificar a aplicabilidade do modelo em cenários com maior variabilidade de demanda. Sugere-se também a incorporação de ferramentas de simulação de eventos

discretos, como Arena ou FlexSim, para modelar dinamicamente os efeitos dos gargalos antes de intervenções físicas no layout. Dessa forma, conclui-se que a integração entre o Balanceamento de Linhas e a Teoria das Restrições constitui uma alternativa tecnicamente consistente para apoiar decisões relacionadas ao aumento da eficiência e à melhoria contínua dos sistemas produtivos.

Referências

CALLEFI, Jessica Syrio; CHIROLI, Daiane Maria De Genaro. **Definição de capacidade de produção pelo conceito de tempo-takt.** In: Simpósio de Engenharia de Produção. 2013.

DA SILVA, Fabyane Dias et al. Simulação de processos para aplicação de balanceamento de linha na indústria. **Gestão da Produção em Foco** Volume 49, p. 51, 2021.

DE OLIVEIRA, Moises Schmiedek; DE OLIVEIRA, Danilo Silva; DA SILVA, Ana Carolina Santos. APLICAÇÃO DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES (TOC)-UM ESTUDO EMPÍRICO NOS PROCESSOS ORGANIZACIONAIS DE UMA EMPRESA DE SERVIÇOS DE LIMPEZA URBANA. RECIMA21-**Revista Científica Multidisciplinar**-ISSN 2675-6218, v. 6, n. 7, p. e676572-e676572, 2025.

DE SOUSA, Francisco Kegenaldo Alves; DE OLIVEIRA, Josenildo Brito. Planejamento e **Controle da Produção:** Conceitos, Fundamentos e Aplicações no MS Excel®. Editora Appris, 2026.

GOLDRATT, E. M.; COX, J. **A meta:** Um processo de melhoria contínua. Editora Nobel, 2014.

LEITE, M. S. et al. Eficácia da heurística da utilização incremental para balanceamento de linha: estudo de caso em um processo de tratamento de superfície. **Revista Produção Online**, v. 17, n. 3, p. 781–803, 2017.

OLIVEIRA, Lucas Fernandes de. **Determinação da capacidade produtiva de uma empresa de confecção.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

RODRIGUES, M. V. **Entendendo, aprendendo e desenvolvendo sistema de produção Lean Manufacturing.** 2ª. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

SILVEIRA, Felipe Corrêa; MANSO, Felipe Roberto. **Utilização de conceitos da Teoria das Restrições para melhoria na eficiência operacional de uma farmácia.** 2021.

STEVENSON, William J. **Operations Management.** 14. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2021.