

30 de setembro a 4 de outubro
Ponta Grossa - PR - Brasil

PROPOSTA DE UM MODELO INTEGRATIVO BASEADO EM AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA E MAPEAMENTO DE FLUXO DE VALOR

PROPOSAL OF AN INTEGRATIVE MODEL BASED ON LIFE CYCLE ASSESSMENT AND VALUE STREAM MAPPING

ÁREA TEMÁTICA: GESTÃO DE OPERAÇÕES E LOGÍSTICA

Rodrigo Salvador, UTFPR, Brasil, salvador.rodrigors@gmail.com

Murillo Vetroni Barros, UTFPR, Brasil, murillo.vetroni@gmail.com

Antonio Carlos de Francisco, UTFPR, Brasil, acfrancisco@utfpr.edu.br

Cassiano Moro Piekarski, UTFPR, Brasil, piekarski@utfpr.edu.br

Resumo

O acirramento econômico, juntamente com a necessidade de proteção ambiental, pode representar um desafio para empresas despreparadas. Integrar o compromisso ambiental com as preocupações da manufatura parece inevitável para uma conduta mais sustentável e coerente com os desafios de uma gestão 4.0. No cenário contemporâneo, o Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) vem trazendo novas perspectivas para a economia das empresas, melhorando o desempenho produtivo, enquanto a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), tem se mostrado a ferramenta mais completa para avaliação ambiental. Portanto, o presente estudo tem o objetivo propor um modelo baseado na integração da Avaliação do Ciclo de Vida e Mapeamento de Fluxo de Valor para melhorar os aspectos ambientais-econômico de sistemas de manufatura, o Modelo ACV-MFV. Possíveis pontos de integração, sobreposições e ganhos potenciais entre ACV e MFV foram encontrados e apresentados. O modelo ACV-MFV permite identificar os impactos das atividades que Agregam Valor e que Não Agregam Valor, fornece uma ferramenta robusta para priorizar medidas de ações para melhorar o desempenho ambiental-econômico e, ao contrário de muitas ferramentas/métodos/frameworks, estimula a melhoria contínua em vez de uma aplicação em abordagem única. A principal contribuição deste trabalho é fornecer uma abordagem estruturada para uma integração prática de ACV e MFV, cobrindo a lacuna de pesquisa sobre orientação prática de como aplicar princípios mais sustentáveis em uma organização.

Palavras-chave: Impacto ambiental; Gestão ambiental; Sustentabilidade; ACV; MFV.

Abstract

Economy fierceness along with the need for environmental protection can be a challenge to unprepared companies. Integrating environmental commitment with manufacturing concerns seems unavoidable towards a more sustainable conduct and coherent with the challenges of management 4.0. In the contemporary scenario, Value Stream Mapping (VSM) has been bringing new perspectives into companies' economics, improving productive performance, whereas Life Cycle Assessment (LCA) has been seen as the most complete tool for environmental assessment. Therefore, the present study aimed to propose a model based on the integration of Life Cycle Assessment and Value Stream Mapping to improve environmental and manufacturing aspects of organizations, the LCA-VSM Model. Possible spots for integration, overlaps and potential gains between LCA and VSM were found and presented. The LCA-VSM model allows identifying impacts of Value Added and Non-Value Added

activities, provides a robust tool for prioritizing actions measures to improve the environmental-economic performance and, unlike many tools/methods/frameworks, it encourages continuous improvement instead of a one-off approach. The main contribution of this paper is providing a structured approach to a practical integration of LCA and VSM, covering the research gap on practical guidance on how to apply more sustainable principles in an organization.

Keywords: *Environmental Impact; Environmental Management; Sustainability; LCA; VSM.*

1. INTRODUÇÃO

O cenário mundial competitivo exige de uma gestão 4.0, onde as organizações tomem medidas estratégicas com o objetivo de gerar vantagem competitiva, adentrar novos mercados e encontrar potenciais consumidores. Para isso, as empresas estão tomando iniciativas na utilização de ferramentas que potencializam uma manufatura sustentável. Ressalta-se que tais medidas não são atuais. As empresas vêm buscando ações concretas para aperfeiçoar técnicas e ferramentas de gestão e o planejamento estratégico, principalmente no atual contexto da Administração 4.0.

A manufatura tem um papel importante na movimentação em direção a uma sociedade mais sustentável (Despeisse et al., 2012), e uma das principais filosofias aplicada na indústria de manufatura é o *Lean Manufacturing* (LM), também conhecido como Produção Enxuta (PE), que é um sistema que trata de uma série de aplicações práticas de gerenciamento, redução de desperdício e aumento da eficiência. E para alcançar todas essas metas da PE, o Mapa de Fluxo de Valor (MFV) é a principal ferramenta da PE.

Por outro lado, as empresas não podem mais ignorar as preocupações ambientais, a conservação ambiental é uma exigência do cliente, mesmo que não explícita (Miehe et al., 2016; Dües et al., 2013). E uma das ferramentas mais utilizadas na atualidade para mensurar o potencial impacto ambiental de produtos é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Sendo uma ferramenta capaz de medir os impactos ambientais positivos e negativos de todo o ciclo de vida de um produto, serviço, processo ou atividade (Bhatt et al., 2019).

Sendo o MFV a principal ferramenta da PE, e a ACV a principal ferramenta da Produção Verde (PV), também conhecida como *Green Manufacturing* (GM) (Dües et al., 2013), surge uma lacuna de pesquisa, que pode ser expressa pela seguinte pergunta: **Como pode-se integrar a ACV e o MFV de modo a identificar melhorias ambientais-econômico na manufatura?**

Na literatura, identifica-se alguns estudos que apresentam uso paralelo de ACV e MFV (ver, por exemplo, Abreu et al., 2017; Banawi e Bilec, 2014; Pampanelli et al., 2014). Todavia, tais estudos não apresentam real integração entre ACV e MFV, utilizando apenas as duas ferramentas de modo individual para realizar análises de cunho ambiental e econômico.

Partindo dessa perspectiva, este estudo tem como objetivo propor um modelo baseado na integração da ACV e MFV. O modelo é direcionado para organizações que visam a melhoria de processos manufatureiros, contribuindo com o aspecto prático; e, para pesquisadores com objetivo de compreender a teoria e a aplicação do modelo, contribuindo com o aspecto teórico.

O artigo está estruturado como segue. A primeira seção apresentou as considerações iniciais do tema, a lacuna de pesquisa e o objetivo do trabalho. A seção 2 contextualiza a perspectiva *Lean & Green* e apresenta as ferramentas a serem integradas. A seção 3 descreve o método para integração de ACV e MFV (modelo proposto). A quarta seção realiza uma aplicação do Modelo ACV-MFV. A quinta seção conclui o trabalho e apresenta oportunidades para estudos futuros.

2. PERSPECTIVA LEAN & GREEN

Considerando as constantes mudanças econômicas e ambientais no atual contexto mundial, e com as crescentes mudanças tecnológicas, em uma administração 4.0 é necessário buscar o

gerenciamento dos recursos, tanto econômico quanto ambiental. Pampanelli et al. (2014) defendem que é necessário haver estabilidade nas abordagens *Lean* e *Green* separadamente para que sejam integradas de forma coerentes. As práticas verdes podem ser mais eficazes eliminando o desperdício trazido à luz pela aplicação de práticas enxutas (Womack e Jones, 1998). Além disso, Pampanelli et al. (2014) concluem que é necessário ser enxuto primeiro, para que então um processo seja capaz de integrar *Lean* e *Green*. Não obstante, os autores afirmam que são necessárias mais pesquisas sobre a integração de *Lean* e *Green* nos níveis de fábrica e cadeia de suprimentos.

Segundo Ramos et al. (2018), muitos estudos têm demonstrado que a PE pode ser uma abordagem útil para a sustentabilidade, já que a PV e a PE têm metas de redução de desperdício. Há evidências de que as ações de PE podem ajudar o desempenho ambiental e que ações ambientais podem ajudar no desempenho das atividades de manufatura (Pampanelli et al., 2014).

Dües et al. (2013) afirmam que a PE e a PV podem diferir em alguns aspectos, como quando a PE procura ter uma alta frequência de entrega devido às baixas necessidades de estoque, enquanto a PV procura o oposto devido aos maiores impactos associados aos sistemas de entrega de alta frequência. Para trabalhar adequadamente com PE e PV é necessário identificar indicadores que combinem tais abordagens (Abreu et al., 2017). Bergmiller e Mccright (2009) afirmam que as empresas que usam sinergicamente as práticas de PE e PV tendem a ter melhores resultados do que as empresas que usam a PE de forma isolada.

Neste contexto, como pode ser claramente visto na literatura (ver, por exemplo, Dües et al., 2013), o MFV é a ferramenta mais utilizada para a integração de PE e PV. O uso de MFV junto com ferramentas ambientais pode melhorar a ecoeficiência (Huppés e Ishikawa, 2005). Por estes motivos, a ACV é a ferramenta mais utilizada para a gestão ambiental (Bocken et al., 2012). Tanto a PE quanto a PV lutam contra o desperdício, o qual é percebido pelo MFV como não tendo valor agregado (Bicheno e Holweg, 2000) e pela ACV, e a gestão ambiental em geral, como uso desnecessário de recursos (EPA, 2006).

Ramos et al. (2018) mostram que a implementação de programas que visam satisfazer as necessidades dos clientes pode desviar a empresa de se tornar mais ecológica e/ou mais limpa, uma vez que a necessidade/desejo do cliente pode exigir muito da empresa, não deixando muito espaço para esforços preventivos. Apesar do relacionamento próximo, as ferramentas de PE não foram projetadas para facilitar as ações ambientais, assim como as ferramentas ambientais não se concentram em questões financeiras (Litos et al., 2017).

Apesar disso, claramente, há sobreposições entre MFV e ACV, como mostrado na Figura 1. Assim, encontrar uma maneira de integrar medidas ambientais à PE pode promover uma decisão conjunta e tornar os sistemas mais sustentáveis.

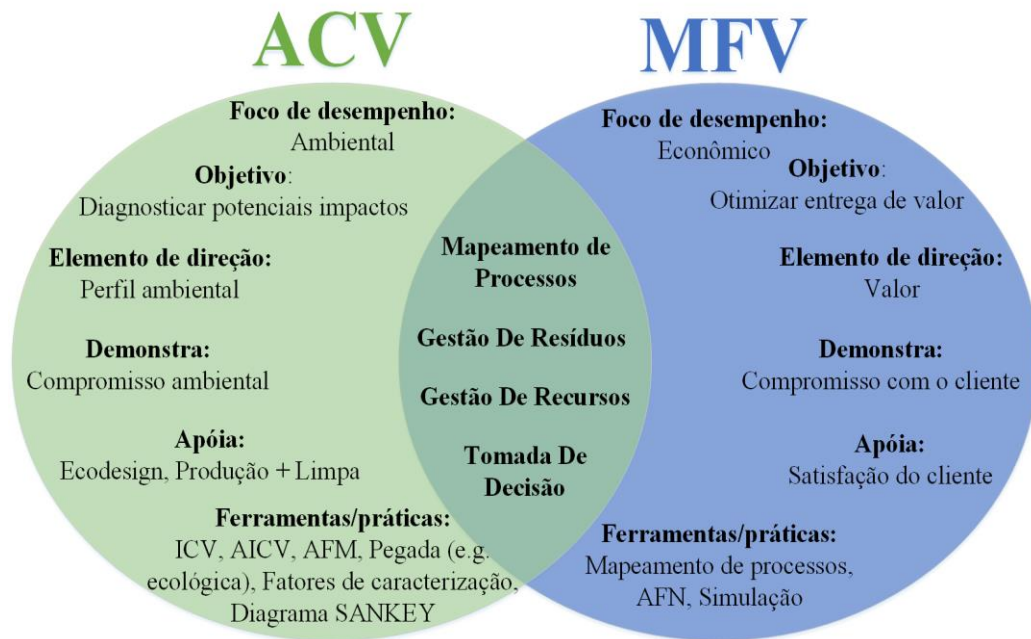


Figura 1 - Sobreposição entre ACV e MFV

Fonte: Autoria Própria (2019)

O principal objetivo comum entre MFV e ACV é a redução de resíduos do ponto de vista ambiental. ACV e MFV são vistas como ferramentas distintas. No entanto, pode-se observar que elas podem ser aplicadas simultaneamente e em paralelo, e criam potencial para melhorias e ganhos em ambas as áreas. Mesmo assim, a sobreposição pode identificar ações que englobem as duas dimensões, como mapeamento de processos, gerenciamento de resíduos e recursos, e tomada de decisão.

Além disso, a Figura 2 apresenta um modelo conceitual de entradas e resultados potenciais da aplicação integrada de ACV e MFV em um processo, produto e/ou atividade.

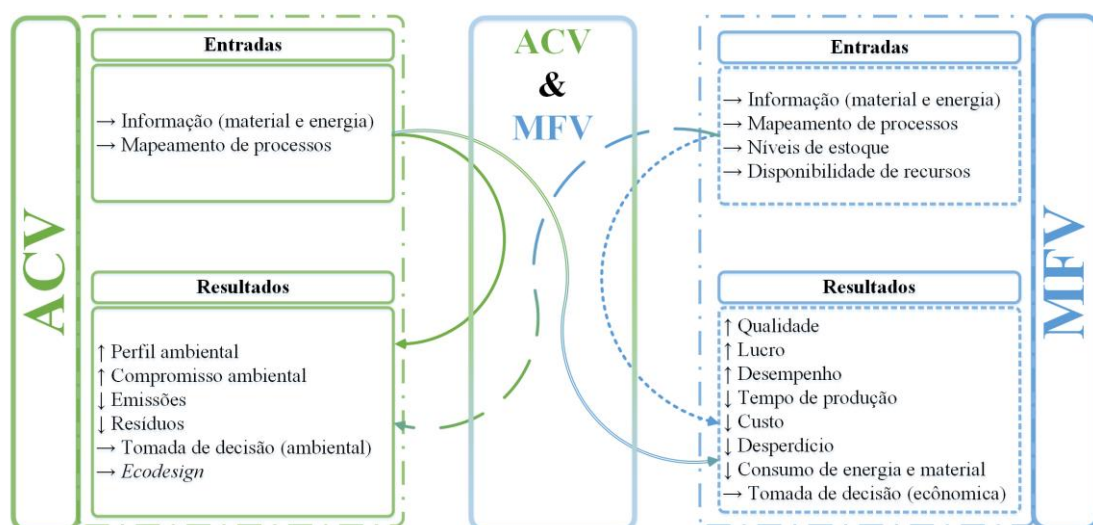


Figura 2 - Possíveis caminhos para entradas e resultados potenciais de ACV e MFV

Fonte: Autoria Própria (2019)

Ao conduzir um MFV e/ou uma ACV, muitas entradas são computadas, a fim de realizar o estudo. Alguns deles são semelhantes e podem ser compartilhados quando as ferramentas são aplicadas conjuntamente. Além disso, há entradas que influenciarão apenas os resultados de uma ferramenta, como o mapeamento de processos começando no MFV pode resultar em aumento de desempenho de um produto, redução no tempo de processamento, redução de custos e, conseqüentemente, aumento do lucro. No entanto, há entradas que, após processadas, irão influenciar as duas ferramentas, como o mapeamento de processos a partir da ACV, que pode gerar resultados de redução de desperdício, energia e recursos naturais. Portanto, muitos são os caminhos possíveis ao integrar ACV e MFV conforme ilustrado na Figura 2.

Esses caminhos dependerão do tipo de empresa/indústria, o principal objetivo para aplicação das ferramentas, e todas as demais características da empresa. As áreas mais diversas, como indústria de manufatura, hotéis, serviços públicos, universidades, *e-commerce* e outras, podem encontrar uso neste modelo, partindo das entradas e alcançando resultados. Os resultados potenciais são vistos como uma melhoria para a organização em aspectos ambiental-econômico, baseado na perspectiva da Administração 4.0. Visando um melhor entendimento do que são as ferramentas ACV e MFV, e como elas funcionam, as duas próximas subseções tratarão de apresentá-las.

2.1. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

A ACV permite uma avaliação não só dos produtos, mas dos processos e atividades industriais (Salvador et al., 2019). Uma ACV permite modelar as interações complexas entre um sistema de produção e o ambiente, identificando as principais fontes de impactos (*hotspots*) (Pampanelli et al., 2014). A ferramenta ACV é estruturada em duas normas, ABNT NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a) e ABNT NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b). Essas normas cobrem princípios, estrutura, requisitos e orientações sobre como conduzir um estudo de ACV. A aplicação da ferramenta compreende quatro fases iterativas, a saber: (1) definição de objetivo e escopo, (2) Análise de Inventário de Ciclo de Vida (ICV), (3) Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) e (4) interpretação (ABNT, 2009a, b).

A fase de definição de objetivo e escopo visa determinar o objetivo e as necessidades do estudo, definição do público alvo e requisitos para o relatório de resultados, além da definição de escopo e limites, metodologia a ser utilizada para coleta de dados, entendimento do local de estudo e definição da unidade funcional e do fluxo de referência. Para Ding et al. (2019) a ferramenta representa um método maduro e universal em termos de normalização e ponderação da informação. A análise de ICV compreende a fase da ACV onde todas as entradas e saídas do sistema são identificadas e quantificadas, dadas as características do estudo definidas na primeira fase. Entradas do sistema podem ser consideradas basicamente matérias-primas e energia. As saídas são emissões, resíduos, coprodutos e subprodutos. Na fase de AICV, os fatores de caracterização são cruzados com todos os dados de inventário para qualificar e quantificar os impactos ambientais específicos. Por fim, durante a interpretação são identificados os *hotspots* no ciclo de vida do produto que necessitam de melhorias, além de ser realizada uma avaliação do estudo, apontando as limitações, recomendações e conclusões do mesmo. Como todas as fases anteriores são iterativas e conectadas à fase de interpretação, a revisão crítica é necessária durante todas elas, a fim de identificar possíveis falhas e limitações que mudariam (ou exigiriam mudanças) nas características do estudo.

Tendo apresentado a ferramenta ACV, a próxima subseção tratará da ferramenta MFV.

2.2. MAPEAMENTO DE FLUXO DE VALOR

Conforme definido por Womack et al. (1990) e defendida por muitos, se não todos, autores de PE, sua filosofia é “fazer mais com menos”. Desenvolvido no Japão (Rohani e Zahraee, 2015)

e originado de práticas de Manutenção Produtiva Total (*Total Productive Maintenance - TPM*) (Roosen e Pons, 2013), a PE visa reduzir custos e defeitos (Ohno, 1988) e ser focado no cliente (Jabbour et al., 2013). O objetivo da PE é procurar otimizar a qualidade, a entrega e os custos (Bicheno e Holweg, 2000) e reduzir a variabilidade, minimizando várias formas de desperdício (Shah e Ward, 2003).

As sete formas de desperdício amplamente discutidas na PE, segundo Ohno (1988), são: superprodução, estoque, transporte, movimento, defeitos, espera e superprocessamento. Além disso, para buscar a redução dessas formas de desperdícios, há cinco princípios que devem ser colocados em prática (Womack e Jones, 1998). Portanto, para aplicar PE, deve-se (1) especificar o valor, onde o valor deve ser especificado da perspectiva do cliente; (2) identificar fluxos de valor, localizando o fluxo de valor ao longo da cadeia de valor; (3) fazer o valor fluir, fazendo um fluxo ininterrupto sempre que possível; (4) deixar o cliente puxar o valor, a partir do final da cadeia de valor e; (5) buscar a perfeição (Hallam e Contreras, 2016). Além disso, Womack e Jones (1998) afirmam que o pensamento enxuto é baseado no *Kaizen*, que é uma palavra japonesa para “melhoria contínua”. A abordagem se baseia na identificação de um problema (cultura da solução de problemas - corroborando com uma Administração 4.0) e na participação de pessoas para resolvê-lo (engajamento de pessoas).

Em uma abordagem prática, o MFV é a principal ferramenta da PE (Dües et al., 2013). O MFV pode ser descrito como o conjunto de atividades que Agregam Valor (AV) e que Não Agregam Valor (NAV), necessárias para levar os produtos através de todos os fluxos essenciais, desde as matérias-primas até os clientes (Rother e Shook, 2003). Ainda, ajuda a eliminar as atividades NAV (Abdulmalek e Rajgopal, 2007). Como amplamente encontrado na literatura, muitos autores concordam com Sundar et al. (2014) que para conduzir um MFV deve-se: selecionar uma família de produtos, criar um mapa de estado atual (usando as métricas pertinentes de PE), criar um mapa de estado futuro e um plano de implementação. Realizar um MFV permite identificar gargalos, onde o tempo é desperdiçado em atividades de NAV, além de permitir a comparação entre os estados atual e futuro (desejado).

Além disso, o MFV é considerado uma técnica enxuta para melhorar a eficiência, identificando fluxos de materiais, energia e resíduos, e especifica as atividades, tempos de ciclo, tempos de inatividade e atrasos (Paju, et al., 2010). Em outra perspectiva, o MFV pode ser entendido como tudo aquilo que agrega valor e que não agrega valor do ponto de vista do cliente (Thiede et al., 2016). A partir disso, o MFV pode ser interessante em uma aplicação industrial, com processos conectados, com o objetivo de aumentar a eficiência, reduzir locais que não agreguem valor e, assim, evitar custos.

Tendo apresentado ambas as ferramentas de destaque no contexto *Lean & Green*, dado o atual contexto de gestão, a próxima seção irá apresentar o modelo proposto para integração das mesmas rumo à uma manufatura mais econômica e ambientalmente sustentável.

3. PROPOSTA DO MODELO ACV E MFV

Atualmente as ferramentas de avaliação de sustentabilidade para as organizações são complexas, exigem informações e conhecimento técnico para utilizá-las (Paju et al., 2010), faltando abordagens que se beneficiem de ferramentas como ACV e MFV, para permitir a consideração simultânea dos objetivos (Thiede et al., 2016). Nesse sentido, surge a oportunidade em termos de desenvolver um modelo para avaliar aspectos sustentáveis e embolando abordagens remetente a Administração 4.0. Envolvendo isso na perspectiva ambiental- econômico, as ferramentas ACV e MFV foram usadas para propor um novo modelo integrativo.

Para a abordagem da ACV, utilizou-se as diretrizes relatadas na ABNT NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a) e ABNT NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b). Para a abordagem de MFV, utilizou-se do esquema padrão de um MFV, para demonstrar um modelo genérico. Portanto, o Modelo ACV-MFV foi construído em 8 Etapas e pode ser visto na Figura 3.

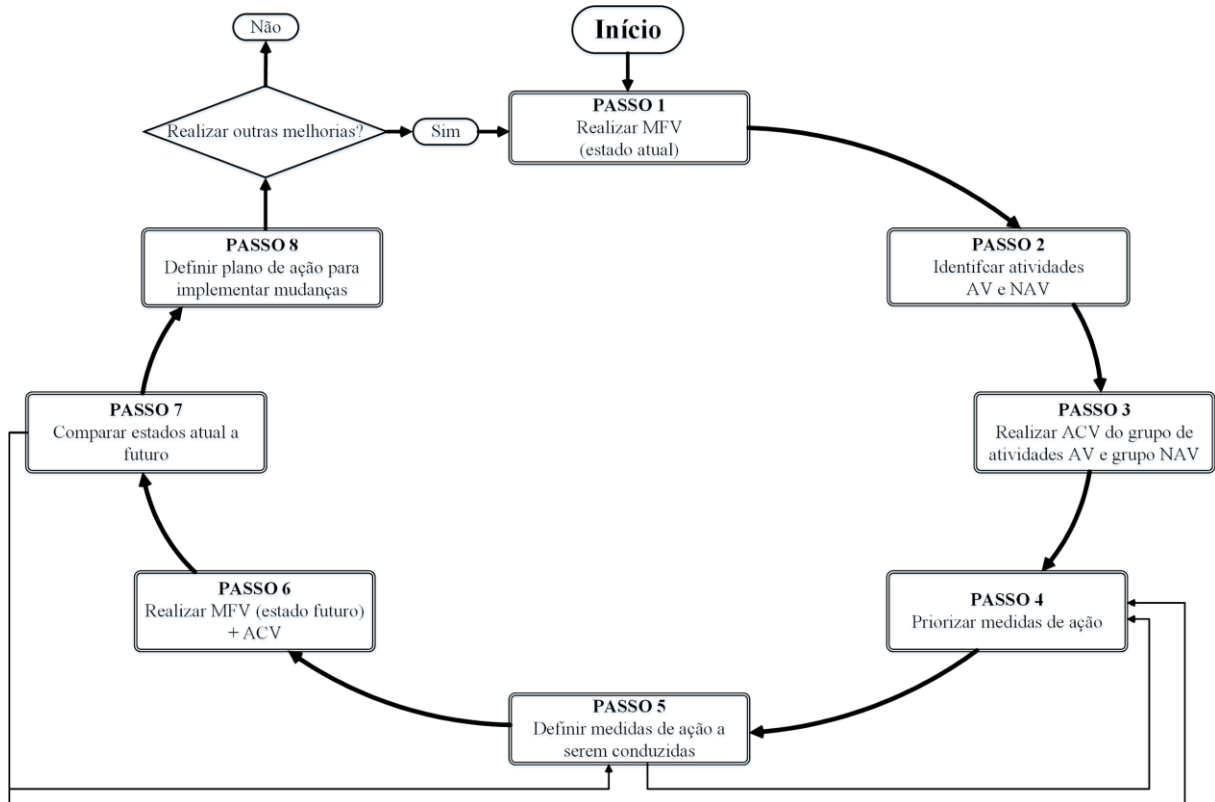


Figura 3 - Modelo ACV-MFV

Fonte: Autoria própria (2019)

Etapa 1: Elaborar o MFV (do estado atual)

Para isso, deve-se seguir a filosofia, padrões e técnicas padrão da PE para criar um MFV do estado atual dos processos produtivos do sistema estudado.

Etapa 2: Identificar as atividades de AV e NAV

A partir da Etapa 1, é possível identificar quais atividades agregam e não agregam valor. Deve-se categorizar cada atividade como AV e NAV, formando assim, dois grupos.

Etapa 3: Fazer uma ACV no grupo AV e no grupo NAV

Deve-se conduzir uma ACV para as atividades do grupo AV e registrar os resultados. Na sequência repete-se o mesmo procedimento para o grupo NAV. Logo, os impactos para as atividades AV e NAV serão definidos.

Para conduzir a ACV, deve-se seguir as diretrizes da ABNT NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a) e ABNT NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b). O método de AICV a ser utilizado e as categorias de impacto a serem analisadas, dependerão das características da organização, do tipo de produto/serviço analisado. O único requisito é que os mesmos procedimentos para conduzir a ACV sejam seguidos na Etapa 6.

Etapa 4: Priorizar as medidas de ação

Esta etapa requer um cuidado importante pelo aplicador do Modelo ACV-MFV. As organizações devem pensar cuidadosamente em como realizar a redução do impacto ambiental sem desconsiderar os aspectos econômicos. Contudo, considerar apenas aspectos econômicos pode acabar comprometendo o ambiental. Mesmo que uma solução seja ambientalmente preferível, o econômico também deve ser viável. Portanto, esta etapa visa buscar priorizar a redução do impacto ambiental levando em consideração os aspectos econômicos, os quais estão intrinsecamente ligados à PE.

A redução dos impactos será focada levando em consideração: primeiro, o grupo de atividades (AV ou NAV) que representar os impactos mais altos, escolher o grupo de maior impacto. Em segundo lugar, as atividades que contribuirão para a maior parte do impacto total. Em terceiro, identificar os impactos mais fáceis de gerenciar, dadas as características da empresa.

Quaisquer mudanças extras com o objetivo de melhorar a eficiência do sistema com base na filosofia da PE podem ser incluídas nesta fase para uma análise mais aprofundada.

Deve-se fazer uma lista de todas as mudanças que poderiam ser realizadas para melhorar o desempenho ambiental (baseado na ACV) e econômico (baseado no MFV). Na lista, siga o esquema de priorização ilustrado na Figura 4 e defina o potencial de implementabilidade (PI) para cada medida de ação.

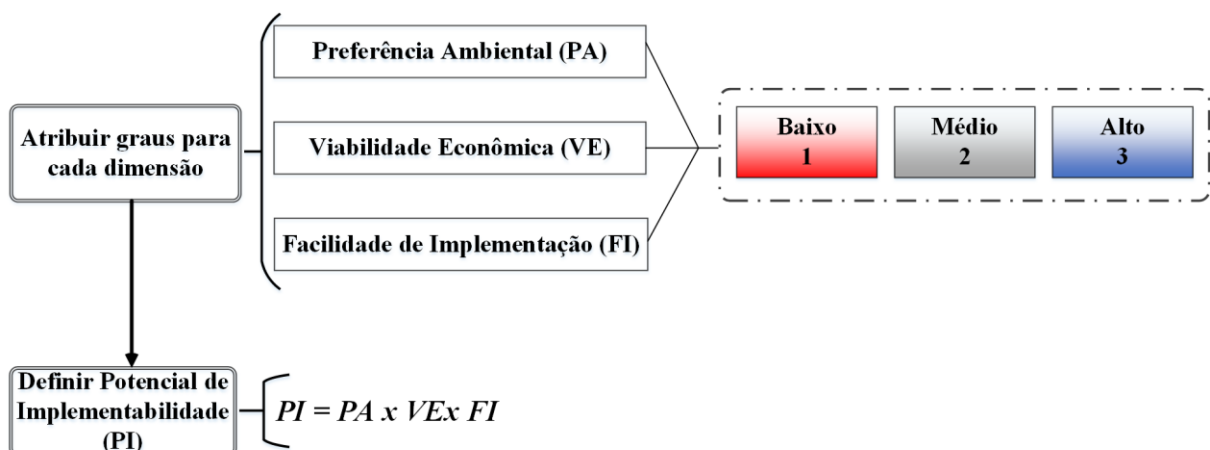


Figura 4 - Esquema de priorização

Fonte: Autoria própria (2019)

Para cada medida de ação, defina um valor para preferência ambiental (PA), viabilidade econômica (VE) e facilidade de implementação (FI) e, em seguida, defina o PI.

Para PE, atribua baixo (1) para ações que possam contribuir pouco ou nada para melhorar o perfil ambiental do sistema; médio (2) se a medida de ação contribuir significativamente; e alta (3) para medidas de ação que possam contribuir muito significativamente para a melhoria do perfil ambiental do sistema. Critérios análogos devem ser aplicados para VE e FI para cada medida de ação. Finalmente, o resultado deve ser semelhante ao da Tabela 1.

Medida de ação	PA	VE	FI	PI
Medida de ação A	3	1	1	3
Medida de ação B	2	1	1	2
Medida de ação C	3	3	3	27
Medida de ação D	1	2	3	6
Medida de ação E	2	1	2	4

Tabela 1 - Exemplo de uma aplicação do esquema de priorização

Fonte: Autoria própria (2019)

Depois de ter decidido todas as possíveis medidas de ação e ter usado o esquema de priorização, deve-se organizar a lista até que a primeira opção da lista seja a que tiver PI mais alto e seja implementada primeiro, e a última, com o PI mais baixo, seja implementado por último.

Etapa 5: Defina as medidas de ação a serem realizadas

Definir as medidas de ação que potencialmente serão conduzidas para melhorar o perfil econômico-ambiental do sistema, buscando reduzir os impactos ambientais enquanto se cuida dos aspectos econômicos, conforme definido na Etapa 4. De acordo com a lista de prioridades definida, designar quais medidas de ação poderiam ser implementadas em uma primeira abordagem. Se as ações parecerem inviáveis ambiental e/ou economicamente, considerar a revisão das prioridades definidas na Etapa 4. Os resultados potenciais das medidas definidas nesta etapa serão testados na Etapa 6.

Etapa 6: Realizar o MFV (do estado futuro) + ACV

Similarmente ao que foi feito nas Etapas 2 e 3, deve-se realizar um MFV do estado futuro considerando a implementação das medidas de ação definidas na Etapa 5. Em seguida, definir as atividades AV e NAV e conduzir uma ACV em cada grupo para verificar os potenciais resultados e ganhos das alterações propostas.

Mais uma vez, destaca-se que para conduzir a ACV, os mesmos procedimentos adotados na Etapa 3 devem ser seguidos.

Etapa 7: Comparar os resultados do estado atual e futuro

Compare os resultados dos estados atual e futuro em termos de:

- Impactos totais;
- Impactos de atividades AV e NAV;
- Impactos específicos por atividade/processo;
- Métricas baseadas na PE.

Se as métricas de ACV ou MFV forem piores, considere revisar as medidas de ação na Etapa 5 ou as prioridades na Etapa 4. Se elas forem melhores, como as medidas foram priorizadas considerando aspectos ambientais e econômicos, além da facilidade de implementação, ir para a Etapa 8 e definir um plano de ação para implementá-las.

Salienta-se, todavia, que a Etapa 7 carrega certa subjetividade. As medidas simuladas por meio da elaboração de um potencial estado futuro podem ter resultados conflitantes, algumas medidas podem não contemplar totalmente as duas dimensões (ambiental e econômica), outras podem melhorar uma e piorar a outra, assim como, algumas podem melhorar ou piorar ambas.

Considerando as características específicas, isso será a escolha do tomador de decisão em aprovar ou reter quaisquer medidas.

Uma vez que os tomadores de decisão tenham chegado a uma decisão, um plano de ação deve ser definido para implementar as mudanças, como pode ser visto na Etapa 8.

Etapa 8: Definir um plano de ação para implementar as mudanças

Nesta etapa, é necessário utilizar os resultados de todas as etapas anteriores para definir um plano de ação, com as atividades a serem realizadas para melhorar o perfil econômico-ambiental do sistema. Um plano de ação deve conter pelo menos, mas não deve se limitar, a um 5W1H:

- O que (o que será feito? - descrever a medida de ação);
- Quando (quando será feito? - datas de início e término);
- Por que (porque isso será feito? - o que motivou a medida de ação?);
- Quem (quem será responsável por isso? - definir pessoal responsável);
- Onde (onde será feito/aplicado? - identificar em qual processo/atividade a medida de ação será conduzida);
- Como (como será feito? - descrever os passos dados para conduzir a medida de ação).

Por último, deve ser tomada uma decisão sobre a busca de melhorias adicionais, baseadas em ACV e MFV. Se a organização ainda quiser avaliar possíveis alternativas de melhoria, ela poderá ir para a Etapa 1 novamente e seguir as etapas posteriores. Caso contrário, a organização pode considerar o desempenho do sistema como satisfatório e apenas levar adiante o plano de ação para implementação das medidas de ação definidas.

4. APLICAÇÃO DO MODELO ACV-MFV

Esta seção tem como objetivo ilustrar como o Modelo ACV-MFV pode ser aplicado, por meio de um exemplo prático. Para isso, as três primeiras etapas são ilustradas na Figura 5.

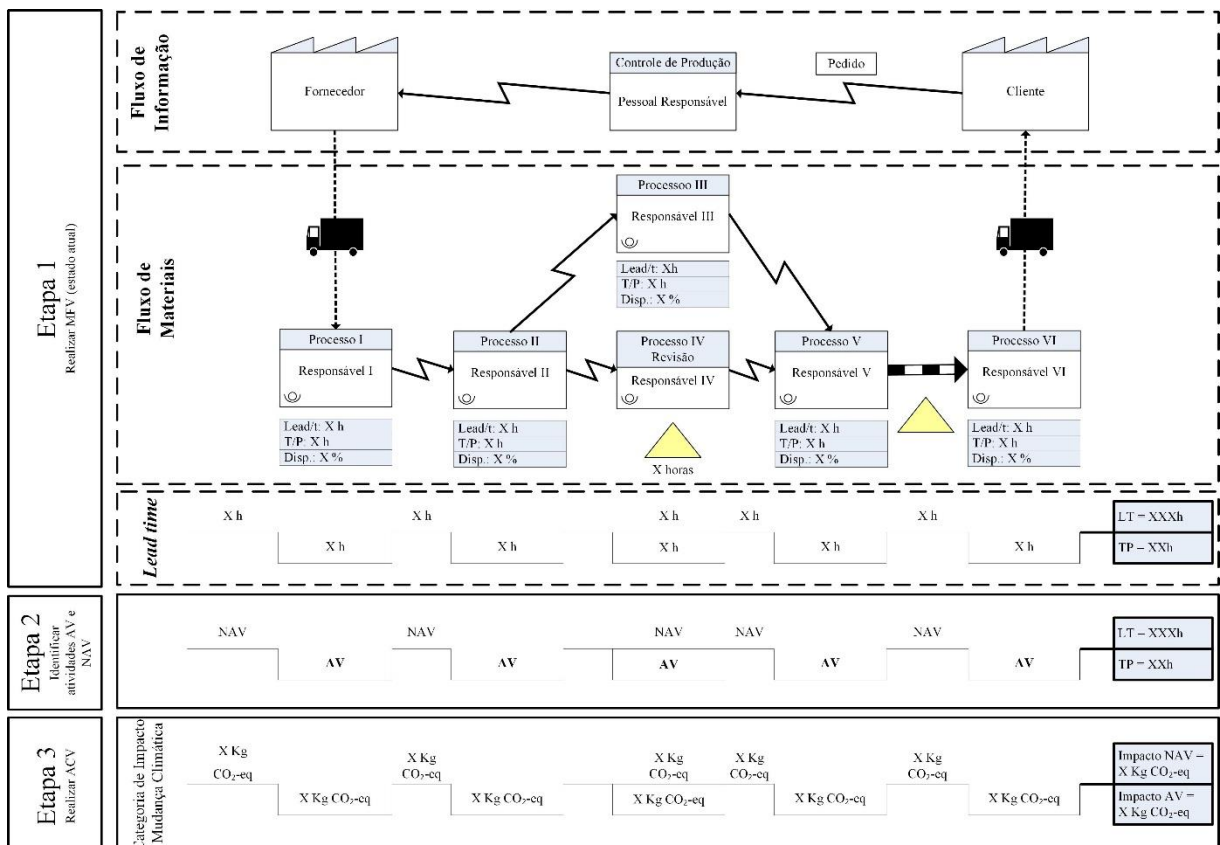


Figura 5 - Aplicação em um exemplo genérico das Etapas 1, 2 e 3 do modelo ACV-MFV

Fonte: Aatoria própria (2019)

Após a construção do estado atual do MFV (Etapa 1), as atividades AV e NAV são identificadas (Etapa 2). Para a condução da ACV, foi escolhida uma abordagem de ponto médio usando a categoria de impacto de Mudanças Climáticas, cujo indicador de categoria é quilograma de dióxido de carbono equivalente (kg CO₂-eq) (Etapa 3 na Figura 5). Outras categorias de impacto também podem ser aplicadas nas atividades AV e NAV.

Assim, é possível identificar os impactos por atividade, processo, tipo de atividade (AV ou NAV). Quaisquer ideias ou ferramentas que a organização julgue relevantes podem ser aplicados nesta etapa, para buscar redução de impactos e melhoria do desempenho da PE. Após, é necessário definir todas as ações que podem ser tomadas para reduzir os impactos e/ou melhorar os resultados econômicos por meio de PE. Depois de listar todas as possibilidades e aplicar o esquema de priorização (Etapa 4) na Figura 5, isso resultará na Tabela 2.

Medida de Ação	PA	VE	FI	IP
Medida de ação I	1	3	3	9
Medida de ação II	2	1	3	6
Medida de ação III	2	3	2	12
Medida de ação IV	2	3	1	6
Medida de ação V	1	3	2	6
Medida de ação VI	1	1	1	1
Medida de ação VII	2	2	1	4

Tabela 3 - Resultado do esquema de priorização para o exemplo ilustrativo genérico

Fonte: Aatoria própria (2019)

Os tomadores de decisão decidirão quais medidas de ação serão testadas para implementação (Etapa 5 - veja a Figura 3). Neste exemplo ilustrativo, as medidas de ação I, II, III, IV e V serão testadas. Tendo esses definidos, um estado futuro será traçado, conforme ilustrado na Figura 6. As medidas de ação são identificadas como explosões kaizen.

Após a Etapa 6, as medidas de ação são testadas, revelando novas métricas de PE (por meio do MFV) e resultados de ACV. Os resultados podem ser analisados em termos de atividades, processos, tipo de atividade (AV e NAV) e globalmente. A tomada de decisão pode ser influenciada por aspectos da ACV ou MFV. Portanto, o tomador de decisão deve analisar os *trade-offs* entre as dimensões ambiental e econômica e, a partir daí, começar o processo de melhoria.

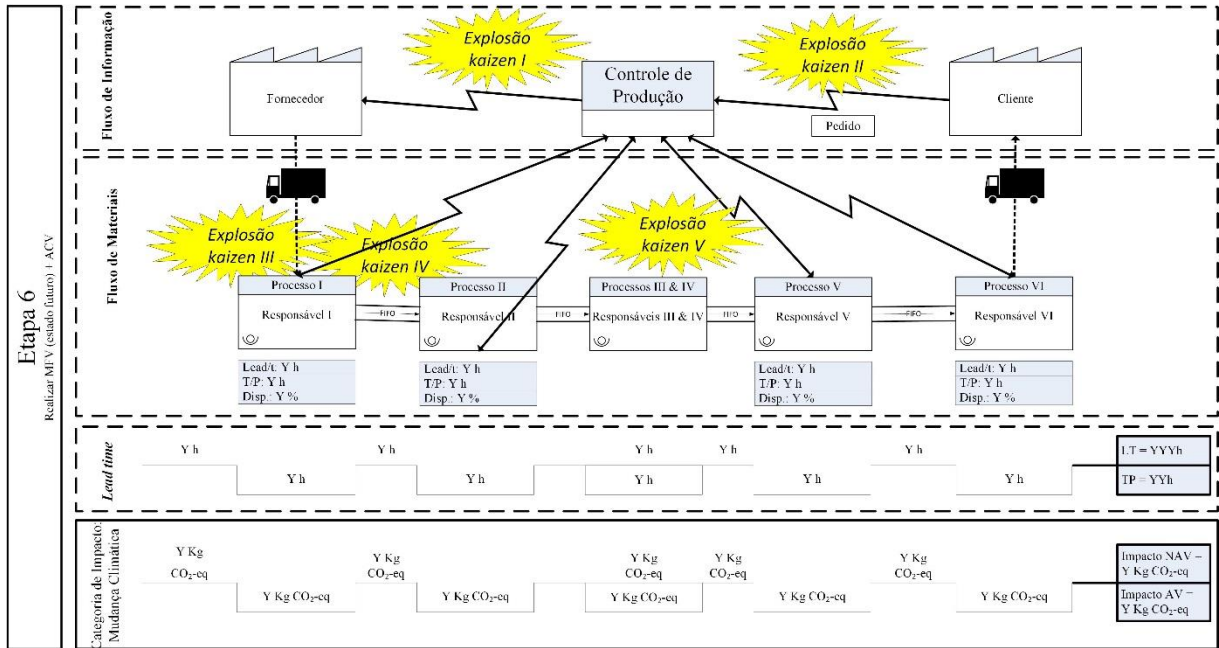


Figura 6 - Aplicação em um exemplo genérico da Etapa 6 do modelo ACV-MFV

Fonte: Autoria própria (2019)

Os resultados são então comparados entre os estados atual e futuro. Se as medidas forem eficazes, elas podem ser movidas para a Etapa 8 e um plano de ação é definido, caso contrário, melhorias adicionais são necessárias, portanto, é aconselhável reiniciar o ciclo e buscar medidas mais eficazes. Se um plano de ação for definido, ele deverá ser semelhante à Tabela 3.

Folha de controle para plano de ação					
O quê	Quando	Por quê	Quem	Onde	Como
Medida de ação I	MM/AAAA-MM/AAAA	Razões para aplicar esta medida de ação	Pessoal responsável	Local/ atividade/ processo onde será implementada a medida de ação	Como a medida de ação será implementada
Medida de ação II					
Medida de ação III					
Medida de ação IV					
Medida de ação V					
Medida de ação VI					
Medida de ação VII					

Tabela 3 - Plano de ação para o exemplo ilustrativo genérico

Fonte: Autoria própria (2019)

A execução do plano de ação encerra o ciclo de melhoria. Se a organização desejar buscar novas/outras melhorias, um novo ciclo pode ser iniciado. Os resultados do Modelo ACV-MFV são interessantes para gerar vantagem competitiva, potencializar a eficiência dos processos produtivos e reduzir/evitar custos. Diante disso, a seção seguinte apresenta as considerações finais do trabalho e oportunidades para futuros relatos.

5. CONCLUSÃO

Este estudo buscou propor um novo modelo integrativo baseado em ACV e MFV, a fim de auxiliar as empresas a potencializarem seus processos produtivos nos aspectos ambientais e econômicos da sustentabilidade. O modelo cobriu a lacuna de pesquisa apresentada na literatura e mostrou os procedimentos sistemáticos para a aplicação em 8 Etapas.

O modelo pode ser útil na tomada de decisão de gestores empresariais, visando balancear a dimensão ambiental (por meio da ACV) e a econômica (por meio do MFV). A ACV pode ser aplicada para diferentes categorias de impacto, gerando assim, resultados robustos, confiáveis e científicos. O MFV pode ser aplicado com o objetivo da redução dos tempos de processos, redução de *setups*, identificar atividades que não agregam valor e para redução de desperdícios.

Como qualquer ferramenta/modelo existente na literatura, as limitações existem. O modelo proposto neste estudo é sugerido para aplicações em processos por lotes e não em processos contínuo, uma vez que, pode ser difícil definir as atividades de AV e NAV e coletar dados de inventário para conduzir uma ACV em atividades de natureza contínua. Além disso, a tomada de decisão é baseada nas abordagens econômica (por meio do MFV) e ambiental (por meio da ACV), não levando em consideração outros aspectos.

Sugere-se que futuros relatos apliquem este Modelo em processos produtivos e apresentem os resultados das atividades AV e NAV, e os potenciais impactos ambientais mediante a ACV. As aplicações sugeridas podem servir como base na geração de comparabilidade e identificação de potenciais melhorias no Modelo.

O estudo está direcionado para aplicações voltadas ao planejamento estratégico de operações de manufatura, visando melhorar aspectos para vantagem competitiva, redução de custos, aumento da eficiência e melhoria contínua em termos de gestão, baseadas no contexto da Administração 4.0.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi apoiada financeiramente pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

- Abdulmalek, F.A., & Rajgopal, J. (2007). Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *International Journal of Product Economics*. 107, 1, 223-236. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.09.009>
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). ABNT NBR ISO 14040:2009 Versão Corrigida: 2014: Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e Estrutura. Brasil, 2009a.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). ABNT NBR ISO 14044:2009 Versão Corrigida: 2014: Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Requisitos e Orientações. Brasil, 2009b.
- Abreu, M.F., Alves, A.C., & Moreira, F. (2017). Lean-Green models for eco-efficient and sustainable production. *Energy*. 137, 846-853. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.016>
- Banawi, A., & Bilec, M.M. (2014). A framework to improve construction processes: Integrating Lean, Green and Six Sigma. *International Journal of Construction Management*. 14, 1, 45-55. <https://doi.org/10.1080/15623599.2013.875266>
- Bergmiller, G.G., & McCright, P.R. (2009). Are lean and green programs synergistic. In Proceedings of the 2009 Industrial Engineering Research Conference (pp. 1155-1160).

- Bhatt, A., Bradford, A., & Abbassi, B.E. (2019). Cradle-to-grave life cycle assessment (LCA) of low-impact-development (LID) technologies in southern Ontario. *Journal of Environmental Management*, 231, 98-109. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.033>
- Bicheno, J., & Holweg, M. (2000). *The lean toolbox*. Buckingham: PICSIE books.
- Bocken, N.M.P., Allwood, J.M., Willey, A.R., & King, J.M.H. (2012). Development of a tool for rapidly assessing the implementation difficulty and emissions benefits of innovations. *Technovation*, 32, 1, 19-31. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2011.09.005>
- Despeisse, M., Ball, P.D., Evans, S., & Levers, A. (2012). Industrial ecology at factory level - a conceptual model. *Journal of Cleaner Production*, 31, 30-39. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.02.027>
- Ding, N., Pan, J., Liu, J., & Yang, J. (2019). An optimization method for energy structures based on life cycle assessment and its application to the power grid in China. *Journal of Environmental Management*, 238, 18-24. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.072>
- Dües, C.M., Tan, K.H., & Lim, M. (2013). Green as the new lean: how to use lean practices as a catalyst to greening your supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 40, 93-100. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.12.023>
- EPA (United States Environmental Protection Agency). 2006. *The Lean and Environment Toolkit*. <http://www.epa.gov/lean/environment/toolkits/index.htm> (6 de Julho de 2019).
- Jabbour, A.B.L.S., Jabbour, C.J.C., Freitas, W.R.S., & Teixeira, A.A. (2013). Lean and green? Empirical evidence from the Brazilian automotive industry. *Gestão da Produção*. 20, 3, 653-665. <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2013000300011>
- Hallam, C., & Contreras, C. (2016). Integrating lean and green management. *Management Decision*, 54, 9, 2157-2187. <https://doi.org/10.1108/MD-04-2016-0259>
- Huppel, G., & Ishikawa, M. (2005). Eco-efficiency and its terminology. *Journal of Industrial Ecology*, 9, 4, 43-46. <https://doi.org/10.1162/108819805775247891>
- Litos, L., Borzillo, F., Patsavellas, J., Cockhead, D., & Salonitis, K. (2017). Management tool design for eco-efficiency improvements in manufacturing - a case study. *Procedia CIRP*, 60, 500-505. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.02.001>
- Miehe, R., Bogdanov, I., Schneider, R., Hirsch, M., Bauernhansl, T., Pawlik, E., & Horbal, R. (2016). The Eco Lean method - A combined approach for low cost economic and ecologic optimization in the manufacturing industry. *Procedia CIRP*, 57, 613-618. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.106>
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*, Productivity press, New York.
- Pampanelli, A.B., Found, P., & Bernardes, A.M. (2014). A Lean & Green Model for a production cell. *Journal of Cleaner Production*, 85, 19-30. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.014>
- Paju, M., Heilala, J., Hentula, M., Heikkilä, A., Johansson, B., Leong, S., & Lyons, K. (2010). Framework and indicators for a sustainable manufacturing mapping methodology. In Proceedings of the 2010 winter simulation conference (pp. 3411-3422). *IEEE*. 10.1109/WSC.2010.5679031
- Ramos, A.R., Ferreira, J.C.E., Kumar, V., Garza-Reyes, J.A., & Cherrafi, A. (2018). A lean and cleaner production benchmarking method for sustainability assessment: A study of manufacturing companies in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 177, 218-231. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.145>
- Rohani, J.M., & Zahraee, S.M. (2015). Production line analysis via value stream mapping: a lean manufacturing process of color industry. *Procedia Manufacturing*, 2, 6-10. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.002>
- Roosen, T., & Pons, D. (2013). Environmentally lean production: the development and incorporation of an environmental impact index into value stream mapping. *Journal of Industrial Engineering*, 1-17. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/298103>

- Rother, M., & Shook, J. (2003). Learning to see: value stream mapping to add value and eliminate MUDA. Lean Enterprise Institute, Brookline.
- Salvador, R., Barros, M.V., Rosário, J.G.P., Piekarski, C.M., Luz, L.M., & Francisco, A.C. (2019). Life Cycle Assessment of Electricity from Biogas: a Systematic Literature Review. *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 38, 4, 1-8. <https://doi.org/10.1002/ep.13133>
- Shah, R., & Ward, P.T. (2003). Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. *Journal of Operations Management*, 21, 2, 129-149. [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(02\)00108-0](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(02)00108-0)
- Sundar, R., Balaji, A.N., & Kumar, R.M. (2014). A review on lean manufacturing implementation techniques. *Procedia Engineering*. 97, 1875-1885. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.341>
- Thiede, S., Li, W., Kara, S., & Herrmann, C. (2016). Integrated analysis of energy, material and time flows in manufacturing systems. *Procedia CIRP*, 48, 200-205. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.248>
- Womack, J., & Jones, D. (1998). Lean Thinking. Free Press, New York.
- Womack, J.P., Jones, D.T., & Roos, D. (1990). The machine that changed the world. New York: Rawson Associates.