

A TRIZ (THEORY OF INVENTIVE PROBLEM SOLVING) APLICADA À PRODUÇÃO MAIS LIMPA: UMA ABORDAGEM PRELIMINAR

Flavio Issao Kubota (UFSM)

flavioissao.kubota@gmail.com

Leandro Cantorski da Rosa (UFSM)

leski78@hotmail.com



Este trabalho tem como objetivo principal verificar, através da literatura, e discutir a aplicação da Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ) como uma nova metodologia de estruturação da produção mais limpa (PML) nas organizações. Para isso, o trabalho teve como metodologia uma pesquisa de caráter qualitativo e natureza descritiva, e estratégia documental para coleta de dados. Durante a análise dos artigos pesquisados, foi possível obter informações para se alcançar os objetivos específicos deste trabalho. Através das pesquisas, pode-se constatar que há predominância de utilizações da TRIZ no nível 1 da PML, com enfoque maior em modificações e melhorias no produto (ecodesign), poucos relatos de aplicações na melhoria de processos (no que tange a PML) e reciclagem interna (nível 2) e, adicionalmente, não se obteve evidências de utilização da metodologia na reciclagem externa e em ciclos biogênicos (nível 3). Concluiu-se que a integração proposta é promissora, pois a relação entre a PML e a TRIZ possui contradições devido a PML ir de encontro ao crescimento econômico, segundo diversos projetistas. E, por fim, a metodologia TRIZ tem potencial para ser mais explorada no desenvolvimento e melhoria de processos, uma vez que a análise de interações, juntamente com a “triagem” e posterior geração do resultado final ideal (RFI), permite o mapeamento completo dos mesmos, bem como esclarece todas as funções nocivas e benéficas ocorrentes no processo em estudo, podendo, assim, servir como direcionador na busca da otimização dos processos produtivos e, conseqüentemente, promover a melhoria contínua focada em inovação.

Palavras-chaves: TRIZ, Produção mais limpa (PML), Ecodesign, Melhoria de processos.

1. Introdução

A natureza dos problemas ambientais é parcialmente atribuída à complexidade dos processos industriais utilizados pelo homem. Todo produto, não importa de que material seja feito ou a finalidade de uso, provoca um impacto no meio ambiente, seja em função de seu processo produtivo, das matérias-primas que se consome ou devido ao seu uso ou disposição final (CHEHEBE, 1997).

Além disso, a busca por melhores práticas ambientais é outro aspecto o qual vem sendo requisitado pelas partes interessadas aos negócios das organizações, uma vez que a maior parcela dos recursos utilizados nos processos não é renovável (KUBOTA *et al*, 2010).

A busca por soluções inovadoras e criativas dentro da indústria é um processo de resolução de problemas. Os próprios processos dentro das organizações, quando estudados e implementados – ou incrementados – nas mesmas, são maneiras de resolver um problema durante o desenvolvimento do produto – ou serviço – em questão.

Desse modo, a produção mais limpa (PML) visa à redução de emissões e utilização de energia, consideradas como problemas nos processos produtivos das empresas. Para a *United Nations for Industrial Development Organization* (UNIDO), a PML (em inglês *cleaner production* – CP) implica – para processos produtivos – na conservação de matéria-prima e energia, eliminação de materiais tóxicos, bem como a redução em quantidade e toxicidade de todas as emissões e desperdícios antes delas deixarem o processo. A PML é alcançada através de aplicações de conhecimento, aprimoramento de tecnologias e mudança de atitudes no trabalho (RIVERA *et al*, 2009), essa última, mais conhecida como boas práticas.

Paralelamente, Zhang e Shang (2010) afirmam que a Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ) é considerada um tipo de teoria inovadora, que funciona principalmente resolvendo contradições. Essa metodologia, baseada na evolução de sistemas técnicos, é composta de vários tipos de métodos, cálculos para resolver problemas técnicos, exploração inovadora, conforme a compreensão global na resolução do sistema. E seu sistema consiste, essencialmente, de 4 princípios de separação, 8 padrões técnicos de evolução, 39 parâmetros de engenharia, 40 princípios inventivos, matriz de resolução de contradições 39 x 39, 76 soluções padrão, o Algoritmo da Solução Inventiva de Problemas (ARIZ), base de conhecimentos de engenharia e efeitos, uma série de sistemas metodológicos para compreensão. Além disso, os mesmos autores e Carvalho e Back (2001) constatam que a TRIZ vem sendo aplicada nos mais diversos campos de conhecimento.

Baseando-se nesses fatos e informações, este artigo tem como objetivo verificar, através da literatura, e discutir a aplicação da Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ) como uma nova metodologia de estruturação da produção mais limpa (PML) nas organizações, visando à melhoria contínua com foco em soluções simples e inovadoras nessa área. Para isso, foram desenvolvidos os seguintes objetivos específicos: identificar a relação entre a TRIZ e a PML; identificar desvantagens e limitações, e; identificar pontos fortes e vantagens.

Justifica-se este estudo devido à possibilidade de maior compreensão da Teoria Inventiva da Solução de Problemas (TRIZ), bem como de sua aplicabilidade na PML. Os resultados e discussões acerca da pesquisa proporcionarão fatores que facilitam e/ou limitam a aplicação da TRIZ como metodologia para a produção mais limpa.

2. Referencial teórico

2.1. Produção mais limpa – conceitos

De acordo com Thrane *et al* (2009), o termo produção mais limpa possui diversas conotações. A produção mais limpa é a aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva e integrada para processos, produtos e serviços para aumentar a eficiência, e reduzir riscos para os humanos e o meio ambiente (BERKEL, 2001; UNEP, 2006 *apud* THRANE *et al*, 2009; PIMENTA e GOUVINHAS, 2007).

A UNEP (2002), juntamente com Medeiros *et al* (2007), distinguem seis tipos de soluções (Figura 1): *housekeeping* (boas práticas), reutilização e reciclagem, substituição de materiais e químicos perigosos, otimização de processos, mudança tecnológica e inovações e desenvolvimento de produtos mais limpos (*ecodesign*).



Figura 1 – Níveis de atuação da produção mais limpa (MEDEIROS *et al*, 2007, p. 113)

A PML é uma estratégia de prevenção que pode abordar tanto processos de fabricação como produtos, e que interpreta o desenvolvimento de produtos mais limpos como o tipo mais radical de melhoria (THRANE *et al*, 2009).

2.2. TRIZ – Histórico, conceitos e ferramentas

Genrich Altshuler, nascido em 1926 na ex-União Soviética, serviu como consultor na marinha nos anos 1940 para apoiar inventores no processo de patenteamento de invenções. É considerado o criador da teoria de solução inventiva de problemas, genericamente conhecida como TRIZ, originada dos seguintes termos russos: *Teoriya Rezheniya Izobretatel'skisch Zadach* (BACK *et al*, 2008).

O termo TRIZ é um acrônimo para Teoria da Solução Inventiva de Problemas, que tem sido usado em várias pesquisas (STRATTON e MANN, 2003; LOH *et al*, 2006; SOO *et al*, 2006; VINCENT, 2006; ROBLES *et al*, 2008; SCYOC, 2008; DUBOIS *et al*, 2009; LI e HUANG, 2009; MERK *et al*, 2009; ROBLES *et al*, 2009; VERHAEGEN *et al*, 2009; ZHANG *et al*, 2009; AHMED *et al*, 2011; BECATTINI *et al*, 2011; HOUSSIN e COULIBALY, 2011; KIM

et al, 2011; NOVOA *et al*, 2011; VERHAEGEN *et al*, 2011; YANG e CHEN, 2011). Esse trabalho, iniciado em 1946, conduziu Altshuler a pesquisar métodos de solução de problemas e identificou que os métodos intuitivos existentes na época não satisfaziam as exigências de invenções da segunda metade do século XX (BACK *et al*, 2008).

Essa abordagem foi amplamente ensinada e difundida na Rússia, porém não emergiu no Ocidente até o final dos anos 80. Diversos sistemas diferentes de soluções foram geradas abstraindo princípios inventivos da análise de dados das patentes. E muitas dessas soluções focam as contradições ou conflitos identificados nas soluções inovadoras. A metodologia TRIZ afirma que “problemas inventivos podem ser codificados, classificados e resolvidos metodicamente, assim como outros problemas de engenharia” (STRATTON e MANN, 2003; LI e HUANG, 2009).

Os pesquisadores, pioneiramente Altshuler, buscaram por princípios de solução inventiva dos problemas, e para isso, analisaram uma grande quantidade de patentes russas (aproximadamente 2,5 milhões de patentes), sendo pesquisadas, inicialmente, as de *design* mecânico, observando princípios genéricos e como as soluções patenteadas foram alcançadas (LI e HUANG, 2009; FRESNER *et al*, 2010). Assim, conseguiram identificar condições que as teorias de invenções elaboradas deveriam atender, na forma das seguintes leis da evolução para sistemas técnicos:

- Evolução inteligente dos sistemas: os sistemas evoluem em passos discretos;
- Aumentar idealidade: sistemas evoluem em direção à idealidade, caracterizada pelo fornecimento da função técnica, sem causar efeitos nocivos (em termos de esforço, consumo – excessivo – de recursos, etc.);
- Diferente evolução dos elementos do sistema: os elementos do sistema evoluem em diferentes níveis;
- Aumento na dinâmica e controle: os sistemas são dinamizados, o controle sobre a evolução aumenta;
- Aumento da complexidade e posterior diminuição: a complexidade de um sistema aumenta e diminui novamente, depois de atingir certo nível de complexidade;
- Aumento da coordenação: o ritmo dos diferentes elementos de um sistema técnico se torna cada vez mais coordenado;
- Miniaturização: o sistema e seus elementos tendem a se tornar miniaturizados;
- Diminuição na interação humana: a interação humana com o sistema diminui à medida que o mesmo evolui.

Mann (2002) relatou que a TRIZ se trata de uma filosofia, um processo e uma série de ferramentas. Demonstra que a metodologia TRIZ é baseada na fundamentação do conhecimento em *design* e uma grande quantidade de pesquisas. A Figura 2 apresenta uma perspectiva hierárquica.



Figura 2 – Visualização hierárquica da TRIZ, adaptado de Mann (2002)

Além disso, a TRIZ possui diversos conceitos e ferramentas (Figura 3), conforme ilustra Zhang *et al* (2009), provendo abordagens sistemáticas e princípios generalistas para formular e analisar problemas, gerar idéias criativas, e projetar a tendência de evolução de um sistema ou projeto.

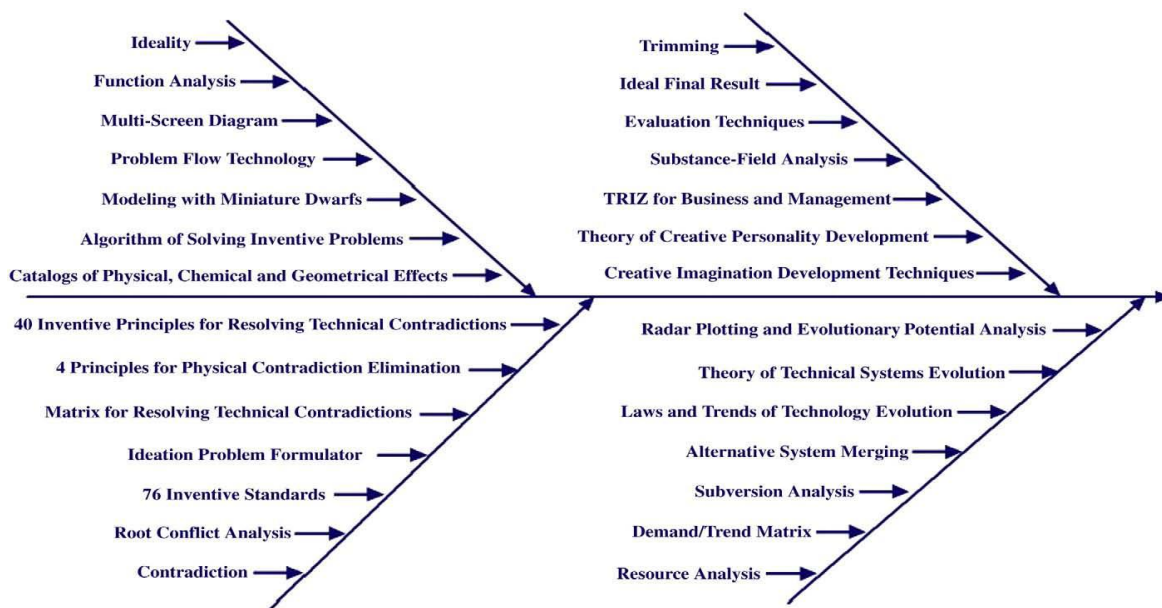


Figura 3 – Conceitos e ferramentas da TRIZ (ZHANG *et al*, 2009, p. 778)

A TRIZ clássica, desenvolvida por Altshuller e seus colaboradores, é composta por métodos para a formulação e a solução de problemas, uma base de conhecimento e leis da evolução para sistemas técnicos – ST's (CARVALHO e BACK, 2001).

De um modo geral, a TRIZ é aplicada da seguinte maneira, conforme Yang e Chen (2011): um problema inventivo é reformulado em um problema genérico da TRIZ, e então, as ferramentas da metodologia são introduzidas para analisar e propor uma solução geral baseada na mesma. Assim, uma solução genérica é interpretada para resolver um problema inventivo específico. Ainda, Soares (2008) ressalta que o método se baseia na idéia de que todos os problemas técnicos já foram resolvidos de alguma forma no passado, e os princípios inerentes às suas soluções encontram-se armazenados em bases de dados de patentes. A Figura 4 ilustra essa explicação.

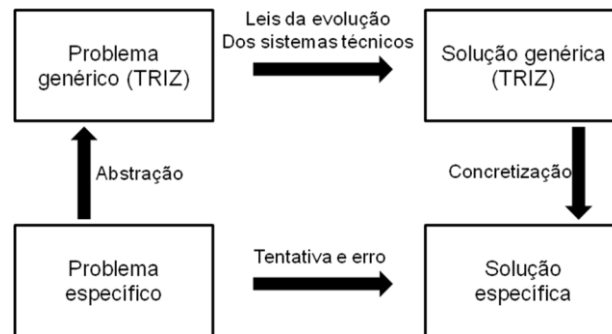


Figura 4 – Metodologia TRIZ (STRATTON e MANN, 2003; SRINIVASAN e KRASLAWSKI, 2006; LI e HUANG, 2009; KIM *et al*, 2011; AHMED *et al*, 2011; NOVOA *et al*, 2011; YANG e CHEN, 2011)

Para o entendimento desta metodologia, é necessária, inicialmente, a definição e compreensão clara de seus conceitos fundamentais, os quais são: idealidade, contradições e recursos.

Idealidade, segundo Carvalho e Back (2001), é a razão entre o número de funções desejadas e funções indesejadas executadas pelo sistema. O próprio sistema técnico (ST) é entendido, pela TRIZ, como um “preço” pago pela execução de funções desejadas por seus usuários. Portanto, quanto mais evoluído é esse sistema (mais próximo do ideal), menor é o “preço” pago pela sociedade. É a partir desse conceito que é gerado o resultado final ideal (RFI) que consiste em alcançar a idealidade ou se aproximar ao máximo dela.

Contradições são requisitos conflitantes com relação a um mesmo ST – a melhora de um requisito causa a piora de outro (CARVALHO e BACK, 2001; CARVALHO e HATAKEYAMA, 2003). Carvalho e Back (2001) citam como exemplo uma haste de solda para equipamentos elétricos e eletrônicos, onde a haste não deve ser muito pequena, para não queimar a mão do operador, e nem tão grande, para que o controle sobre o instrumento não seja prejudicado.

E os recursos, por fim, podem ser definidos como quaisquer elementos do sistema ou dos arredores que ainda não foram utilizados para realizar funções úteis do sistema. Existem casos em que recursos não aproveitados levam a soluções inventivas (CARVALHO e BACK, 2001).

Adicionalmente, Stratton e Mann (2003) e Li e Huang (2009) afirmam que existem três premissas básicas na teoria: a primeira relata que o objetivo é o desenho ideal da solução sem funções nocivas; a segunda premissa afirma que uma solução inventiva envolve a eliminação total ou parcial de uma contradição, e; a terceira diz que o processo inventivo pode ser estruturado.

3. Metodologia

Visando atender aos objetivos delineados neste estudo realizou-se uma pesquisa de caráter qualitativo e natureza descritiva (HAIR *et al*, 2006).

A estratégia de coleta dos dados foi documental. Desse modo, foram avaliadas teses, dissertações e artigos publicados em diversos periódicos: *Journal of Cleaner Production*, *TRIZ Journal*, *European Symposium on Computer Aided Process Engineering*, *Computer-aided design*, *Computer in Industry*, *Advanced Engineering Informatics*, *Creativity and Innovation Management*, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, *Reliability Engineering and System Safety*, *Expert Systems with Applications*, *Chemical Engineering and Processing*, *Journal of Materials Processing Technology*, *Journal of Bionic Engineering*, *Automation in Construction*, *Procedia Environmental Sciences*.

Foi realizada uma análise dos artigos pesquisados, sendo possível obter informações para se alcançar os objetivos específicos deste trabalho.

4. Resultados e discussões

4.1. A relação entre a TRIZ e a PML

Através das pesquisas realizadas, pode-se observar que a maioria das aplicações da TRIZ, no que tange a PML, relacionam-se com o *ecodesign*, seguida pelas melhorias em processos. Ou seja, o enfoque é, essencialmente, em modificações nos produtos (nível 1). Chen e Liu (2001) associaram os 39 parâmetros de engenharia, bem como os 40 princípios inventivos, com os sete elementos da eco-eficiência. O resultado foi a geração de uma nova metodologia para elaboração de produtos eco-inovadores, através de ferramentas da TRIZ, alinhadas a esses sete elementos. Chang e Chen (2003) mostraram exemplos de eco-inovação para cada um dos 40 princípios inventivos, cobrindo uma grande variedade de produtos e processos, considerados – à época – novidades, criativos e “eco-amigáveis”.

Outra aplicação em produtos da TRIZ foi desenvolvida por Serban *et al* (2005), onde foi realizada uma pesquisa a fim de verificar as ferramentas e métodos da TRIZ as quais poderiam ser utilizadas na abordagem do *design* para o meio ambiente (*Design for Environment* – DFE). O trabalho buscou incrementar a fase de projeto conceitual, e propôs a referida nova metodologia (alinhando a TRIZ e o DFE) em um estudo de caso.

Para produtos, Soares (2008) desenvolveu uma ferramenta criativa de apoio ao desenho de produtos sustentáveis, onde métodos da TRIZ foram incorporados para auxiliar na resolução de conflitos de projeto. Os métodos utilizados foram a análise de contradições e conflitos.

Em outras pesquisas recentes, Yang e Chen (2011) construíram uma metodologia que acelera o *design* preliminar para a eco-inovação, utilizando-se de estudo baseado em casos (*Case-Based Reasoning* – CBR) alinhados à TRIZ – análise de contradições e leis da evolução. Evidenciou-se, também, que esse não foi o único estudo com sucesso na união entre as duas ferramentas. Trabalhos publicados por Estevez *et al* (2006), que integrou os dois referidos métodos para o *design* inventivo, e Yang e Chen (2009), que tentaram resolver problemas relacionados ao *ecodesign* e acelerar o padrão evolutivo de um projeto baseado na TRIZ e no CBR.

Em relação à modificações no processo (nível 1), foram encontradas poucas evidências de aplicações da TRIZ/PML. LI *et al* (2003) utilizaram a análise de conflitos/contradições – derivada da TRIZ – para minimizar as perdas de água em processos industriais, servindo como um eficiente método para tratamento dos conflitos entre os objetivos visados para identificar as alternativas potenciais de prevenção da poluição.

Ainda em processos, Fresner *et al* (2010) buscaram alternativas de eliminar a água de lavagem no processo de decapagem em uma indústria química. Através da chamada “triagem” e da análise de interações (ambas ferramentas da TRIZ), foi possível buscar a solução ideal final para o processo, bem como alternativas de se alcançar a mesma. Inicialmente, foi identificado que o problema se tratava do consumo de água de lavagem utilizada para diluir a película de produtos químicos localizada na superfície das peças da empresa. A partir dessa situação, concluiu-se que a idealidade consiste em uma superfície livre de contaminantes para o próximo processo, sem nenhuma função nociva (perdas de água, desperdício e consumo de energia).

4.2. Discussões

O fato de ser amplamente utilizada por empresas de grande porte, tendo em vista a inovação, bem como a estruturação organizada de todo esse processo, torna a metodologia bastante eficiente e eficaz na geração de produtos.

Adicionalmente, a TRIZ pode oferecer, logo na análise inicial (de funções), todas as funções úteis e nocivas do produto ou processo. Com isso, torna-se mais fácil a priorização e resolução de todos os problemas encontrados, podendo essa ação ser executada sistematicamente, de acordo com os interesses e preferências da organização. Através do conhecimento de todas as funções, é possível focar na eliminação daquelas que possuem maior impacto ambiental negativo.

No exemplo de Fresner *et al* (2010), isso está claro quando os autores realizam a análise de funções, conforme relatado anteriormente (item 4.1) e ilustrado na Figura 5.

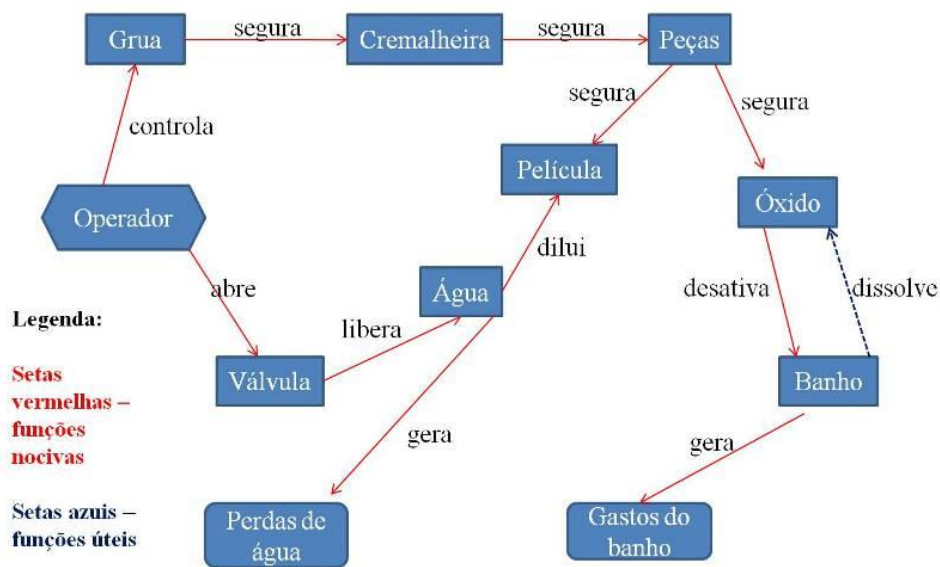


Figura 5 – Análise de interações de um processo de decapagem (FRESNER *et ai*, 2010)

Ainda em processos, Li *et al* (2001) propôs a utilização integrada da TRIZ com análise termodinâmica, visando a substituição de dois equipamentos no setor de destilação. Os resultados encontrados, através da metodologia, contribuíram para a elaboração de dois fluxogramas detalhados do processo ideal, e a conclusão de que ocorreria redução no consumo de vapor com a troca dos equipamentos em 23,7% e 27,7%, respectivamente.

Li (2004) propôs, em seu estudo, uma nova metodologia para a síntese conceitual de processos, com base na análise de conflitos/contradições, visando a melhoria na tomada de decisão no projeto e síntese, bem como instigar a criatividade nas atividades de projeto.

Outra virtude da TRIZ é o fato de ser uma metodologia flexível, uma vez que, em alguns casos, esta é um pouco modificada para se adaptar ao ramo específico aplicado (ex: alimentos, agroindústria, farmacêutica, produção, etc.), o que é um importante benefício pois em diversos ramos há a necessidade de melhorias sustentáveis.

No entanto, a principal virtude encontrada (e mais observada na pesquisa) é a sua fácil integração com o *ecodesign*, e essa união vem crescentemente sendo aplicada, com o objetivo de gerar produtos menos agressivos ao meio ambiente, alinhando isso a um custo menor de fabricação. A aplicação dos 40 princípios inventivos de Altshuller, seja com a análise de contradições ou não, fornece uma importante base de conhecimentos para que as organizações tenham condições de desenvolver projetos sustentáveis.

Quanto aos seus pontos fracos, nas pesquisas realizadas, não se obteve relatos da aplicação da metodologia no que se refere ao nível 3 da PML, não se tendo portanto, referências de soluções inventivas relacionadas à reciclagem externa e ciclos biogênicos. Além disso, Srinivasan e Kraslawski (2006) afirmam que a metodologia TRIZ possui limitações no que diz respeito ao projeto de processos, devido ao seu caráter abstrato e consequentes dificuldades de aplicação.

As aplicações de sucesso para o *design* de produtos e processos não estão disponíveis em publicações na literatura aberta. Consequentemente torna-se mais difícil, inclusive, a maior disseminação e aplicação da ferramenta, uma vez que não há dados disponíveis a respeito de melhorias realizadas, aumento no lucro na minimização de desperdícios, etc. (SRINIVASAN e KRASLAWSKI, 2006).

Entretanto, em todos os trabalhos pesquisados, ocorreram contribuições à organização em estudo, desde a implantação de alternativas para melhoria até o levantamento de potenciais soluções, uma vez que nem todos os trabalhos envolveram a aplicação – de fato – das idéias propostas, mas contribuíram para a tomada de decisão na melhoria da organização. Isso mostra o quanto a metodologia TRIZ fomenta a criatividade e instiga a busca de alternativas para o melhoramento dos produtos/processos/serviços, mesmo em equipes com pouco conhecimento técnico.

As poucas aplicações em processos se devem à dificuldades de adaptar os princípios inventivos, pois os mesmos foram elaborados, essencialmente, com base em melhorias e/ou projeto de produtos. Apesar disso, encontram-se trabalhos realizados nessa área, como os exemplos de Fresner *et al* (2010), Srinivasan e Kraslawski (2006), Li *et al* (2003) e Stratton e Mann (2003). Deve-se cuidar apenas que, sem uma análise de funções detalhada, a metodologia será bastante prejudicada, uma vez que o objetivo é buscar contradições e elementos nocivos que possam ser eliminados – ou reduzidos – do processo, sendo para isso necessário o maior conhecimento possível acerca do processo a ser estudado.

Há, também, a oportunidade de se estudar exemplos de princípios inventivos específicos para a PML, uma vez que a mesma possui características peculiares, assim como, por exemplo, a indústria química. Isso se reforça com base no estudo de Grierson *et al* (2003), que iniciou a discussão de como os 40 princípios inventivos de Altshuler podem ser aplicados diretamente aos problemas químicos.

A dificuldade durante a alocação dos problemas na matriz de contradições, onde a resolução de uma contradição pode – provavelmente – gerar outras contradições, podendo esse processo se tornar interminável para a resolução de determinado problema (SRINIVASAN e KRASLAWSKI, 2006).

Outra possível ameaça é a variação dos resultados da aplicação da metodologia. Ou seja, não se tem uma previsibilidade de resultados, uma vez que o grau de vivência, conhecimento e experiência das pessoas envolvidas pode variar, sendo esses fatores decisivos no sucesso ou fracasso da TRIZ. Porém, não se pode confundir isso com engessamento criativo, pois a criação de soluções inventivas consiste, necessariamente, em mapear novas alternativas (NICOLETTI e QUINELLO, 2009).

Assim, as pessoas menos experientes na equipe também contribuem, uma vez que o risco de sofrer com o engessamento criativo é menor. Nesse caso, faz-se necessário um equilíbrio na força de trabalho da organização, no que se refere à experiência, conhecimento e capacidade perceptiva.

Para melhor ilustrar os resultados obtidos nesta pesquisa, a Figura 6 retrata, de forma sucinta, na forma de matriz SWOT (*Strengths* – Forças, *Weaknesses* – Fraquezas, *Opportunities* – Oportunidades e *Threats* – Ameaças), as evidências encontradas a respeito da utilização da TRIZ em melhorias relacionadas à PML.



Figura 6 – Evidências acerca de aplicações da TRIZ na PML

Portanto, TRIZ é considerada uma metodologia bastante promissora, uma vez que muitos projetistas encaram a relação *ecodesign*/crescimento econômico como uma contradição. Contudo, essa integração TRIZ/*ecodesign* auxilia os projetistas a maximizar a utilização dos recursos de um sistema para atingir os objetivos de desenvolvimento de um novo produto com menor custo e sem efeitos indesejados (LUTTROPP e LAGERSTEDT, 2006; SERBAN *et al*, 2005).

5. Considerações finais e oportunidades futuras

Este trabalho teve como objetivo principal a análise e discussão, através da literatura acerca da possibilidade de aplicar a TRIZ como ferramenta de suporte à produção mais limpa (PML), visando a geração de soluções criativas nessa área, uma vez que há a crescente necessidade da melhoria contínua e sustentável nos produtos e processos das organizações. É parte de uma pesquisa em andamento nesta linha.

De modo geral, pode-se observar que as organizações que se utilizaram da TRIZ obtiveram potenciais benefícios na busca de soluções inventivas e sustentáveis, em especial no que se refere ao nível 1 da PML, nas modificações de produto (*ecodesign*), foco da maioria dos trabalhos encontrados na literatura. Ainda no nível 1, mas em processos, poucas evidências da utilização da TRIZ foram encontradas. Apesar disso, as publicações pesquisadas trouxeram benefícios no que diz respeito à análise dos processos, bem como da busca por melhorias nos mesmos.

Através da TRIZ, os projetistas têm a oportunidade de definir a melhor direção para melhorar os produtos. A integração da metodologia no *ecodesign* ajuda os designers a maximizar a utilização dos recursos de um sistema para atingir os objetivos de desenvolvimento de um novo produto com menor custo e sem efeitos indesejados (SERBAN *et al*, 2005).

Fresner *et al* (2010) ainda ressaltam que, a metodologia baseada na TRIZ/PML proporcionou uma nova interpretação das estratégias de produção mais limpa, além de ser uma ferramenta valiosa para coordenar equipes que busquem alternativas de PML, podendo-se envolver pessoas com pouco embasamento de engenharia.

E, por fim, a metodologia TRIZ tem potencial para ser mais explorada no desenvolvimento e melhoria de processos, uma vez que a análise de interações, juntamente com a “triagem” e posterior geração do resultado final ideal (FRI), permite o mapeamento completo dos mesmos, bem como esclarece todas as funções nocivas e benéficas ocorrentes no processo em estudo, podendo, assim, servir como direcionador na busca da otimização dos processos produtivos e consequentemente, promover a melhoria contínua focada em inovação.

Referências

- AHMED, R.; KOO, J. M.; JEONG, Y. H.; HEO, G. *Design of safety-critical systems using the complementarities of success and failure domains with a case study*. Reliability Engineering and System Safety Vol. 96, n. 1, p. 201-209, 2011.
- ALTSHULLER, G. S. *Erfinden – Wege zur Lösung technischer Probleme*. PI Verlag, 1998.
- BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; SILVA, J. C. *Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, Concepção e Montagem*. Florianópolis: Manole, 2008.
- BECATTINI, N.; BORGIANNI, Y.; CASCINI, G.; ROTINI, F. *Model and algorithm for computer-aided inventive problem analysis*. Computer-Aided Design, 2011. Disponível em: doi:10.1016/j.cad.2011.02.013. Acesso em: 22 mar, 2011.
- BERKEL, R. V. *Cleaner Production perspectives 1: CP and industrial development*. UNEP – industry and environment Vol. 24, n. 1-2, p. 28-32, 2001.
- CARVALHO, M. A. *Metodologia IDEATRIZ para a Ideação de Novos Produtos*. 2007. 254f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
- CARVALHO, M. A.; BACK, N. *Uso dos conceitos fundamentais da TRIZ e do método dos princípios inventivos no desenvolvimento de produtos*. 3º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto, 3, 2001, Florianópolis. Anais eletrônicos... Florianópolis: UFSC, 2001. Disponível em: <http://www.decarvalho.eng.br/macartigoiiicbgdp.pdf>. Acesso em: 10 de dezembro, 2010.
- CARVALHO, M. A.; HATAKEYAMA, K. *Solução inventiva de problemas e engenharia automotiva – a abordagem da TRIZ*. 2003. Disponível em: <http://www.aditivaconsultoria.com/artigoengautomotivaeaerospacial-marcoekazuo.pdf>. Acesso em: 27 de fevereiro, 2011.
- CHAI, K. H.; ZHANG, J.; TAN, K. C. *A TRIZ Based Method for New Service Design*. Journal of Service Research Vol. 8, n. 1, p. 48-66, 2005.
- CHANG, H. T.; CHEN, J. L. *Eco-Innovative Examples for 40 TRIZ Inventive Principles*. TRIZ Journal Vol. 8, 2003. Disponível em: <http://www.triz-journal.com/archives/2003/08/a/01.pdf>. Acesso em: 27 de fevereiro, 2011.
- CHEHEBE, J. R. *Análise do Ciclo de Vida de Produtos: ferramenta gerencial da ISO 14.000*. Rio de Janeiro: Qualitymark, CNI, 1997.
- CHEN, J. L.; LIU, C. *An eco-innovative design approach incorporating the TRIZ method without contradiction analysis*. The Journal of Sustainable Product Design Vol. 1, n. 4, p. 263-272, 2001.
- DUBOIS, S.; ELTZER, T.; DE GUIO, R. *A dialectical based model coherent with inventive and optimization problems*. Computers in Industry Vol. 60, n. 8, p. 575-583, 2009.
- ESTEVEZ, I.; DUBOIS, S.; GARTISER, N.; RENAUD, J.; CAILLAUD, E. *Le raisonnement à partir de cas est-il utilisable pour l'aide à la conception inventive*. 14º atelier de Raisonnement à Partir de Cas, n. 30-31, p. 123-129, 2006.
- FRESNER, J.; JANTSCHGI, J.; BIRKEL, S.; BÄRNTHALER, J.; KRENN, C. *The theory of inventive problem solving (TRIZ) as option generation tool within cleaner production projects*. Journal of Cleaner Production Vol. 18, n. 2, p. 128-136, 2010.

- GRIERSON, B.; FRASER, I.; MORRISON, A.; NIVEN, S.; CHISHOLM, G.** *40 Principles – Chemical Illustrations*. TRIZ Journal Vol. 7, 2003. Disponível em: <http://www.triz-journal.com/archives/2003/07/a/01.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2011.
- HAIR, J. F. P. J.; BABIN, B.; MONEY, A. H.; SOMOUEL, P.** *Fundamentos de métodos de pesquisa em administração*. 1. ed. São Paulo: Bookman, 2006.
- HOUSSIN, R.; COULIBALY, A.** *An approach to solve contradiction problems for the safety integration in innovative design process*. Computers in Industry, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2010.12.009>. Acesso em: 28 mar, 2011.
- KIM, J.; KIM, J.; LEE, Y.; LIM, W.; MOON, I.** *Application of TRIZ creativity approach to chemical process safety*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries Vol. 22, n. 6, p. 1039-1043, 2011.
- KUBOTA, F. I.; SILVA FILHO, D. P.; ROSA, L. C.** *Produção mais limpa: introdução de práticas no melhoramento de processos em usina escola de laticínios*. XVII SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 17., 2010, Bauru. Anais eletrônicos... Bauru: Unesp, 2010. Disponível em: http://www.simpep.feb.unesp.br/anais_simpep.php?e=5. Acesso em: 22 nov. 2010.
- LI, X.** *Conflict-based Method for Conceptual Process Synthesis*. 104f. Tese (Doutorado em Ciência – Tecnologia) – Universidade de Tecnologia de Lappeenranta, Laapeenranta, 2004.
- LI, T. S; HUANG, H. H.** *Applying TRIZ and Fuzzy AHP to develop innovative design for automated manufacturing systems*. Expert Systems with Applications Vol. 36, n. 4, p. 8302-8312, 2009.
- LI, X. N.; RONG, B. G.; KRASLAWSKI, A.** *TRIZ-Based Creative Retrofitting of Complex Distillation Processes – An Industrial Case Study*. European Symposium on Computer Aided Process Engineering Vol. 11, p. 439-444, 2001.
- LI, X. N.; RONG, B. G.; KRASLAWSKI, A.; NYSTRÖM, L.** *A Conflict-based approach for process synthesis with wastes minimization*. European Symposium on Computer Aided Process Engineering Vol. 13, p. 209-214, 2003.
- LOH, H. T.; HE, C.; SHEN, L.** *Automatic classification of patent documents for TRIZ users*. World Patent Information Vol. 28, n. 1, p. 6-13, 2006.
- LUTTROP, L.; LAGERSTEDT, J.** *EcoDesign and The Ten Golden Rules: generic advice for merging environmental aspects into product development*. Journal of Cleaner Production Vol. 14, n. 15-16, p. 1396-1408, 2006.
- MANN, D.** *Hands-on Systematic Innovation*. Ieper: CREAX, 2002.
- MEDEIROS, D. D.; CALÁBRIA, F. A.; SILVA, G. C. S.; SILVA FILHO, J. C. G.** *Aplicação da Produção mais Limpa em uma empresa como ferramenta de melhoria contínua*. Produção Vol. 17, n. 1, p. 109-128, 2007.
- MERK, C. Z.; CAVALLUCCI, D.; ROUSSELOT, F.** *An ontological basis for computer aided innovation*. Computers in Industry Vol. 60, n. 8, p. 563-574, 2009.
- NICOLETTI, J. R.; QUINELLO, R.** *Aplicação da metodologia TRIZ para análise e reengenharia do sistema de controle ambiental aplicado em uma instalação agro-industrial no Estado de São Paulo*. Anais... XII SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS, 12. São Paulo, SP, 2009.
- NOVOA, R. D.; ROVIRA, N. L.; TELLEZ, H. A.; SAID, D.** *Inventive problem solving based on dialectical negation, using evolutionary algorithms and TRIZ heuristics*. Computer in Industry, 2011. Disponível em: 10.1016/j.compind.2010.12.006. Acesso em: 28 mar, 2011.
- PIMENTA, H. D. C.; GOUVINHAS, R. P.** *Implementação da Produção mais Limpa na Indústria de Panificação de Natal-RN*. XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 27, 2007. Anais... Foz do Iguaçu, 2007. Associação Brasileira de Engenharia de Produção.
- RIVERA, A.; GONZÁLEZ, J. S.; CARRILLO, R.; MARTÍNEZ, J. M.** *Operational change as a profitable cleaner production tool for a brewery*. Journal of Cleaner Production Vol. 17, n. 2, p. 137-142, 2009.
- ROBLES, G. C.; NEGNY, S.; LANN, J. M. L.** *Design acceleration in chemical engineering*. Chemical Engineering and Processing Vol. 47, n. 11, p. 2019-2028, 2008.

- ROBLES, G. C.; NEGNY, S.; LANN, J. M. L.** *Case-based reasoning and TRIZ: A coupling for innovative conception in Chemical Engineering*. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification Vol. 48, n. 1, p. 239-249, 2009.
- SCYOC, K. V.** *Process safety improvement – Quality and target zero*. Journal of Hazardous Materials Vol. 159, n. 1, p. 42-48, 2008.
- SERBAN, D.; MAN, E.; IONESCU, N.; ROCHE, T.** *A TRIZ Approach to Design for Environment*. Kluwer Academic Journal, Elsevier Science, 2005.
- SOARES, M.** *Biomimetismo e Ecodesign: Desenvolvimento de uma ferramenta criativa de apoio ao design de produtos sustentáveis*. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2008.
- SOO, V. W.; LIN, S. Y.; YANG, S. Y.; LIN, S. N.; CHENG, S. L.** *A cooperative multi-agent platform for invention based on patent document analysis and ontology*. Expert Systems with Applications Vol. 31, n. 4, p. 766-775, 2006.
- SRINIVASAN, R.; KRASLAWSKI, A.** *Application of the TRIZ creativity enhancement approach to design of inherently safer chemical processes*. Chemical Engineering and Processing Vol. 45, n. 6, p. 507-514, 2006.
- STRATTON, R.; MANN, D.** *Systematic innovation and the underlying principles behind TRIZ and TOC*. Journal of Materials Processing Technology Vol. 139, n. 1-3, p. 120-126, 2003.
- THRANE, M.; NIELSEN, E. H.; CHRISTENSEN, P.** *Cleaner production in Danish fish processing – experiences, status and possible future strategies*. Journal of Cleaner Production Vol. 17, n. 3, p. 380-390, 2009.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME (UNEP).** *Changing production patterns – learning from the experience of national cleaner production centres*. Paris: United Nations Environment Programme (UNEP). Division of Technology, Industry, and Economics (DTIE), 2002.
- VERHAEGEN, P. A.; D’HONDT, J.; VERTOMMEN, J.; DEWULF, S.; DUFLOU, J. R.** *Relating properties and functions from patents to TRIZ trends*. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology Vol. 1, n. 3, p. 126-130, 2009.
- VERHAEGEN, P. A.; D’HONDT, J.; VERTOMMEN, J.; DEWULF, S.; DUFLOU, J. R.** *Identifying candidates for design-by-analogy*. Computers in Industry, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2010.12.007>. Acesso em: 25 mar, 2011.
- VINCENT, J. F. V.** *The Materials Revolution*. Journal of Bionic Engineering Vol. 3, n. 4, p. 217-234, 2006.
- WINKLESS, B.; MANN, D.** *Food Product Development and the 40 Inventive Principles*. TRIZ Journal Vol. 5, 2001. Disponível em: <http://www.triz-journal.com/archives/2001/05/e/index.htm>. Acesso em: 21 fev. 2011.
- YANG, C. J.; CHEN, J. L.** *TRIZ method for eco-innovation with case-based reasoning*. 6th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, 2009.
- YANG, C. J.; CHEN, J. L.** *Accelerating preliminary eco-innovation design for products that integrates case-based reasoning and TRIZ method*. Journal of Cleaner Production, p. 1-9, 2011. Disponível em: doi:10.1016/j.jclepro.2011.01.014. Acesso em: 28 jan, 2011.
- ZHANG, J.; SHANG, J.** *Research on Developing Environmental Protection Industry Based on TRIZ Theory*. Procedia Environmental Sciences Vol. 2, p. 1326-1334, 2010.
- ZHANG, X.; MAO, X.; ABOURIZK, S. M.** *Developing a knowledge management system for improved value engineering practices in the construction industry*. Automation in Construction Vol. 18, n. 6, p. 777-789, 2009.