

**Eixo Temático: Inovação e Sustentabilidade**

**FERRAMENTAS APTAS A QUALIFICAR O PROCESSO DE  
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS AMBIENTALMENTE SUSTENTÁVEL:  
UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA**

**TOOLS TO QUALIFY THE PROCESS OF DEVELOPMENT OF  
ENVIRONMENTALLY SUSTAINABLE PRODUCTS: A SYSTEMATIC REVIEW OF  
THE LITERATURE**

Nicole Cecchele Lago, Gabriel de Almeida Gomes e Marcelo Schultz Moreira

**RESUMO**

O alinhamento entre processo de desenvolvimento de produto e sustentabilidade ambiental tem se tornado cada vez mais relevante na literatura, assim como na prática organizacional, no que tange, principalmente, a busca pelo desenvolvimento de inovações que possuam elevado desempenho ambiental. Dessa forma, é importante que as organizações assumam uma postura proativa em relação a questões ambientais, na qual estas passam a ser consideradas fontes primárias de vantagem competitiva. Considerando esse contexto, o presente estudo objetiva mapear, a partir de uma revisão teórica da literatura, ferramentas gerenciais e operacionais aptas a qualificar e auxiliar o processo de desenvolvimento de produtos ambientalmente sustentável. A partir da ampla sistematização realizada sob a ótica nacional e internacional, conclui-se que o mapeamento contribuirá, consideravelmente, para o aperfeiçoamento da pesquisa acadêmica e, ainda, possibilitará às organizações que desejam orientar seus esforços de inovação a produtos e processos verdes, um assessoramento na inserção e no controle de práticas sustentáveis, por meio da correta aplicação das ferramentas explanadas.

**Palavras-chave:** Processo de desenvolvimento de produto ambientalmente sustentável, desenvolvimento de produto verde, ferramentas.

**ABSTRACT**

The alignment between the process of product development and environmental sustainability has become increasingly relevant in the literature, as well as in organizational practice, in what concerns mainly the search for the development of innovations that holds high environmental performance. Thus, it is important that the organizations take a proactive stance on environmental issues, where they are treated as primary sources of competitive advantage. Considering this context, the present study aims to map, from a theoretical review on the literature, the management and operational tools capable of qualifying and assisting the process of environmentally sustainable product development. From a broad systematization carried out on a national and international perspective, it has been concluded that mapping will contribute considerably to the improvement of the academic research, moreover, it will also allow organizations that wish to orient their innovation efforts to green products and processes, an assistance on the insertion and control of sustainable practices, through the correct application of the presented tools.

**Keywords:** Environmentally sustainable product development process, green product development, tools.

## 1 INTRODUÇÃO

A temática referente ao gerenciamento e práticas de desenvolvimento de produto tem se tornado cada vez mais relevante na pesquisa acadêmica. Para aumentar os níveis de vantagem competitiva, as organizações, de diferentes portes, investem, profundamente, no desenvolvimento de produtos inovadores (PAULA; MELLO, 2013). Considerando que o processo de desenvolvimento de produtos (PDP) caracteriza-se por possuir um elevado grau de incertezas e riscos, por sua complexidade em envolver profissionais de diversas áreas da empresa (ROZENFELD et al., 2006; JABBOUR, 2015), e, ainda, por ser um fator crítico de sucesso na busca por objetivos estratégicos diante do mercado competitivo (PAULA; MELLO, 2013), a literatura tem gerado informações referentes às práticas a serem aplicadas durante o processo, visando, dessa forma, auxiliar as organizações no desenvolvimento de inovações.

Sob a ótica de desenvolver produtos inovadores, produtos com elevado desempenho ambiental estão sendo, cada vez mais, lançados no mercado (PUJARI; WRIGHT; PEATTIE, 2003). O aumento da produção desse tipo de produto está associado, dentre outros aspectos, ao atual cenário de regulamentações e diretrizes ambientais impostas às organizações, que, por pressão governamental, tentam assumir uma postura proativa em relação à sustentabilidade ambiental (POULIKIDOU; BJÖRKLUND; TYSKENG, 2014). Conforme Gmelin e Seuring (2014), as organizações deveriam realizar, voluntariamente, uma gestão ambiental proativa visando o desenvolvimento de produtos mais eficientes não apenas para atender questões regulatórias, mas, principalmente, para adquirir vantagem competitiva via diferenciação.

Diante do exposto, este estudo objetiva fornecer, a partir de uma revisão teórica, um mapeamento a respeito de ferramentas operacionais e gerenciais que possam auxiliar o processo de desenvolvimento de produtos ambientalmente sustentável. Tendo em vista a complexidade do tema e a carência de uma sistematização, de amplo escopo, conclui-se que a proposta do presente estudo contribuirá, consideravelmente, para o aperfeiçoamento da pesquisa acadêmica e para a prática organizacional. A ideia é mostrar, por meio da sumarização, as técnicas e ferramentas que podem ser adotadas nas diferentes fases do desenvolvimento de um produto, as quais, além de facilitar o processo, possuem a habilidade de qualificar os produtos finais, resultando na plena satisfação do mercado consumidor (PLATCHECK, 2003). Assim, pretendem-se abordar ferramentas que integram aspectos ambientais ao processo e/ou produto, esses que, na maioria das vezes, são tomados como secundários nas organizações (NIELSEN; WENZEL, 2002; NOGUEIRA; PERES; CARVALHO, 2011).

## 2 MÉTODO

Com o intuito de identificar as ferramentas que podem ser utilizadas durante o processo de desenvolvimento de produto ambientalmente sustentável, uma revisão da literatura foi realizada. Esta foi conduzida a partir da busca pelas palavras-chave “Environmentally Sustainable Product Development Process”, “Green Product Development” e “Environmentally Sustainable Innovation” em dois periódicos nacionais com classificação qualis B2 para a área de Engenharias III. A limitação quanto ao número de periódicos nacionais deve-se à restrição de tempo destinado à construção do presente estudo. Além da pesquisa sob a ótica nacional, uma busca no Journal of Cleaner Production, o qual possui classificação qualis A1, foi elaborada, devido à ampla abordagem do tema em questão.

Seguindo algumas das orientações presentes no estudo de Tranfield, Denyer e Smart (2003) a respeito de revisões sistemáticas de literatura, após a escolha dos periódicos pertinentes à pesquisa, bem como a identificação das palavras-chave e termos, a metodologia deste estudo envolveu as etapas de seleção dos artigos compatíveis e extração dos dados. Assim, os artigos foram analisados por meio da leitura de seus resumos, em que foram considerados apenas os

trabalhos cujas questões de pesquisa e os resultados estivessem diretamente relacionados a ferramentas aptas a auxiliar o processo de desenvolvimento de produtos verdes. É válido ressaltar que os artigos construídos a partir de revisões bibliográficas da literatura não foram considerados. Portanto, a amostra de análise foi composta por 27 artigos, conforme apresentado na tabela 1. A extração dos dados possibilitou o agrupamento das ferramentas encontradas nas três macro fases do processo de desenvolvimento de produto, definidas por Rozenfeld et al. (2006). A sintetização gerada pode ser observada na seção 04.

Tabela 1 – Número de Artigos encontrados por Periódicos e Busca

Periódico	Processo de Desenvolvimento de Produtos Ambientalmente Sustentável	Desenvolvimento de Produtos Verdes	Inovação Ambientalmente Sustentável	Artigos Utilizados
Gestão e Produção	01	02	02	02
Produção/Production	27	51	18	11
Journal of Cleaner Production	1050	997	523	14
<b>Total</b>	1078	1050	543	27

Fonte: autores.

### 3 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

Para Rozenfeld et al. (2006), Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) é um processo de negócio que abarca desde a ideia inicial do produto, incluindo o levantamento de informações do mercado, identificação de potencialidades tecnológicas e estratégias da empresa, até a homologação do produto ou a prestação do serviço que atendam aos requisitos do cliente. Logo, esse processo exige etapas bem definidas e administração de pessoas e recursos. Diante da complexidade presente no gerenciamento de suas etapas, o processo envolve uma equipe formada por profissionais de diversas áreas e, para que todos tenham uma visão clara e abrangente de todo o desenvolvimento, há a necessidade de o sequenciamento de fases ser estruturado e organizado. Essa organização é dada por modelos referenciais de desenvolvimento de produto, os quais são encontrados na literatura em diferentes níveis de aperfeiçoamento.

Buijs (2003) afirma que por mais de 30 anos diversos modelos vêm sendo utilizados para a pesquisa e educação, sendo que os primeiros procuravam descrever os processos por meio de uma lógica linear e os modelos mais recentes tendem a mostrar os processos através de uma perspectiva que se adapte à realidade das organizações. Assim, verifica-se que distintos autores divergem quanto ao número e definição das etapas que envolvem o PDP (GREEN; WILEMON, 1999). Porém, verificam-se fases comuns a todos os modelos, como pode ser observado na figura 1.

Figura 1 - Sintetização das metodologias de PDP

Autor	Metodologia de PDP
-------	--------------------

<b>Abramovitz e Rebello (2002)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planejamento;</li> <li>- Fase analítica;</li> <li>- Fase de desenvolvimento</li> </ul>
<b>Back (1983)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estudo das Viabilidades;</li> <li>- Projeto preliminar;</li> <li>- Projeto detalhado;</li> <li>- Revisão e testes;</li> <li>- Planejamento da produção;</li> <li>- Planejamento do mercado;</li> <li>- Planejamento do consumo e manutenção</li> </ul>
<b>Baxter (1998)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificação de uma necessidade;</li> <li>- Pesquisa de Marketing;</li> <li>- Análise da concorrência;</li> <li>Proposta do novo produto;</li> <li>- Especificações da oportunidade;</li> <li>- Especificações de projeto</li> </ul>
<b>Bittencourt (2001)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reprojeto informacional;</li> <li>- Reprojeto conceitual;</li> <li>- Reprojeto preliminar;</li> <li>- Reprojeto detalhado;</li> <li>- Documentação do reprojeto</li> </ul>
<b>Bomfim (1995)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Criação do produto;</li> <li>- Processo de produção;</li> <li>- Utilização dos produtos e satisfação das necessidades</li> </ul>
<b>Bonsiepe (1984)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Problematização;</li> <li>- Análise;</li> <li>- Definição do problema;</li> <li>- Anteprojeto e definição de alternativas;</li> <li>- Realização;</li> <li>- Análise final da solução</li> </ul>
<b>Rooseburg (1996)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definição do problema;</li> <li>- Valores do sistema;</li> <li>- Síntese do sistema;</li> <li>- Análise do sistema;</li> <li>- Seleção do melhor sistema;</li> <li>- Planejamento da ação</li> </ul>
<b>Rozenfeld et al. (2006)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planejamento Estratégico dos Produtos;</li> <li>- Planejamento do projeto;</li> <li>- Projeto informacional;</li> <li>- Projeto conceitual;</li> <li>- Projeto detalhado;</li> <li>- Preparação da produção;</li> <li>- Lançamento do produto;</li> <li>- Acompanhar produto e/ou processo;</li> <li>- Descontinuar produto</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Platcheck, 2003.

Em linhas gerais, todos os modelos mapeados na figura contemplam a etapa de problematização/análise. A etapa de detalhamento também aparece com frequência nos modelos, sendo adotada por quatro autores (BACK, 1983; BAXTER, 1998; BITTENCOURT, 2001; ROZENFELD et al., 2006). Além dessas, as etapas de pesquisa/planejamento de mercado e planejamento/preparação da produção são muito recorrentes, sendo que esta abarca quatro modelos. Enfim, as metodologias adotam diversas etapas específicas, que, em muitos casos, possuem nomenclaturas diferentes, porém realizam a mesma função. É válido ressaltar que os modelos descritos acima devem ser vistos pelas empresas como referenciais, servindo apenas como base para que cada uma possa criar modelos específicos às suas realidades (NIELSEN;

WENZEL, 2002; KNIGHT; JENKINS, 2009). Assim, conclui-se que eles auxiliam na consolidação de políticas e estratégias, na racionalização do fluxo de informações e a manter uma estruturação do processo de desenvolvimento de produtos, minimizando o grau de incertezas e riscos no desenrolar das etapas estabelecidas (ROZENFELD et al., 2006)

Considerando como referência o modelo de Rozenfeld et al. (2006), que conforme apresentado na figura, caracteriza-se por abranger o maior número de etapas de processo de desenvolvimento, sendo, portanto, o modelo mais completo existente na literatura brasileira atualmente, é possível verificar que ele engloba desde o planejamento estratégico da empresa vinculado ao planejamento de projeto. Os autores justificam a importância destinada a essas etapas do processo, que fornecem embasamento às demais, pelo fato de as decisões técnicas iniciais determinarem 85% do custo final do produto. Isso mostra que as decisões referentes às tolerâncias das peças, construção e testes do protótipo, definição de fornecedores, arranjo da cadeia de suprimentos, arranjo físico da produção, campanha de marketing, entre outras, exercem menor influência no custo final do produto se comparado à definição dos materiais, tecnologia, processo de fabricação e principais soluções construtivas aliadas às estratégias da empresa.

#### **4 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS AMBIENTALMENTE SUSTENTÁVEL**

Sustentabilidade, segundo Vinodh e Rathod (2010) e Gmelin e Seuring (2014), é a intersecção crítica entre fatores operacionais, como fabricação e práticas de design do produto, e as questões ambientais. Iñigo e Albareda (2016) apresentam, em seus estudos, o conceito de Inovação Sustentável, elemento considerado uma estratégia-chave para geração de valor das organizações atuais. Ela decompõe-se em componentes que atuam em nível operacional, colaborativo, organizacional, instrumental e holístico, empregados, de tal forma, que possuem o poder de transformar a natureza dos sistemas tecnológicos e sociais em desenvolvimento sustentável. Esses componentes podem ser entendidos como dinâmicas adaptativas, que buscam transformar as práticas, estratégias e processos das empresas em transições de sustentabilidade, gerando, principalmente, mudanças ambientais.

Luttrupp e Lagerstedt (2006) destacam que a sustentabilidade, entendida como o planejamento de ações que visam um desenvolvimento socialmente mais justo, economicamente viável e ambientalmente sustentável, deve ser considerada como um requisito qualquer do produto, sendo incorporada no início do processo de desenvolvimento. Angell e Klassen (1999), Jiménez e Lorente, (2001), Baumann, Boons e Bragd (2002) e Nielsen e Wenzel (2002) também contemplam as questões ambientais como um novo objetivo de desempenho da manufatura, ao lado das prioridades clássicas de custo, flexibilidade, qualidade e velocidade das entregas. De forma semelhante, Hallstedt, Thompson e Lindahl (2013) destacam que os impactos sócio ecológicos de um produto, durante o seu ciclo de vida, são, em grande parte, determinados por decisões durante as fases iniciais de seu desenvolvimento. Assim, os autores enfatizam a necessidade de transformar a perspectiva estratégica das empresas, implantando questões verdes no processo de inovação dos produtos, o que irá garantir o sucesso em longo prazo.

O desenvolvimento de produtos e a sustentabilidade são uma recente combinação de condições que evoluíram do reconhecimento da importância que o design, a produção, a escolha de material, o tipo de produto, o uso e sua disposição final têm sobre o ambiente (PLATCHECK, 2003). Entende-se por desenvolvimento sustentável "o desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações atenderem às suas necessidades", segundo o "World Commission Environment and Development" (WCED). Considerando as metodologias expostas na figura 1, é possível realizar

uma análise dessas no que tange aspectos voltados ao desenvolvimento sustentável. Enquanto os autores Bonsiepe (1984), Baxter (1998) e Abramovitz e Rebello (2002) não contemplam os conceitos de sustentabilidade em seus modelos, verifica-se que Back (1983) os contempla de forma simplificada, através da busca pela redução de materiais e subsistemas.

Seguindo a mesma linha, Bomfim (1995) sugere algumas práticas ambientalmente sustentáveis, como o reaproveitamento de partes ou do todo e a reciclagem da matéria prima antes da disposição final. Bittencourt (2001) propõe o reprojeto de produtos atuais ao invés de criar novos produtos, visando os valores sustentáveis, assim como Rosemburg (1996), o qual concentra sua preocupação com os princípios 3R (reduzir, reutilizar e reciclar). Por fim, Rozenfeld et al. (2006), os quais abordam aspectos específicos relacionados ao meio ambiente nas fases de desenvolvimento do produto e os monitoram na fase de acompanhamento do produto e do processo, os consideram como fonte de dados para a análise do impacto ambiental causado pela retirada do produto do mercado. Portanto, é possível afirmar que sua metodologia realiza o planejamento do fim de vida do produto desde as fases iniciais do PDP, uma vez que estas abarcam questões ambientais relacionadas à redução de impactos durante o processo e na fase de descontinuação.

Em concordância com a proposta de Rozenfeld et al. (2006), Hallstedt, Thompson e Lindahl (2013) inserem critérios de sustentabilidade no PDP, canalizando sua pesquisa nos impactos ambientais, que ocorrem, em grande parte, na fase final do ciclo de vida do produto. Por isso, defendem a introdução dos aspectos sustentáveis na etapa de planejamento de projeto, visto que ela é responsável pela definição de como o produto será produzido, envolvendo requisitos e especificações e, segundo Knight e Jenkins (2009), é a etapa do processo responsável por determinar a maioria, se não todos, os impactos ambientais. Sob uma perspectiva de design de engenharia, é válido ressaltar que a conexão precoce entre sustentabilidade e PDP oferece mais oportunidades de modificações e melhorias, uma vez que as limitações de tempo e custo são mais baixas (LUTTROP; LAGERSTEDT, 2006; POULIKIDOU; BJÖRKLUND; TYSKENG, 2014). Logo, é possível afirmar que o potencial de melhoria ambiental diminui gradualmente à medida que as características gerais do produto são estabelecidas e os detalhes determinados (NIELSEN; WENZEL, 2002; PINHEIRO; TOLEDO, 2016).

Conforme os estudos de Platcheck (2003) e Hinz, Valentina e Franco (2008), a preservação ambiental pautada apenas no controle da poluição, por meio de tecnologias de “fim de tubo”, as quais são utilizadas com o intuito de tratar e minimizar os resíduos apenas após terem sido gerados, não garante a eco-eficiência. Esta concepção encontra-se ultrapassada por ignorar as vantagens que as ferramentas de gestão ambiental oferecem ao processo produtivo, no que tange à prevenção de impactos ao meio ambiente. Considerando que os problemas ambientais estão diretamente relacionados à produção industrial (HINZ; VALENTINA; FRANCO, 2008), estratégias voltadas à solução desses problemas e à preocupação ecológica têm se tornado um diferencial competitivo no desenvolvimento de novos produtos (PLATCHECK, 2003).

#### **4.1 SÍNTESE DAS FERRAMENTAS A SEREM UTILIZADAS NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS AMBIENTALMENTE SUSTENTÁVEL**

Conforme Platcheck (2003), ao buscar adotar a melhoria ambiental como uma estratégia organizacional, a empresa deve fornecer instrumentos à área de desenvolvimento de produtos, que auxiliem no entendimento e inclusão dessa estratégia. Rozenfeld et al. (2006), além de destacar o uso de ferramentas durante o processo, mostram a importância da colaboração interfuncional, sendo considerada como um dos fatores de sucesso no PDP. O estudo de Pujari, Wright e Peattie (2003) também aponta para a importância que a integração de especialistas

possui no processo, especialmente especialistas ambientais, uma vez que tal integração influenciará positivamente no desempenho do mercado. Constatado esse aspecto, conclui-se que os instrumentos e estratégias devem ser disponibilizados a todas as áreas da organização.

Um destes instrumentos é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), apresentada nos estudos de Ceschin e Gaziulusoy (2016) e Charmondusit, Gheewala e Mungcharoen (2016), com o intuito de auxiliar na identificação das fases do desenvolvimento que geram maiores impactos ao meio ambiente. Conforme Kulay, Hansen e Seo (2010), por meio dessa ferramenta, o fluxo de energia e material de um produto ao longo de seu ciclo de vida pode ser investigado e avaliado por meio das seguintes etapas: (i) definição dos objetivos e escopo (propósito e escopo da presente avaliação, unidades funcionais, nível de qualidade dos dados, avaliação); (ii) análise de inventário (limites do sistema, fluxograma do processo, coleta de dados, cálculos, análise de sensibilidade); (iii) avaliação do impacto (classificação, caracterização e avaliação); (iv) avaliação das melhorias.

Hinz, Valentina e Franco (2008) comparam, em seu estudo, as ferramentas ACV (Avaliação do Ciclo de Vida) e Produção Mais Limpa, analisando suas práticas de desenvolvimento sustentável dentro da organização. Enquanto a primeira foca em identificar, quantificar e avaliar os impactos ambientais em todo o ciclo de vida de um produto ou processo, desde a extração da matéria-prima até a disposição final do produto, a Produção Mais Limpa trata de análises e ações ambientais preventivas, visando à economia dos recursos e a minimização e o reaproveitamento dos resíduos gerados. Os autores destacam que ambas devem ser implementadas continuamente nos processos, uma vez que são aptas a reduzir custos e a melhorarem o desempenho ambiental da organização. Tratando ainda de Produção Mais Limpa, Oliveira et al. (2015) realizaram um estudo de múltiplos casos em indústrias do estado de São Paulo, com o intuito de identificar os benefícios e dificuldades gerados por essa ferramenta gerencial. Como principais benefícios destacam-se a minimização dos impactos ambientais decorrentes das atividades produtivas, a redução dos custos de produção devido à racionalização e melhoria no gerenciamento dos insumos de produção e agregação de valores aos resíduos, uma vez que estes são reutilizados e reciclados dentro e fora dos sistemas de produção, diminuindo a utilização de novos subprodutos e possibilitando a economia com o tratamento de resíduos.

Também em pesquisa destinada à identificação e visualização de impactos ambientais, Sousa et al. (2007) realizaram um estudo da aplicação do método GAIA – Gerenciamento de Aspectos e Impactos Ambientais – em uma indústria de papéis e tubos. Os autores o definem como um conjunto de instrumentos e ferramentas gerenciais com foco no desempenho ambiental aplicável aos processos produtivos de uma organização, visando o alcance da plena sustentabilidade. Este método tem como base três referenciais teóricos, que são a Avaliação do Ciclo de Vida, o Gerenciamento de Processos e a Emissão Zero. Um dos instrumentos para a visualização dos impactos é a lista de verificação da sustentabilidade, a qual pode ser classificada em três cores (verde, vermelho e amarelo), de acordo com os aspectos sustentáveis praticados pela organização. De forma semelhante, Bras (1997) elaborou uma matriz para avaliar a redução do impacto ambiental no processo de desenvolvimento, descrita em eixos X-Y, a qual relaciona períodos do ciclo de vida com as práticas do eco-design e Knight e Jenkins (2009) sugerem a utilização da MET Matrix, que pode ser utilizada para sistematizar o impacto ambiental de cada fase do ciclo de vida do produto.

Ainda destinado à avaliação do risco ambiental durante o processo produtivo tem-se a FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), definida como uma ferramenta que busca evitar ou minimizar as chances do produto ou processo falhar, aumentando a sua confiabilidade. Ela foi empregada por Nogueira, Peres e Carvalho (2010) no diagnóstico do risco ambiental de um laticínio, por meio da elaboração de matrizes FMEA voltadas à identificação e classificação da severidade dos impactos para, posteriormente, implantar ações de melhoria contínua, baseadas

na análise das ações recomendadas para a diminuição da probabilidade da ocorrência de falhas. Recomenda-se a ferramenta principalmente às empresas de pequeno porte, por ser de fácil utilização, possibilitando a constante avaliação do risco ambiental e ações que conduzirão a organização à melhoria contínua de seus processos, sem a necessidade de um sistema de certificação ambiental complexo.

Voltado à utilização de recursos naturais na concepção do produto, Robèrt (2000) apresenta a ferramenta Fator X, a qual se baseia na perspectiva de que para alcançar a sustentabilidade é necessário que ocorra a redução do volume de recursos materiais por um fator de dez. Ainda, a *Ecological Footprint* é analisada como uma ferramenta de medição global para obter uma visão geral tangível do desempenho da organização em termos de sustentabilidade, sendo a única capaz de comunicar, de forma muito direta, como o estilo de vida e a competência técnica se relacionam com a perspectiva sustentável. Diretrizes, listas de verificação e ferramentas analíticas são propostas por Robèrt (2000), Baumann, Boons e Bragd (2002), Luttrupp e Lagerstedt (2006), Knight e Jenkins (2009) e Dangelico e Pontrandolfo (2010) por assessorarem pequenas e médias empresas que queiram integrar questões ambientais na concepção de seus produtos e processos, buscando minimizar custos e impactos negativos ao meio ambiente durante todo o ciclo de vida do bem.

Hallstedt, Thompson e Lindahl (2013) propõem a técnica de simulação como ferramenta voltada ao processo de desenvolvimento ambientalmente sustentável, por fornecer orientação às empresas na tomada de decisão, por meio da visualização das consequências de diferentes escolhas ao longo do ciclo de vida do produto, no que tange aspectos ambientais, tensões e parâmetros de desempenho. De forma semelhante, mas no âmbito nacional, Kroth et al. (2016) utilizam a simulação computacional para comparar práticas simples envolvidas no desenvolvimento de produtos às práticas verdes, explanando, como conclusões, resultados positivos a partir das práticas sustentáveis na fase de projeto, fabricação, utilização e descarte, envolvendo a redução de impactos e riscos ambientais.

Lima et al. (2008) direcionam sua pesquisa à área de cooperação inter organizacional, pautada em uma central de cooperação ambiental entre indústrias gaúchas nos segmentos metalúrgico e siderúrgico. Os autores apontam benefícios deste sistema fechado no que tange a preservação ambiental e a reciclagem de resíduos a custos baixos. Dangelico e Pantadrolfo (2010) desenvolveram e sugerem o uso da *Green Option Matrix*, a qual utiliza três dimensões para descrever as contribuições ambientais de um produto verde (foco - materiais, energia ou poluição; estágio do ciclo de vida em que ocorre o benefício; e comparação com produtos tradicionais). Green MRP é um sistema convencional de planejamento de requisitos de material, sugerido por Deif (2011), que resolve o problema de minimizar impactos ambientais na gestão de resíduos industriais, através da identificação de potenciais componentes do planejamento e problemas relacionados com o ambiente.

Em estudo junto a uma amostra de 102 empresas manufactureiras, Oliveira Neto et al. (2015) analisam a ocorrência de trinta princípios e ferramentas da Produção Mais Limpa. Em sua maioria, eles direcionam-se à ênfase na inserção de questões ambientais nos projetos do produto, seleção de materiais e fornecedores, processos produtivos, entrega dos produtos finais e gestão de fim de vida útil dos produtos, abordando ações de mitigação da poluição do planejamento e controle da produção, causadas por resíduos sólidos e líquidos e emissões no ar. Sendo esta abordagem classificada como prevenção dos impactos ambientais, a Logística Reversa, ferramenta proposta por Miguez, Mendonça e Valle (2007), busca planejar, operar e controlar o fluxo e as informações logísticas correspondentes, do retorno dos bens de pós-venda e de pós-consumo ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo, por meio dos canais de distribuição reversos, diminuindo, assim, o uso de recursos não renováveis. No estudo, a ferramenta foi aplicada em uma indústria de fabricação de telas e cones para televisores, e os

resultados mostraram redução de custos de 30%, considerando o custo da matéria-prima e o de energia elétrica.

Em pesquisa focada à redução de desperdícios no processo de desenvolvimento de produtos, Pinheiro e Toledo (2016) propõem que práticas e ferramentas da abordagem *lean* sejam aplicadas constantemente em todas as áreas que envolvem o PDP, não apenas na manufatura. O mapeamento do fluxo de valor é uma das ferramentas que pode ser implantada com esse objetivo e pode ser considerada uma ferramenta qualificadora do processo ambientalmente sustentável, visto que atua na identificação de todos os desperdícios do processo ao desenvolver um retrato do estado atual para visualização desses. Em seguida, a ferramenta possibilita a criação de um mapa do estado futuro e um plano de ação, onde as melhorias são planejadas.

Por fim, têm-se as contribuições do estudo de Bovea e Pérez-Beliz (2012), que sistematizam um conjunto de ferramentas de eco-design para projeto de produto (ferramentas baseadas em Design Matrix, no QFD, na análise de valor - AV, no FMEA, e outras, como planejamento do ciclo de vida e TRIZ) e, ainda, os contributos da pesquisa de Antonov e Sellitto (2011), que avaliam o desempenho ambiental de uma operação de manufatura de uma indústria papuleira, através do Método SBP, o qual fora desenvolvido pelos autores Sellitto, Borchardt e Pereira. A ferramenta atua em três níveis hierárquicos, sendo eles nível teórico, nível de indicadores e o de mensuração dos construtos para calcular o desempenho global da operação em análise. Além de determinar o desempenho ambiental, o método proporciona um auxílio na tomada de decisões, em função do direcionamento da alocação dos recursos propiciado.

Com base no exposto, na figura 2, descrevem-se, resumidamente, as ferramentas ambientalmente sustentáveis recomendadas para a qualificação das três macro fases do Processo de Desenvolvimento de Produto, conforme modelo proposto por Rozenfeld et al. (2006).

Figura 2 - Ferramentas aptas a qualificar o Processo de Desenvolvimento de Produtos Ambientalmente Sustentável

Pré-Desenvolvimento	Desenvolvimento	Pós-Desenvolvimento
Conjunto de ferramentas de eco-design para projeto de produto Fator X <i>Green MRP</i> Produção Mais Limpa	Diretrizes, listas de verificação e ferramentas analíticas FMEA ( <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> ) Mapeamento do fluxo de valor Método SBP Simulação computacional	Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) Coop. Inter organizacional <i>Ecological Footprint</i> <i>Green Option Matrix</i> Logística Reversa Matriz em eixos X-Y MET Matrix Método Gaia

Fonte: autores.

## 5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos mostram que o objetivo principal do estudo foi atingido, uma vez que, através dele, uma ampla contribuição teórica voltada ao processo de desenvolvimento de produtos ambientalmente sustentável, no que tange a instrumentos utilizados para tal fim, foi gerada. Após análise dos conteúdos publicados, foi possível integrar as ferramentas mapeadas a cada uma das macro fases do Processo de Desenvolvimento de Produtos, definidas no modelo referencial de Rozenfeld et al. (2006). Acredita-se que o grande contributo do estudo se encontra pautado nesta proposta de integração, uma vez que a sistematização do conteúdo possibilita clara visualização do tema, facilitando aos gestores, profissionais da área de

desenvolvimento de produto e/ou pesquisadores, o entendimento das ferramentas sugeridas para as fases de um PDP verde. Entretanto, os resultados devem ser observados considerando-se suas limitações. Neste sentido, é válido destacar o número reduzido de periódicos selecionados para a realização do estudo, o que pode ser justificado pelo limitante de tempo. Além disso, ao analisar a amostra de artigos, foi possível identificar algumas lacunas de pesquisa quanto ao número de publicações disponíveis, relacionadas à prática de ferramentas ambientalmente sustentáveis.

Percebe-se que, principalmente em estudos nacionais, o tema “processo de desenvolvimento de produtos ambientalmente sustentável” é abordado muito mais por revisões bibliográficas sistemáticas de literatura se comparado a estudo de casos em empresas que utilizem tais ferramentas. Dessa forma, sugere-se que, em pesquisas futuras, sejam ampliados os estudos que investiguem, junto à prática empresarial, o desempenho, os benefícios e as dificuldades das técnicas e ferramentas comentadas na literatura, no que se refere ao processo de desenvolvimento de produtos verdes. Por fim, destaca-se que o estudo possui potenciais oportunidades de aprofundamento e direcionamento, conforme o foco de interesse, considerando como aspecto interessante a necessidade de pesquisas de abordagem empírica e pesquisa-ação, para posterior comparação com a literatura.

## REFERÊNCIAS

ABRAMOVITZ, J.; REBELLO, L. H. B. – **Metodologia do Projeto** – Rio de Janeiro UniverCidade / NPD, apostila de aula, 2002.

ANGELL, L.; KLASSEN, R.D. Integrating environmental issues into the mainstream: an agenda for research in operations management. **Journal Of Operations Management**, [s.l.], v. 17, n. 5, p.575-598, ago. 1999.

ANTONOV, Paula; SELLITTO, Miguel Afonso. Avaliação de desempenho ambiental: estudo de caso na indústria papeleira. **Revista Produção Online**, [s.l.], v. 11, n. 4, p.1059-1085, 6 set. 2011.

BACK, N. – **Metodologia de Projetos de Produtos Industriais** – Rio de Janeiro, Ed. Guanabara Dois, 1983.

BAUMANN, H.; BOONS, F.; BRAGD, A.. Mapping the green product development field: engineering, policy and business perspectives. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 10, n. 5, p.409-425, out. 2002.

BAXTER, M. - **Projeto de Produto - Guia Prático para o Desenvolvimento de Novos Produtos** - São Paulo, Editora Edgar Blücher, 1998.

BITTENCOURT, A. C. P. – **Desenvolvimento de uma Metodologia de Reprojeto de Produto para o Meio Ambiente** – Florianópolis, Dissertação submetida à Universidade Federal de SantaCatarina para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, 2001.

BOMFIM, G. A. – **Metodologia para o Desenvolvimento de Projetos** – João Pessoa, Editora Universitária/UFPB, 1995.

BONSIEPE, G. **Metodologia Experimental: Desenho Industrial** – Brasília, CNPq / Coordenação Editorial, 1984.

BOVEA, M.d.; PÉREZ-BELIS, V..A taxonomy of ecodesign tools for integrating environmental requirements into the product design process. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 20, n. 1, p.61-71, jan. 2012.

BRAS, B., 1997.Incorporating environmental issues in product design and realisation. **UNEP Industry Environmental**. 20(1-2), 7-13.

BUIJS, J. Modelling product innovation processes, from linear logic to circular chaos. **Creativity and Innovation Management**, n. 2, p. 76-93, 2003.

CESCHIN, Fabrizio; GAZIULUSOY, Idil. Evolution of design for sustainability: From product design to design for system innovations and transitions. **Design Studies**, [s.l.], v. 47, p.118-163, nov. 2016.

CHARMONDUSIT, Kitikorn; GHEEWALA, Shabbir H.; MUNGCHAROEN, Thumrongrut.Green and sustainable innovation for cleaner production in the Asia-Pacific region. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 134, p.443-446, out. 2016.

DANGELICO, Rosa Maria; PONTRANDOLFO, Pierpaolo.From green product definitions and classifications to the Green Option Matrix. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 18, n. 16-17, p.1608-1628, nov. 2010.

DEIF, Ahmed M..A system model for green manufacturing. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 19, n. 14, p.1553-1559, set. 2011.

GMELIN, Harald; SEURING, Stefan.Determinants of a sustainable new product development. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 69, p.1-9, abr. 2014.

GREEN, D.I.; WILEMON, D.I..Accelerating team learning in new product development. **Picmet '99: Portland International Conference on Management of Engineering and Technology. Proceedings**.1999.

HALLSTEDT, Sophie I.; THOMPSON, Anthony W.; LINDAHL, Pia.Key elements for implementing a strategic sustainability perspective in the product innovation process. **JournalOfCleanerProduction**, [s.l.], v. 51, p.277-288, jul. 2013.

HINZ, Roberta TomasiPires; VALENTINA, Luiz V. dalla; FRANCO, Ana Claudia.Monitorando o desempenho ambiental das organizações através da Produção Mais Limpa ou pela Avaliação do Ciclo de Vida. **Revista Produção Online**, [s.l.], v. 7, n. 3, p.1-13, 5 jul. 2008.

IÑIGO, Edurne A.; ALBAREDA, Laura. Understanding sustainable innovation as a complex adaptive system: a systemic approach to the firm. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 126, p.1-20, jul. 2016.

JABBOUR, Charbel José Chiappetta. Esverdeando a manufatura: dos fundamentos conceituais ao estudo de múltiplos casos. **Production**, [s.l.], v. 25, n. 2, p.365-378, jun. 2015.

JIMÉNEZ, Jerónimo de Burgos; LORENTE, José J. Céspedes. Environmental performance as an operations objective. **International Journal Of Operations & Production Management**, [s.l.], v. 21, n. 12, p.1553-1572, dez. 2001.

KNIGHT, Paul; JENKINS, James O.. Adopting and applying eco-design techniques: a practitioners perspective. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 17, n. 5, p.549-558, mar. 2009.

KROTH, Giana Lucca et al. Simulação computacional para avaliação do impacto ambiental gerado pela tecnologia de informação. **Revista Produção Online**, [s.l.], v. 16, n. 3, p.1079-1096, 15 set. 2016.

KULAY, Luiz; HANSEN, Adriana Petrella; SEO, EmiliaSatoshi Miyamaru. Identificação de oportunidades de melhoria de desempenho ambiental em processo de produção de materiais cerâmicos via aplicação da técnica de avaliação de ciclo de vida (ACV). **Revista Produção Online**, [s.l.], v. 10, n. 4, p.912-936, 21 nov. 2010.

LIMA, Sidarta Ruthes de et al. Benefícios da cooperação ambiental inter-organizacional: um estudo exploratório em indústrias metalúrgicas gaúchas. **Revista Produção Online**, [s.l.], v. 8, n. 2, p.1-27, 14 jul. 2008.

LUTTROP, Conrad; LAGERSTEDT, Jessica. EcoDesign and The Ten Golden Rules: generic advice for merging environmental aspects into product development. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 14, n. 15-16, p.1396-1408, jan. 2006.

MIGUEZ, Eduardo Correia; MENDONÇA, Fabrício Molico de; VALLE, Rogerio. Impactos ambientais, sociais e financeiros de uma política de logística reversa adotada por uma fábrica de televisão – um estudo de caso. **Revista Produção Online**, p.1-15, dez. 2007.

NIELSEN, P.h; WENZEL, H. Integration of environmental aspects in product development: a stepwise procedure based on quantitative life cycle assessment. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 10, n. 3, p.247-257, jun. 2002.

NOGUEIRA, Amanda Cássia; PERES, Alexandre de Paula; CARVALHO, Ellen Moraes. Avaliação do risco ambiental utilizando FMEA em um laticínio na região de Lavras – MG. **Revista Produção Online**, [s.l.], v. 11, n. 1, p.194-209, 21 nov. 2010.

OLIVEIRA NETO, Geraldo Cardoso de et al. Princípios e ferramentas da produção mais limpa: um estudo exploratório em empresas brasileiras. **Gestão & Produção**, [s.l.], v. 22, n. 2, p.326-344, jun. 2015.

OLIVEIRA, José Augusto et al. Identificação dos benefícios e dificuldades da produção mais limpa em empresas industriais do estado de São Paulo. **Revista Produção Online**, [s.l.], v. 15, n. 2, p.458-481, 15 jun. 2015.

PAULA, Jefferson Olegário de; MELLO, Carlos Henrique Pereira. Seleção de um modelo de referência de PDP para uma empresa de autopeças através de um método de auxílio à decisão por múltiplos critérios. **Production**, [s.l.], v. 23, n. 1, p.144-156, mar. 2013.

PINHEIRO, Larissa Maria Prisco; TOLEDO, José Carlos de. Aplicação da abordagem lean no processo de desenvolvimento de produto: um survey em empresas industriais brasileiras. **Gestão & Produção**, [s.l.], v. 23, n. 2, p.320-332, jun. 2016.

PLATCHECK, Elizabeth Regina. **Metodologia de Ecodesign para o desenvolvimento de produtos sustentáveis**. 110 f. Tese (Mestrado) - Curso de Engenharia, Engenharia Ambiental e Tecnologias Limpas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

POULIKIDOU, Sofia; BJÖRKLUND, Anna; TYSKENG, Sara. Empirical study on integration of environmental aspects into product development: processes, requirements and the use of tools in vehicle manufacturing companies in Sweden. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 81, p.34-45, out. 2014.

PUJARI, Devashish; WRIGHT, Gillian; PEATTIE, Ken. Green and competitive. **Journal Of Business Research**, [s.l.], v. 56, n. 8, p.657-671, ago. 2003.

ROBERT, Karl-henrik. Tools and concepts for sustainable development, how do they relate to a general framework for sustainable development, and to each other? **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 8, n. 3, p.243-254, jun. 2000.

ROOSEMBURG, N.; EEKELS, N. – **Product Design: Fundamentals and Methods** – West Sussex, UK, Wiley, 1996.

ROZENFELD, Henrique et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.

SOUSA, Marco Aurélio Batista de et al. Gerenciamento de aspectos e impactos ambientais em uma empresa fabricante de tubos, tubetes e cônica. **Revista Produção Online**, [s.l.], v. 6, n. 1, p.1-26, 24 out. 2007.

TRANFIELD, D., DENYER, D., SMART, P. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review, **British Journal of Management**, v. 14, n. 3, p. 207-222, 2003.

VINODH, S.; RATHOD, Gopinath. Integration of ECQFD and LCA for sustainable product design. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 18, n. 8, p.833-842, maio 2010.

WCED, 1987. Our Common Future. Oxford University Press, Oxford.