

APLICAÇÃO DE INDICADORES DE ECO-EFICIÊNCIA NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA

MAURO CAETANO (USP)

maurocaetano@usp.br

JULIANO BEZERRA DE ARAUJO (USP)

jaraujo@sc.usp.br

DANIEL CAPALDO AMARAL (USP)

amaral@sc.usp.br

JOÃO FERNANDO GOMES DE OLIVEIRA (USP)

jfgo@sc.usp.br



Modelos de gestão capazes de subsidiar o desenvolvimento de tecnologias são fundamentais para orientar o esforço tecnológico das empresas. Entretanto, questiona-se sobre como orientar esse desenvolvimento em direção a produtos superiores doo ponto de vista da eco-eficiência. Resultados recentes apontam que a utilização de métricas de desempenho tem sido uma das boas práticas de gestão, mas os modelos de desenvolvimento de tecnologia apresentados pela literatura não abordam essa temática. Este trabalho apresenta uma análise da literatura especializada sobre modelos de processo de desenvolvimento de tecnologia (PDT) e sistemas de medição de desempenho em sustentabilidade, demonstrando essa lacuna. Em seguida, baseado em uma análise qualitativa dos modelos existentes, a possibilidade de adoção de indicadores de eco-eficiência em um modelo teórico sintetizado de PDT é avaliada. Os indicadores de eco-eficiência são distribuídos em três diferentes momentos do PDT: inicial com atividades de planejamento, intermediário com atividades de execução do desenvolvimento e final com atividades de transferência da tecnologia, demonstrando a possibilidade de ser inserido o tema da sustentabilidade no PDT. A seleção e priorização dos indicadores, bem como a extensão da análise para as demais dimensões da sustentabilidade no desenvolvimento de tecnologia, são sugestões de pesquisas futuras que possibilitem a estruturação de um modelo de processo de desenvolvimento sustentável de tecnologia.

Palavras-chaves: Desenvolvimento de Produtos, Gestão da Inovação Sustentável

1. Introdução

Desenvolver tecnologias através da geração e transmissão de novos conhecimentos, desenvolvimento de habilidades técnicas, máquinas e equipamentos, constitui-se em um fator fundamental para a promoção da inovação nas empresas, pois possibilita que as tecnologias cheguem até o mercado por meio de um produto ou serviço e gere valor para o negócio. Porém, além dessa necessidade das empresas em promover a inovação, as crescentes preocupações em torno da utilização de recursos naturais trazem o desafio adicional de incorporar no processo de inovação os fatores relacionados à sustentabilidade das tecnologias.

A discussão sobre sustentabilidade comumente recai na esfera do desenvolvimento de produtos. Muitos trabalhos preocupam-se em desenvolver técnicas para avaliar tecnologias existentes e escolher àquelas que produzem o menor impacto. Entretanto, seria possível uma antecipação a esse debate, isto é, avaliar e preparar as tecnologias ainda no seu estágio inicial de desenvolvimento, durante o processo de desenvolvimento da tecnologia?

Há diversos modelos de processo de desenvolvimento de tecnologia (PDT) na literatura de gestão da inovação e de desenvolvimento de produtos, entretanto, a partir de uma revisão sistemática sobre esses modelos, foram identificadas lacunas no que diz respeito ao tema da sustentabilidade, principalmente no que se refere ao uso de recursos naturais. Atualmente, esse é um elemento fundamental para as empresas, que considerem na sua gestão não apenas a eficiência econômica do negócio, mas também a preservação ambiental com o uso racional dos recursos naturais (AYRES, 1996).

Um dos desafios da gestão de tecnologia está em antever os impactos que possam ser causados ao meio-ambiente e optar por decisões tecnológicas que apresentem melhor eco-eficiência possível, ou seja, apresente o melhor desempenho em relação ao seu consumo de recursos naturais, como energia, água, emissão de gases efeito estufa, entre outros.

A utilização de indicadores de desempenho constitui-se em um instrumentos de grande valia para as tomadas de decisões nas empresas. Nesse sentido, o presente estudo busca analisar os aspectos referentes ao uso de indicadores de eco-eficiência no PDT, com o propósito de se verificar a possibilidade de utilização desses indicadores a partir dos modelos teóricos existentes, contribuindo para a gestão sustentável da inovação.

2. Indicadores de eco-eficiência

Por eco-eficiência, de acordo com Ayres e Miller (1980), entende-se como sendo a capacidade de determinada organização em converter recursos naturais em um conjunto de bens ou serviços para o consumidor. Quanto melhor o desempenho de determinado meio de produção, que nesse caso se refere às tecnologias tangíveis, como máquinas e equipamentos (KURUMOTO, CAETANO E AMARAL, 2007), em relação aos seus *inputs* e *outputs*, aqui se referindo aos recursos naturais, mais eco-eficiente tal tecnologia se apresenta.

Para Jappur et al. (2008), a utilização da eco-eficiência na estratégia produtiva implica na combinação do desempenho econômico com o desempenho ambiental dos meios de produção, de modo a promover a sustentabilidade corporativa, constituindo-se em um dos fatores críticos para o sucesso do negócio.

Cabe ressaltar para o leitor que, embora o termo “sustentabilidade” esteja associado à *triple bottom line* em suas três dimensões, social, ambiental e econômica (ELKINGTON, 2004), muitas vezes ele é utilizado na literatura para tratar de apenas uma ou outra dessas

dimensões, a exemplo desse trabalho, que trata da eco-eficiência de determinada tecnologia, abrangendo parte das dimensões ambiental e econômica. Isso não implica dizer que uma tecnologia eco-eficiente seja caracterizada como sendo uma tecnologia sustentável, mas sim uma forma de contribuição para a sustentabilidade empresarial, sobretudo na melhor utilização de recursos naturais em relação ao seu desempenho.

Há diferentes estudos que propõem a mensuração da eco-eficiência de uma empresa a partir da adoção de indicadores, como apresentado por Figge e Hann (2005), que sugerem a identificação do custo de oportunidade a partir do uso dos recursos naturais. A empresa que gera o melhor retorno financeiro em relação aos recursos naturais utilizados, avaliando todos os seus processos, são aquelas que, de acordo com os autores, criam os melhores valores sustentáveis para o mercado.

Também ADVANCE (2006), a partir de um estudo com 65 empresas de 16 diferentes países da União Européia, apresenta o “valor sustentável” criado pela empresa, analisando suas receitas geradas em função de todas as entradas e saídas de recursos naturais no seu processo industrial. Esses valores são comparados então com um referencial de receita e consumo de um grupo de 15 países pertencentes ao bloco econômico, chamado de E15 *benchmark*. A partir dessa comparação são identificadas as empresas que mais contribuem para a sustentabilidade do bloco e as que mais possuem necessidades de incrementarem seus processos industriais no sentido de melhorarem sua eco-eficiência.

Além desses, outros estudos identificam a eco-eficiência da empresa relacionando a satisfação do consumidor com o impacto ambiental gerado, o que sugere a adoção dos três “Rs” (reduzir, reutilizar e reciclar) pelas empresas no sentido de que a satisfação do consumidor não seja comprometida em função das práticas gerenciais de condução para a sustentabilidade (WENZEL AND ALTING, 2004; KAEBERNICK, 2008).

Com a existência de diferentes opções de ferramentas e métodos para avaliação da sustentabilidade, as empresas têm optado pelo uso de indicadores de desempenho, procurando se aprimorarem com base na idéia de que o que é medido pode ser gerenciado, sendo que indicadores de desempenho têm auxiliado as empresas a identificarem e abandonarem tecnologias intensivas no consumo de recursos (AZAPAGIC, 2004).

Sendo assim, esse estudo apresenta um conjunto de 14 sistemas de medição de desempenho em sustentabilidade, que poderiam ser utilizados nos modelos PDT no sentido de incrementar sua eco-eficiência, sendo eles: Azapagic (2004), Environmental Protection Agency – US (2003), Fiksel, McDaniel and Mendenhall (1999), Global Reporting Initiative (2002), Hay and Noonan (2005), Institution of Chemical Engineers – IchemE (2002), International Standard Organization - EN ISO 14031 (1999), Labuschagne, Brent and Erck (2005), Olsthoorn et al. (2001), Schwarz, Beloff and Beaver (2002), Thoresen (1999), Veleva and Ellenbecker (2001), Verein Deutscher Ingenieure – VDI (2006) e World Business Council for Sustainable Development – WBCSD (2000). O quadro 1 apresenta os aspectos de impacto ambiental e seus possíveis indicadores de desempenho mais frequentes de acordo com esses sistemas de medição.

Aspecto de impacto	Possíveis indicadores de desempenho ambiental
Materiais	Quantidade de material por produto ou quantidade de material processado, reciclado ou reusado;

Energia	Quantidade de energia consumida por ano, por produto ou quantidade energia economizada por programas melhoria;
Emissões	Quantidade de emissões específicas por ano ou por unidade de produto;
Água	Quantidade de água descartada por unidade de produto ou quantidade de água consumida por produto;
Ruídos e radiação	Quantidade calor, vibração, luz ou ruídos emitidos por unidade de produto;
Materiais tóxicos	Quantidade de resíduo controlado por autorizações ou resíduo tóxico eliminado por substituição de material;
Uso da terra	Quantidade de terra usada ou afetada e ainda, quantidade de terra protegida ou recuperada.

Fonte: Dados da pesquisa

Quadro 1 - Indicadores de desempenho ambiental apresentados pelos autores

De acordo com o quadro acima, pode-se notar que a grande maioria dos possíveis indicadores apresentados é proposta para a medição do desempenho ambiental de unidades de produtos ou da organização como um todo, sendo avaliado o conjunto de todos os processos de negócios, o que pode provocar diversos vieses na análise de tecnologias que possam ser eco-eficientes e estejam, por exemplo, inseridas em processos que apresentem diversas perdas de recursos naturais, ou então o contrário, o que está fortemente relacionado à eficiente gestão das tecnologias.

Um dos trabalhos que mais se aproximam dessa temática, ao citar propriamente o termo tecnologia, é apresentado por Labuschagne e Brent (2005), que propõem a adoção de indicadores de sustentabilidade em determinada tecnologia, implementada em operações industriais, através da análise do ciclo de vida do projeto e ciclo de vida do processo. O indicadores são utilizados de forma particular na avaliação e seleção de tecnologias mais sustentáveis, como também no caso apresentado por Jiménez-González et al. (2001), que realizaram experimentos para determinar o ranking de tecnologias mais “verdes”, quando comparados diferentes reatores que já haviam passado por um processo de desenvolvimento de tecnologia. Nota-se que, neste momento, tais tecnologias já foram desenvolvidas e estão com suas configurações de desempenho determinadas, restando apenas a opção da escolha daquela que apresente melhor desempenho em relação aos recursos naturais consumidos.

O emprego preventivo, quando anterior ou no início do desenvolvimento das tecnologias não são citados. Analisando-os, porém, há indícios importantes de que o uso de indicadores de desempenho, durante o PDT, pode ser um importante instrumento para a tomada de decisão na adoção de padrões mais eco-eficientes em novos produtos e processos. Este é um aspecto importante e que não tem recebido a devida atenção por parte da literatura sobre gestão de tecnologia. Para compreendê-lo melhor é importante definir e entender os modelos teóricos para desenvolvimento de tecnologia e expandir as considerações sobre utilização de indicadores de desempenho em diferentes momentos do PDT, de modo a se antecipar às necessidades de eco-eficiência em produtos e processos através das tecnologias.

3. Modelos de processos de desenvolvimento de tecnologia

O desenvolvimento de tecnologia pode ser definido como um processo de conversão de idéias em conhecimento e artefatos tangíveis, tais como máquinas, equipamentos e

plataformas tecnológicas, que possibilitem as condições necessárias para o desenvolvimento de produtos, sendo que a ordenação das atividades necessárias para essa conversão se constitui em um processo de desenvolvimento de tecnologia, aqui denominado como PDT (COOPER, 2006; KAPLAN E TRIPSAS, 2008; SHEASLEY, 2000).

Uma das formas utilizadas para melhorar o desempenho do PDT é a estruturação de modelos de processo de negócio, isto é, padrões de práticas gerenciais e de estruturas organizacionais, que possam auxiliar empresas a organizar seu esforço de inovação, de maneira semelhante à da literatura de desenvolvimento de produtos. Outra prática é separar o processo de desenvolvimento de produtos (PDP) do PDT e criar modelos padrões que auxiliem na execução eficiente e eficaz desses processos (CLARK & WHEELWRIGHT, 1993). Neste contexto, vários autores proeminentes na área de inovação e desenvolvimento de produtos têm proposto modelos de PDT, como Sheasley (2000), Clark & Wheelwright (1993), Clausing (1993), Cooper (2006), Creveling et al. (2003), Cheng, Drumond e Mattos (2004), entre outros. Esses últimos, bem como Reis et al. (2006), apresentam, de forma particular para *spinoffs* acadêmicas, o processo de planejamento tecnológico, que contempla desde atividades de idealização da tecnologia até a expansão do negócio e conquista de novos mercados (CHENG, DRUMOND E MATTOS, 2004).

Dos modelos citados, quatro foram considerados suficientemente detalhados para serem analisados em termos de atividades pontuais, apresentados por Clark & Wheelwright (1993), Clausing (1993), Cooper (2006) e Creveling et al. (2003). Juntos eles permitiram identificar cerca de 40 atividades que vão desde a definição da estratégia do negócio e estratégia da tecnologia, identificação das necessidades do consumidor e de novas tecnologias, passando pelas atividades de desenvolvimento e experimentação da tecnologia em si até a definição dos critérios da sua transferência para o desenvolvimento de produtos.

O quadro 2 apresenta as atividades identificadas e sintetizadas a partir dos modelos teóricos apresentados na literatura, que foram classificadas em seis diferentes fases intercaladas por pontos de decisão, que determinam se o projeto continua adiante no processo, retrocede para ajustes ou até mesmo seja interrompido (COOPER, 2006). Essas atividades e fases correspondem às classificações apresentadas por Clark & Wheelwright (1993), Clausing (1993), Cooper (2006) e Creveling et al. (2003).

Nº	Atividade	Fase
1	Definir planejamento estratégico da empresa;	I Invenção
2	Determinar estratégia tecnológica;	
3	Identificar a voz da tecnologia (TRM);	
4	Identificar a voz do consumidor (pesquisa de mercado);	
5	Geração da idéia;	
6	Elaborar escopo do projeto;	II Escopo do Projeto
7	Mapear planos futuros;	
8	Realizar pesquisas na literatura;	
9	Realizar pesquisas de patentes;	
10	Identificação de oportunidades;	III Desenvolvimento do Conceito
11	Identificar a possibilidade da idéia em determinadas condições através de experimentos preliminares;	
12	Identificar recursos necessários e soluções para as falhas identificadas;	
13	Projetar plataformas de produtos;	

- 14 Criar uma QFD para tecnologia (necessidades tecnológicas);
- 15 Conduzir benchmarking de tecnologias disponíveis;
- 16 Desenvolver rede de parceiros;
- 17 Definir funcionalidades da nova tecnologia
- 18 Identificar o impacto da tecnologia na companhia;
- 19 Analisar documentos e gerar conceito de tecnologia;

- 20 Selecionar e desenvolver conceito superior de tecnologia;
- 21 Definir produtos comerciais e possibilidades de processos;
- 22 Decompor funções do sistema em sub funções;
- 23 Definir arquitetura do sistema;
- 24 Utilizar modelos matemáticos que expressem a função ideal da tecnologia;
- 25 Desenvolver e testar protótipo;
- 26 Identificar impacto no mercado e na manufatura dessas possibilidades;
- 27 Preparar a implementação do *business case*;
- 28 Identificar e avaliar parâmetros críticos;

- 29 Otimizar a tecnologia a partir dos seus parâmetros críticos;
- 30 Analisar fatores que podem resultar em plataformas;
- 31 Desenvolver subsistemas da plataforma;
- 32 Realizar e otimizar experimentos
- 33 Analisar dados dos experimentos;

- 34 Desenhar uma plataforma;
- 35 Integrar os subsistemas;
- 36 Realizar testes de desempenho do sistema;
- 37 Definir critérios de seleção da tecnologia;

IV
Desenvolvimento da
Tecnologia

V
Otimização da Tecnologia

VI
Transferência da Tecnologia

Fonte: Dados da pesquisa

Quadro 2 - Atividades e fases do modelo teórico sintetizado de PDT

O conjunto de atividades do quadro 2 poderia ser denominado de modelo teórico sintetizado. Ele foi obtido por meio de uma análise e agrupamento das atividades e fases dos principais modelos teóricos da literatura e, portanto, contém todas as atividades ditas como melhores práticas para a condução de um projeto de tecnologia, sendo que algumas delas, como a identificação da voz do consumidor através da participação em eventos setoriais e o contato intenso com o cliente, são críticas para que a tecnologia desenvolvida chegue até o mercado (CAETANO, KURUMOTO E AMARAL, 2008).

O PDT, de acordo com Cooper (2006), possui um grau significativo de incertezas, maior que no processo de desenvolvimento de produtos. Assim, este modelo é uma referência ainda mais distante do que será realizado na prática. Isso demanda uma gestão eficiente do processo que pode ser otimizada através de determinados referenciais de desempenho.

Embora haja atividades que propõem o uso de modelos matemáticos para demonstrar as funções ideais da tecnologia, bem como uma fase de otimização da tecnologia, em momento algum os modelos propostos pela literatura propõem ou demonstram a possibilidade de aplicação de indicadores de eco-eficiência da tecnologia como fonte para as tomadas de decisão do processo. Para a investigação dessa problemática foi realizada uma pesquisa conforme descrito abaixo.

4. Método

A partir de uma revisão bibliográfica sobre modelos de PDT disponíveis na literatura, são apresentadas as atividades que contemplam desde a geração da idéia até a transferência da tecnologia para o desenvolvimento de produtos. Em paralelo, foi realizada uma revisão bibliográfica dos principais modelos de medição de desempenho usados pelas empresas para avaliar a sustentabilidade de um produto ou tecnologia.

Na seqüência foi conduzida uma análise das atividades do PDT, propostas pela literatura, para identificar momentos que poderiam ser incrementados pela utilização de indicadores de modo a subsidiar a toma de decisões no desenvolvimento de tecnologias eco-eficientes.

O modelo teórico sintetizado de PDT foi então dividido em três diferentes momentos de acordo com os grupos de atividades apresentadas nos modelos teóricos. Essa divisão foi proposta pelos autores no sentido de melhorar o entendimento da seqüência de atividades do modelo teórico sintetizado. Embora os nomes dados a cada uma das fases, bem como a quantidade de fases não seja a mesma nos modelos apresentados por Clark & Wheelwright (1993), Clausing (1993), Cooper (2006) e Creveling et al. (2003), optou-se por realizar esse agrupamento a partir de uma análise de possíveis aplicações desse modelo teórico sintetizado junto a pequenas e médias empresas de base tecnológica, sendo que, apesar de haver alguns resultados preliminares sobre sua aplicação no desenvolvimento de tecnologia (CAETANO, KURUMOTO E AMARAL, 2008), essa divisão ainda não foi suficientemente testada em um caso prático.

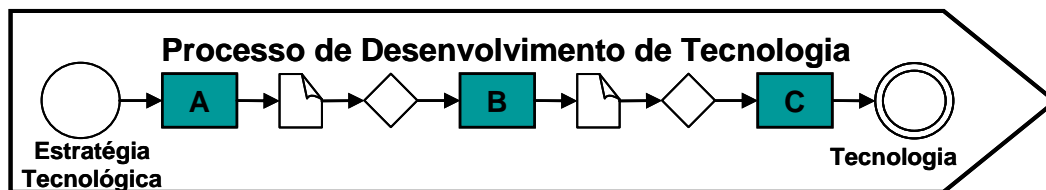


Figura 1 - Diferentes momentos para o uso de indicadores de eco-eficiência

Apresentado esquematicamente na figura 1, o modelo teórico sintetizado teve suas fases divididas entre os três seguintes momentos: o momento inicial (A), que pode durar aproximadamente um mês para ser realizado, um intermediário (B), que pode durar anos, e um final (C), que pode levar pouco tempo para ser integrado ao desenvolvimento de produtos (COOPER, 2006). Durante o momento A (estágios I, II e III), são apresentadas as direções que empresa deve tomar de acordo com as necessidades do negócio, do mercado e da tecnologia, sendo que ao final desse momento é gerado um conceito de tecnologia a ser desenvolvida. Aprovado esse conceito segue-se para o momento B (estágios IV e V), em que são realizados testes e experimentos com protótipos que simulam condições reais de uso dessa tecnologia, sendo também realizados testes e ajustes com o propósito de otimizar a solução desenvolvida. Por fim, durante o momento C (estágio VI), são integrados os diferentes subsistemas em um sistema maior e definidos os critérios para que essa tecnologia seja utilizada no desenvolvimento de produtos.

O método pode ser classificado como uma análise teórica, de caráter indutivo e baseado em revisão de literatura, sendo esse um componente crítico para o desenvolvimento das habilidades de pesquisa e entendimento do objeto de estudo (KARLSSON, 2009).

5. Aplicações de indicadores de eco-eficiência no PDT

O objetivo principal da análise foi verificar se o uso de indicadores de eco-eficiência nesses três diferentes momentos poderia melhorar a qualidade das decisões do processo, com o incremento da avaliação sobre a eco-eficiência das tecnologias no PDT.

A adoção desses indicadores no PDT pode se dar a partir de diferentes usos gerenciais, que são apresentados resumidamente no quadro 3, adaptado de Schwarz, Beloff e Beaver (2002), podendo permear por todo o PDT no sentido de que o resultado final seja realmente certificado como eco-eficiente.

Utilidades	Descrição
<i>Benchmarking</i>	Comparar desempenho de processos com características semelhantes para identificar oportunidades de melhoria;
Rastreabilidade	Habilidade de medir avanços durante o tempo;
Processos de avaliação	Indicadores funcionam como um suporte adequado a tomada de decisão, servindo para a seleção de novos processos de produção. Os problemas são identificados antes de se tornarem mais complexos;
Avaliação da cadeia de suprimentos	Valores individuais dos processos podem ser somados para fornecer o valor correspondente a toda cadeia de suprimentos. Dessa forma, os processos com maior impacto ambiental dentro da cadeia de suprimentos podem ser identificados;
Avaliação de instalações e tecnologias	Os indicadores podem ser utilizados preferencialmente para a avaliação de instalações e tecnologias;
Integração de diferentes indicadores	Os indicadores fornecem informações que podem ser utilizados em ferramentas de suporte à decisão integrada.

Fonte: Adaptado de Schwarz, Beloff e Beaver (2002)

Quadro 3 - Usos gerenciais dos indicadores de sustentabilidade

A determinação do uso gerencial desses indicadores estaria diretamente associada ao momento em que a tecnologia estivesse em seu processo de desenvolvimento.

Durante as atividades iniciais do PDT, momento A, um conjunto de indicadores poderia ser útil para apoiar uma estratégia de sustentabilidade adotada pela empresa, estabelecendo metas de consumo de recursos naturais que deveriam ser atingidas pelas tecnologias, de modo que elas tornem-se aptas a concorrer com as tecnologias já existentes.

Tais metas poderiam ser utilizadas pela equipe de desenvolvimento na antecipação de problemas. Valores metas para os indicadores, a serem cumpridos pela tecnologia que começará a ser desenvolvida, poderiam ser baseados nas tecnologias já existentes, e seriam utilizados para demonstrar de maneira mais clara e inequívoca quais as metas que a equipe de desenvolvimento precisaria atingir. O resultado poderia ser a diminuição de desperdícios no uso de recursos e maior foco no desenvolvimento de componentes eco-eficientes da tecnologia.

Indicadores aplicados no momento de planejamento da tecnologia poderiam auxiliar a projeção de plataformas de produtos, que utilizem tecnologias similares com melhor eco-eficiência, possibilitando o desenvolvimento de vários produtos sem a necessidade de desenvolver novas tecnologias, reduzindo, inclusive, o impacto ambiental provocado pelo

desenvolvimento de tecnologia (ROZENFELD ET AL., 2006; ROBERTSON E ULRICH, 1998).

A adoção de parcerias para o desenvolvimento de tecnologia poderia estender o aspecto da sustentabilidade para fora da empresa, pois os parceiros poderiam determinar métricas de eco-eficiência que deveriam permear durante o projeto de desenvolvimento, facilitando a formação de redes de inovação sustentáveis.

Já na fase III do modelo teórico sintetizado, durante a concepção da tecnologia, os indicadores poderiam ser utilizados para identificar, por meio da análise de testes preliminares, quais as tecnologias em desenvolvimento dificilmente atingiriam as metas previamente determinadas. Neste caso, a equipe poderia tomar a decisão de abortar o projeto ou buscar por novas soluções para o problema, evitando esforços e investimentos desnecessários.

Além disso, direcionadores ambientais poderiam nortear as estratégias da empresa no sentido de identificar tendências ambientais tanto da produção como do consumo de produtos ecologicamente corretos a partir de prospecções ambientais.

A identificação e tradução da voz da tecnologia e do consumidor poderiam ser entendidas como a voz do futuro da sociedade, ou seja, quais tecnologias deveriam ser desenvolvidas que dessem suporte, por exemplo, à produção limpa, considerando a escassez de determinados recursos naturais e adotando caminhos para a redução de desperdícios, emissões de gases efeito estufa, bem como o aumento da reciclagem e reutilização de recursos naturais sem comprometer as gerações futuras (KAEBERNICK, 2008).

Para as atividades de desenvolvimento e otimização da tecnologia, momento B, a demonstração da eco-eficiência tecnológica poderia ser identificada durante a realização de experimentos. Os indicadores demonstrariam os níveis de tolerância para o consumo de recursos pelas tecnologias, bem como o desempenho desejado e determinação dos parâmetros críticos da tecnologia apontados nos experimentos. Nessa fase, as atividades de otimização de experimentos poderiam ser orientadas no sentido de incrementar a eco-eficiência da tecnologia através da simulação de condições reais de funcionamento dessa tecnologia. Os indicadores estariam assim contribuindo para a otimização e detalhamento da tecnologia.

Para tal, poderiam ser realizados estudos no sentido de criar sistemas de indicadores que possam relacionar os parâmetros técnicos de desempenho da tecnologia com o desempenho da empresa e do produto no mercado. Este seria um aspecto importante a ser questionado e desenvolvido pela literatura da área.

Durante a transferência da tecnologia, ou seja, quando os subsistemas são integrados e a tecnologia é validada, momento C, os indicadores poderiam fornecer padrões e limites para a certificação e validação da tecnologia. Isso implica em auxiliar os desenvolvedores de produtos, usuários das informações geradas no PDT e pela aplicação da tecnologia desenvolvida, a verificar se realmente as metas planejadas para as tecnologias são observadas no seu desempenho. Haveria uma maior integração do processo em que os indicadores planejados no início do PDT serviriam para a verificação contínua do processo e, ao final, para a validação, difusão da tecnologia e determinação de novas metas para as próximas tecnologias.

Além disso, os critérios definidos para a escolha de determinada tecnologia podem indicar várias oportunidades para o desenvolvimento de tecnologias complementares que

também passem por um conjunto de metas de eco-eficiência, seja essa desenvolvida internamente ou por algum outro parceiro que explore essa oportunidade.

6. Conclusão

A identificação de momentos específicos durante o processo de desenvolvimento de tecnologia, que merecem uma atenção especial por parte dos gestores, pode se tornar uma importante aliada das empresas que pretendam incorporar a sustentabilidade na gestão da inovação, através do uso de indicadores de eco-eficiência.

Essa é uma área pouco explorada e que demanda evolução por parte dos pesquisadores. Na teoria de gerenciamento de desenvolvimento de produtos, além das técnicas estatísticas, não há muitas ferramentas ou métodos que auxiliem os desenvolvedores a avaliar o desempenho das tecnologias. A elaboração de um método que envolva indicadores poderia ser de utilidade, em especial, para avaliar várias tecnologias substitutas e auxiliar na escolha da mais adequada conforme o tipo de produto a ser desenvolvido, antecipando-se aos impactos ambientais.

A análise desse trabalho descreve uma lacuna que não tem recebido muita atenção por parte dos pesquisadores: a proposição de indicadores de eco-eficiência para serem utilizadas no PDT com a finalidade de tornar o PDP sustentável. Seria importante estudar o desenvolvimento de um modelo de sistemas de indicadores de eco-eficiência para apoiar o P&D, e este esforço deveria começar em setores específicos, como o de desenvolvimento de tecnologias, e depois serem generalizados para as demais áreas funcionais da empresa.

Também seria de grande valia a inserção “filtros verdes” ao final de cada fase do PDT de modo que antes que os projetos de tecnologia chegassem às fases de decisão eles passariam por uma seleção com relação as suas performances ambientais.

Os próximos passos para a aplicação desses indicadores seria a estratificação de grupos de indicadores, bem como a elaboração de um ranking daqueles que deveriam ser considerados em cada fase específica do PDT de acordo com tecnologias específicas, incluindo a mensuração desses indicadores nas fases iniciais durante a elaboração de metas, embasando o planejamento de tecnologias, nas fases intermediárias de desenvolvimento e otimização das tecnologias, bem como na fase final com a escolha das tecnologias mais eco-eficientes a serem utilizadas no desenvolvimento de produtos, o que possibilitaria uma gestão inovadora sustentável pela empresa.

O estudo identificou várias oportunidades para a inserção dos indicadores de forma a contribuir para o incremento da eco-eficiência das tecnologias, e que merecem ser explorados pelos pesquisadores da área. Além da exploração desses temas, sugere-se análise semelhante e estudo de outros indicadores de sustentabilidade, incluindo a dimensão sócio-econômica, no sentido de se propor um modelo de PDT que contemple a sustentabilidade de uma forma geral.

Referencias

ADVANCE. *Sustainable value of european industry: a value based analysis of the environmental performance of european manufacturing companies.* The Advance-project / EU Life. Gieselmanndruck, Postdam, 2006.

AYRES, R. U. *Limits to the growth paradigm.* Ecological Economics 19, pp. 117-134, 1996.

AYRES, R. U.; MILLER, S. M. *The role of technological change.* Journal of Environmental Economics and Management 7, pp. 353-371, 1980.

- AZAPAGIC, A.** *Developing a framework for sustainable development indicators for the mining and minerals industry.* Journal of Cleaner Production, 12, 2004, p. 639-662.
- CAETANO, M.; KURUMOTO, J.; AMARAL, D.** *Atividades críticas para a integração entre tecnologia e produto: subsídios para um modelo teórico a partir de caso na área de nanotecnologia.* 25, Simpósio de Gestão da Inovação Tecnológica. Brasília, DF, 22 a 24, Out., 2008.
- CHENG, L. C.; DRUMOND, P.; MATTOS, P. A.** *Integração do trinômio tecnologia, produto e mercado na pré-incubação de uma empresa de base tecnológica.* In: III Conferência Internacional de Pesquisa em Entrepreneurship na América Latina – CIPEAL, Rio de Janeiro, RJ, 2004.
- CLARK, K., WHEELWRIGHT, S. C.** *Managing new product and process development: text and cases.* New York: Free Press, 1993.
- CLAUSING, D.** *Total quality development: a step-by-step guide to world-class concurrent engineering.* American Society of Mechanical Engineers, New York, 1993.
- COOPER, R. G.** *Managing technology development projects.* Research Technology Management 49, n. 6 (nov./dec), 2006.
- CREVELING, C. M.; SLUTSKY, J. L.; ANTIS, D.** *Design for six sigma: in technology & product development.* Prentice Hall PH, New Jersey, 2003.
- ELKINGTON, J.** *Enter the triple bottom line.* In.: Henriques, A.; Richardson, J. The triple bottom line: does it all add up? London: Earthscan, pp. 1-16, 2004.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY.** *Life Cycle Assessment: Principles and Practices, 2006.* Disponível em: <<http://www.epa.gov>>. Acesso em: 18 de setembro, 2007.
- FIGGE, F.; HAHN, T.** *The cost of sustainability capital and the creation of sustainable value by companies.* Journal of Industrial Ecology, v. 9, n. 4, 2005.
- FIKSEL, J.; MCDANIEL, J.; MENDENHALL, C.** *Measuring Progress towards Sustainability Principles, Process and Best Practices.* Ohio: Battelle Memorial Institute, 1999.
- GLOBAL REPORTING INITIATIVE.** *Sustainability Reporting Guidelines, 2002.* Disponível em: <www.aeca.es/comisiones/rsc/documentos_fundamentales_rsc/gri>. Acesso em: 29 de outubro, 2007.
- INSTITUTION OF CHEMICAL ENGINEERS.** *The sustainability metrics: sustainable development progress metrics recommended for use in the process industries, 2002.* Disponível em: <www.icheme.org>. Acesso em: 29 de outubro, 2007.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION.** *ISO 14031: Environmental Performance Evaluation.* Berlin: 1999.
- JAPPUR, R. F.; CAMPOS, L. M. S.; HOFFMANN, V. E.; SELIG, P. M.** *A visão de especialistas sobre a sustentabilidade corporativa frente às diversas formações de cadeias produtivas.* Revista Produção On Line VIII, n. III, 2008.
- JIMÉNEZ-GONZÁLEZ, C.; CURZONS, A. D.; CONSTABLE, D. J. C.; OVERCASH, M. R. O.; CUNNINGHAM, V. L.** *How do you select the “greenest” technology? development of guidance for the pharmaceutical industry.* Clean Technologies and Environmental Policy, v. 3, n. 1, Jun., 2001.
- KAEBERNICK, H.** *Reuse, recycling and remanufacturing impediments for industrial implementation.* 15th CIRP – International Conference on Life Cycle Engineering. Sydney, Australia: 17 – 19, March, 2008.
- KAPLAN, S.; TRIPSAS, M.** *Thinking about technology: applying a cognitive lens to technical change.* Research Policy, v. 37, p. 790-805, 2008.
- KARLSSON, C.** *Researching operations management.* New York: Routledge, 2009.
- KURUMOTO, J.; CAETANO, M.; AMARAL, D.** *Desenvolvimento de produto ou desenvolvimento de tecnologia: qual a diferença?* 14, Simpósio de Engenharia de Produção, XIV SIMPEP, 5 a 7, Nov., 2007.
- LABUSCHAGNE, C.; BRENT, A. C.** *Sustainable project life cycle management: the need to integrate life cycles in the manufacturing sector.* International Journal of Project Management 23, 2005.

- OLSTHOORN, X.; TYTECA, D.; WEHRMEYER, W.; WAGNER, M.** *Environmental indicators for business: a review of the literature and standardization methods.* Journal of Cleaner Production, 9, 2001.
- REIS, L. P. ; FERNANDES, J. ; JUNQUEIRA, G. ; CHENG, L. C.** *Revelando as fases do planejamento tecnológico no contexto da gestão de desenvolvimento de produtos em empresas iniciantes de base tecnológica.* In: ANPROTEC 2006. XVI Seminário Nacional de Parques Tecnológicos e Incubadoras de Empresas, 2006, Salvador: Anais da ANPROTEC, 2006.
- ROBERTSON, D.; ULRICH, K.** *Planning for product platforms.* Sloan Mgt Review. Sumer Springs, 1998.
- ROZENFELD, H; ET AL.** *Gestão de desenvolvimento de produtos.* São Paulo: Saraiva, 2006.
- SCHWARZ, J.; BELOFF, B.; BEAVER, E.** *Use sustainability metrics to guide decision-making.* Chemical Engineering Progress, July, 2002.
- SHEASLEY, W. D.** *Taking an options approach to new technology development.* Research Technology Management, nov./dez., p. 37-43, 2000.
- THORESEN, J.** *Environmental Performance Evaluation - a Tool for Industrial Improvement.* Journal of Cleaner Production, 7, p. 365-370, 1999.
- VELEVA, V.; ELLENBECKER, M.** *Indicators of sustainable production: framework and methodology.* Journal of Cleaner Production, 9, p. 519-549, 2001.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE. VDI 4070:** *Nachhaltiges Wirtschaften in kleinen und mittelständischen Unternehmen: Anleitung zum Nachhaltigen Wirtschaften.* Berlin: Beuth Verlag, 2006.
- WENZEL, H.; ALTING, L.** *Architecture of environmental engineering.* In: Seliger, G.; Nasr, N.; Bras, B.; Alting, L. Proceedings: global conference on sustainable product development and life cycle engineering. Berlin, Germany: September 29 – October 1, 2004.
- WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT.** *Measuring Eco-efficiency.* Lisboa: WBCSD, 2000.