



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

A CONTRIBUIÇÃO DA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV) PARA A MINIMIZAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DE PROCESSOS PRODUTIVOS: UMA ABORDAGEM TEÓRICA

THE CONTRIBUTION OF LIFE CYCLE ANALYSIS (LCA) TO MINIMIZING THE ENVIRONMENTAL IMPACTS OF PRODUCTIVE PROCESSES: A THEORETICAL APPROACH

LA CONTRIBUCIÓN DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV) PARA MINIMIZAR LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS: UN ENFOQUE TEÓRICO

Gabriela Dalmora¹, Karine Luzzi¹, Marcelo Hemkemeier¹

e422714

<https://doi.org/10.47820/recima21.v4i2.2714>

PUBLICADO: 02/2023

RESUMO

Devido à crescente preocupação com a questão ambiental, algumas técnicas vêm sendo desenvolvidas com o intuito de avaliar os aspectos e impactos ambientais associados aos produtos. Dentre estas técnicas, nota-se um destaque para a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), que abrange todas as etapas do ciclo de vida do produto, desde a retirada da matéria-prima na natureza até a disposição do produto final. Com isso, esta metodologia apresenta um grande potencial de aplicação na indústria para acompanhamento do ciclo de vida do produto. Contudo, a aplicação desta metodologia na indústria é recente, e ainda está em processo de aperfeiçoamento. Desta forma, este estudo tem como objetivo discutir a aplicação e utilização da ACV no ambiente industrial. Para isso foi realizada uma pesquisa básica, de caráter exploratório, onde foi discorrido sobre alguns conceitos relacionado a ACV, as etapas para sua aplicação na indústria e os benefícios e limitações da ACV no setor industrial. Percebeu-se no estudo que, apesar da complexidade que a aplicação da ACV possa ter no setor industrial, está é uma boa opção para o acompanhamento das questões ambientais relacionadas aos produtos, e pode contribuir para o desenvolvimento sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de ciclo de vida. Aspectos e impactos ambientais. Produtos.

ABSTRACT

Due to the growing concern with the environmental issue, some techniques have been developed in order to assess the environmental aspects and impacts associated with the products. Among these techniques, a highlight is the Life Cycle Assessment (LCA), which covers all stages of the product's life cycle, from the removal of raw material from nature to the disposal of the final product. Thus, this methodology has a great potential for application in the industry to monitor the product's life cycle. However, the application of this methodology in the industry is recent and is still in the process of improvement. Thus, this study aims to discuss the application and use of LCA in the industrial environment. For this, a basic exploratory research was carried out, where some concepts related to LCA were discussed, the steps for its application in the industry and the benefits and limitations of LCA in the industrial sector. It was noticed in the study that, despite the complexity that the application of LCA may have in the industrial sector, it is a good option for monitoring environmental issues related to products and can contribute to sustainable development.

KEYWORDS: Life cycle analysis. Environmental aspects and impacts. Products.

RESUMEN

Debido a la creciente preocupación por el tema ambiental, se han desarrollado algunas técnicas para evaluar los aspectos ambientales y los impactos asociados con los productos. Entre estas técnicas, destacamos el Análisis del Ciclo de Vida (ACV), que abarca todas las etapas del ciclo de vida del producto, desde la eliminación de la materia prima en la naturaleza hasta la eliminación del producto final. Con esto, esta metodología presenta un gran potencial de aplicación en la industria para monitorear el ciclo de vida del producto. Sin embargo, la aplicación de esta metodología en la industria es reciente, y todavía está en proceso de mejora. Por lo tanto, este estudio tiene como

¹ Universidade de Passo Fundo.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

A CONTRIBUIÇÃO DA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV) PARA A MINIMIZAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DE PROCESSOS PRODUTIVOS: UMA ABORDAGEM TEÓRICA
Gabriela Dalmora, Karine Luzzi, Marcelo Hemkemeier

objetivo discutir la aplicación y el uso de LCA en el entorno industrial. Para ello, se realizó una investigación exploratoria básica, donde se realizaron algunos conceptos relacionados con el ACV, los pasos para su aplicación en la industria y los beneficios y limitaciones del ACV en el sector industrial. En el estudio se observó que, a pesar de la complejidad que la aplicación del ACV puede tener en el sector industrial, esta es una buena opción para monitorear los problemas ambientales relacionados con los productos y puede contribuir al desarrollo sostenible.

PALABRAS CLAVE: *Análisis del ciclo de vida. Aspectos e impactos ambientales. Bienes.*

INTRODUÇÃO

O questionamento global sobre todos os prejuízos ambientais causados pelo homem, desde a Revolução Industrial até os dias atuais, vem ganhando um foco maior a cada dia na mídia. A resposta obtida para dar suporte na solução dos problemas relacionados às atividades humanas está baseada em uma combinação de fatores completamente relacionados entre si como: sociais, econômicos e científicos (CUNHA, 2014).

A sociedade atual está assimilando cada vez mais a questão de utilizar recursos mais sustentáveis para o planeta. Para obter e garantir uma boa qualidade de vida no futuro, a capacidade de suporte do sistema precisa ser considerada. Contudo, pensar somente na questão ambiental não é suficiente, visto que para agregar a sustentabilidade como um todo, questões econômicas e sociais precisam ser consideradas (JACOBI, 2003; TIOSSI; SAMON, 2021).

A diminuição da vida útil dos produtos para aumentar a satisfação momentânea do usuário acaba por gerar uma quantidade enorme de material que não recebe um destino adequado. Na maioria das vezes, o consumo de produtos com uma vida útil pequena não é uma escolha do consumidor, e sim uma imposição dos fabricantes. Os indivíduos são obrigados a consumir bens que se tornam obsoletos antes do tempo, já que cada vez mais se tornam funcionalmente inúteis logo após saírem das fábricas. Mas não é só a diminuição do tempo de vida útil dos produtos que contribui para agravar a crise ambiental pela qual a sociedade atual vem passando (ASSIS, 2009).

Na análise dos impactos ambientais das atividades industriais é preciso que haja um enfoque integrado, no qual seja feita uma completa Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) dos produtos, abrangendo limites além do processo produtivo (BARBOSA *et al.*, 2008).

Existem normas que orientam as organizações no sentido de se tornarem adequadas ao contexto de melhoria dos aspectos ambientais relacionados às suas atividades. Essas normas incluem planos dirigidos para tomadas de decisão que contribuam para prevenção dos impactos ambientais como, contaminação do solo, água, ar. Exemplos são as normas ISO 14000 – Gestão Ambiental, que tratam sobre “o que a organização faz para minimizar os efeitos nocivos ao ambiente causados pelas suas atividades” (ASSIS, 2009; TEIXEIRA, 2021).

Nesse sentido, a ACV, ou *Life Cycle Assessment*, surge como uma técnica que encoraja as empresas a considerar sistematicamente as questões ambientais associadas à cadeia produtiva e



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

A CONTRIBUIÇÃO DA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV) PARA A MINIMIZAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DE PROCESSOS PRODUTIVOS: UMA ABORDAGEM TEÓRICA
Gabriela Dalmora, Karine Luzzi, Marcelo Hemkemeier

permite avaliar o impacto ambiental de um produto, processo ou sistema, do berço ao túmulo, ou seja, desde a extração da matéria-prima até a disposição final (BARBOSA *et al.*, 2008).

Desse modo, este artigo consiste em uma pesquisa exploratória sobre ACV dos produtos, abordando conceitos, benefícios, aplicações e as barreiras para sua aplicação nas últimas décadas.

O CONCEITO DE CICLO DE VIDA

De acordo com o *Society of Toxicology and Chemistry*, “A Análise de Ciclo de Vida (ACV) tem como objetivo avaliar as cargas ambientais associadas com um produto, processo ou atividades relacionadas a ele para identificação e quantificação da energia e materiais usados, além das descargas para o ambiente. As informações geradas podem servir para análise e implementação de oportunidades a fim de influenciar melhorias ambientais, abrangendo desde a extração, o processamento da matéria-prima, a manufatura, o transporte e a distribuição; o uso e reuso; a manutenção; a reciclagem e a disposição final.” O principal objetivo da ACV é a obtenção, por uma visão global e completa, de subsídios que definam os efeitos ambientais, implementando melhorias nesses efeitos (FABI *et al.*, 2005).

Nessa óptica, a avaliação começa com a aquisição de matérias-primas e termina quando todos os materiais sofrem disposição final. A ACV permite a estimativa dos impactos ambientais cumulativos resultantes de todas as fases do ciclo de vida do produto, muitas vezes incluindo impactos não considerados em análises mais tradicionais (por exemplo, a extração de matérias-primas, material de transporte, disposição final do produto etc.) (WILLERS *et al.*, 2010).

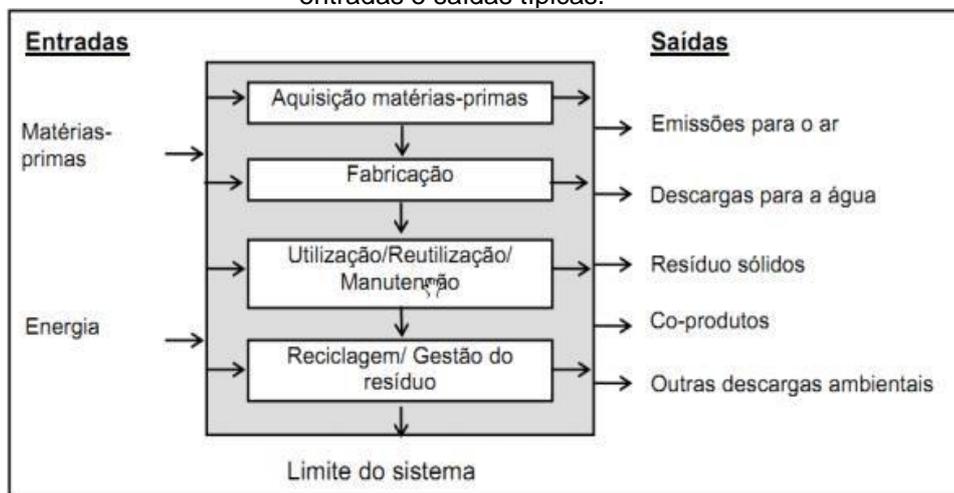
A ACV é padronizada pela *International Organization for Standardization* (ISO), que elaborou a ISO 14040, publicada no Brasil pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. De acordo com a ISO 14040 (2006) a ACV é a compilação e avaliação das entradas, das saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida (NUNES, 2011).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

A CONTRIBUIÇÃO DA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV) PARA A MINIMIZAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DE PROCESSOS PRODUTIVOS: UMA ABORDAGEM TEÓRICA
Gabriela Dalmora, Karine Luzzi, Marcelo Hemkemeier

A Figura 1 ilustra as possíveis etapas do ciclo de vida que podem ser consideradas em uma ACV e as entradas e saídas típicas.



Fonte: MARCAL (2013).

Visando melhorar a compreensão e aplicação da ACV, atualmente no Brasil, são consideradas as seguintes normas ISO 14000 – Gestão Ambiental, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 01: Normas ISO 14040 – Avaliação do Ciclo de Vida

Nº. Ano	Título da Norma
14040:1999	Avaliação do ciclo de vida – princípios e estruturas.
14041:1998	Avaliação do ciclo de vida – objetivos e escopo, definições e análise de inventários.
14042:2000	Avaliação do ciclo de vida – avaliação de impacto de ciclo de vida.
ISO/TR 14043:2000	Avaliação do ciclo de vida – interpretação dos resultados de um estudo de avaliação do ciclo de vida.
ISO/TR 14048:2002	Avaliação do ciclo de vida – informações sobre a apresentação de dados para um estudo de avaliação do ciclo de vida.
ISO/TR 14049:2002	Avaliação do ciclo de vida – exemplos para a aplicação da norma ISO 14041:1998.

Fonte: Adaptado de ASSIS, 2009.

A série de normas ISO 14000 auxilia na especificação e definição do método, além de conter protocolos que auxiliam a analisar e elaborar relatórios de estudos de ACV. As versões revisadas e atualizadas das principais normas são as seguintes:

- a) ISO 14040 – Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Esta norma define os principais termos do processo,



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

A CONTRIBUIÇÃO DA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV) PARA A MINIMIZAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DE PROCESSOS PRODUTIVOS: UMA ABORDAGEM TEÓRICA
Gabriela Dalmora, Karine Luzzi, Marcelo Hemkemeier

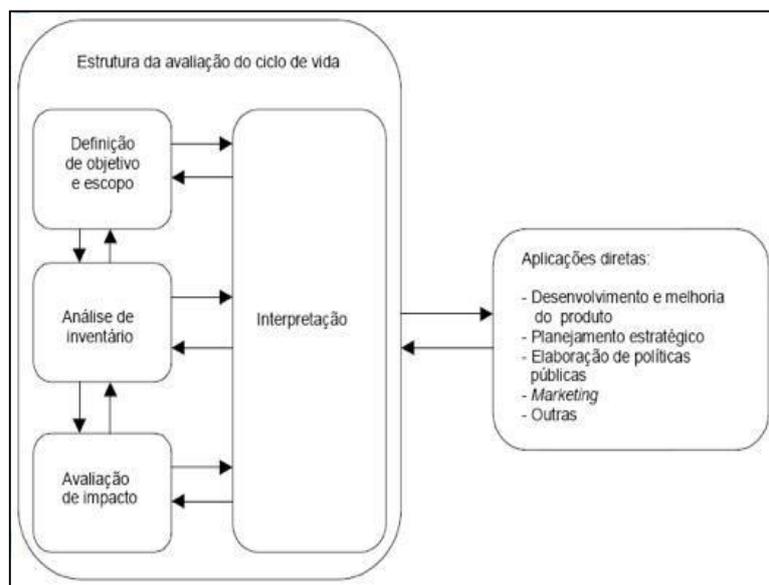
descrevendo e determinando princípios gerais na definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos e interpretação. Descreve os critérios de confecção de relatórios e análises. A forma como a divisão de etapas é feita não é detalhada e a metodologia aplicada não é especificada (RISSATO, 2012).

b) ISO 14044 – Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientação. Esta norma apresenta a fase de análise de inventário do ciclo de vida (ICV), em que são levantados os dados referentes a insumos, gastos energéticos e emissões durante o ciclo de vida do produto. Apresenta também a fase de avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV), em que são caracterizados os impactos ambientais relacionados ao objeto de estudo e a fase de interpretação que apresenta os resultados partindo de uma revisão crítica do estudo, confrontando com os objetivos descritos no princípio da análise (RISSATO, 2012).

METODOLOGIA DA ACV

A ISO 14040 estabelece que a ACV deve ser composta de quatro fases: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos e interpretação dos resultados (MAZUR, 2011). A iteração entre essas fases pode ser observada na Figura 2 (ABNT, 2009).

Figura 2 - Fases de uma ACV segundo diretrizes da NBR ISO 14040:2009



Fonte: ABNT, 2009.

Objetivo do estudo: O objetivo de um estudo da ACV deve declarar inequivocamente a aplicação pretendida, as razões para conduzir o estudo e o público-alvo, isto é, para quem se pretende comunicar os resultados do estudo (ABNT, 2009).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

A CONTRIBUIÇÃO DA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV) PARA A MINIMIZAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DE PROCESSOS PRODUTIVOS: UMA ABORDAGEM TEÓRICA
Gabriela Dalmora, Karine Luzzi, Marcelo Hemkemeier

Escopo do estudo: Na definição do escopo de um estudo da ACV devem ser considerados e claramente descritos os seguintes itens: as funções do sistema de produto ou, no caso de estudos comparativos, dos sistemas; a unidade funcional; o sistema de produto a ser estudado; as fronteiras do sistema de produto; procedimentos de alocação; tipos de impacto e metodologia de avaliação de impacto e interpretação subsequente a ser usada; requisitos dos dados; suposições; limitações; requisitos da qualidade dos dados iniciais; tipo de análise crítica, se aplicável e tipo e formato do relatório requerido para o estudo (MAZUR, 2011).

Convém que o escopo seja suficientemente bem definido para assegurar que a extensão, a profundidade e o grau de detalhe do estudo sejam compatíveis e suficientes para atender o objetivo estabelecido (ABNT, 2009).

A ACV é uma técnica iterativa. Portanto, o escopo do estudo pode necessitar de modificação enquanto o estudo estiver sendo conduzido, quando informações adicionais forem coletadas (ABNT, 2009).

Análise de inventário: Análise do inventário envolve a coleta de dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto. Estas entradas e saídas podem incluir o uso de recursos e liberações no ar, na água e no solo associados com o sistema. Podem ser feitas interpretações destes dados, dependendo dos objetivos e do escopo da ACV. Estes dados também constituem a entrada para a avaliação do impacto do ciclo de vida (ABNT, 2009).

O processo de condução de uma análise do inventário é iterativo. Na medida em que os dados são coletados e é conhecido mais sobre o sistema, podem ser identificados novos requisitos ou limitações para os dados que requeiram uma mudança nos procedimentos de coleta de dados, de forma que os objetivos do estudo ainda sejam alcançados. Às vezes, podem ser identificadas questões que requeiram revisões de objetivo ou do escopo do estudo (ABNT, 2009).

Os dados qualitativos e quantitativos para inclusão no inventário devem ser coletados para cada unidade de processo que esteja incluída dentro das fronteiras do sistema. Os procedimentos usados para a coleta de dados podem variar dependendo do escopo, da unidade de processo ou da aplicação pretendida para o estudo. A coleta de dados pode ser um processo de intensa demanda de recursos. Convém que restrições práticas à coleta de dados sejam consideradas no escopo e documentadas no relatório do estudo (ABNT, 2009).

Avaliação de impactos: A fase de avaliação do impacto da ACV é dirigida à avaliação da significância de impactos ambientais potenciais, usando os resultados da análise de inventário do ciclo de vida. Em geral, este processo envolve a associação de dados de inventário com impactos ambientais específicos e a tentativa de compreender estes impactos. O nível de detalhe, a escolha dos impactos avaliados e as metodologias usadas dependem do objetivo e do escopo do estudo. Esta avaliação pode incluir o processo iterativo de análise crítica do objetivo e do escopo do estudo



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

A CONTRIBUIÇÃO DA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV) PARA A MINIMIZAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DE PROCESSOS PRODUTIVOS: UMA ABORDAGEM TEÓRICA
Gabriela Dalmora, Karine Luzzi, Marcelo Hemkemeier

da ACV, para determinar quando os objetivos do estudo foram alcançados ou modificar o objetivo e o escopo, se a avaliação indicar que eles não podem ser alcançados (ABNT, 2009).

Interpretação: Interpretação é a fase da ACV na qual as constatações da análise do inventário e da avaliação de impacto ou, no caso de estudos de inventário do ciclo de vida, somente os resultados da análise de inventário, são combinados, de forma consistente, com o objetivo e o escopo definidos, visando alcançar conclusões e recomendações. As constatações desta interpretação podem tomar a forma de conclusões e recomendações para os tomadores de decisão, de forma consistente com o objetivo e o escopo do estudo. A fase de interpretação pode envolver o processo iterativo de análise crítica e revisão do escopo da ACV, assim como da natureza e da qualidade dos dados coletados de forma consistente com o objetivo definido (ABNT, 2009).

Convém que as constatações da fase de interpretação reflitam os resultados de qualquer análise de sensibilidade que seja realizada. Embora decisões e ações subsequentes possam incorporar implicações ambientais identificadas nas constatações da interpretação, elas ficam além do escopo do estudo da ACV, uma vez que outros fatores, como desempenho técnico, aspectos econômicos e sociais, também são considerados (ABNT, 2009).

É importante salientar que a ACV não deve ser considerada apenas como a única ferramenta na tomada de decisão ambiental em uma indústria, governo ou instituição, ela pode ser utilizada integrada a inúmeras outras ferramentas de gestão ambiental ou também subsidiá-las. As áreas de atuação para a ACV são inúmeras. Segundo a ISO 14040 algumas são: avaliação de impactos ambientais; *design* sustentável; rotulagem ambiental; análise do consumo de energia e materiais; análise do fluxo de substâncias; análise de custo-benefício (CAMPOS, 2012).

A metodologia da ACV possui benefícios e limitações, relacionadas até mesmo pela ISO 14040 (2006). A compreensão das limitações e dos benefícios é importante para estabelecer a abrangência do estudo. Entre seus benefícios, além do grande potencial de aplicação na avaliação de impactos ambientais, destaca-se que a ACV proporciona uma visão geral do real impacto causado pela fabricação de determinado produto e também determina as etapas críticas da produção que proporcionam altas descargas ambientais ou que consomem grandes quantidades de recursos naturais (WILLERS *et al.*, 2010).

Por se tratar de uma técnica recente, a ACV demonstra ainda certas limitações de ordem operacional, dentre as quais deve merecer destaque a elevada quantidade de dados necessários à sua execução. Em muitos casos, o processo de coleta de informações acaba sendo inviabilizado por motivos diversos, tais como o desinteresse de empresas ou setores produtivos, a preservação da confidencialidade no uso de informações relacionadas a determinados insumos e tecnologias (SEO *et al.*, 2006).

Nos últimos anos, tem aumentado o interesse das indústrias, dos especialistas ambientais, das autoridades, associações de consumidores, organizações ambientais e do público em geral em querer conhecer a qualidade ambiental dos processos de produção e dos produtos.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

A CONTRIBUIÇÃO DA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV) PARA A MINIMIZAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DE PROCESSOS PRODUTIVOS: UMA ABORDAGEM TEÓRICA
Gabriela Dalmora, Karine Luzzi, Marcelo Hemkemeier

No Brasil, os estudos de ACV ainda são incipientes e raros são dados disponíveis acerca da avaliação de impacto no País e bases de dados a serem refinadas. É importante a realização de trabalhos locais pois como a metodologia de ACV surgiu na Europa, muitas das informações e aplicações nos estudos de casos e testes empíricos devem ser analisadas com uma abordagem regionalizada devido às características particulares do Brasil, como: condições climáticas, fatores de produção, sistemas produtivos, sistemas de gerenciamento, reciclagem de resíduos etc. (CLAUDINO, 2013).

APLICAÇÃO DA ACV

A fim de ilustrar todos os conceitos que foram expostos, serão apresentados exemplos práticos, reais e hipotéticos, de aplicação da ferramenta ACV. Os exemplos visam possibilitar um entendimento mais claro a partir de situações que normalmente ocorrem ou cuja ocorrência é possível. A ACV não se restringe somente aos tipos de produtos apresentados nos exemplos, nem é necessariamente desenvolvida de forma idêntica à que é demonstrada. Portanto, é importante considerar que a ACV se aplica a uma infinidade de produtos, cada um com sua peculiaridade e requisitos para ser alvo de um estudo de ACV (ASSIS, 2009).

Um dos exemplos mais conhecidos de como a ACV pode ajudar na redução da pegada ambiental é o da Coca-Cola que, após analisar o impacto de suas embalagens, mudou toda a linha de produção de latas e garrafas. Somente a mudança nas garrafas de vidro provocou uma redução de emissão de 26 mil toneladas de gás carbônico (SEO *et al.*, 2006).

Em outro exemplo, bem mais polêmico, a ACV foi aplicada para avaliar o impacto de sacolas de supermercado. Vários estudos de ACV e/ou impacto ambiental concordam que a opção mais sustentável é a utilização de sacolas reutilizáveis. Essa alternativa, em termos de consumo energético na produção e uso, tem um ganho associado enorme, variando o gasto energético de 120 kJ para as sacolas reutilizáveis a 1.344 kJ e 1.047 kJ para as sacolas de papel e plástico, respectivamente. Uma sacola reutilizável substitui cerca de 125 sacolas de plásticos tradicionais e tem uma vida estimada entre 12 e 104 viagens (ou dois anos, considerando uma ida ao supermercado por semana). Outro benefício direto é a redução no consumo de matéria-prima. Embalagens de papel possuem impactos energéticos e de contaminação ambiental maiores que as poliolefinas, devido aos efluentes gerados nos processos de polpação e branqueamento da produção do papel e, às emissões gasosas da produção e distribuição do papel. Além disso, se disposto no aterro, o papel tem taxa de degradação maior que o plástico, portanto, maior impacto no aquecimento global que as embalagens plásticas. O estudo realizado por Tough (2007), pode-se concluir que as sacolas biodegradáveis e de papel, oferecem riscos ao ambiente tanto quanto as sacolas convencionais produzidas de materiais plásticos. Os impactos mencionados em tal estudo, referem-se ao uso de água e energia, formas de poluição hídrica e atmosférica, e produção e destinação de resíduos (SANTOS *et al.*, 2012).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

A CONTRIBUIÇÃO DA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV) PARA A MINIMIZAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DE PROCESSOS PRODUTIVOS: UMA ABORDAGEM TEÓRICA
Gabriela Dalmora, Karine Luzzi, Marcelo Hemkemeier

Um estudo de ACV de garrafas de PET foi desenvolvido em Bogotá, Colômbia, através da Universidade dos Andes, coordenado pelo Prof. Bart Van Hoof. A análise deste estudo foi realizada para embalagem de PET para bebidas gasosas de 1,5 L retornáveis (120 g) e descartáveis (80 g). A empresa produtora importa a matéria-prima e realiza todo o processo de fabricação das embalagens para distribuir a nível nacional. Para esta ACV a unidade funcional foi definida como 1000 L de líquido sendo disposto no mercado local. A análise considerou que uma garrafa retornável é reutilizável, normalmente é utilizada em torno de 20 vezes.

O resultado desta ACV mostra que a embalagem não retornável tem maiores impactos ambientais em comparação com a retornável. Para 1000 L de bebida gaseificada engarrafada (unidade funcional) são 750 garrafas não retornáveis. No sistema retornável necessita-se de 38 embalagens (cada garrafa retornável se reutiliza aproximadamente 20 vezes). Para a retornável, a etapa com maior impacto é o transporte, seguido das etapas de matéria-prima e produção. A prioridade de cada etapa de distribuição e uso se aplica ao transporte do sistema retornável, onde cada garrafa realiza dois trajetos 20 vezes. A mesma forma de garrafa é submetida a um processo de lavagem 20 vezes. A não retornável, a prioridade se encontra na matéria-prima, seguida pelas etapas de produção, distribuição, uso e reciclagem. Isto se deve à quantidade de material que se deseja para produção das embalagens necessárias para engarrafar 1000 L de bebida gaseificada. O fim de vida (impactos no aterro sanitário) não se identifica como etapa prioritária quando se considera todo o ciclo de vida da embalagem, pois os impactos ambientais ao longo da cadeia produtiva são bem maiores. Esta ACV mostra que o impacto ambiental da garrafa retornável é menor que a não retornável, principalmente pela diminuição da extração de matéria-prima, uma das etapas prioritárias do ciclo de vida da garrafa PET (LIMA, 2001).

Algumas medidas de redução da poluição são otimizar o uso de matéria-prima usando quantidades mínimas na embalagem, mantendo suas características de resistência. O menor peso reduz a quantidade de resíduos produzidos e outros custos associados, tais como o frete. Desenvolver embalagens retornáveis, para insumos, aditivos, embalagens para transporte dos *pellets*, pré-formas etc. Diminuindo assim a geração de resíduos do processo, como papel, papelão, plásticos, dentre outros (LIMA, 2001).

Na indústria química um conceito bastante utilizado para orientar as inovações do setor é o de “Química Verde” ou “Química Sustentável”, que pode ser definido como o desenvolvimento de produtos e processos químicos feito de forma a eliminar o uso ou a geração de substâncias perigosas, visando proteger o meio ambiente e a saúde humana. O conceito permeia todo o ciclo de vida de um produto químico, desde sua concepção e desenvolvimento, passando pela produção, e uso, e se encerra na disposição final do mesmo (LIMA, 2001).

A empresa selecionada para aplicação do estudo de caso foi a Oxiteno, por ser uma multinacional brasileira de grande representatividade em termos de participação de mercado e faturamento no Brasil e em diversos mercados internacionais. A questão orientadora da pesquisa foi:



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

A CONTRIBUIÇÃO DA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV) PARA A MINIMIZAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DE PROCESSOS PRODUTIVOS: UMA ABORDAGEM TEÓRICA
Gabriela Dalmora, Karine Luzzi, Marcelo Hemkemeier

“Em que medida os aspectos de sustentabilidade influenciam projetos de inovação no setor químico?” (LIMA, 2001).

No que se refere à visão estratégica, a Oxiteno busca ser reconhecida como a melhor empresa de tensoativos e produtos químicos especializados das Américas. Para tanto, orienta sua estratégia de crescimento no fortalecimento de sua posição na América Latina e na América do Norte, na expansão do negócio de tensoativos, solventes e especialidades químicas, no desenvolvimento de soluções tecnológicas e no fomento de produtos sustentáveis. Para levar adiante esta última vertente, se posiciona e atua com base nos princípios da química verde. Sua estratégia de negócio é também pautada na crescente demanda de mercado por tecnologias e soluções sustentáveis no setor químico. Para isso, a empresa adota uma postura de diferenciação no mercado – mais uma vez baseada na química verde, que prioriza a concepção e o desenvolvimento de novos intermediários químicos do segmento de tensoativos e solventes oxigenados, a partir de ativos de origem renovável. A empresa afirma possuir um compromisso em desenvolver soluções sustentáveis, sendo 21% das matérias-primas adquiridas de fonte renovável, principalmente o óleo de palmiste, etanol, açúcar e óleo de soja, e cerca de 35% de seus produtos contêm insumos renováveis (LIMA, 2001).

A estratégia de sustentabilidade da empresa é baseada em cinco pilares: segurança, meio ambiente, pessoas, produtos e serviços, e cadeia de valor. A organização prioriza o uso de tecnologias mais limpas e eficientes nos processos produtivos, possui iniciativas com foco na redução de geração de resíduos e de emissões gasosas. Além disso, estuda e implementa práticas para racionalização do consumo de água nas unidades produtivas e faz uso recorrente de tecnologias de minimização do grau de toxicidade de seus efluentes líquidos (LIMA, 2001).

Os setores agroquímico, cosmético, detergente, tinta, petróleo e gás são prioritários para o desenvolvimento de novas tecnologias e produtos, que tem seu direcionamento de P&D pautado em tendências mundiais. Dentro desta mesma ótica está incluída a busca por tecnologias que considerem o viés de sustentabilidade e a síntese de produtos de origem natural. A demanda por maior transparência dos componentes químicos nos produtos, a adoção de tecnologias mais seguras, e de componentes sustentáveis, são algumas das principais tendências de mercado e que influenciam a estratégia de inovação da empresa (LIMA, 2001).

A viabilidade de um novo produto sustentável e que seja norteado por princípios da química verde, é analisada pela empresa por meio da aplicação de critérios como custo, desempenho técnico, toxicidade/exposição humana e impacto ambiental (LIMA, 2001).

A Oxiteno demonstrou que produzir algo sustentável não significa necessariamente usar matéria-prima renovável, no entanto, envolve também a avaliação de forma holística de outros aspectos ambientais, que sejam capazes de demonstrar quantitativamente os impactos ambientais provocados ao longo de todo o ciclo de vida dos produtos, inclusive de etapas agrícolas e de transporte que envolvem a utilização de matérias-primas renováveis (LIMA, 2001).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

A CONTRIBUIÇÃO DA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV) PARA A MINIMIZAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DE PROCESSOS PRODUTIVOS: UMA ABORDAGEM TEÓRICA
Gabriela Dalmora, Karine Luzzi, Marcelo Hemkemeier

Observando este caso, algumas sugestões podem ser aplicadas a todas áreas da química e outros segmentos que considerem os seguintes princípios: a) Prevenção: é melhor prevenir a geração de resíduos do que tratá-los ou limpar depois que foram gerados; b) Economia atômica: métodos de síntese devem ser desenvolvidos de forma a maximizar a incorporação de todas as matérias-primas utilizadas no processo do produto final; c) Síntese de produtos químicos menos tóxicos: sempre que possível os métodos de síntese devem ser desenvolvidos para usar e gerar substâncias que possuam pouca ou nenhuma toxicidade ao homem ou ao meio ambiente; d) Produtos químicos mais seguros: devem ser desenvolvidos de forma a desempenhar a função para a qual foram gerados, com mínimos graus de toxicidade aportada; e) Solventes e auxiliares mais seguros: as substâncias auxiliares, como solventes, por exemplo, devem ser inócuas sempre que possível; f) Eficiência energética: a energia necessária aos processos químicos deve ser reconhecida por seus impactos econômico e ambiental e seu uso deve ser minimizado. Preferencialmente, quando possível, os processos devem ser conduzidos à pressão e temperatura ambientes; g) Uso de matérias-primas renováveis: sempre que aplicável, os insumos de um processo devem ser de origem renovável, em detrimento daqueles passíveis de depleção; h) Reduzir derivatização: minimizar consumo de reagentes adicionais cuja produção e uso possam gerar resíduos, casos de bloqueadores, e de agentes de proteção ou de modificação temporária de processos químicos/físicos; i) Catálise: o uso de reagentes catalíticos, tão seletivos quanto possível, é preferível ao de seus homólogos, de consumo estequiométrico; j) Desenvolvimento prevendo a degradação: os produtos químicos devem ser concebidos de modo que, no final da sua função estes se decompõem em produtos de degradação inócuos e não persistentes no ambiente; k) Análises em tempo real para a prevenção da poluição: metodologias analíticas precisam ser desenvolvidas para permitir, em tempo real, monitoramento e controle em processo antes da formação de substâncias perigosas, e l) Produtos inerentemente seguros para a prevenção de acidentes: substâncias utilizadas em um processo químico e sua forma devem ser escolhidos para minimizar o potencial para acidentes químicos, incluindo vazamentos, explosões e incêndios (LENARDAO *et al.*, 2003).

Diante da revisão integrativa bibliográfica, confirmou-se que a ACV é uma ferramenta muito importante na avaliação de sistemas de tratamento de efluentes para determinação dos impactos ambientais. Isto torna-se evidente quando, nos últimos cinco anos, a produção científica envolvendo esta temática tem aumentado. Associar outros métodos para avaliar os sistemas de tratamento de efluentes, o custo da construção e/ou manutenção da estação de tratamento de efluentes (ETE), como também o reaproveitamento do biogás ou do lodo gerado como o tipo de disposição final deste subproduto. No quesito reaproveitamento dos subprodutos, quando contabilizados na avaliação dos impactos ambientais, trouxe aos sistemas de tratamento de águas residuais, pontos positivos (RAU, 2016).

As empresas precisam descobrir que não basta pensar apenas em questões econômicas, mas também em questões ambientais e sociais relacionadas a seus produtos, processos e



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

A CONTRIBUIÇÃO DA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV) PARA A MINIMIZAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DE PROCESSOS PRODUTIVOS: UMA ABORDAGEM TEÓRICA
Gabriela Dalmora, Karine Luzzi, Marcelo Hemkemeier

serviços. Ações neste sentido poderão levar a empresa ao sucesso e em alguns casos apenas mantê-la no mercado, onde sua sobrevivência depende de um equilíbrio entre seu desempenho econômico, social e ambiental, visto que a sustentabilidade só será alcançada se três pontos chaves forem atendidos: o crescimento econômico, o equilíbrio ecológico e o progresso social (WAHRLICH *et al.*, 2020).

Em um momento em que se intensifica a busca por tecnologias mais limpas para os processos industriais e os produtos, no sentido de evitar-se a poluição e os desperdícios de recursos naturais, o uso de ACV pode e deve ter um papel central definido no uso de tecnologias limpas, buscando alternativas aos meios convencionais de indústrias altamente competitivas (FABI *et al.*, 2005).

Quantos às dificuldades de implementação, destaca-se a falta de informações relacionadas ao banco de dados referentes aos aspectos e impactos ambientais e as dificuldades financeiras, pelo fato de a elaboração de um estudo de ACV necessitar normalmente de muitos recursos e arrastar-se por muito tempo, além da falta de incentivos governamentais (BARBOSA *et al.*, 2008).

Cabe salientar que, embora existam barreiras, elas não superam os benefícios potenciais do uso do ACV, visto que essa metodologia está em crescimento de utilização em todo o mundo (CAMPOS, 2012).

CONSIDERAÇÕES

Este trabalho teve como objetivo realizar uma revisão de literatura a fim de abordar o tema ACV, uma ferramenta de gerenciamento ambiental voltada para o produto. Tratou-se dos conceitos, metodologia, exemplos da aplicação da ferramenta, benefícios e barreiras de sua aplicação.

A ACV tem se mostrado de grande importância, é uma ferramenta que tem proporcionado viabilidade de um novo produto sustentável e que seja norteado por princípios da química verde.

Com isso, pode-se concluir que a utilização da ACV representa uma mudança estratégica importante, que pode auxiliar no Sistema de Gestão Ambiental da empresa.

REFERÊNCIAS

- ASSIS, Bruno B. **Avaliação do ciclo de vida do produto como ferramenta para o desenvolvimento sustentável**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2009. Disponível em
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISO 14040**: Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura, Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- BARBOSA JÚNIOR, A. F. *et al.* Conceitos e aplicação de Análise do Ciclo de Vida (ACV) no Brasil. **Revista Ibero Americana de Estratégia**, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 39-44, 2008. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3312/331227111005.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2020.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

A CONTRIBUIÇÃO DA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV) PARA A MINIMIZAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DE PROCESSOS PRODUTIVOS: UMA ABORDAGEM TEÓRICA
Gabriela Dalmora, Karine Luzzi, Marcelo Hemkemeier

CAMPOS, Marcel G. **Abordagem de Ciclo de Vida na avaliação de impactos ambientais no processamento primário offshore**. 2012. Trabalho de conclusão de graduação (Curso de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/8946/1/monopoli10004757.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2020.

CHERUBINI, Rau Karlan; SOARES, Edivan; SEBASTIÃO FILHO, Paulo; COSTA, Rejane. Análise da aplicação da acv em estações de tratamento de efluentes. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 7, 2016.

CLAUDINO, Edison S.; TALAMINI, Edson. Análise do Ciclo de Vida (ACV) aplicada ao agronegócio: uma revisão de literatura. **Rev. bras. eng. agric. ambient.**, Campina Grande, v. 17, n. 1, p. 77-85, jan. 2013. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662013000100011&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 21 ago. 2020.

CUNHA, Bruno. **O papel da química verde no desenvolvimento sustentável e a aplicação dos seus princípios na indústria química**. 2014. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Engenharia Química) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2014, Disponível em: <http://sistemas.eel.usp.br/bibliotecas/monografias/2014/MEQ14036.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2020.

FABI, A.; ENSINAS, A.; MACHADO, I.; BIZZO, W. Uso da avaliação de ciclo de vida (ACV) em embalagens de plástico e de vidro na indústria de bebidas no Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, Rio de Janeiro, v. 01 n. 01, p. 47-54, ago. 2005. Disponível em: http://rbciamb.com.br/index.php/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/496. Acesso em: 22 maio 2020.

JACOBI, Pedro. Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade. **Caderno de Pesquisa**, São Paulo, n. 118, p. 189-206, mar. 2003. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-15742003000100008&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 10 abr. 2020.

LENARDAO, Eder J. *et al.* "Green chemistry": Os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. **Revista Química Nova**, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 123-129, jan. 2003. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422003000100020&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 28 ago. 2020.

LIMA, Ângela M. F. **Estudo da cadeia produtiva do polietileno tereftalato (pet) na região metropolitana de salvador como subsídio para análise do ciclo de vida**. 2001. Monografia (Curso de Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2001. Disponível em https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282012000300005&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 22 ago. 2020.

MARCAL, Luciana M. *et al.* Fundamentos da análise do ciclo de vida. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, XXXIII, 2013, Salvador. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013_TN_WIC_185_055_22686.pdf. Acesso em: 10 abr. 2020.

MAZUR, Fabiane. **Avaliação do ciclo de vida do produto**: uma ferramenta de gestão ambiental. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2011. Disponível em <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/1962>. Acesso em: 05 jun. 2020.

NUNES, Ilana S. **A utilização da metodologia de avaliação de ciclo de vida no setor farmacêutico**. 2011. Monografia (Pós-graduação em Tecnologias Industriais Farmacêuticas) –



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

A CONTRIBUIÇÃO DA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV) PARA A MINIMIZAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DE PROCESSOS PRODUTIVOS: UMA ABORDAGEM TEÓRICA
Gabriela Dalmora, Karine Luzzi, Marcelo Hemkemeier

Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em <https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/7786/2/51.pdf>. Acesso em: 22 maio 2020.

RISSATO, Leandro Biezis. **Análise de Ciclo de Vida em uma Empresa do Setor Petroquímico**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica - Ênfase em Sistemas de Energia e Automação) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012. Disponível em: <http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180500/tce-12112012-153335/?&lang=br>. Acesso em: 22 maio 2020.

SANTOS, Amélia S. F. *et al.* Sacolas plásticas: destinações sustentáveis e alternativas de substituição. **Polímeros**, São Carlos, v. 22, n. 3, p. 228-237, 2012. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282012000300005&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 21 ago. 2020.

SEO, Emília S. M.; KULAY, Luiz A. Avaliação do ciclo de vida: ferramenta gerencial para tomada de decisão. **INTERFACEHS – Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**, São Paulo, v. 1, n. 1, Art. 4, ago. 2006. Disponível em: <http://www3.sp.senac.br/hotsites/blogs/InterfacEHS/wp-content/uploads/2013/07/2006-v1-art4-portugues.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2020.

TEIXEIRA, Wilson De Paula. **Análise do ciclo de vida de componentes de painel fotovoltaico: estudo do berço-ao-portão**. 2021. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP, [S. l.], 2021.

TIOSSI, F. M.; SIMON, A. T. Economia Circular: suas contribuições para o desenvolvimento da Sustentabilidade / Circular Economy: your contributions to the development of Sustainability. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 11912–11927, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n2-017. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/24108>. Acesso em: 18 jan. 2023.

TOUGH, R. **"Plastic Shopping Bags: Environmental Impacts and Policy Options**. 2007. Tese (Doutorado) - Victoria University of Wellington, New Zeland, 2007.

WAHRLICH, Júlia *et al.* **Avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida: uma revisão**. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 9, n. 2, p.183-201, jul. 2020. Disponível em: http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/5523. Acesso em: 28 ago. 2020.

WILLERSA, Camila D. W.; RODRIGUES, Luciano B. R.; SILVA, Cristiano A. Avaliação do ciclo de vida no Brasil: uma investigação nas principais bases científicas nacionais. **Prod.**, v. 23, n. 2, jun. 2013. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/prod/2012nahead/aop_t6_0009_0533.pdf. Acesso em: 22 maio 2020.