

PROJETO MECÂNICO NA OTIMIZAÇÃO DE PROCESSO DA INDÚSTRIA METALMECÂNICA PARA REDUZIR TEMPO E CUSTO DE FABRICAÇÃO

Roque Antônio de Moura¹
Messias Borges Silva²

RESUMO

O mercado globalizado e competitivo força as empresas a eliminarem perdas e despesas em seus processos. Nesse viés, este trabalho objetiva propor um projeto de dispositivo mecânico para otimizar a produtividade e reduzir tempo de fabricação de rodas ferroviárias, aproveitar melhor o leiaute industrial, reduzir custos com o aluguel e manutenção de uma empilhadeira elétrica (U\$ 19.2 K por ano). A metodologia adotada conta com pesquisa literária, mapeamento de fluxo de valores para identificar etapas do processo com atividades que não agregam valor ao produto final. Para validar o dispositivo, foi realizado ensaios virtuais e cálculos matemáticos pelo método de elementos finitos. O resultado foi um dispositivo girador de rodas que eliminou o uso de empilhadeiras, tornou o leiaute e seu ambiente ergonomicamente correto minimizando atividades humanas e apresentou um savings anual de 13% em relação ao orçamento aprovado pela Diretoria para aluguel de empilhadeira elétrica. Conclui-se que este trabalho está longe de esgotar o assunto produtividade, mas contribui através de uma proposta de redução de custos operacionais ao propor um dispositivo que substitui um veículo industrial alugado e com menor tempo de execução.

PALAVRAS-CHAVE:

Leiaute. Rodas ferroviárias. Ensaio virtual. Otimização de Processo.

ABSTRACT

The globalized and competitive market forces companies to eliminate losses and expenses in their processes. In this bias, this work aims to propose a mechanical device project to optimize productivity and reduce the time of manufacture of railway wheels, make better use of the industrial layout, reduce costs with the rental and maintenance of an electric forklift (U\$ 19.2K per year). The adopted methodology relies on literary research, mapping the flow of values to identify stages of the process with activities that do not add value to the final product. To validate the device, virtual tests and mathematical calculations were performed using the finite element method. The result was a wheel-turning device that eliminated the use of forklifts, made the layout and its environment ergonomically correct by minimizing human activities and presented an annual savings of 13% compared to the budget approved by the company's Board of Directors to rent an electric forklift. It is concluded that this work is far from exhausting the subject of productivity, but it contributes through a proposal to reduce operating costs by proposing a device that replaces a rented industrial vehicle and with less execution time.

KEYWORDS:

Railway wheels. Virtual test. Process optimization.

1 - FATEC - Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo - SP

2 - UNESP - Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita", Campus Guaratinguetá - SP

Assim como em outros setores da economia, o setor da indústria metalmeccânica tem buscado uma maior competitividade de seus produtos e serviços, através da redução de custo e impulsionando os resultados positivos e o aumento de suas capacidades de produção, como por exemplo, agrupamento de vagões para transportar mais carga se comparado a outros modais, em contrapartida há um desgaste maior dos componentes conjunto de roda, trilho e sapata de freio (ALVES, 2000; ROZA, 2000; VILLAS BÔAS, 2010).

Para Sampaio (2013), melhorias nos processos são representativas para o resultado da empresa. Nesse sentido, este trabalho de conclusão de curso visa melhorar o processo de fabricação das rodas ferroviárias no setor de usinagem, projetando um novo dispositivo que atenderá as necessidades que se encontra na produção, através de um projeto mecânico que otimizará a produtividade no processo metalmeccânico e reduzirá o tempo de fabricação.

De acordo com Liker e Convis (2013), é de extrema importância que se perceba que nenhuma operação chegará a um nível perfeito de estabilidade, portanto, algum grau dessas condições sempre existirá, pois o leiaute industrial tem influência direta na eficiência dos processos das empresas. Na empresa estudada o fluxo produtivo mostrou-se com oportunidade de melhorias, e este trabalho apresenta a análise realizada focando nos aspectos relacionados ao lead time industrial.

Relevância do tema

Necessidade de operações de manufatura com movimentação via empilhadeira, que impacta em parada de produção devido a sua complexidade e morosidade, criando oportunidade de uma nova configuração e dispositivo no leiaute atual.

Objetivo geral

Desenvolver um projeto para eliminar a operação de empilhadeira e que integre a movimentação, giro e reposicionamento das rodas ferroviárias no processo de usinagem e acabamento final.

Objetivos específicos

- Levantamento do leiaute através da ferramenta de mapeamento de fluxo de valores;
- Desenvolver projeto do dispositivo assistido por softwares Autodesk Inventor e Ansys;
- Redução do lead time eliminado o tempo de espera (manobra) da empilhadeira.

Metodologia de pesquisa utilizada

Aproveitando o leiaute atual da empresa a metodologia adotada conta com pesquisa literária, mapeamento de fluxo de valores para identificar etapas do processo com atividades que não agregam valor ao produto final, desenho de um dispositivo mecânico para validar o dispositivo, ensaio virtualmente através de cálculos matemáticos e pelo método de elementos finitos através dos softwares Autodesk Inventor (2019) e Ansys (2017).

REVISÃO TEÓRICA

Para aumentar a produtividade, muitas empresas investem no enxugamento de atividades como estratégia para gerir melhor suas operações, buscando reduzir os desperdícios no processo de modo que possa atender à demanda e agregando valor ao produto final (BHAMU e SANGWAN, 2014).

Nesse viés, o mapeamento de fluxo de valor (MFV) é uma excelente ferramenta

pois desenha o leiaute atual e permite buscar e relatar todas as atividades implicadas no processo, apontando atividades que adicionam valor e as que não adicionam valor (LASA et al., 2009; VIEIRA FILHO, 2014).

Mentalidade Enxuta

Produzir mais com menos é uma filosofia do mundo produtivo tanto na qualidade quanto na produtividade (STEFANELLI, 2007).

O termo lean que significa enxuto, foi criado na década de 80 em um projeto de pesquisa do Massachusetts Institute of Technology (MIT), como um novo paradigma ligado aos princípios de produtividade (LIKER e CONVIS, 2013).

A mentalidade enxuta é definida como sequência nas ações que criam valor para realizar atividades sem interrupção de forma cada vez mais eficaz, ou seja, fazer cada vez mais com cada vez menos recursos com fluxo contínuo, produção e qualidade requerida por (FILGUEIRAS, 2012).

Mapeamento de Fluxo de Valores (MFV)

O mapeamento do fluxo de valor (MFV), oriundo do inglês Value Streaming Map (VSM) é uma ferramenta da qualidade, que identifica o processo relacionado à produção, seja um produto ou serviço ou ainda atividades relacionadas ao tempo, como por exemplo, pegar, girar, empilhar e dispor rodas ferroviárias. Entender a fluidez do MFV permite encurtar processos e fazer melhorias (CAMPOS, 2009).

A mentalidade enxuta consiste em definir o que é valor. Diferentemente do se pensa, o fluxo de valor é uma ferramenta simples e após, constituir o fluxo e suas etapas estimula-se a implantação das mudanças e projetos propostos (FILGUEIRAS, 2012).

Os benefícios diretos do MFV estão ligados as oportunidades de melhorias, agilidade, menor tempo de execução e aplicação da filosofia 5S, criando métricas e indicadores chave de desempenho (KPI) que mensurem a performance e resultados e nesse sentido, o lead time comprometido por desperdícios como espera, transporte e movimentação, precisa de esforços extras para atender a demanda sincronizando com maior ritmo da produção e abre espaço para situações ante ergonômicas como aumento de ritmos operacionais e jornadas mais longas (ROTHER e SHOOK, 2003; IIDA e BUARQUE, 2016; MOURA et al., 2019).

Análise do leiaute atual e desperdícios envolvidos

A análise do leiaute atual, encontrou os desperdícios envolvidos no setor de usinagem referentes aos processos produtivos precisam ser buscadas diretamente no chão de fábrica para desenhar o atual fluxo de valor com mais exatidão (BONATO, 2015).

Foram identificadas as os desperdícios e perdas no processo atual, conforme Quadro 1.

Quadro 1. Perdas no processo do leiaute atual

DESPERDÍCIO	DESCRIÇÃO
Espera	Dificuldade para girar as rodas ferroviárias.
	Operadores ficam com suas máquinas paradas.
Transporte	Área de circulação com má disposição física para empilhadeira.
	Há transporte e movimentações em excesso (manobras).
Movimentação	Área adimensionada para ser o centro de trabalho.
	O condutor da empilhadeira realiza movimentação excessiva.

Fonte: Adaptado de Ohno (1997).

Luzzi (2004) sustenta que, na sociedade atual, não há mais espaço para indústrias que não estejam alinhadas com as necessidades de seus clientes. Ohno (1997) cita os desperdícios e formas para eliminá-los e o termo transporte e movimentações têm adquirido grande importância. Nesse viés, percebe-se que o leiaute atual não foi idealizado e implementado com um estudo adequado do arranjo físico para favorecer o fluxo de pessoas, veículos industriais, matéria-prima e produtos, pois não há áreas de trabalho e armazenagem demarcadas, assim como não há sinalização de corredores para circulação, com necessidade de uma empilhadeira para pegar, empilhar, dispor e retirar as rodas em cada fase e operação. Quando se completa o ciclo, há uma empilhadeira escrava que auxilia o giro as rodas empilhadas quatro a quatro conforme ilustra a Figura 1.

Figura 1. Empilhadeira Elétrica Gira as Rodas Ferroviárias Empilhadas



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Logo, os objetivos do desenvolvimento sustentável desafiam as organizações atuais, porque todas as definições e ferramentas pertinentes à sustentabilidade devem considerar o fato de que não se conhece totalmente como o sistema opera. Os principais fatores motivadores do conceito de integração segundo Bowersox et al (1986) foram o desenvolvimento de análise de custos total integrada, a aplicação do enfoque sistêmico

e o incremento da importância do serviço ao consumidor (FLEURY et al., 2000)

De acordo com Ching (2000), o alto desempenho na cadeia requer maior qualidade nos processos, foco nas necessidades do serviço prestado e redução de prazos de entrega com melhorias da qualidade concentrada de forma contínua e priorizando ações corretivas na sequência correta e assim, visualizando os processos, através de seus fluxos, é possível redesenhar a forma de fazer as coisas buscando reduzir custos e propor melhorias, tanto para os clientes internos como para os externos (KIM e JANG, 2002).

Lício (2012) ressalta a relevância da viabilização e da integração dos processos de transportes para aumentar a competitividade e aponta que uma organização é tão efetiva quanto o forem seus processos e conforme Romano et al. (2001), para que a organização possa implementar uma mudança com melhoria adequada, além de ferramentas, metodologias e técnicas apropriadas ao processo é imprescindível conhecê-lo detalhadamente e a partir desta leitura, pode-se definir qual processo será aprofundado para que seja possível identificar o potencial da melhoria (CRUZ, 2004).

De acordo com Liker e Convis (2013), é de extrema importância que se perceba que nenhuma operação chegará a um nível perfeito de estabilidade, portanto, algum grau dessas condições sempre existirá e basicamente, o estudo da capacidade verificará se o processo consegue atender às especificações (RAMOS, 2003).

Niemann (2016) nos ensina que o projeto do dispositivo para realizar o giro das rodas sem a necessidade de usar empilhadeira, precisa ser planejado conforme geometria, peso e dimensional das rodas de maneira que o novo dispositivo não seja um gargalo produtivo.

Análise pelo Método dos Elementos Finitos (MEF)

O conceito da análise estrutural pelo método dos elementos finitos é largamente usado por ser simples, porém com cálculos matemáticos complexos. O MEF é muito utilizado no contexto de análise estrutural, embora possa também ser empregado na mecânica dos fluidos, análises de transferência de calor, eletromagnetismo e outras (ALMEIDA, 2014).

Conforme Mirlisenna (2016), o MEF tornou-se relativamente fácil de usar, devido à disponibilidade de softwares comerciais de análise, muitos dos quais têm interface com diversos softwares de modelagem de desenho. Materiais de construção e seus elementos que mantêm as propriedades são descritos por equações diferenciais e resolvidos por modelos matemáticos para que sejam verificados os resultados dividindo o domínio do problema em sub-regiões de geometria simples em uma quantidade finita conectados por nós, originando a malha ou discretização, e dessa divisão da geometria em elementos a análise pelo método de elementos finitos (ALVES FILHO, 2007).

A análise estrutural conforme padrão internacional consiste em obter uma resposta das condições de contorno aplicadas a uma estrutura e avaliar o comportamento aos esforços e deslocamentos aplicados a estrutura metálica, componentes mecânicos, ferramentais e elementos de máquinas através do pós-processamento com respostas em formato de curvas de contornos com distribuições de tensões, deformação, deslocamento e fator de segurança confirmados por modelos matemáticos (AZEVEDO, 2014).

Os ensaios mais comuns de análise estrutural são análise estática, dinâmica,

modal, harmônica, tensão e deslocamento levando em consideração os efeitos de inércia e amortecimento considerando os efeitos do carregamento estático e as cargas que variam com o tempo, sendo os carregamentos aplicados as forças, pressões externas e deslocamentos diferentes de zero (SORIANO, 2003).

METODOLOGIA

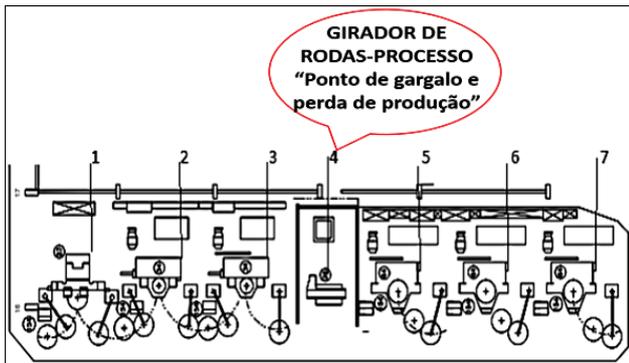
O método adotado foi uma pesquisa bibliográfica com relatos detalhados da literatura e suas revisões para melhor analisar o passado e assim se preparar para o futuro (MIGUEL, 2012).

Lakatos e Marconi (2001) e o método dedutivo utilizado neste estudo utilizando teorias previamente estabelecidas e contemplando um estudo exploratório através de um levantamento dos principais estudos, com natureza básica, referindo-se ao estudo destinado a aumentar a base de conhecimento científico. Ainda segundo a metodologia proposta por Lakatos & Marconi (2001) e Miguel (2012), o procedimento técnico exercido é de estudo bibliográfico, podendo ajudar profissionais da área a exercer projetos com melhor qualidade para otimizar ciclo e tempo de manufatura.

Mapeamento do Leiaute Atual

Para um completo entendimento dos processos, com visão ampla e assim estruturar a proposta de melhoria, executou-se o mapeamento do fluxo para identificar os pontos críticos, gargalos e visualizar os pontos de oportunidade de melhorias com a implantação do novo dispositivo girador de rodas conforme Figura 2.

Figura 2. Mapeamento do Leiaute e Fluxo Atual



Fonte: Elaborado pelos Autores (2020).

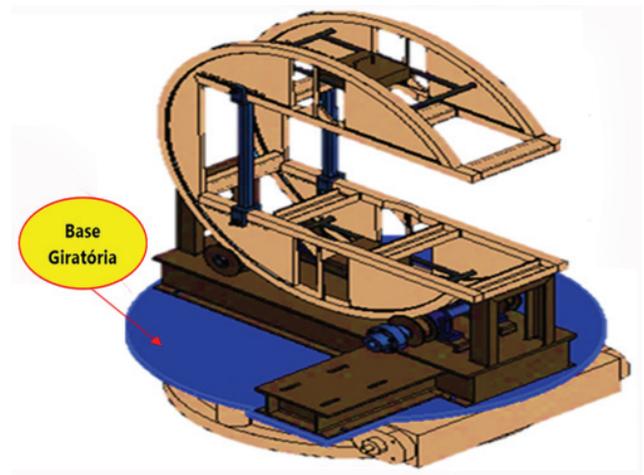
Ao passar pelo setor de usinagem cria-se o gargalo, o principal problema é a dificuldade e a perda de tempo que o operador de empilhadeira encontra ao chegar com a carga no girador de rodas, mas não consegue entrar com a carga direto no girador, como deveria. Deixa-se a carga perto do equipamento e em seguida fica dependendo de uma nova movimentação com empilhadeira para girar e assim seguir o fluxo de produção. Há aumento do lead time, perda por espera, desorganização do trabalho e ambiente anti-ergonômico da atividade pela presença humana do condutor (MOURA et al., 2019).

Desenvolvimento do dispositivo e definição técnica para girar as rodas

Identificadas as oportunidades de melhoria, os desperdícios existentes e um completo entendimento do processo, um novo dispositivo para girar as rodas foi proposto para otimizar o processo em até 20% considerando um modelo simples de roda ferroviária (roda básica) que passa por cinco operações, carregamento da máquina, três giros e descarregamento com empilhamento quatro a quatro o tempo de dez a doze minutos para cada fase do processo utilizando uma empilhadeira.

Após analisar como é realizado todo o processo para girar a pilha de rodas, estabeleceu-se que o tipo de dispositivo teria que atender não só o leiaute atual como principalmente liberar a mão de obra existente (empilhadeira), definiu-se que o dispositivo deveria ter um ângulo de liberdade para girar 180° com cargas e sem carga tanto no sentido horário e anti-horário (Figura 3) sem operadores para girar.

Figura 3. Dispositivo Proposto.

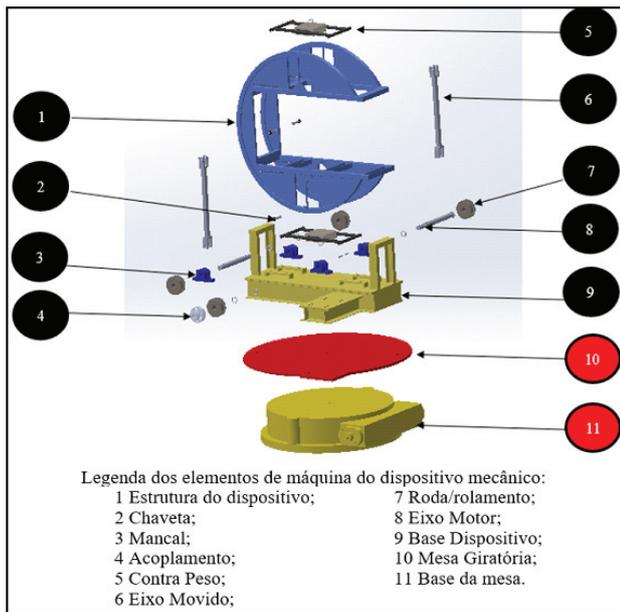


Fonte: Elaborado no software Ansys pelos Autores (2020).

Para as análises e ensaios virtuais foi utilizado o software Ansys 2017, através das análises de elementos finitos, e para modelagem, desenvolvimento e detalhamento dos desenhos do projeto foi utilizado o Autodesk Inventor 2019.

O dispositivo será acionado eletricamente, a mesa com a carga fará um movimento de giro de até 180°, deixando a carga pronta para ser carregada nas máquinas e na retirada da carga, a mesa giratória fará movimento inverso guiada por trilhos, sensores e atuadores. Não foi disponibilizado o sistema elétrico por não ser objeto deste trabalho de desenvolvimento que se limitou ao projeto mecânico, ensaios e validação, conforme ilustra a Figura 4.

Figura 4. Vista explodida do dispositivo



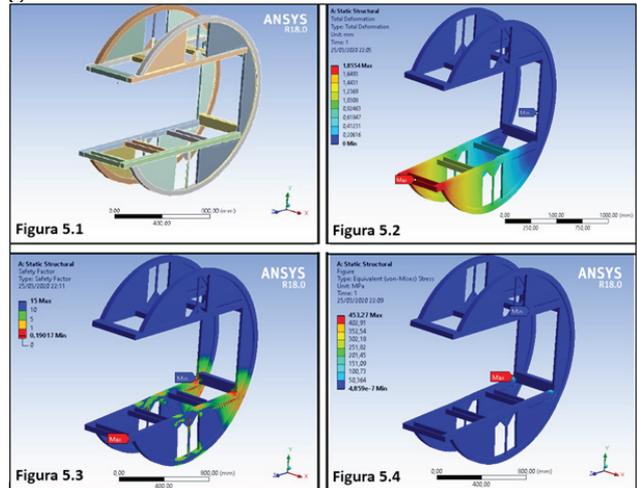
Fonte: Elaborado no software Ansys pelos Autores (2020).

A vista explodida do dispositivo, é útil para efeito operacional e limpeza de todo o sistema. Também, o projeto em vista explodida com seus elementos mecânicos da máquina, facilitam uma rápida visualização favorecendo sua manutenção.

Nos ensaios virtuais propostos no projeto, a Figura 5 ilustra o dispositivo, sua análise estrutural (Figura 5.1), ensaio do fator de deslocamento com análise deslocamento axial e transversal (Figura 5.2), ensaio para determinar o fator de segurança (Figura 5.3) que é primordial para não causar acidentes, estando este dentro do planejado e ensaio com análise de tensão no dispositivo girador de rodas com carga (Figura 5.4).

Todos os ensaios obtiveram resultados que atendem a proposta do projeto. Ressalta-se que todos os resultados devem estar em conformidade com os requisitos requeridos e para garantir a eficiência do projeto estrutural mecânico (HIBBELER, 2014).

Figura 5. Análise estrutural do dispositivo girador de rodas.



Fonte: Elaborado no software Ansys pelos Autores (2020).

Os softwares utilizados no desenvolvimento do projeto foram o Autodesk Inventor para modelagem e detalhamento de todo o projeto e para a simulação e análise estrutural, o programa de análise pelo método dos elementos finitos Ansys.

Outra desperdício por subutilização identificado, foi a disponibilização do uso da mão de obra (condutor da empilhadeira), pois de acordo com os conceitos da produção enxuta, operações padronizadas e repetitivas podem ser otimizadas e por se tratar de uma atividade rotineira e com tendência a monotonia, pode-se automatizar e nesse situação, sem uso da empilhadeira, melhorando a organização, segurança e ergonomia do trabalho e da atividade (IIDA e BUARQUE, 2016; MOURA et al., 2019).

RESULTADOS E ANÁLISES

A proposta do projeto de dispositivo girador de rodas ferroviárias, elaborada com base no leiaute e processo já utilizado, através do mapeamento do fluxo de valor, obteve os resultados conforme Tabela 1.

Tabela 1. Comparativo e ganhos com adoção

do projeto para eliminar a empilhadeira

ITEM	ANTES	APÓS	% SAVINGS
Lead time (minutos)	60	48	20%
Manutenção empilhadeira (horas/ano)	8.100	0	100%
Mão de obra (empilhadeirista)	1	0	100%
Aluguel empilhadeira (US\$/ano)	19,120	0	100%
Riscos ergonômico da atividade	Sim	Não	

CONCLUSÕES

O atual cenário de alta competitividade obriga as empresas a buscarem constantemente meios de otimizar seus processos e eliminar desperdícios de forma a oferecer produtos cada vez mais confiáveis, inovadores, preço competitivo e entrega ágil. Dessa forma, foi desenvolvido o projeto que elimina a operação de empilhadeira e integra a movimentação, giro e reposicionamento das rodas ferroviárias no processo de usinagem e acabamento final, resultando em um menor lead time.

O levantamento e mapeamento de fluxo de valores do leiaute industrial atual, foi fundamental para tornar o processo de usinagem e acabamento das roda ferroviárias mais enxuta com visualização de todo o processo e identificação das fontes de desperdícios com atividades que não agregam valor ao produto final, possibilitando melhoria com o dispositivo para girar e reposicionar as rodas ferroviárias, aproveitando melhor o leiaute e reduzindo o lead time do processo,

pela eliminação do tempo de espera (manobra) da empilhadeira.

O dispositivo, desenvolvido com assistência dos softwares Autodesk Inventor e Ansys, atende ao seu objetivo da necessidade da organização de otimizar seu processo produtivo, com eliminação de desperdício (espera e movimentações) contribuindo assim para aumento da sua capacidade produtiva e maior competitividade no mercado.

Conclui-se que este trabalho está longe de esgotar o assunto produtividade, mas contribui através de uma revisão bibliográfica detalhada e uma proposta de um dispositivo que gira, empilha e posiciona as rodas ferroviárias de forma enxuta e com menor índice de movimentação e sem uso de empilhadeira.

REFERÊNCIAS

- ALVES, L. H. D. Mecanismo de desgaste de rodas ferroviárias. São Paulo, 2000. 125f. Dissertação (Mestrado Engenharia Mecânica). Escola Politécnica, Universidade São Paulo.
- ALMEIDA, S. R. M. Método dos elementos finitos. Faculdade Federal de Goiás, Goiânia / Go, 2014.
- ALVES FILHO, A. Elementos Finitos A Base da Tecnologia CAE. 5. ed. São Paulo: Érica LTDA, 2007.
- AZEVEDO, D. F. O. Análise estrutural com Ansys Workbench: Static Structural. Mogi das Cruzes, São Paulo, 2014.
- BHAMU, J.; SANGWAN, K. S. Lean manufacturing: literature review and research issues. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 34, n. 7, p. 876-940, 2014. <http://dx.doi.org/doi:10.1108/IJOPM-08-2012-0315>.
- BONATO, S. V. (2015). Melhoria de processos produtivos através do mapeamento do fluxo de valor. Análise da Implantação da Manutenção Produtiva Total na área de Estamparia em Empresa do Setor Automobilístico. Taubaté: Universidade de Taubaté.
- BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.; HELFERICH, O. K. *Logistical management: a systems integration of phy-*

sical distribution, manufacturing support, and materials procurement. 1986.

CAMPOS, V. O verdadeiro poder. Nova Lima: INDG Tecnologia/Serviço Ltda, 159 p. 2009.

CHING, H. Y. Gestão de estoques na cadeia de logística integrada-supply chain. Editora Atlas SA, 2000.

CRUZ, T. Workflow II: a tecnologia que revolucionou processos. Editora E-papers, 2004.

FILGUEIRAS, F. S. A produção enxuta aplicada em uma empresa de comércio de aparas de papel, releitura de WOMACK, James P., JONES, Daniel T., ROOS, Daniel. A máquina que mudou o Mundo. 11ª ed. Rio Janeiro: Campus. 2012.

FLEURY, P. F. WANKE. P. FIGUEIREDO, K. F. Logística empresarial: a perspectiva brasileira. São Paulo: Atlas, 2000.

HIBBELER, R. C. Resistência dos materiais. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2014.

IIDA I.; BUARQUE L. Ergonomia Projeto e Produção. São Paulo: Blucher, 2016.

KIM, S.; JANG, K. Designing performance analysis and IDEFO for enterprise modelling in BPR. International Journal of production economics, v. 76, n. 2, p. 121-133, 2002.

LAKATOS, E. M, MARCONI, M. A. Metodologia de trabalho científico: procedimentos básicos, pesquisas bibliográficas, projetos, relatórios, publicação e trabalho científico. São Paulo: Atlas. 2001.

LASA, I. S.; CASTRO, R.; LABURU, C. O. Extent of the use of lean concepts proposed for a value stream mapping application. Production Planning & Control, v.20, n.1, p.82-98,2009. <http://dx.doi.org/10.1080/09537280802685322>.

LÍCIO, A. Os eixos estruturadores e os corredores de transportes. Revista de política agrícola, v. 4, n. 4, p. 3-4, 2012.

LIKER, J. K., & CONVIS, G. L. (2013). O Modelo Toyota de Liderança Lean. Porto Alegre/RS. Bookman.

LONDE, B. J. Evolution of the integrated logistics concept. Logistics Handbook, Free Press, New York, NY, p. 3-12, 1994.

LUZZI, A. A. Uma abordagem para projetos de layout industrial em sistemas de produção enxuta: um estudo de caso. 2004.

MIGUEL, P. A. C., Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações, 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO. 2012.

MIRLISENNA G. Método dos Elementos Finitos: o que é? ESSS. 22 de janeiro de 2016, 15:23. Disponível: [https://www.esss.co/blog/metodo-dos-elementos-](https://www.esss.co/blog/metodo-dos-elementos-finitos-o-que-e/)

[finitos-o-que-e/](https://www.esss.co/blog/metodo-dos-elementos-finitos-o-que-e/), 2016.

MOURA, R. A.; JESUS, N. M. R.; SOUZA, R. S. Antropometria e ergonomia como ferramentas de vanguarda produtivas nas indústrias do futuro. Revista Sodebrás. Volume nº 14. 2019. DOI: <https://doi.org/10.29367/issn.1809-3957.2019.157>. Edição nº 157. Janeiro/2019, p.109-112. ISSN. 1809-3957.

NIEMANN, G. Elementos Máquinas, Volume 2. Ed. Edgar Blusher, 2016.

OHNO, T. O sistema Toyota de produção além da produção. Bookman, 1997.

RAMOS, E. M. L. S. et al. Aperfeiçoamento e desenvolvimento de ferramentas do controle estatístico da qualidade: utilizando quartis para estimar o desvio padrão. 2003.

ROMANO, F. V.; BACK, N.; OLIVEIRA, R. A importância da modelagem do processo de projeto para o desenvolvimento integrado de edificações. In: workshop de gestão do processo de projeto na construção de edifícios, São Carlos. 2001.

ROTHER, M.; SHOOK, J. Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício. SP: Lean Institute Brasil. 2003.

RUTHERFORD, I. D. Use of models to link indicators of sustainable development. Scope-scientific committee on problems of the environment international council of scientific unions, v. 58, p. 54-58, 1997.

ROZA, L. C. Teoria da tração e da frenagem, In: Tratado de Estradas de Ferro. Material Rodante, parte II, Conceitos Teóricos, item 1. 1ª ed. Rio de Janeiro: Reflexus Estúdio de Produção Gráfica, 2000. p.23-50.

SAMPAIO, Maria Fernanda Abreu. Reengenharia de Sistemas de Informação. 2003.

SORIANO, Humberto Lima. Método de Elementos Finitos em Análise de Estruturas. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2003.

STEFANELLI, P. Utilização da contabilidade dos ganhos como ferramenta para tomada de decisão em um ambiente com aplicação conceitual de produção enxuta, tomada de decisão em um ambiente com os conceitos de produção enxuta. São Carlos/SP, Brasil: USP. 2007.

VIEIRA FILHO, G. Gestão da Qualidade Total: uma abordagem prática. Alínea; Edição: Administração (2014).

VILLAS BÔAS, R. L., Desenvolvimento de aço micro ligado para rodas ferroviárias. 2010. ■