

ESCOLHA DE UMA EMPILHADEIRA BASEADA EM CRITÉRIOS SUSTENTÁVEIS

Durval João De Barba Junior¹
Victor Emmanuel de Oliveira Gomes²
Carlos Alberto Shuch Bork³

RESUMO

Considerando que produtos sustentáveis são aqueles que, desde a fase de concepção, passando pela etapa de manufatura até o fim do seu ciclo de vida, associam desempenho tecnológico com benefícios ambientais, sociais e econômicos, este trabalho foca a escolha de uma empilhadeira para a movimentação de mercadorias em contêineres em um almoxarifado de uma empresa automotiva com requisitos sustentáveis. Para que isso ocorra, foi implementada uma metodologia de avaliação com análises da legislação pertinente, do conhecimento prévio do produto, da confiabilidade dos resultados obtidos, do impacto ambiental das empilhadeiras e dos custos de aquisição, considerando todo o seu ciclo de vida. Para agrupar os resultados, utilizou-se uma metodologia multicritério de tomada de decisão, fornecendo ao tomador de decisão algumas ferramentas para capacitá-lo a avançar na solução de problemas, nos quais esses diversos pontos de vista e critérios devem ser considerados. O estudo de uma empilhadeira com capacidade de 2.000 kg de carga, de acordo com requisitos sustentáveis, apresentou as empilhadeiras elétricas com um melhor desempenho perante as demais motorizações analisadas.

PALAVRAS-CHAVE: Sustentabilidade. Impacto Ambiental. Avaliação Econômica.

- 1 Doutor, e-mail: debarbajr@sapucaia.ifsul.edu.br.
- 2 Mestre, e-mail: victor@ita.br.
- 3 Doutor, e-mail: bork@sapucaia.ifsul.edu.br.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, é consenso global que o conceito de sustentabilidade deve congrega concomitantemente os requisitos e restrições de qualidade para a sociedade, a economia e o ambiente.

Respectivamente, a **dimensão social** capta o impacto de uma organização, produto ou processo na sociedade. Os benefícios sociais podem ser estimados por meio da análise dos efeitos da organização sobre os *stakeholders* (partes interessadas e envolvidas no processo) a nível local, nacional e global. A **dimensão ambiental** aborda os impactos do ciclo de vida dos produtos, as emissões de poluentes para o ar, água e solo, os produtos secundários produzidos (por exemplo, lixo) e a utilização de energia e matéria-prima. A **dimensão econômica** abrange a alocação e a distribuição eficiente dos recursos naturais dentro de uma escala apropriada, possuindo foco sobre os fluxos de dinheiro (semelhante a fluxos de materiais e de energia). (FINKBEINER et al., 2010).

Dentro desse conceito, são considerados produtos sustentáveis aqueles que, desde a fase de concepção, passando pela etapa de manufatura até o fim do seu ciclo de vida, associam desempenho (técnico, químico, de durabilidade, facilidade de conserto, entre outros) com benefícios ambientais, sociais e econômicos. (BRUNDTLAND, 1987; ELKINGTON, 2012; BAXTER et al., 2009; CAMARGO, 2012).

O objetivo deste trabalho é avaliar a escolha de uma empilhadeira para a movimentação de mercadorias em contêineres em um almoxarifado de uma empresa automotiva, com um olhar para a sustentabilidade ou, mais precisamente, de acordo com premissas econômicas e ambientais, pois a dimensão social não foi analisada por não ser de interesse da companhia em questão.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo de caso é a escolha da motorização de uma empilhadeira com capacidade de carga de 2.000kg. A empresa automotiva deixou claro que essa escolha deveria recair sobre empilhadeiras (com quatro rodas), não permitindo transpaleteiras e paleteiras.

A avaliação da sustentabilidade foi dividida em duas partes: análise preliminar e análise propriamente dita. A análise preliminar contém as informações fundamentais para iniciar a avaliação da sustentabilidade. Nessa etapa, faz-se um levantamento da legislação pertinente ao estudo, e também do conhecimento

dos operadores de empilhadeiras relacionado ao problema.

Para a segunda parte da análise, fez-se primeiramente um levantamento dos impactos ambientais causados por cada fase do ciclo de vida. Em seguida, realizou-se um estudo do impacto ambiental provocado pelos combustíveis utilizados nas empilhadeiras, tomando como base os estudos de Gaines, Elgowainy e Wang (2008) e International Energy Agency (IEA, 2013). Para a análise econômica, buscou-se os valores de compra, de manutenção, do total gasto em combustível para todos os tipos

de empilhadeiras e baterias e seu carregador (no caso de empilhadeiras elétricas). Como informação,

A BATERIA DA EMPILHADEIRA ELÉTRICA POSSUI UMA VIDA ÚTIL DE 50 MESES. ASSIM, ESSE TEMPO FOI TOMADO COMO UM BALIZADOR PARA AS ETAPAS DE MANUTENÇÃO E GASTOS EM COMBUSTÍVEIS.

O valor dos combustíveis e energia elétrica foi obtido para o Estado de São Paulo em julho de 2014. Também se observou que, para a utilização da empilhadeira por 24 horas, deve-se adquirir três baterias e um carregador.

Antes de utilizar um método de Apoio Multicritério à Decisão (PROMETHEE) para o agrupamento dos dados da avaliação da sustentabilidade, executou-se a descrição da qualidade dos dados, para expressar a confiança dos resultados do estudo executado fundamentada em De Barba Jr., Gomes e Bork (2014).

Os métodos da família PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) se propõem a construir uma relação de classificação (*outranking*) para representar as preferências dos decisores e resolver a problemática de ordenação. Esses métodos foram desenvolvidos para tratar problemas multicritério, nos quais o conjunto de alternativas possíveis é finito (GOMES, ARAYA e CARIGNANO, 2004).

O princípio básico dos métodos de classificação é que se uma alternativa apresenta um desempenho maior que outra na maioria dos critérios, e não apresenta um desempenho fortemente menor em outro, será a preferida. Além disso, esse método considera que pequenas diferenças nas avaliações das alternativas nem sempre significam um impacto significativo para o decisor (GONÇALVES e BELDERRAIN, 2011).

O método PROMETHEE II se vale do cálculo do fluxo líquido que representa o balanço entre o poder e a fraqueza da alternativa analisada.

Quanto maior o fluxo líquido, melhor será a alternativa. Dessa forma, o método fornece uma pré-ordem completa, influenciada pelos pesos alocados aos critérios, assim como possibilita captar de forma mais precisa as diferenças de percepção do decisor nas avaliações das alternativas, além de não permitir uma compensação ilimitada de grandes vantagens entre elas (ARAÚJO; ALMEIDA, 2009; BRANS; MARESCHAL, 2005).

Os pesos de cada análise foram considerados os mesmos (iguais a 1), pois segundo Klöpffer (2008), deve-se respeitar um princípio importante da sustentabilidade: o equilíbrio das considerações de ordem ambiental e econômica. Por isso, suas análises deverão ser devidamente avaliadas e equilibradas se um novo produto tiver que ser concebido, ou um já existente tiver que ser melhorado.

3 RESULTADOS

3.1 Análise preliminar

Nesta etapa são desenvolvidas duas análises: legislação (institucional) e conhecimento prévio relacionado às empilhadeiras.

Legislação (Institucional): A NR 11 – Transporte, Movimentação, Armazenagem e Manuseio – possui a seguinte relação à utilização de empilhadeiras (BRASIL, 2013):

11.1.9: Nos locais fechados ou pouco ventilado, a emissão de gases tóxicos, por máquinas transportadoras, deverá ser controlada para evitar concentrações, no ambiente de trabalho, acima dos limites permissíveis.

11.1.10: Em locais fechados e sem ventilação, é proibida a utilização de máquinas transportadoras, movidas a motores de combustão interna, salvo se providas de dispositivos neutralizadores adequados.

Os limites permissíveis são encontrados na NR 15 – Atividades e Operações Insalubres – e na Lei 8.723, de 28 de outubro de 1993, que dispõe sobre a redução de emissão de poluentes de veículos pesados do ciclo diesel (BRASIL, 1993; BRASIL, 2013).

Conhecimento prévio: os operadores de empilhadeiras devem saber previamente que:

- Empilhadeiras a diesel emitem uma grande quantidade de poluentes gasosos e particulados, sendo desaconselhável sua utilização em ambientes fechados, mesmo equipadas com catalisadores;
- Empilhadeiras a gasolina necessitam de catalisador, a fim de controlar a emissão de gases poluentes em ambientes internos;

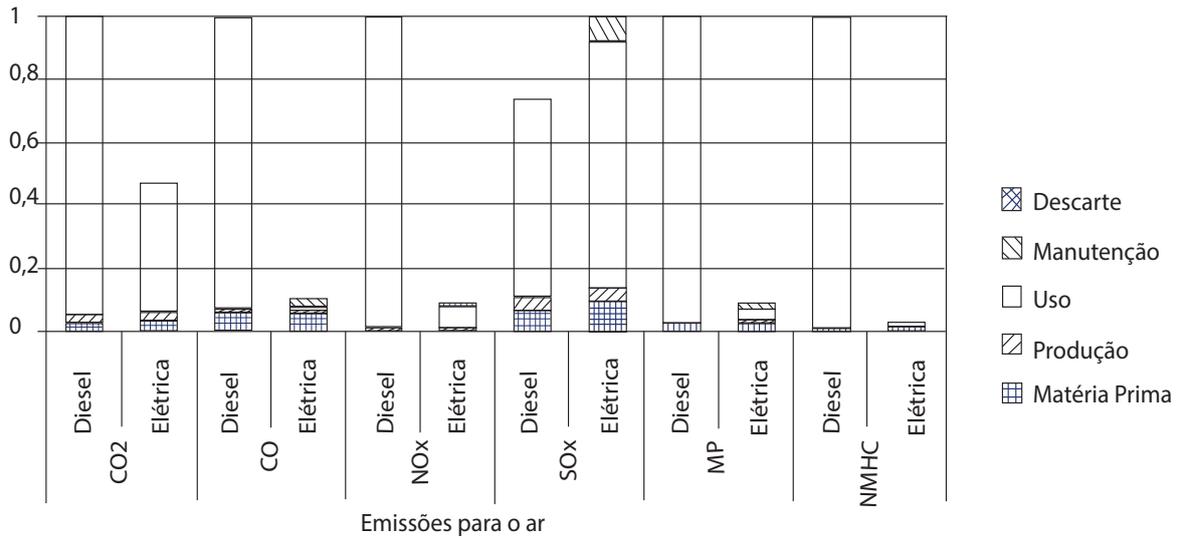
- Empilhadeiras a GLP (gás liquefeito de petróleo) geram baixa emissão de material particulado, e necessitam de catalisadores para o controle de gases em locais fechados;
- Empilhadeiras a GNV (gás natural veicular) geram a menor quantidade de emissões (relacionadas às empilhadeiras com motores a combustão), mas também requerem catalisadores em locais fechados;
- As empilhadeiras elétricas são utilizadas em ambientes onde se deseja evitar ruído, poluição do ar ou aquecimento, e são apropriadas para ambientes fechados, secos e com pisos regulares. Elas são mais propícias a incêndios.

Sendo assim, empilhadeiras a diesel, por se apresentarem como uma grande fonte geradora de material particulado (MP) e poluentes gasosos – hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NO_x) e monóxido de carbono (CO) –, limitam sua utilização na área do chão da fábrica da empresa em questão por serem nocivas à saúde humana, e caso fossem necessárias, ocasionariam novos valores de investimento para os sistemas de ventilação (OLIVEIRA GOMES et al., 2012).

3.2 Análise

Para esta etapa buscou-se informações sobre o **ciclo de vida** de empilhadeiras. A Figura 1 apresenta os resultados de um estudo de ACV (Avaliação de Ciclo de Vida), no qual o Potencial de Aquecimento Global (GWP) é observado na comparação entre empilhadeiras elétricas e a diesel.

Figura 1: Análise de GWP para empilhadeiras elétricas e a diesel

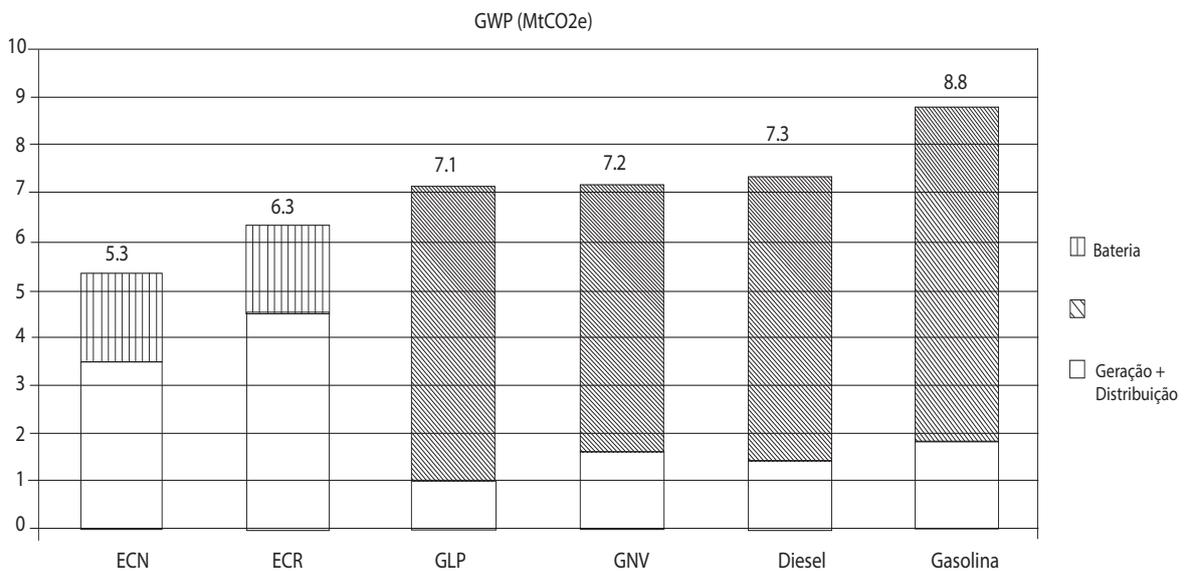


Fonte: SUZUKI (2006)

A fase de uso das empilhadeiras provoca os maiores fatores de impacto ambiental dentro de seu ciclo de vida. Essa alta taxa está diretamente relacionada com o consumo de combustível, o que leva à conclusão de que o principal fator de influência na escolha de uma empilhadeira é o tipo de combustível utilizado (OLIVEIRA GOMES et al., 2012).

Análise ambiental: Para a avaliação ambiental, consideraram-se os impactos (GWP) da geração e distribuição do combustível/energia, do uso (combustão) desse combustível e da produção e descarte/reciclagem das baterias. Também foi considerada a forma de carregamento das baterias elétrica com carregamento normal (ECN), e elétrica com carregamento rápido (ECR), pois a forma de carregamento as conduz a diferentes eficiências (95% e 72%, respectivamente) na carga da bateria (Figura 2).

Figura 2: Comparação dos combustíveis utilizados em empilhadeiras de acordo com o GWP

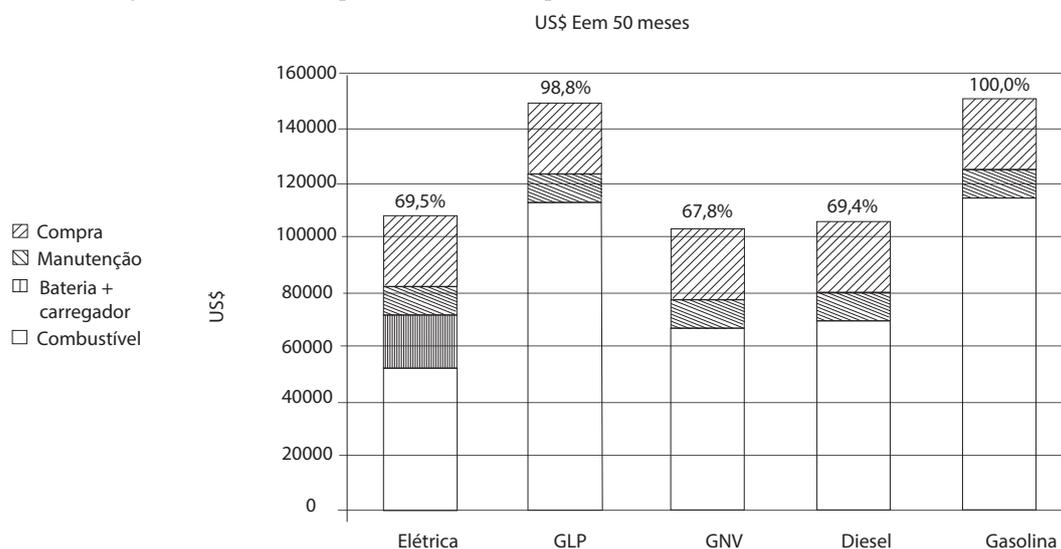


Fonte: Dos autores (2014)

Análise econômica: Como não foi possível obter informações sobre os custos para o descarte de empilhadeiras, buscaram-se os valores

de compra da manutenção, do total gasto em combustível para todos os tipos de empilhadeiras, das baterias e do carregador, no caso das empilhadeiras elétricas (Figura 3).

Figura 3: Custos de aquisição de uma empilhadeira considerando seu ciclo de vida



Fonte: Dos autores (2014)

3.3 Confiabilidade

Com base nas características dos parâmetros utilizados no estudo e nos indicadores de

qualidade de dados, obtêm-se as Tabelas 1 e 2, que representam os resultados provenientes de De Barba Jr., Gomes e Bork (2014).

Tabela 1: Indicadores de qualidade de dados para a avaliação ambiental

Indicador	Pontuação	Observação
Confiança na fonte	1	Dados verificados baseados em medidas.
Completeza	1	Dados representativos dos locais relevantes para o mercado considerado e com período adequado para compensar flutuações.
Número de amostras	5	Desconhecido.
Correlação temporal	3	Menos de 10 anos de diferença para o ano de estudo.
Correlação geográfica	5	Área distintamente diferente (Brasil em vez de Europa).
Correlação tecnológica	1	Dados de empreendimento, processo e materiais em estudo.
Classificação geral da qualidade dos dados	2,7	$(1+1+5+3+5+1)/6$

Fonte: Dos autores (2014)

Tabela 2: Indicadores de qualidade de dados para a avaliação econômica

Indicador	Pontuação	Observação
Confiança na fonte	1	Dados verificados baseados em medidas.
Completeza	1	Dados representativos dos locais relevantes para o mercado considerado e com período adequado para compensar flutuações.
Número de amostras	1	>100
Correlação temporal	1	Menos de meio ano de diferença para o ano de estudo.
Correlação geográfica	1	Dados da área em estudo e com a mesma moeda.
Correlação tecnológica	1	Dados de empreendimento, processo e materiais em estudo.
Classificação geral da qualidade dos dados	1,16	$(1+1+2+1+1+1)/6$

Fonte: Dos autores (2014)

Os graus de incerteza global (confiança dos resultados) das dimensões analisadas são resumidos na Tabela 3:

Tabela 3: Confiança dos resultados do estudo de caso

Dimensões	Ambiental	Econômica
Nível geral da qualidade dos dados	Boa	Excelente

Fonte: Dos autores (2014)

3.4 Método de Apoio Multicritério à Decisão

Para apurar os resultados, aplicou-se o método de Apoio Multicritério à Decisão PROMETHEE II. Ele apresentou uma classificação de alternativas a partir da melhor para a pior. A Tabela 4 mostra essa classificação.

Tabela 4: Resultados segundo PROMETHEE II

Alternativas	ECN	ECR	GNV	Diesel	GLP	Gasolina
Classificação	1	2	3	4	5	6
PROMETHEE II Ranking (adimensional)	0,4638	0,2138	-0,0246	-0,0608	-0,0896	-0,5025
Pontuação (%)	100	56,55	34,87	32,43	30,61	12,13

Fonte: Dos autores (2014)

A Tabela 4 mostra que: as empilhadeiras elétricas (com o carregamento normal ou rápido de suas baterias) apresentam um melhor

desempenho perante as demais; a diferença entre GLP, GNV e Diesel é muito pequena; empilhadeiras a gasolina apresentam o pior desempenho.

4 CONCLUSÃO E DISCUSSÃO

O estudo da escolha de uma empilhadeira com capacidade de 2.000 kg de carga, de acordo com requisitos sustentáveis, mostra que as empilhadeiras elétricas (com o carregamento normal ou rápido de suas baterias) são as mais indicadas para serem adquiridas, pois apresentam o menor impacto ambiental e um baixo custo de aquisição, considerando todo o seu ciclo de vida. Este mesmo estudo mostra que a aquisição de empilhadeiras a GNV seria uma segunda alternativa, mesmo que a diferença entre GNV, GLP e Diesel seja muito pequena. As empilhadeiras a gasolina são menos indicadas por apresentarem o pior desempenho; as empilhadeiras a Diesel não devem ser empregadas por se apresentarem como uma grande fonte geradora de material particulado (MP) e poluentes gasosos, sendo assim nocivas à

saúde humana, como demonstrado na Análise Preliminar.

Este trabalho apresentou a metodologia de avaliação de um produto baseada em requisitos sustentáveis (ambiental, social e econômico) que pode ser empregada em outros problemas de escolha. Para que isso ocorra, análises da legislação pertinente e do conhecimento prévio do produto se fazem necessárias. A etapa de confiabilidade traz credibilidade e transparência aos resultados obtidos com os estudos, e faz com que a tomada de decisão relacionada à área de sustentabilidade possa ser melhor fundamentada. A utilização de uma metodologia multicritério fornece ao tomador de decisão algumas ferramentas, de forma a capacitá-lo a avançar na solução de problemas de decisão, nos quais esses diversos pontos de vista e critérios devem ser considerados.



CHOOSING A FORKLIFT BASED ON SUSTAINABLE CRITERIA

ABSTRACT

Considering that sustainable products are those that, from the design stage through the manufacturing stage up to the end of their life cycle, combine technological performance with environmental, social and economic benefits, this work focuses on choosing a forklift, for moving goods into containers in a warehouse of an automotive company, with sustainable requirements. With this in mind, an evaluation methodology was implemented involving analysis of relevant legislation, previous knowledge of the product, reliability of the results obtained, environmental impact of forklifts and acquisition costs considering the entire lifecycle of the device. Aiming at grouping the results, a multi-criteria approach to decision-making was used to provide the decision maker with specific tools in order to enable him to advance in the decision troubleshooting, where these different views and criteria should be considered. The study involved in selecting a forklift of 2,000 kg load capacity, according to sustainable requirements, pointed out the existence of electric forklifts with better performance among the ones analysed.

KEYWORDS: Sustainability.
Environmental impact.
Economic evaluation.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A. G.; ALMEIDA, A. T. Apoio à decisão na seleção de investimentos em petróleo e gás: uma aplicação utilizando o método. **Gestão & produção**, v. 16, n. 4, p. 534-543, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0104-530X2009000400004>>. Acesso em 18 nov. 2015.

BAXTER, K. et al. **This sustainability primer**. Canadá: The Natural Step, 2009.

BRANS, J. P.; MARESCHAL, B. Promethee methods. In: FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. (Eds.). **Multiple criteria decision analysis state of the art surveys: international series in operations research**. Nova York: Management Science 78, 2005, p. 163-186.

BRASIL. **Lei n. 8.723**, de 28 de outubro de 1993. Dispõe sobre a redução de emissão de poluentes por veículos automotores e dá outras providências. Presidência da República. Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos, Brasília, DF. 1993. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/18723.htm>. Acesso em: 28 ago. 2013.

BRASIL. **NR 15 – Atividades e operações insalubres**. 2013. Disponível em: <portal.mte.gov.br/legislacao/norma-regulamentadora-n-15-1.htm>. Acesso em: 11 set. 2013.

BRUNDTLAND, G. H.; KHALID, M. **Our common future**: report of the world commission on environment and development. Oxford: Oxford University Press, 1987. Disponível em: <<http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>>. Acesso em: dez. 2013.

CAMARGO, A. L. B. **Desenvolvimento sustentável**: dimensões e desafios. 6 ed. Campinas, SP: Papyrus, 2012.

DE BARBA JR, D. J.; GOMES, J. O; BORK, C. A. S. Reliability of sustainability assessment. **Procedia CIRP**, v. 15, p. 361-366, 2014. doi: 10.1016/j.procir.2014.06.034.

ELKINGTON, J. **Sustentabilidade**: canibais com garfo e faca. São Paulo: M. Books do Brasil Editora Ltda, 2012.

FINKBEINER, M. et al. Towards life cycle sustainability assessment. **Sustainability**, v. 2, p. 3309-3322, 2010.

GAINES, L. L.; ELGOWAINY, A.; WANG, M. Q. **Full fuel-cycle comparison of forklift propulsion systems**. 2008. Disponível em: <<http://greet.es.anl.gov/files/oh77n5k5>> Acesso em: 18 jun. 2013.

GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. **Tomada de decisão em cenários complexos**: introdução aos métodos discretos do apoio multicritério à decisão. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

GONÇALVES, T. J. M.; BELDERRAIN, M. C. N. Decisão em grupo com PROMETHEE GDSS E GAIA: priorização de subsistemas no projeto do satélite ITA-SAT. In: **XLIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SOBRAPO)**, Ubatuba, v.1, 2011.

KLÖPPFER, W. Life cycle sustainability assessment of products. **International journal of LCA**, v. 13, n. 2, p. 89-95, 2008.

OLIVEIRA GOMES, V. E. et al. Sustainable layout planning requirements by integration of discrete event simulation analysis (DES) with life cycle assessment (LCA). In: EMMANOUILIDIS, C.; TAISCH, M.; KIRITSIS, D. **Advances in production management systems**. Competitive manufacturing for innovative products and services. IFIP WG 5.7 international conference, APMS 2012. Rodes, Grécia, 24-26 set. 2012. Berlim, Heidelberg: Springer, v. 398, 720p. doi: 10.1007/978-3-642-40361-3_30. 2013.

SUZUKI, N. LCA activities of toyota industries corporation: case study. **JLCA news letter**, n. 2, nov. 2006. 20 p. Disponível em: <lca-forum.org/english/pdf/02.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2013.

UNITED STATES INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Key World Energy Statistics**. 2013. 82 p. Disponível em: <http://nature.berkeley.edu/er100/sections/Week2_IEA_2013_key-world-energy-statistics.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2015.

Data de recebimento: 24/09/2014

Data de aprovação: 15/12/2015

SOBRE OS AUTORES



Durval João de Barba Junior

Engenheiro mecânico pela Universidade Federal de Santa Catarina (1993), mestre em Engenharia Mecânica também pela Universidade Federal de Santa Catarina (1997) e doutor em Produção pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA (2015) em São José dos Campos (SP). Atualmente, é professor do Instituto Federal Sul-Rio-Grandense, campus Sapucaia do Sul. Tem experiência na área de Engenharia de Produção, com ênfase em Sustentabilidade, atuando principalmente nos temas sustentabilidade, fabricação, avaliação ciclo de vida e projeto de moldes.



Victor Emmanuel de Oliveira Gomes

Engenheiro mecânico pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC (2007) e mestre em Engenharia Mecânica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA (2010) na área de Simulação Discreta de Processos de Manufatura. Doutorando do ITA e pesquisador do Centro de Competência em Manufatura (CCM-ITA), com experiência industrial e acadêmica na área de Modelagem Computacional e Simulação de Layouts Fabris, atuando principalmente nos seguintes temas: análise de desempenho organizacional e tecnológico de plantas industriais; auxílio à tomada de decisões em planejamento e melhoria de layouts fabris; análise de eficiência energética inserida

ao planejamento de processos de manufatura discreta. Desenvolveu parte do trabalho de doutorado no Institut für Maschinenkonstruktion (IMK), na Universidade Otto-Von-Guericke, em Magdeburg (Alemanha).

Carlos Alberto Schuch Bork



Engenheiro mecânico pela Universidade Federal do Rio Grande (1990), mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (1995) e doutor em Produção pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA (2015) em São José dos Campos (SP). Atualmente é professor do Instituto Federal Sul-Rio-Grandense, campus Sapucaia do Sul. Tem experiência na área de Engenharia de Fabricação, atuando principalmente nos temas: sustentabilidade na fabricação mecânica, usinagem com geometria definida e não definida e fabricação de moldes.



Aproveite e
publique seus
artigos na
E-TECH.

Mais tecnologia
para a
competitividade
da indústria.

