

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE**  
**PRODUÇÃO**



**TEORIA DA SOLUÇÃO INVENTIVA DE PROBLEMAS**  
**INTEGRADA À PRODUÇÃO MAIS LIMPA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Flávio Issao Kubota**

**Santa Maria, RS – Brasil.**

**2012**

**TEORIA DA SOLUÇÃO INVENTIVA DE PROBLEMAS  
INTEGRADA À PRODUÇÃO MAIS LIMPA**

**por**

**Flávio Issao Kubota**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia de Produção.**

**Orientador: Prof. Dr. Leandro Cantorski da Rosa**

**Santa Maria, RS – Brasil.**

**2012**

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**TEORIA DA SOLUÇÃO INVENTIVA DE PROBLEMAS INTEGRADA À  
PRODUÇÃO MAIS LIMPA**

elaborada por

**Flávio Issao Kubota**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia de Produção**

**Leandro Cantorski da Rosa, Dr.**  
(Presidente / Orientador)

**Marcelo Silveira Badejo, Dr. (FURG)**

**Mário Luiz Santos Evangelista, Dr. (UFSM)**

Santa Maria, 18 de janeiro de 2012.

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais, Ernesto Hashime Kubota, e Nélia Ferreira de Paula Kubota, por toda a dedicação e amor para comigo durante os 27 anos de minha vida. Graças a eles, hoje sei plenamente da importância da educação na vida do ser humano.

## **AGRADECIMENTOS**

Meu primeiro agradecimento é a Deus, por ter me proporcionado serenidade, paciência e, principalmente, saúde para vencer todas as dificuldades encontradas nesta caminhada.

À minha família, a quem dediquei este trabalho.

Ao Prof. Dr. Leandro Cantorski da Rosa, pela longa amizade, orientação neste trabalho e também orientação para a vida.

À minha namorada, Larissa Medianeira Bolzan, pelo amor, carinho, companheirismo, compreensão e, inclusive, críticas construtivas durante a realização da pesquisa. Sem ela, muito desta jornada teria sido bem mais difícil.

À Banca Examinadora, pela revisão e sugestões de melhoria, incrementando ainda mais a pesquisa realizada.

À Universidade Federal de Santa Maria, pela estrutura e oportunidades diversas de crescimento e amadurecimento profissional e pessoal.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, pelos conhecimentos compartilhados durante as disciplinas cursadas. Em especial, aos Professores: Dr. Alberto Souza Schmidt, por ter sido a primeira pessoa a me inspirar e motivar a estudar e pesquisar sobre qualidade e produtividade. Dr. Mário Luiz dos Santos Evangelista, pela amizade e conversas descontraídas e proveitosas nos intervalos de trabalho; Dr.<sup>a</sup> Morgana Pizzolato, também pela amizade e aprendizado durante o acompanhamento das aulas de Metrologia e Ensaio e seminários das disciplinas de Sistemas de Qualidade I e Gestão Ambiental e Sustentabilidade; Dr. Miguel Neves Camargo, pela amizade e conhecimentos multidisciplinares compartilhados, e; Dr. Andreas Dittmar Weise, pelos conselhos acadêmicos e científicos durante o ano de 2011, além da amizade construída com a convivência diária no Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas.

Aos responsáveis e colaboradores das empresas visitadas, pela disponibilidade de informações e de visitas para levantamento das oportunidades encontradas nesta pesquisa.

E por fim, aos colegas do curso pelo compartilhamento de experiências e conhecimentos durante o curso. Cada um com a sua maneira única de ser certamente agregou muito valor à minha formação.

## **RESUMO**

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção  
Universidade Federal de Santa Maria

### **TEORIA DA SOLUÇÃO INVENTIVA DE PROBLEMAS INTEGRADA À PRODUÇÃO MAIS LIMPA**

**AUTOR: FLÁVIO ISSAO KUBOTA**  
**ORIENTADOR: LEANDRO CANTORSKI DA ROSA, DR.**  
Santa Maria, 18 de janeiro de 2012.

A busca por soluções inovadoras, junto à crescente necessidade de operações industriais mais limpas, é um processo de resolução de problemas. Além disso, ressalta-se que o setor de laticínios é de significativa relevância à economia regional, nacional e mundial, uma vez que o Brasil é um dos maiores produtores mundiais de leite, ao passo que o Rio Grande do Sul é um dos três maiores produtores nacionais. Dessa forma, esta dissertação teve como objetivo utilizar a Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ) como ferramenta de suporte na resolução de problemas relativos à produção mais limpa (PML) na indústria de laticínios, servindo como ferramenta inovadora na busca de sustentabilidade e maior eficiência ambiental. A pesquisa englobou três empresas de portes e características diferentes. O trabalho teve como base os conceitos fundamentais e a ferramenta de análise funcional da TRIZ, isso com o objetivo de descrever os processos críticos nas indústrias pesquisadas, visando o detalhamento dos recursos que influenciam na qualidade dos processos estudados. Os resultados encontrados mostraram que a TRIZ pode ser uma alternativa a ser considerada para a resolução de problemas relacionados à PML, principalmente em situações onde há a precariedade de dados disponíveis por parte das empresas. Salienta-se também a necessidade da análise de viabilidade da PML, uma vez que a TRIZ, dentro de sua metodologia, não engloba essa etapa. Sendo assim, as propostas de soluções inventivas elaboradas são atrativas em âmbito técnico, ambiental e econômico, atendendo, assim, as necessidades de cada empresa estudada. Dessa maneira, pode-se concluir que a integração da TRIZ à PML é efetiva na geração de oportunidades de soluções inventivas e sustentáveis.

Palavras-chave: Teoria da Solução Inventiva de Problemas; produção mais limpa; indústria de laticínios; processos produtivos.

## **ABSTRACT**

Master's Degree Thesis  
Production Engineering Graduate Program  
Federal University of Santa Maria

### **THEORY OF INVENTIVE PROBLEM SOLVING WITHIN CLEANER PRODUCTION**

**AUTHOR: FLÁVIO ISSAO KUBOTA**  
**TUTOR: LEANDRO CANTORSKI DA ROSA, DR.**  
Santa Maria, January 18<sup>th</sup>, 2012.

The search for innovative solution, aligned to the growing need for cleaner industrial operations, is a solving problem process. In addition, we emphasize that the dairy industry has significant importance to the regional, national and global economy, since Brazil is one of the worldwide largest milk producers, while Rio Grande do Sul is one of the largest national producers. Hence, this research aimed to use the Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ) as a support tool to solve problems related to Cleaner Production (CP), serving as an innovative tool towards sustainability and higher environmental efficiency. The research involved three different companies. The study was based on the TRIZ fundamental concepts and function analysis, in order to describe the critical processes in the surveyed industries, aiming to detail the features that influence the quality of the studied processes. The results showed that TRIZ can be an alternative to be considered for solving CP problems, especially in situations where exists a scarcity of available data by companies. Also, we highlighted the need of CP feasibility analysis, since TRIZ method does not include this step. Therefore, the proposed inventive solutions are attractive technically, environmentally and economically, meeting the needs of each company studied. Thus, we can conclude that the integration of TRIZ to CP is effective in generating opportunities for inventive and sustainable solutions.

**Keywords:** Theory of Inventive Problem Solving; cleaner production; dairy industry; productive processes.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Visualização hierárquica da TRIZ (MANN, 2002).....	23
Figura 2 – Conceitos e ferramentas da TRIZ (adaptado de ZHANG, MAO e ABOURISK, 2009). .....	25
Figura 3 – Metodologia TRIZ (STRATTON e MANN, 2003; SRINIVASAN e KRASLAWSKI, 2006; LI e HUANG, 2009; KIM <i>et al.</i> , 2011; AHMED <i>et al.</i> , 2011; NOVOA <i>et al.</i> , 2011; YANG e CHEN, 2011). .....	26
Figura 4 – Análise de interações para um secador de cabelos: interações em linhas contínuas são eficazes; interações em linhas duplas são prejudiciais, e; as interações em linhas tracejadas são insuficientes (CARVALHO, 2007). .....	29
Figura 5 – Análise de funções do processo de decapagem. Linha pontilhada: funções desejadas; linhas contínuas: funções indesejadas; caixas retangulares: elementos do sistema; caixas com cantos arredondados: perdas; hexágono: super sistema (FRESNER <i>et al.</i> , 2010). .....	30
Figura 6 – Níveis da PML (CNTL, 2011, p. 1). .....	36
Figura 7 – Evidências acerca de aplicações da TRIZ na PML (KUBOTA e ROSA, 2011)....	38
Artigo 1 – Figura 1 – Níveis de atuação da produção mais limpa (MEDEIROS <i>et al.</i> , 2007, p. 113).....	42
Artigo 1 – Figura 2 – Visualização hierárquica da TRIZ, adaptado de Mann (2002) .....	44
Artigo 1 – Figura 3 – Conceitos e ferramentas da TRIZ (ZHANG <i>et al.</i> , 2009, p. 778).....	44
Artigo 1 – Figura 4 – Metodologia TRIZ (STRATTON e MANN, 2003; SRINIVASAN e KRASLAWSKI, 2006; LI e HUANG, 2009; KIM <i>et al.</i> , 2011; AHMED <i>et al.</i> , 2011; NOVOA <i>et al.</i> , 2011; YANG e CHEN, 2011) .....	45
Artigo 1 – Figura 5 – Análise de interações de um processo de decapagem (FRESNER <i>et al.</i> , 2010) .....	47
Artigo 1 – Figura 6 – Evidências acerca de aplicações da TRIZ na PML .....	49
Artigo 2 – Figura 1 – Estratégia de resolução de problemas da TRIZ .....	56
Artigo 2 – Figura 2 – Fluxograma de metodologia da pesquisa.....	59
Artigo 2 – Figura 3 – Perdas de água na pasteurização do leite cru na usina da UFSM .....	60
Artigo 2 – Figura 4 – Perdas de vapor na pasteurização do leite e próximo a caldeira .....	60
Artigo 2 – Figura 5 – Perdas térmicas no setor de envase de queijos: abertura no acesso (ausência de porta) e janela basculante .....	61



Artigo 2 – Figura 6 – Perdas de água na pasteurização e envase do leite, fabricação de iogurte e higienização .....	61
Artigo 3 – Figure 1 – TRIZ Methodology (STRATTON e MANN, 2003; SRINIVASAN e KRASLAWSKI, 2006; CARVALHO, 2007; LI e HUANG, 2009; KIM <i>et al.</i> , 2011; AHMED <i>et al.</i> , 2011; NOVOA <i>et al.</i> , 2011; YANG e CHEN, 2011).....	74
Artigo 3 – Figure 2 – Evidence about TRIZ application on CP (KUBOTA e ROSA, 2011)..	77
Artigo 3 – Figure 3 – Flowchart of the developed methodology .....	80
Artigo 3 – Figure 4 – Global flowchart of milk production (applied from SILVA, 2006).....	81
Artigo 3 – Figure 5 – Function analysis of raw milk pasteurization. Dotted lines: harmful functions; Full lines: useful functions; circulated element: most harmful function to the environment.....	82
Artigo 3 – Figure 6 – Cutaway view of the water reuse project in the pasteurization sector ..	83
Artigo 3 – Figure 7 – Functional analysis of whey removal from curd (cheese production). Dotted lines: harmful functions; full lines: useful functions; circulated element: most harmful function to the environment.....	85
Artigo 3 – Figure 8 – Function analysis of the cooling process of mozzarella cheese. Dotted lines: harmful functions; full lines: useful functions; circulated element: most harmful function to the environment .....	87
Artigo 3 – Figure 9 – Cooling project for mozzarella cheese: water reduction proposal. Full lines: cooling water flow; dotted lines: byproduct outputs.....	89
Artigo 3 – Figure 10 – IFR from 3 case studies. Adapted model from Fresner <i>et al.</i> (2010)..	91

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 – Comparação das estratégias da produção mais limpa (PML) e as leis da evolução (FRESNER <i>et al.</i> , 2010).....	32
Quadro 2 – 40 princípios inventivos de Altshuler (BACK <i>et al.</i> , 2008). ....	34
Artigo 2 – Quadro 1 – Funções indesejadas dos processos estudados .....	62
Artigo 2 – Quadro 2 – Resultado Final Ideal (RFI) para as funções indesejadas.....	63
Artigo 2 – Quadro 3 – Propostas de solução inventiva para cada RFI elaborado .....	64
Artigo 3 – Table 1 – Preparation of the IFR for the raw milk pasteurization .....	82
Artigo 3 – Table 2 – Economic indicators of inventive solution developed (Case 1) .....	84
Artigo 3 – Table 3 – Sensitivity analysis of inventive solution (Case 1). Net Present Value (NPV) variance .....	84
Artigo 3 – Table 4 – Preparation of the IFR for the whey withdrawal from cheese .....	85
Artigo 3 – Table 5 – Solution opportunities to the use of whey as raw material .....	86
Artigo 3 – Table 6 – Savings estimate in use of whey within swine feed .....	87
Artigo 3 – Table 7 – Preparation of the IFR for the cooling cheese process .....	88
Artigo 3 – Table 8 – Economic indicators of inventive solution developed (Case 3).....	89
Artigo 3 – Table 9 – Sensitivity analysis of inventive solution (Case 3). Net Present Value (NPV) variance .....	90

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ANPV – *Annual Net Present Value*
- ARI – *Additional Return on Investment*
- ARIZ – Algoritmo da Solução Inventiva de Problemas
- BCI – *Benefit-Cost Index*
- CBR – *Case-Based Reasoning*
- CNA – Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil
- CORSAN – Companhia Riograndense de Saneamento
- CP – *Cleaner Production*
- DEPA – *Danish Environmental Protection Agency*
- DFE – *Design for Environment*
- EAV – Engenharia e Análise de Valor
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- ENEGEP – Encontro Nacional de Engenharia de Produção
- FAO – *Food and Agriculture Organization of the United Nations*
- GM – *General Motors*
- IBC – Índice Benefício Custo
- IRR – *Internal Rate of Return*
- JCP – *Journal of Cleaner Production*
- MASP – Método de Análise e Solução de Problemas
- MRA – *Minimum Rate of Attractiveness*
- NPV – *Net Present Value*
- PML – Produção mais Limpa
- QFD – *Quality Function Deployment*
- RFI – Resultado Final Ideal
- ROIA – Retorno Adicional Sobre o Investimento
- RS – Rio Grande do Sul
- SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
- SELIC – Sistema Especial de Liquidação e Custódia
- SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
- SETREM – Sociedade Educacional Três de Maio
- SGI – Sistemas de Gestão Integrados
- ST – Sistema Técnico
- SWOT – *Strenghts, Weaknesses, Opportunities, Threats*

TECPAR – Instituto de Tecnologia do Paraná

TIR – Taxa Interna de Retorno

TMA – Taxa Mínima de Atratividade

TR – Teoria das Restrições

TRIZ – Teoria da Solução Inventiva de Problemas / *Theory of Inventive Problem Solving*

UFSM – Universidade Federal de Santa Maria

UNEP – *United Nations Environmental Programme*

UNIDO – *United Nations for Industrial Development Organization*

VPL – Valor Presente Líquido

VPLa – Valor Presente Líquido Anualizado

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1 Objetivos.....</b>	<b>16</b>
1.1.1 Objetivo geral .....	16
1.1.2 Objetivos específicos .....	16
<b>1.2 Justificativa .....</b>	<b>16</b>
<b>1.3 Metodologia da pesquisa.....</b>	<b>18</b>
<b>1.4 Estrutura do trabalho .....</b>	<b>18</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>20</b>
<b>2.1 PML na indústria de laticínios .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2 A Teoria da Solução Inventiva de Problemas – TRIZ.....</b>	<b>22</b>
2.2.1 Histórico .....	22
2.2.2 Estratégia de implantação da TRIZ .....	26
2.2.2.1 Conceitos fundamentais – TRIZ .....	26
2.2.2.2 Análise funcional .....	28
2.2.3 TRIZ/PML.....	30
<b>2.3 A TRIZ na melhoria de processos industriais.....</b>	<b>36</b>
<b>3 ARTIGOS CIENTÍFICOS.....</b>	<b>39</b>
<b>3.1 A TRIZ (<i>Theory of Inventive Problem Solving</i>) aplicada à produção mais limpa: uma abordagem preliminar.....</b>	<b>39</b>
<b>3.2 A Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ) na identificação de oportunidades de produção mais limpa .....</b>	<b>53</b>
<b>3.3 Identification and conception of cleaner production opportunities by Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ).....</b>	<b>70</b>
<b>4. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>97</b>
<b>4.1 Considerações acerca da pesquisa .....</b>	<b>97</b>

<b>4.2 Oportunidades e sugestões para trabalhos futuros.....</b>	<b>99</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>101</b>

# 1 INTRODUÇÃO

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. Para Mendes (2003) o interesse crescente em preservar o meio ambiente proporciona um movimento de conscientização da população, no sentido de se consumir produtos e serviços que gerem menor impacto ambiental, exigindo adequações por parte das organizações.

Chehebe (1997) afirma que 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.

Alinhada a isso, a indústria de alimentos busca constantemente a inovação e os melhores resultados em seus processos e produtos finais, tendo em vista a alta competitividade, crescente concorrência no ramo e clientes cada vez mais exigentes. 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 em processos produtivos não é renovável (KUBOTA, SILVA FILHO e ROSA, 2010; KUBOTA e ROSA, 2011; KUBOTA, BOLZAN e ROSA, 2011).

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. Ainda, 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.

A indústria de laticínios tem significativa importância no mercado gaúcho e brasileiro, bem como grande repercussão mundial. Dados da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 2011) apresentam o Brasil como o quinto maior produtor de leite de vaca no mundo, com 29.112 milhões de toneladas produzidas em 2009 (último dado

atualizado), equivalentes a 5,0 por cento da produção mundial, ao passo que a nível nacional, conforme a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2011), o Rio Grande do Sul (RS) está em segundo lugar na produção de leite por Estado, com uma média de 3.460 milhões de litros produzidos entre 2008 e 2010 (12% da produção nacional no período). Além disso, de acordo com a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA, 2008), para o presidente da Comissão Nacional de Pecuária de Leite da CNA, Rodrigo Alvim, "os aumentos da oferta e do preço do leite se justificam pelo aumento do consumo interno e a ampliação das exportações de leite". O crescimento das exportações de lácteos bateu novo recorde no período de janeiro a dezembro de 2007, quando os valores totalizaram US\$ 299,5 milhões.

Paralelamente, Zhang e Shang (2010) relatam que a Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ) é considerada uma espécie de teoria inovadora, que funciona principalmente resolvendo contradições. Os mesmos autores afirmam que 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. Ainda, constata-se que a TRIZ vem sendo aplicada nos mais diversos campos de conhecimento (CARVALHO e BACK, 2001; CARVALHO e FERREIRA, 2005; ZHANG e SHANG, 2010).

Considerando o atual panorama, as ferramentas de PML existentes e os potenciais benefícios da TRIZ, esta pesquisa objetivou utilizar a Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ) como ferramenta suporte na resolução de problemas relativos à produção mais limpa (PML) na indústria de laticínios, servindo como estratégia inovadora na busca de soluções sustentáveis<sup>1</sup>, simples, criativas e atrativas técnica, ambiental e economicamente, principalmente às organizações de pequeno e médio porte.

Tendo em vista o contexto atual, aliado aos conhecimentos e panorama acerca da TRIZ e PML, e as necessidades da indústria de produtos lácteos, formulou-se a seguinte questão de pesquisa: como a Teoria da Solução Inventiva de Problemas, alinhada à produção mais limpa, pode contribuir na busca de melhorias ambientais?

---

<sup>1</sup> Engenharia sustentável: "Aplicação de conhecimentos científicos e técnicos para satisfazer as necessidades humanas em diferentes quadros sociais, sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades." (AMATO NETO, 2011).



## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Utilizar conceitos e ferramentas da Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ) na resolução de problemas relacionados à produção mais limpa (PML), visando uma nova abordagem metodológica na busca de soluções sustentáveis e adequadas – principalmente – à realidade de empresas de pequeno e médio porte.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- a) Verificar, através da literatura, e discutir a aplicação da TRIZ como suporte à estratégia de aplicação da PML;
- b) Identificar oportunidades de melhoria nos processos produtivos da indústria de laticínios por meio da aplicação de ferramentas e conceitos fundamentais da TRIZ na estratégia da PML;
- c) Formular propostas de soluções inventivas para os problemas detectados;
- d) Analisar a viabilidade técnica, ambiental e econômica das propostas elaboradas;
- e) Propor a estruturação de modelo para a manutenção e melhoria contínua por meio da integração TRIZ/PML.

## **1.2 Justificativa**

Este trabalho se deve à crescente necessidade de soluções mais limpas, bem como resolver problemas de maneira inovadora e criativa. Seiffert (2011) afirma que é possível a obtenção de soluções que contribuam efetivamente para a resolução de problemas ambientais por meio da implantação da PML, uma vez que a metodologia prioriza a identificação de opções de não geração dos resíduos produzidos nesses processos produtivos. Complementando, a mesma autora afirma que a produção mais limpa não visa, restritamente, à identificação, quantificação, tratamento e disposição final dos resíduos, mas sim a eliminação da geração dos mesmos. Dentro da indústria de laticínios, acredita-se que a implantação da PML possa gerar benefícios relevantes, pois esse ramo possui fonte significativa de contaminantes, e apesar disso há um número limitado de estudos na literatura em PML para instalações de laticínios e derivados (NGUYEN e DURHAM, 2004).

Em paralelo, a adoção da TRIZ nas empresas brasileiras tem encontrado a seguinte dificuldade, em relação às empresas estrangeiras: a escassez de material didático e de exemplos do uso da TRIZ em português (CARVALHO e FERREIRA, 2005; CARVALHO *et al.*, 2011). E de acordo com os mesmos autores, o uso da metodologia vem crescendo significativamente na última década, em todo o mundo. Mostrando, assim, a importância e necessidade de se realizar pesquisas sobre o assunto a nível nacional. Além disso, o uso da TRIZ provê benefícios no aporte de conhecimento à geração de soluções (CARVALHO *et al.*, 2011).

No Brasil, a TRIZ está sendo deixada de ser usada apenas na academia, sendo cada vez mais difundida entre as organizações. General Motors (GM), Bosch, Multibrás, Volvo e Xerox são exemplos de empresas de grande porte que têm aplicado a metodologia. Adicionalmente, o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE) e o Instituto de Tecnologia do Paraná (TECPAR) têm realizado iniciativas para disseminar a TRIZ em pequenas e médias empresas (CARVALHO e FERREIRA, 2005).

As aplicações de sucesso da TRIZ 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). Complementando, aplicações da TRIZ para os problemas relacionados a design de produtos para sustentabilidade cooperativa e eco-eficiência são documentadas na literatura, entretanto são raros (HOCKERTS, 1999; JONES e MANN, 2001; CHEN e LIU, 2001; KOBAYASHI, 2006). E o uso explícito da TRIZ dentro da PML não foi documentado até hoje, de acordo com o conhecimento dos autores (FRESNER *et al.*, 2010).

Desse modo, a necessidade de soluções mais limpas e de menor impacto ambiental negativo, importância econômica da indústria de laticínios no mercado mundial e nacional, necessidade de materiais instrutivos e de aplicações práticas a nível nacional sobre a TRIZ, bem como a resolução de problemas de maneira sistemática, inovadora e criativa, justifica a relevância desta pesquisa.

### 1.3 Metodologia da pesquisa

Esta dissertação gerou três artigos científicos como resultados principais, sendo que cada um dos trabalhos possui métodos de pesquisa distintos. Nesta seção, encontram-se, resumidamente, a classificação científica de cada artigo.

O primeiro artigo científico (seção 3.1) tem caráter qualitativo e natureza descritiva (HAIR *et al.*, 2006), e estratégia de coleta de dados documental. Trata-se também de uma pesquisa teórico-conceitual, conforme classificação de Filippini (1997) e Berto e Nakano (2000), uma vez que foram elaborados conceitos e definições com base na literatura, revisões bibliográficas (GUPTA; VERMA; VICTORINO, 2006; MIGUEL, 2010), bem como experiências dos autores. Assim, foram detectadas convergências e conexões entre os assuntos estudados.

Em seguida, o artigo científico 2 (seção 3.2) tem caráter qualitativo e natureza exploratória (HAIR *et al.*, 2005; CERVO; BERVIAN; SILVA, 2007), onde foram conduzidos estudos de caso em duas organizações de características semelhantes. Trata-se de duas usinas escola de laticínios, com produção reduzida e limitações financeiras devido ao porte das mesmas.

E por fim, o terceiro artigo científico (seção 3.3) apresentado nesta dissertação, também possui caráter qualitativo e natureza exploratória, em que se procederam três estudos de caso em empresas distintas. A primeira empresa serviu como teste piloto para a realização inicial da pesquisa (integração TRIZ/PML). A segunda e a terceira empresa foram escolhidas devido à importância econômica da região Noroeste do Rio Grande do Sul quanto à produção de laticínios do Estado (EVANGELISTA *et al.*, 2006).

### 1.4 Estrutura do trabalho

A pesquisa desenvolvida se encontra estruturada em seis tópicos, juntamente com a introdução. Nessa, contextualiza-se o leitor quanto aos temas aqui trabalhados, bem como são expostos os objetivos da pesquisa – geral e específicos – e justificativa da mesma.

No Referencial Teórico (segundo capítulo), faz-se uma revisão acerca dos temas principais do trabalho, os quais são a Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ) e a produção mais limpa (PML). Neles, explicitam-se conceitos e definições das metodologias, além de exemplos de aplicações das mesmas encontradas recentemente na literatura.

Em seguida, encontra-se o Artigo Científico 1, submetido, aprovado e apresentado no XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção (XXXI ENEGEP), realizado em Belo

Horizonte-MG (2011), que teve como objetivo revisar a literatura e discutir a aplicação da TRIZ dentro de todos os níveis de aplicação da PML, buscando argumentar a possibilidade da utilização da metodologia para a inovação com sustentabilidade, bem como levantar fatores que facilitam e/ou limitam a utilização da TRIZ na PML e gerar contribuições teóricas a respeito da abordagem. Objetivo esse realizado por meio de uma aprofundada pesquisa bibliográfica sobre os assuntos relacionados (TRIZ, PML e TRIZ/PML). Acrescenta-se ainda que esse artigo foi importante para direcionar o sequenciamento da pesquisa.

No Artigo Científico 2 – submetido à Revista *Gestão Industrial* –, pode-se observar a utilização de conceitos fundamentais da metodologia TRIZ na identificação de oportunidades de PML, visando uma melhor estruturação das estratégias de PML, bem como levantar oportunidades simples e criativas de melhoria dos processos das organizações selecionadas de forma objetiva. E o Artigo Científico 3, submetido ao periódico *Journal of Cleaner Production* (JCP), utilizou-se da análise funcional para o desdobramento dos processos produtivos pesquisados, possibilitando um melhor levantamento das funções desejadas e indesejadas nos mesmos, proporcionando, assim, um melhor direcionamento na aplicação dos conceitos da TRIZ para a elaboração das propostas de soluções inventivas. Após, foi estudada a viabilidade técnica, ambiental e econômica das soluções geradas.

Em seguida, no último capítulo, são apresentadas as considerações finais acerca das pesquisas realizadas (bibliográfica e de campo), onde são relatadas as contribuições teóricas e práticas dos estudos, bem como as inovações geradas com os mesmos. Além disso, limitações e dificuldades encontradas e sugestões de extensão deste trabalho são apresentadas, visando à continuidade da pesquisa e seu constante incremento.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 PML na indústria de laticínios

Sabe-se que na indústria de laticínios, assim como na alimentícia em geral, há o problema do tratamento dos desperdícios ao longo da produção, tanto de recursos energéticos (água, luz, vapor, etc.) como de processos e dos próprios produtos e subprodutos (avarias, condenações, contaminações, etc.).

A PML é uma importante ferramenta que, desde a sua criação, tem auxiliado significativamente no desenvolvimento sustentável da sociedade. Özbay e Demirer (2007) afirmam que é uma estratégia preventiva para minimizar os impactos da produção e dos produtos no meio ambiente, além de oferecer novas oportunidades de otimização e economias ao negócio. Comparada a outras práticas, denominadas “fim-de-tubo”, as técnicas de PML: utilizam matérias-primas, energia e outras entradas com maior eficiência; produzem menos desperdícios e resíduos, facilitando a reutilização e reciclagem de recursos, e; facilitam o gerenciamento desses resíduos (ÖZBAY e DEMIRER, 2007).

A respeito de resíduos nesse setor, Carawan *et al.* (1979) afirmam que esses poluentes originam-se de materiais desperdiçados, sendo basicamente leite e produtos lácteos do processo, lubrificantes (sabão de base e silicone, inicialmente) usados em determinados equipamentos de movimentação sanitária e esgotos domésticos, subprodutos tais como soro de leite coalhado e também produtos químicos para limpeza.

Apesar de acontecer em diversos lugares no mundo, a estrutura do processamento de leite varia de país para país. Os maiores poluentes nas águas desperdiçadas no processo de produção são: os materiais orgânicos, resíduos de sólidos suspensos (exemplo: leite coagulado, partículas de requeijão, pedaços de frutas e nozes), fósforo, nitrogênio, cloretos, calor, e conteúdo ácido ou alcalino em resíduos líquidos (UNEP e DEPA, 2000).

Acerca dos impactos ambientais da indústria de laticínios e derivados, Machado *et al.* (2001) confirma que essa gera efluentes líquidos, resíduos sólidos e emissões atmosféricas passíveis de impactar o meio ambiente. Os efluentes líquidos industriais são despejos líquidos originários de diversas atividades desenvolvidas na indústria, que contém leite e produtos do leite, detergentes, produtos de limpeza, desinfetantes, areia, lubrificantes, açúcar, essências e

condimentos diversos que são diluídos nas águas de lavagem de equipamentos, tubulações, pisos e demais instalações da indústria (MACHADO *et al.*, 2001).

Aplicações recentes da PML nesse ramo têm sido realizadas. Berlin *et al.* (2007) afirmam que a tendência de crescimento do número de produtos lácteos para venda afetam o impacto ambiental em uma perspectiva do ciclo de vida do produto, e baseando-se nisso, desenvolveram na Suécia um método heurístico, norteado pela minimização de desperdícios e normas de produção, buscando averiguar se essa metodologia forneceria a melhor alternativa.

Schneider (2008), por exemplo, desenvolveu a elaboração de propostas de implantação da PML, resultando em ações de nível 2 (reciclagem interna) para a melhoria de procedimentos no uso da água e também para o tratamento de resíduos sólidos. Na Austrália, uma avaliação no âmbito farmacêutico em uma fazenda de laticínios foi efetuada, verificando as possíveis ameaças na região e buscando um gerenciamento preventivo no local, evitando a emissão de produtos farmacêuticos (FISHER e SCOTT, 2008), proporcionando, assim, uma perspectiva da área microbiológica à PML.

Ainda dentro do ramo da indústria do leite e derivados, Kubota, Silva Filho e Rosa (2010) e Kubota, Bolzan e Rosa (2011) também elaboraram propostas, porém com maior enfoque no nível 1 (redução na fonte) em modificação de processos, através de propostas relacionadas a boas práticas e modificação de tecnologia, onde as principais sugestões foram a aquisição de máquina para lavagem de caixas sujas, na recepção dos produtos, e o projeto de reaproveitamento de água limpa desperdiçada no processo de pasteurização do leite, sendo essa última proposta significativamente viável.

Assim, percebe-se que a PML visa, essencialmente, a eliminação e/ou redução da emissão de resíduos no decorrer de todo o processo produtivo, desde o seu início, não se restringindo apenas a tratar as perdas resultantes do mesmo. Acredita-se que a aplicação de ferramentas de PML possa gerar benefícios relevantes à indústria de laticínios, pois de acordo com Nguyen e Durham (2004) esse ramo possui fonte significativa de contaminantes, e ainda assim há um número limitado de estudos na literatura em PML para instalações de laticínios e derivados.

## 2.2 A Teoria da Solução Inventiva de Problemas – TRIZ

### 2.2.1 Histórico

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 (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 gerados 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, conseguiu 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) e Soares (2008) relataram 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 1 apresenta uma perspectiva hierárquica.



Figura 1 – Visualização hierárquica da TRIZ (MANN, 2002).



Além disso, a TRIZ possui diversos conceitos e ferramentas (Figura 2), conforme ilustra Zhang, Mao e Abourisk (2009), que proporcionam abordagens sistemáticas e princípios generalistas para formular e analisar problemas, gerar ideias criativas, e projetar a tendência de evolução de um sistema ou projeto.

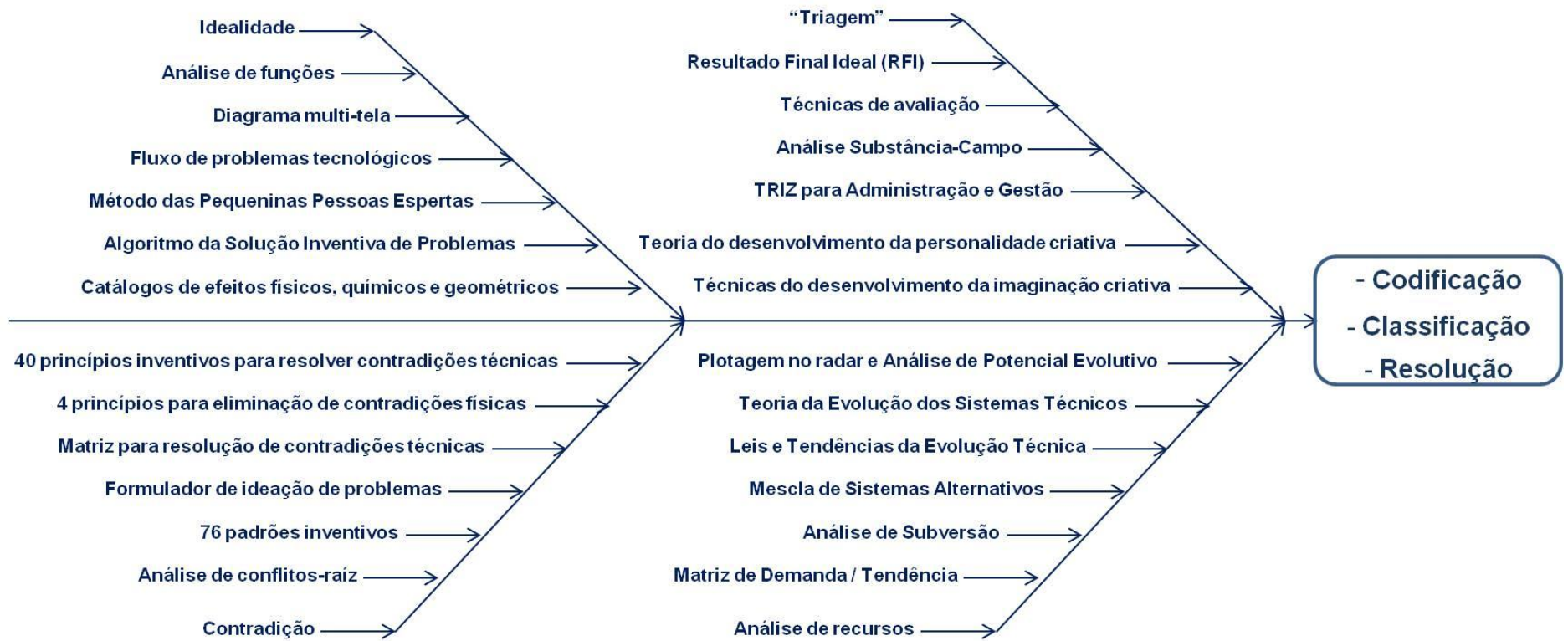


Figura 2 – Conceitos e ferramentas da TRIZ (adaptado de ZHANG, MAO e ABOURISK, 2009).

Nesta pesquisa, foram abordados, essencialmente, o conceito fundamental de idealidade e Resultado Final Ideal (RFI), a análise de funções e a análise de recursos.

### 2.2.2 Estratégia de implantação da TRIZ

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 Carvalho (2007) e Yang e Chen (2011): um problema inventivo é reformulado em um problema genérico da TRIZ, e então, as ferramentas da TRIZ são introduzidas para analisar e propor uma solução geral baseada na TRIZ. Assim, uma solução genérica é interpretada para resolver um problema inventivo específico. A Figura 3 ilustra essa explicação.

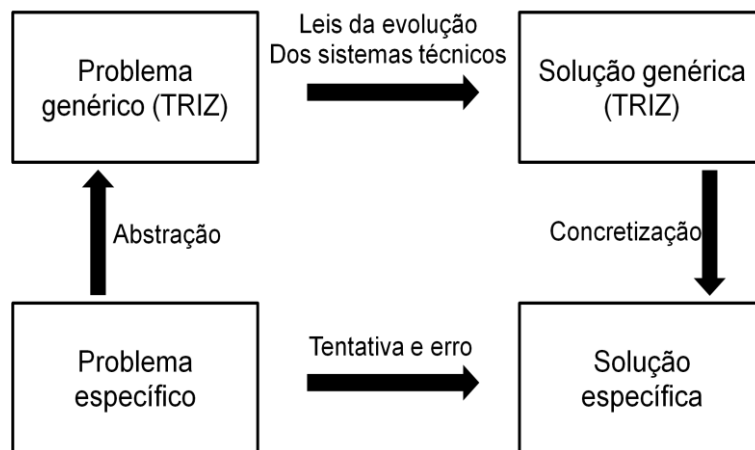


Figura 3 – Metodologia TRIZ (STRATTON e MANN, 2003; SRINIVASAN e KRASLAWSKI, 2006; LI e HUANG, 2009; KIM *et al.*, 2011; AHMED *et al.*, 2011; NOVOA *et al.*, 2011; YANG e CHEN, 2011).

Para o entendimento desta metodologia, é necessária, inicialmente, a definição e compreensão clara de seus conceitos fundamentais, os quais são: a idealidade, contradição e recursos. Assim, o trabalho de aplicação da mesma será mais efetivo, bem como o entendimento acerca de todo o método.

#### 2.2.2.1 Conceitos fundamentais – TRIZ

Idealidade, segundo Carvalho e Back (2001) e Carvalho e Ferreira (2005), 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 (CARVALHO e BACK, 2001).

No entanto, definir o que é desejável e indesejável pode variar conforme a perspectiva do analista ou das condições do problema analisado. Malkin e Malkin (2003) sintetizam isso, afirmando que a idealidade varia de acordo com cada situação. Dessa forma, define-se o Resultado Final Ideal (RFI), que equivale à idealidade local e ajuda, de maneira clara, a definir os limites do problema, inibindo soluções não ideais, evitando soluções de compromisso e instigando a criação de conceitos inovadores, bem como expressa o resultado esperado para o problema em estudo (DEMARQUE, 2005).

Exemplos da utilização desse conceito na PML podem ser encontrados na literatura. Li, Rong e Kraslawski (2001) aplicaram o conceito de idealidade ao propor a substituição de dois equipamentos no setor de destilação em uma indústria. Por meio dos conceitos, obtiveram-se projeções de redução no consumo de vapor em 23,7% e 27,7%, respectivamente. Fresner *et al.* (2010) utilizou a TRIZ na melhoria do subprocesso de decapagem de uma organização do setor químico. Através da análise funcional – outra ferramenta utilizada na TRIZ – os autores puderam elaborar o resultado final ideal (RFI), ou seja, a idealidade local no subprocesso, que foi uma superfície livre de contaminantes para a etapa seguinte do processo.

Adicionalmente, a TRIZ também trabalha, em sua metodologia, com a análise de contradições, amplamente utilizada para a resolução de problemas, visando à busca do melhor e mais completo resultado possível. Genrich Altshuler descobriu que, na verdade, o processo de inventar significa localizar contradições em um sistema, que impedem sua execução em busca da idealidade (LI, 2004; CARVALHO, BACK e OGLIARI, 2005; SCYOC, 2008; FRESNER *et al.*, 2010), e resolvê-las.

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). No exemplo de Carvalho e Back (2001), há a definição da haste de uma 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.

Contradições podem ser físicas ou técnicas. As técnicas ocorrem quando há conflitos entre dois parâmetros técnicos. Num motor automotivo, por exemplo, há uma contradição técnica entre potência e peso. Na asa de uma aeronave, há uma contradição técnica entre resistência mecânica e peso (CARVALHO, BACK e OGLIARI, 2005). Ainda segundo os autores, estas contradições podem ser formuladas a partir de soluções convencionais, do telhado da Casa da Qualidade (elaborado a partir do QFD – *Quality Function Deployment*), matriz de impacto cruzado e análise de interações (e/ou funções).

As contradições físicas correspondem a níveis contraditórios de um mesmo parâmetro ou propriedade (SAVRANSKI, 2000). Este tipo de contradição pode ser gerado, inclusive, a partir de uma contradição técnica – descrita anteriormente. Utilizando-se novamente do exemplo da asa de avião, a qual possui contradição técnica entre a resistência mecânica e o peso da asa, encontram-se as seguintes contradições físicas: a resistência mecânica precisa ser alta (necessidade de resistir às solicitações mecânicas) e baixa (redução de peso e consumo de material), e o peso deve ser alto (devido à resistência mecânica) e baixo em virtude da necessidade em economizar combustível (CARVALHO, BACK e OGLIARI, 2005).

Exemplificando esse conceito, Carvalho e Back (2001) citam 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). A aplicação desse conceito não foi encontrada, de forma explícita na PML, na literatura. Entretanto, pode ser evidenciada nos níveis 2 e 3 da estratégia, onde se trabalha, respectivamente, a reciclagem interna, e a reciclagem externa e ciclos biogênicos. Há exemplos de aplicação na indústria de alimentos, reutilizando-se de recursos geradores de funções indesejadas ao sistema (FREITAS e RIBAS, 2008; COUTINHO, RODRIGUES e SILVA, 2009; SILVA *et al.*, 2009).

#### 2.2.2.2 Análise funcional

Funcionalidade corresponde ao “uso de funções para formular problemas e buscar soluções” (CARVALHO e FERREIRA, 2005, p. 183). A utilização de funções não é

exclusividade da TRIZ. Entretanto, o seu diferencial em relação ao uso de funções é considerar as funções indesejadas na formulação de problemas (CARVALHO e FERREIRA, 2005). Ação essa, que possibilita a priorização e ordenação na busca de melhorias no produto, processo ou serviço em questão.

A análise funcional (análise de funções ou análise de interações) consiste em conectar cada elemento do sistema através de interações (CARVALHO, 2007). Através da análise funcional, é possível modelar um sistema técnico como um sistema formado por componentes e funções. A função é uma atividade, a qual é composta de fatores que alteram as propriedades de outro componente (FRESNER *et al.*, 2010). Além disso, os mesmos autores afirmam que essa modelagem de funções, literalmente, abre uma espécie de “caixa preta” das etapas do processo normalmente utilizado na PML.

A análise funcional orienta rapidamente para os elementos do problema que necessitam mudanças e muitas vezes ajudam a buscar sugestões de como mudar o processo, para que o mesmo seja otimizado. As Figuras 4 e 5 são exemplos de como realizar uma análise de interações.

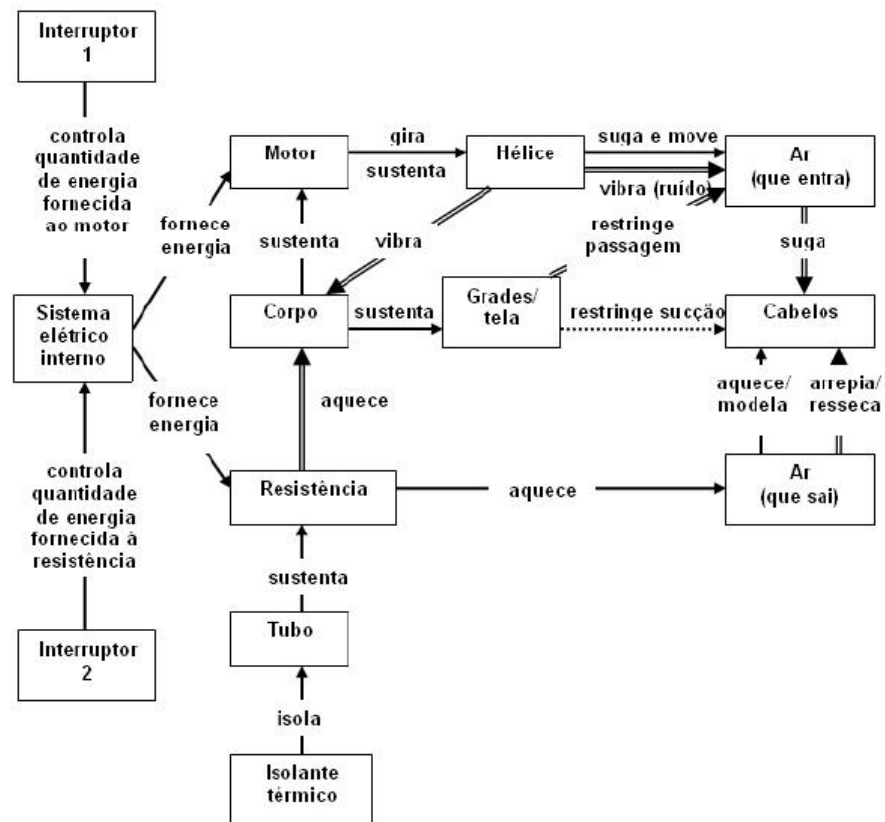


Figura 4 – Análise de interações para um secador de cabelos: interações em linhas contínuas são eficazes; interações em linhas duplas são prejudiciais, e; as interações em linhas tracejadas são insuficientes (CARVALHO, 2007).

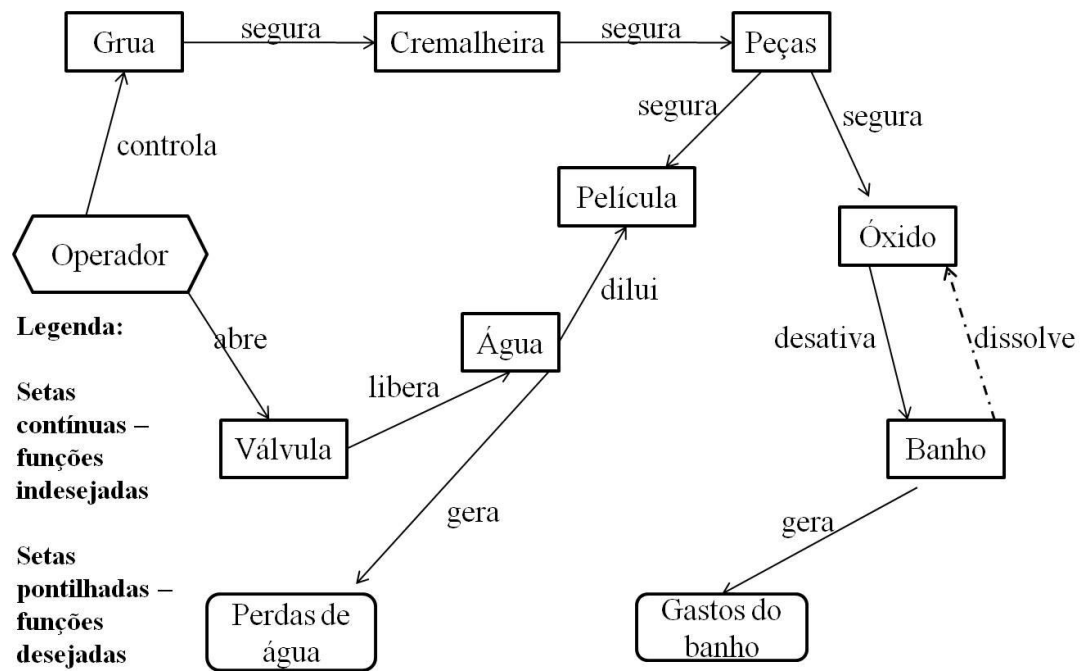


Figura 5 – Análise de funções do processo de decapagem. Linhas pontilhadas: funções desejadas; linhas contínuas: funções indesejadas; caixas retangulares: elementos do sistema; caixas com cantos arredondados: perdas; hexágono: super sistema (FRESNER *et al.*, 2010).

### 2.2.3 TRIZ/PML

Fresner *et al.* (2010) afirmam que, durante suas pesquisas, descobriram que os oito princípios da TRIZ (conforme descritos na seção 2.2.1 – páginas 20 e 21) possuem similaridades e alguma correspondência com a Produção mais Limpa (PML). O Quadro 4 apresenta a comparação entre as estratégias da PML, com as Leis da Evolução conforme Altshuler.

(continua)

→ Estratégias PML → ↓ Linha da evolução ↓	Novas matérias-primas	Mudanças nas práticas operacionais	Reciclagem interna	Reciclagem externa	Mudança de tecnologia	Redesenho de produto ( <i>Redesign</i> )
<b>Evolução inteligente dos sistemas</b>	Planilha de dados - Aquisição de materiais segura	Melhor organização nos processos, controle contínuo, plena implementação do sistema de gestão	Separar as frações úteis, reutilizá-las, instalar o processo contínuo	Separar as frações úteis, encontrar aplicação, destino, instalar o processo contínuo	Mecânica ao invés de física ou química (diminuir o número de transformações)	Novos materiais, novas tecnologias, novos processos de manufatura, evitar materiais nocivos, vida maior
<b>Aumentar idealidade</b>	Matéria-prima mais pura, com menos substâncias tóxicas	Aproximar as condições do processo da condição ótima	Fechar ciclos internamente (ex: resfriamento de água, recompressão de vapor)	Ecologia Industrial	Reduzir o arraste, melhorar as condições do processo, melhorar a mistura, evitar zonas mortas	Evitar materiais nocivos, vida mais longa
<b>Diferente evolução dos elementos do sistema</b>	Novos materiais com propriedades especiais para substituir os padrões	Componentes menos desenvolvidos geralmente são controle de utilidades e materiais auxiliares	Tecnologia usada em sensores, controles e direcionadores	Controle de qualidade para os desperdícios	Aquecedores, direcionadores, controles	Novos materiais, novos processos de manufatura
<b>Aumento na dinâmica e controle</b>	Controle automático de dosagem	Organização, controle, padronização	Reciclagem interna condicionada (por controle de condutividade)	Considerar o <i>feedback</i> de empresas externas a respeito de especificações	Fluxo contra a corrente, uso em cascata, sistemas eficientes de energia	Uso de materiais recicláveis



(conclusão...)

→ Estratégias PML → ↓ Linha da evolução ↓	Novas matérias-primas	Mudanças nas práticas operacionais	Reciclagem interna	Reciclagem externa	Mudança de tecnologia	Redesenho de produto ( <i>Redesign</i> )
<b>Aumento da complexidade e posterior diminuição</b>	Sistema automático de pintura, finalmente baseado apenas nas três cores primárias	Sistemas de Gestão Integrados (SGI)	Processo integrado de reciclagem interna (corredores de moldagem por injeção), reagentes em processos químicos	Separação de resíduos, substituída pela aplicação de resíduos mistos (fios para tapetes de plástico para combustível)	Separar desperdícios e perdas	Integração de funções adicionais
<b>Aumento da coordenação</b>	Compras eletrônicas (via internet), controle de estoque automático	Melhor utilização de plantas, processos de sincronização, ação preparatória	Reutilização das perdas no mesmo processo imediatamente	Especificações do cliente para aceitação dos produtos	Velocidade/tamanho dos equipamentos, ação preliminar	<i>Design</i> para reciclagem
<b>Miniaturização</b>	Aço de alta resistência, filme mais fino	5S: minimização de estoque	Minimizar o engarrafamento, limpeza de alta pressão, em vez de lavagem comum	Fornecimento contínuo	Micro reatores, uso de sistemas com estágios (etapas)	Integração de elementos eletrônicos, sensores
<b>Diminuição da interação humana</b>	Pré-formulação de fórmulas adaptadas	Processo de controle automatizado	Reciclagem automática (refrigerante, água)	Classificação automatizada (ex: vidro, papel, etc.)	Controle automatizado	Funções automatizadas (calibração)

Quadro 1 – Comparação das estratégias da produção mais limpa (PML) e as leis da evolução (FRESNER *et al.*, 2010).

Aliado a essas características em comum, Chang e Chen (2003), em suas pesquisas, encontraram projetos eco-inovativos (relacionados ao *ecodesign*), categorizados de acordo com os sete elementos da eco-eficiência, alinhados aos 40 princípios inventivos de Altshuller (Quadro 2). Projetos os quais envolvem grande variedade de produtos e processos. A cada elemento melhorado ou vários elementos aprimorados simultaneamente, maior é a geração de eco-eficiência dos produtos e serviços. Os sete elementos são:

- Reduzir a intensidade de materiais de bens e serviços (redução de material);
- Reduzir a intensidade de energia de bens e serviços (redução de energia);
- Reduzir a emissão de qualquer material tóxico (redução da toxicidade);
- Potencializar a reciclabilidade dos materiais (recuperação de material);
- Maximizar o uso sustentável de recursos renováveis (recursos sustentáveis);
- Aumentar a durabilidade dos produtos (durabilidade de produto);
- Aumentar a intensidade do serviço de bens e serviços (serviço do produto).

<b>40 Princípios Inventivos</b>					
<b>Nº</b>	<b>Princípio Inventivo</b>	<b>Detalhamento e exemplificação</b>	<b>Nº</b>	<b>Princípio Inventivo</b>	<b>Detalhamento e exemplificação</b>
1	Segmentação, fragmentação	Dividir o objeto em partes independentes que são fáceis de desmontar; aumentar o grau de segmentação do objeto. Produtos modulares e dobráveis.	21	Travessia rápida	Executar operações danosas ou perigosas a velocidades muito altas. Tirar a toalha da mesa sem derrubar pratos; cortar uma peça flexível por impacto.
2	Extração, remoção	Remover ou separar uma parte ou propriedade perturbadora do objeto; extrair somente a parte ou propriedade necessária.	22	Conversão de danos em benefícios	Utilizar efeitos danosos ou efeitos ambientais para obter efeitos positivos; combinar fatores danosos para eliminá-los ou mitigá-los.
3	Qualidade local	Ter diferentes partes do objeto realizando diferentes funções; colocar cada parte do objeto sob as mais favoráveis condições para sua operação.	23	Retroalimentação	Introduzir retroalimentação em um processo ou reverter se já houver retroalimentação.
4	Assimetria	Substituir uma forma simétrica por uma assimétrica ou inverso; se um objeto é pouco assimétrico, aumentar o grau de simetria.	24	Mediação	Usar um objeto intermediário para transferir ou realizar uma ação; conectar, temporariamente, um objeto a outro fácil de ser removido.
5	Combinação	Combinar no espaço objetos homogêneos ou objetos destinados a operações contíguas; combinar no tempo operações homogêneas ou contíguas.	25	Auto-serviço	Fazer com que um objeto saia automantenível e reparável; usar rejeitos de materiais e de energia do objeto para produzir a ação desejada.
6	Universalidade	Fazer objetos desempenharem múltiplas funções e, desde modo, eliminar a necessidade de ter outros objetos, usar objetos conversíveis.	26	Cópia	Usar cópia simplificada e de baixo custo, no lugar de objeto indisponível, complicado e frágil; substituir um objeto pela sua cópia óptica ou imagem; usar escala reduzida ou ampliada.
7	Aninhamento	Conter um objeto dentro de outro; passar um objeto através da cavidade de outro. Antenas telescópicas, objetos empilháveis.	27	Uso de objeto barato e de vida curta	Substituir objetos dispendiosos e de longa vida por objetos de baixo custo e durabilidade. Estes objetos podem ser descartados com facilidade.
8	Contrapesos	Compensar o peso próprio unindo a outro objeto; interagir com forças no ambiente, aero ou hidrodinâmicas. Hidro e aerofólios.	28	Substituição de meios mecânicos	Substituir sistemas mecânicos por ópticos, acústicos e eletrônicos; usar campos elétricos, magnéticos ou eletromagnéticos para interagir com objetos; substituir campos.
9	Contra-atuação preliminar	Aplicar contra-ações prévias; criar um estado de pré-tensões, tensões residuais ou tubos emcamizados, de modo a reduzir as solicitações em serviço.	29	Uso de pneumática e hidráulica	Substituir partes sólidas de objetos por gás ou líquido; usar a capacidade de compressão e de amortecimento dos mesmos.
10	Ação prévia	Realizar todas as ações requeridas previamente ou em parte; arranjar os objetos de modo a entrarem em ação em tempos e posições convenientes.	30	Uso de filmes e membranas flexíveis	Substituir as construções tradicionais por aquelas feitas de filmes ou membranas flexíveis; isolar o objeto do seu meio ambiente usando esses componentes.

(conclusão...)

11	Atenuações prévias	Introduzir medidas preventivas para compensar a baixa confiabilidade de um objeto. Reduzir as solicitações ou usar componentes em paralelo.	31	Uso de materiais porosos	Usar objetos ou elementos porosos, insertos ou coberturas; se o objeto já é poroso, preencher os poros com alguma substância útil, óleo em mancais porosos.
12	Equipotencialidade	Mudar as condições de tal modo que os objetos não precisem ser movidos para cima ou para baixo no campo potencial.	32	Mudança de cor	Mudar a cor de um objeto ou entorno; alterar o grau de translucidez do objeto ou processo difícil de usar; usar aditivos coloridos para observar objetos ou processos difíceis de ver.
13	Inversão	Implementar a ação oposta ao especificado; mover a parte fixa e fixar a parte móvel; inverter a posição de objetos.	33	Homogeneidade	Objetos que interagem devem ser feitos do mesmo material ou materiais com propriedades idênticas.
14	Esferoidicidade	Substituir partes lineares ou superfícies planas por curvas; formas cúbicas por esféricas; movimento linear por circular; usar a força centrífuga.	34	Descarte e recuperação de partes	Rejeitar ou modificar um elemento de objeto, após completar sua função ou tornar-se sem uso; partes que se tornam sem uso devem ser automaticamente recuperadas.
15	Dinamicidade	Fazer o objeto ou seu ambiente se ajustar automaticamente ao desempenho ótimo; se um objeto é imóvel, tornar móvel ou intercambiar.	35	Mudança de parâmetros e propriedades	Modificar o estado agregado de um objeto, distribuição de densidade, grau de flexibilidade, temperatura; usar pseudoestados ou estados intermediários.
16	Ação parcial ou excessiva	Se for difícil obter o valor exato de um desejado efeito, procurar um valor superior ou inferior que poderá simplificar consideravelmente o problema.	36	Mudança de fase	Usar efeitos que ocorrem durante mudanças de fase de materiais; por exemplo, mudança de volume, dissipação ou absorção de calor.
17	Movimento para nova dimensão	Substituir o movimento linear de um objeto por um movimento em um plano; usar montagem de peças em multiplanos em vez de um plano.	37	Expansão térmica	Usar o efeito de expansão ou contração com o calor; usar materiais com diferentes coeficientes de expansão térmica, para acionar mecanismos ou deformar objetos.
18	Uso de vibrações mecânicas	Vibrar o objeto; aumentar frequência de vibrações; usar ressonância; piezovibradores; vibrações ultrasônicas eletromagnéticas.	38	Uso de oxidantes fortes	Substituir ar normal por ar enriquecido ou ar enriquecido por oxigênio; tratar um objeto no ar ou no oxigênio com radiação ionizante; usar oxigênio ionizado.
19	Ação periódica	Substituir ação contínua por periódica ou pulsada; se já é uma ação periódica, variar a frequência; usar pausas entre impulsos para mudar efeito.	39	Uso de atmosferas inertes	Substituir o ambiente normal por inerte; realizar o processo em vácuo.
20	Continuidade da ação útil	Realizar uma ação continuamente, onde todas as partes de um objeto operam em plena capacidade; remover movimentos mortos e intermediários.	40	Uso de materiais compostos	Substituir materiais homogêneos por materiais compostos de características projetáveis.

Quadro 2 – 40 princípios inventivos de Altshuler (BACK *et al.*, 2008).

Por fim, a TRIZ é considerada uma metodologia promissora, uma vez que muitos *designers* 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 (LUTTROP e LAGERSTEDT, 2006; SERBAN *et al.*, 2005).

### 2.3 A TRIZ na melhoria de processos industriais

Sabe-se que a PML possui três níveis possíveis de aplicação (Figura 6) e, dentre esses, o enfoque deste trabalho se dará no nível 1 direcionado à modificações nos processos. A TRIZ, metodologia inicialmente focada na inovação em produtos (produtos inovadores e/ou melhorias inovadoras nos produtos), tem sido aplicada, também, a processos industriais.

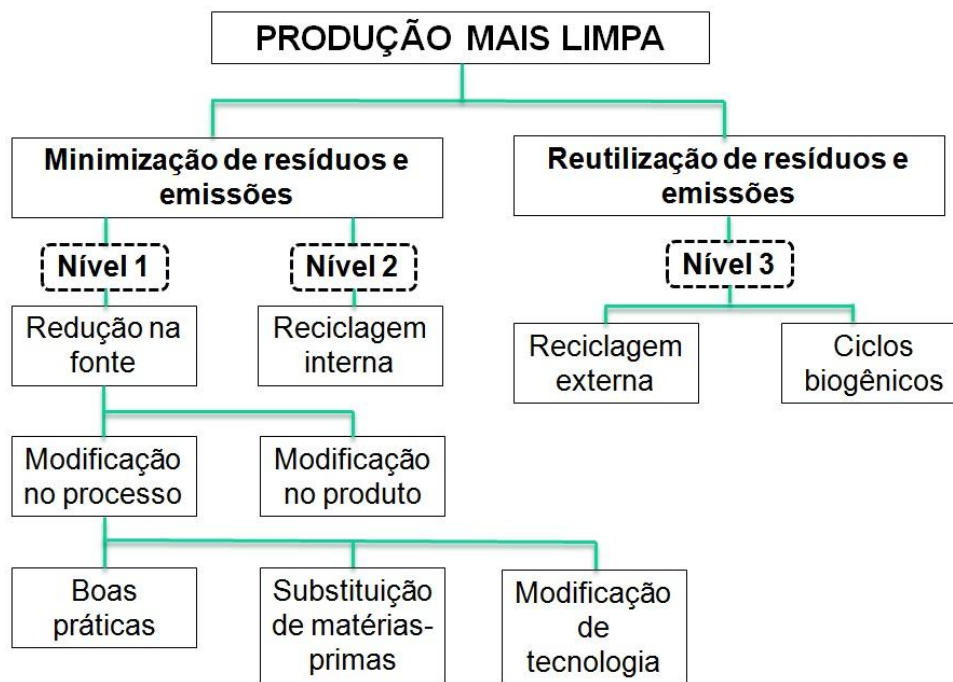


Figura 6 – Níveis da PML (CNTL, 2011, p. 1).

Na pesquisa de Li *et al.* (2003), os autores utilizaram a análise de conflitos/contradições – derivada da TRIZ – para minimizar as perdas de água em processos industriais, e encontraram resultados efetivos no tratamento dos conflitos entre os objetivos visados para identificar as alternativas potenciais de prevenção da poluição.

Em outra pesquisa integrando a TRIZ à melhoria de processos, Stratton e Mann (2003) elencaram semelhanças entre a referida metodologia com a teoria das restrições (TR),

traçando um paralelo entre a TRIZ, originada através de problemas de engenharia, e a teoria das restrições, mais focada em gestão de manufatura. Como resultado, foram encontrados aspectos comuns e distinções entre TRIZ e TR, onde ambas as metodologias visam identificar e resolver contradições.

Srinivasan e Kraslawski (2006), por exemplo, desenvolveram soluções visando à melhoria na segurança de processos químicos. Os autores, inclusive, modificaram e validaram uma nova abordagem da TRIZ para as necessidades da área. Ainda relacionado a processos químicos, 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 funcional (ferramentas da TRIZ), buscaram a solução ideal final para o processo e, posteriormente, alternativas de se alcançar a mesma.

Na indústria de laticínios, Kubota, Bolzan e Rosa (2011) se utilizaram de conceitos fundamentais da TRIZ para a resolução de problemas ambientais, explicitando as funções indesejadas ocorrentes nos processos, bem como a idealidade nos mesmos. Os resultados encontrados evidenciaram que o uso dos conceitos permite uma clara visão das situações indesejadas, bem como instiga a elaboração de soluções inventivas simples e que agregam valor.

Assim, observa-se que a 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 indesejadas 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 (KUBOTA e ROSA, 2011).

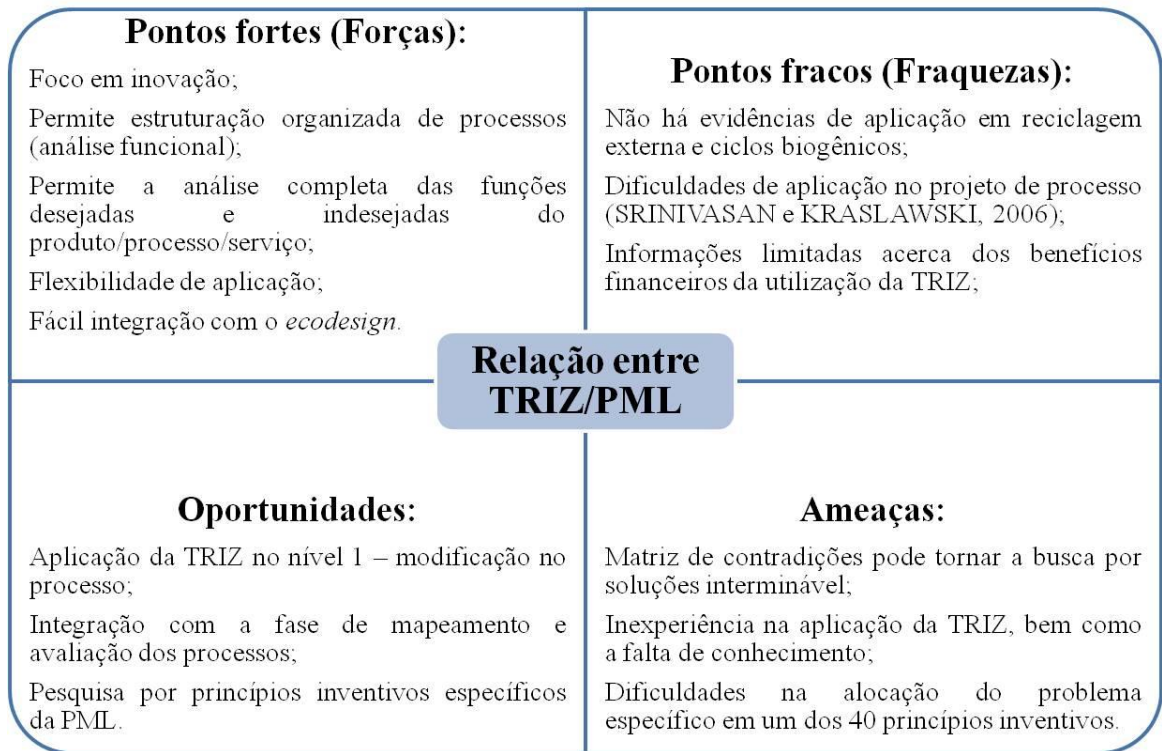


Figura 7 – Evidências acerca de aplicações da TRIZ na PML (KUBOTA e ROSA, 2011)

### **3 ARTIGOS CIENTÍFICOS**

#### **3.1 A TRIZ (*Theory of Inventive Problem Solving*) aplicada à produção mais limpa: uma abordagem preliminar**

Artigo submetido, aprovado, apresentado e publicado nos anais do XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, em Belo Horizonte-MG, 2011 (configurado conforme publicado nos anais do evento).



# 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 vantagens 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*).

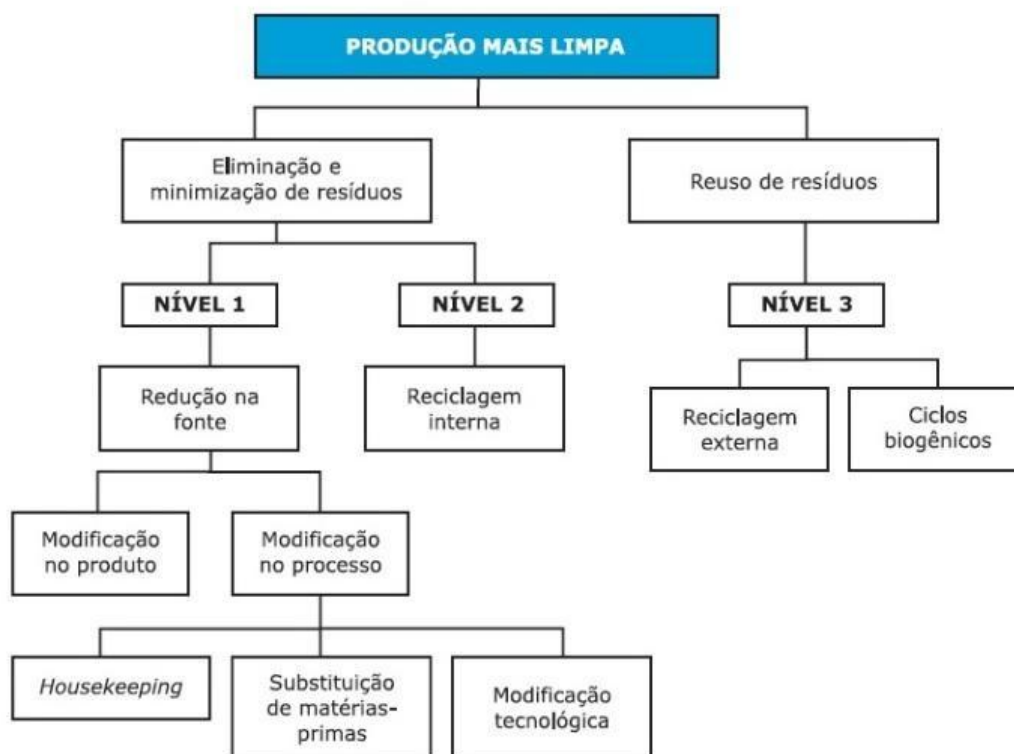


Figura 1 – Níveis de atuação da produção mais limpa (MEDEIROS *et al*, 2007, p. 113)

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.

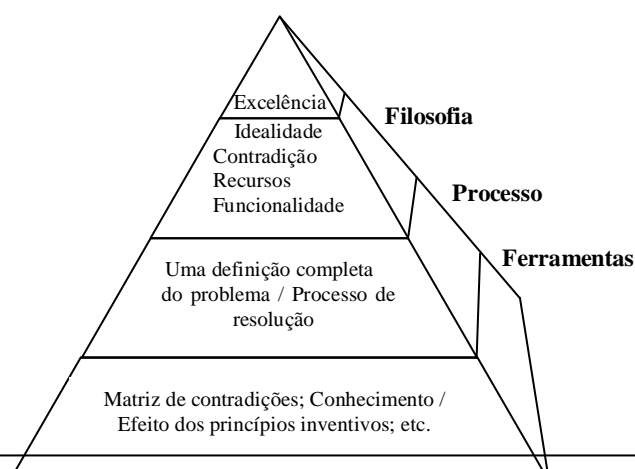


Figura 2 – Visualização hierárquica da TRIZ, adaptado de Mann (2002)

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.

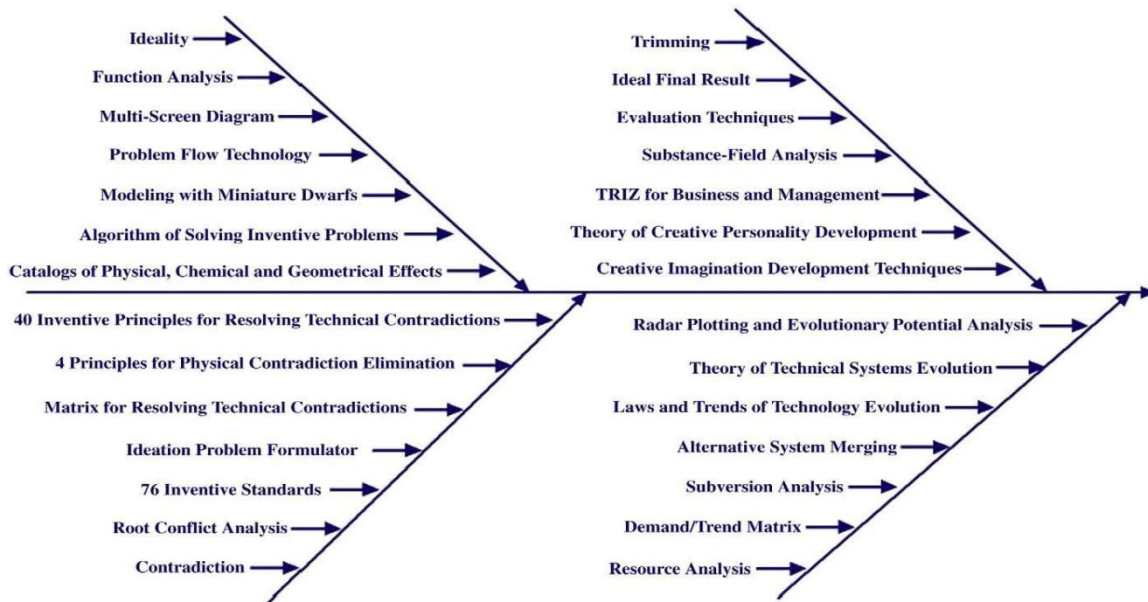


Figura 3 – Conceitos e ferramentas da TRIZ (ZHANG *et al*, 2009, p. 778)

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.

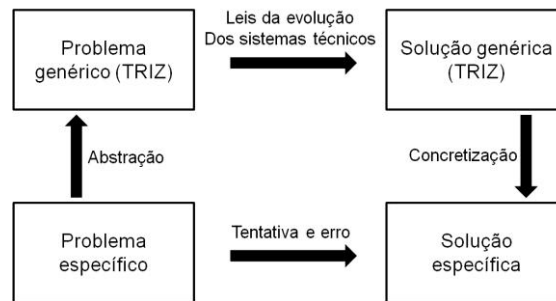


Figura 4 – Metodologia TRIZ (STRATTON e MANN, 2003; SRINIVASAN e KRASLAWSKI, 2006; LI e HUANG, 2009; KIM *et al*, 2011; AHMED *et al*, 2011; NOVOA *et al*, 2011; YANG e CHEN, 2011)

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. E 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 às 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.

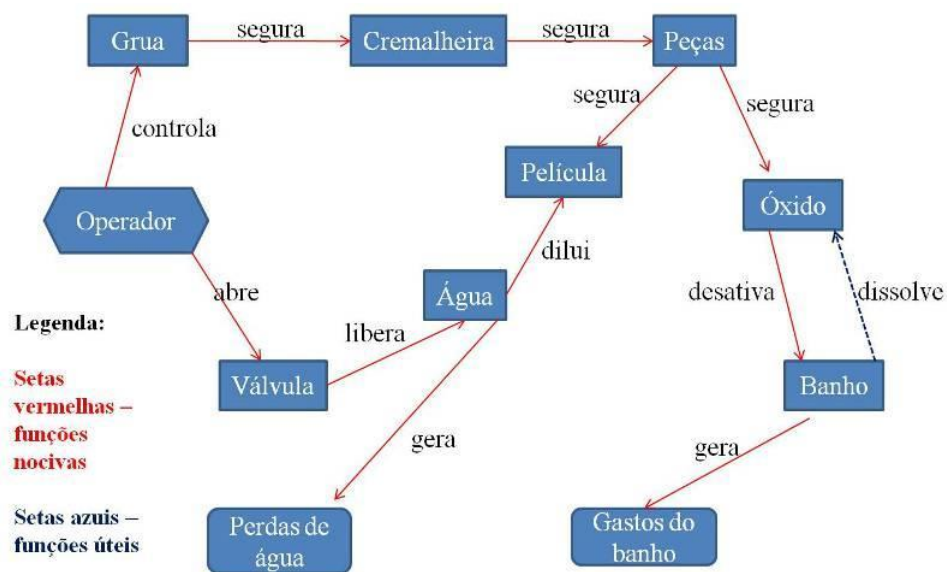


Figura 5 – Análise de interações de um processo de decapagem (FRESNER *et al*, 2010)

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 ideias 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 (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 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](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: CREA, 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.* 6<sup>th</sup> 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.

### **3.2 A Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ) na identificação de oportunidades de produção mais limpa**

Artigo submetido à Revista Gestão Industrial (configurado conforme as normas da revista).

## A TEORIA DA SOLUÇÃO INVENTIVA DE PROBLEMAS (TRIZ) NA IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA

### THE THEORY OF INVENTIVE PROBLEM SOLVING (TRIZ) IN THE IDENTIFICATION OF CLEANER PRODUCTION OPPORTUNITIES

Flávio Issao Kubota<sup>1</sup>; Leandro Cantorski da Rosa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Maria – UFSM – Santa Maria – Brasil

[flavioissao.kubota@gmail.com](mailto:flavioissao.kubota@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Santa Maria – UFSM – Santa Maria – Brasil

[leski78@hotmail.com](mailto:leski78@hotmail.com)

#### Resumo

*Inovação e melhores resultados na produção têm sido requisitos essenciais na indústria de alimentos. Paralelamente, ideias simples e criativas contribuem para o desenvolvimento das empresas. Desse modo, esta pesquisa tem como objetivo investigar oportunidades de aplicação da produção mais limpa (PML) por meio da metodologia da Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ), visando identificar pontos críticos na produção de indústrias de laticínios de pequeno porte. Para execução do estudo, realizou-se pesquisa de caráter qualitativo e natureza exploratória, sendo executado um estudo de caso em duas usinas de laticínios de pequeno porte do Rio Grande do Sul (RS). Os resultados apontam diversas oportunidades de PML nos casos estudados, principalmente em relação às perdas de água e soro de leite no processo produtivo. Ao final da pesquisa, concluiu-se que os conceitos da TRIZ foram importantes na organização do processo criativo, na definição esclarecedora dos problemas encontrados e, por fim, na busca por soluções inventivas.*

**Palavras-chave:** produção mais limpa, TRIZ, indústria de laticínios, melhoria de processos.

#### 1. Introdução

A indústria alimentícia tem buscado, constantemente, a inovação e os melhores resultados nos processos e produtos, considerando-se a alta competitividade, concorrência no ramo e clientes cada vez mais exigentes. Ainda, os esforços pelas melhores práticas ambientais é outro aspecto que vem sendo requisitado pelas partes interessadas ao negócio das organizações, uma vez que grande quantia dos recursos utilizados nos processos não são renováveis (KUBOTA, SILVA FILHO e ROSA, 2010).

Para Mendes (2003), o crescente interesse em preservar o meio ambiente proporciona um

movimento de conscientização da população, no sentido de se consumir produtos e serviços que gerem menor impacto ambiental, exigindo adequações por parte das organizações.

Desse modo, Righetti *et al.* (2005) ressalta que a inquietação relativa aos assuntos ambientais se inseriu na rotina das empresas, e essas podem utilizar diferentes estratégias para a gestão ambiental, que pode variar de uma postura reativa até uma atitude estratégica, de forma que a variável ambiental seja compreendida como uma oportunidade de se obter vantagem competitiva, ao invés de um ônus. No entanto, evidencia-se maior quantidade de estratégias reativas, apesar da importância crescente do tema nos últimos anos (RIGHETTI *et al.*, 2005).

A indústria de laticínios tem importância significativa a nível mundial, nacional e gaúcho, na economia. Dados da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 2008) apontam o Brasil como sexto colocado em produção de leite de vaca no mundo, produzindo 27.752 milhões de toneladas (4,8% da produção mundial). Em território nacional, o Rio Grande do Sul aparece em segundo lugar, com 2.944 milhões de litros anuais (EMBRAPA, 2007).

Além disso, acredita-se que a produção mais limpa (PML) pode gerar benefícios importantes ao ramo de laticínios, pois segundo Nguyen e Durham (2004) essa indústria possui fonte significativa de contaminantes, e ainda assim existe um número limitado de estudos na literatura em PML para empresas de laticínios e derivados.

Ideias criativas são possíveis fontes de inovação (CARVALHO e FERREIRA, 2005). A Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ) tem a proposta de organizar o processo criativo. Em síntese, trata-se de uma metodologia que busca a excelência em projeto e inovação. Além disso, aplicações da TRIZ para os problemas relacionados a design de produtos para sustentabilidade cooperativa e eco-eficiência são documentadas na literatura, entretanto são raros (HOCKERTS, 1999; JONES e MANN, 2001; CHEN e LIU, 2001; KOBAYASHI, 2006). E o uso explícito desse método dentro da PML não está documentado até hoje, de acordo com o conhecimento dos autores (FRESNER *et al.*, 2010).

Assim, com o intuito de alinhar a importância da referida indústria à necessidade de utilização mais racional de recursos, este trabalho tem como objetivo investigar oportunidades de aplicação da produção mais limpa (PML) em processos produtivos através de conceitos da metodologia TRIZ, visando identificar os pontos críticos da produção e ressaltar a importância ambiental em reduzir e/ou reaproveitar o consumo de recursos naturais.

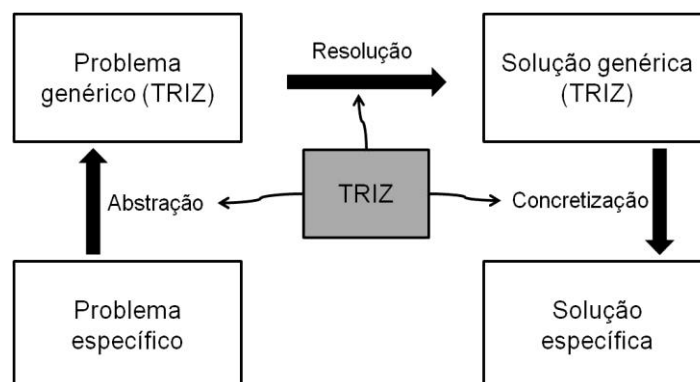
## **2. TRIZ – conceitos fundamentais**

A TRIZ pode ser definida como uma metodologia heurística, baseada em conhecimento e direcionada ao ser humano, objetivando a solução de problemas inventivos (CARVALHO, 2007).



De forma resumida, a TRIZ é utilizada da seguinte maneira: define-se o problema específico a ser solucionado, para que depois seja elaborado o problema genérico. Em seguida, parte-se para a solução genérica do problema em questão, e posterior elaboração da solução específica (CARVALHO, 2007). A Figura 1 ilustra a estrutura de aplicação da metodologia.

Figura 1 – Estratégia de resolução de problemas da TRIZ



Fonte: Carvalho (2007).

Para o entendimento da metodologia e estratégia de aplicação, é importante a compreensão de três conceitos fundamentais da TRIZ: idealidade, recursos e contradições. Neste trabalho, serão utilizados apenas os dois primeiros conceitos.

Idealidade é a razão entre o número de funções desejadas e o número de funções indesejadas do sistema (CARVALHO e BACK, 2001; CARVALHO e HATAKEYAMA, 2003; FRESNER *et al.*, 2010). Ainda, a equação da idealidade visa o direcionamento ao sucesso, com maiores benefícios e menores custos e danos (JANTSCHGI e MANN, 2005). De acordo com Yang e Chen (2011), o sistema ideal (utópico) executa apenas funções desejadas, utilizando todos os recursos possíveis. Por fim, a metodologia TRIZ interpreta a idealidade como o ponto de partida para a resolução do problema em questão, evitando, ao máximo, o processo de tentativa e erro para buscar soluções.

No entanto, definir o que é desejável e indesejável pode variar conforme a perspectiva do analista ou das condições do problema analisado. Malkin e Malkin (2003) sintetizam isso, afirmando que a idealidade varia de acordo com cada situação. Dessa forma, define-se o Resultado Final Ideal (RFI), que equivale à idealidade local e ajuda, de maneira clara, a definir os limites do problema, inibindo soluções não ideais, evitando soluções de compromisso e instigando a criação de conceitos inovadores, bem como expressa o resultado esperado para o problema em estudo (DEMARQUE, 2005).

Exemplos da utilização desse conceito na PML podem ser encontrados na literatura. Li, Rong e Kraslawski (2001) aplicaram o conceito de idealidade ao propor a substituição de dois equipamentos no setor de destilação em uma indústria. Por meio dos conceitos, obtiveram-se projeções de redução no consumo de vapor em 23,7% e 27,7%, respectivamente. Fresner *et al.* (2010) utilizou a TRIZ na melhoria do subprocesso de decapagem de uma organização do setor químico. Através da análise

funcional – outra ferramenta utilizada na TRIZ – os autores puderam elaborar o resultado final ideal (RFI), ou seja, a idealidade local no subprocesso, que foi uma superfície livre de contaminantes para a etapa seguinte do processo.

Os recursos são elementos do sistema que ainda não foram aplicados na execução de funções desejadas no sistema (CARVALHO e BACK, 2001; CARVALHO e FERREIRA, 2005; CARVALHO, 2007). Existem diversos exemplos de aplicação desse conceito, visando sempre imitar a Natureza, principal referência quanto ao aproveitamento dos recursos naturais.

Durante a pesquisa, não se encontrou evidências da utilização desse conceito na indústria de laticínios, mais especificamente. No entanto, há referências na indústria de alimentos que podem ser enquadrados nessa situação. Freitas e Ribas (2008), Coutinho, Rodrigues e Silva (2009) e Silva *et al.* (2009) são exemplos disso.

### **3. A PML na indústria de laticínios**

Na indústria de laticínios, assim como no ramo alimentício, há, de forma geral, problemas relacionados ao tratamento de desperdícios durante o processo produtivo, tanto de recursos energéticos (água, luz, vapor, etc.) como de processos, produtos e subprodutos – avarias, condenações, contaminações, etc. (KUBOTA, SILVA FILHO e ROSA, 2010).

Resumidamente, a PML tem por objetivo a otimização no uso de materiais e energia por meio da modificação no processo (substituição de matéria-prima, mudanças de tecnologia, mudanças operacionais nas práticas), reciclagem interna e externa (FRESNER *et al.*, 2010). Os mesmos autores afirmam que essas estratégias agem como princípios gerais e, posteriormente, são tratados os efluentes, resíduos e emissões que acarretam em maiores prejuízos financeiros. Thrane, Nielsen e Christensen (2009) complementam, afirmando que a PML se trata de uma estratégia preventiva que pode abordar processos de fabricação e produtos, e entende o desenvolvimento de produtos mais limpos como o tipo de melhoria mais extrema.

Segundo a UNEP (2002) e Medeiros *et al.* (2007), há seis tipos de soluções distintas na estrutura da metodologia de PML: *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*). Nesta pesquisa, será abordada, essencialmente, as modificações nos processos, através de boas práticas e reutilização de recursos.

Exemplos podem ser vistos em Özbay e Demirer (2007), Schneider (2008), Brum, Santos Júnior e Benedetti (2009) e Kubota, Silva Filho e Rosa (2010), onde foram desenvolvidas pesquisas visando à identificação de oportunidades PML no processamento de produtos lácteos. Como resultados, foram levantadas alternativas e possibilidades de redução no consumo de água e reaproveitamento da mesma, bem como oportunidades de minimização em resíduos e emissões.

Em outra abordagem, Silva (2006) realizou um diagnóstico ambiental acerca do consumo de água e geração de resíduos em micro e pequenas empresas de laticínios, desenvolvendo um sistema multimídia direcionado para explicar as vantagens competitivas de se realizar um controle preventivo da geração de efluentes, resíduos e emissões.

Berlin, Sonesson e Tillman (2007) entendem que o aumento na venda de produtos lácteos afeta o impacto ambiental, em uma perspectiva do ciclo de vida dos mesmos, uma vez que isso gera mais resíduos de leite, uso de agentes de limpeza e água. Assim, os autores projetaram um método heurístico para calcular o sequenciamento da produção e verificar se essa alcançaria a melhor alternativa, e conseguiram resultados relevantes integrando o referido método à metodologia convencional de ciclo de vida.

Na Austrália, Fisher e Scott (2008) realizaram uma avaliação no campo farmacêutico e em uma fazenda de laticínios, com o intuito de prevenir possíveis ameaças na região através de gerenciamento preventivo na emissão de produtos farmacêuticos, evitando a contaminação microbiológica.

#### **4. Metodologia da pesquisa**

Esta pesquisa se trata de um estudo de caso, tem caráter qualitativo e natureza exploratória (HAIR *et al.*, 2005; CERVO, BERVIAN e SILVA, 2007).

As duas organizações estudadas têm características semelhantes. Ambas são usina escola de laticínios e, por essa razão, possuem produção reduzida e limitações financeiras. Para a coleta e análise dos dados, foram realizadas entrevistas semi-estruturadas com os responsáveis pelas empresas e colaboradores, visitas às instalações (observação não-participante) e medições nos locais com maiores perdas. Procurou-se visualizar o funcionamento da empresa focando a sequência de atividades que levam os produtos aos clientes (LAURINDO e ROTONDARO, 2006).

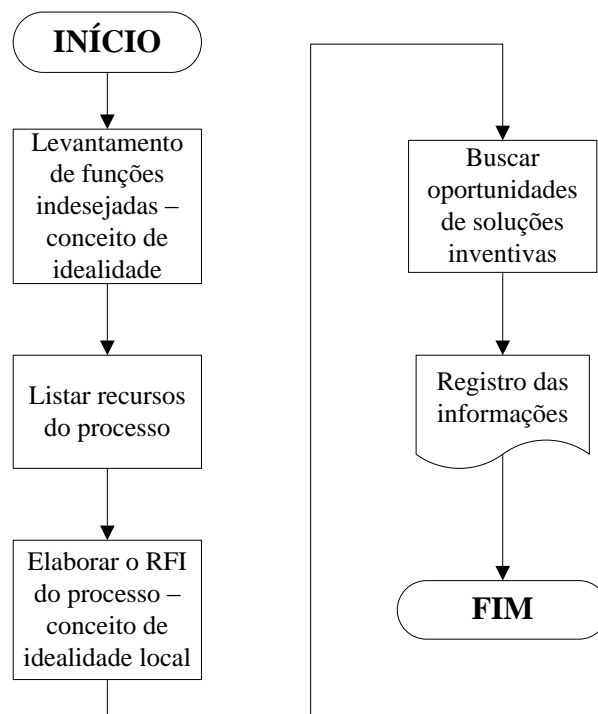
A escolha das empresas – bem como o ramo de atuação – foi realizada de forma intencional, devido à importância do segmento (laticínios) e da região para o panorama econômico do Estado do RS, conforme descrito na introdução deste trabalho.

A primeira empresa, a Usina Escola de Laticínios da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), foi criada na década de 1970 e tem capacidade para processar 3.960.000 litros/ano de leite. A matéria prima é fornecida por associados da Cooperativa Regional da Reforma Agrária Mãe da Terra (Cooperterra) de Tupanciretã-RS, que são produtores e integrantes de assentamentos da reforma agrária.

O segundo local escolhido é a usina escola de laticínios da Sociedade Educacional Três de Maio (SETREM), situada na cidade de Três de Maio-RS. A usina possui três funcionários e possui capacidade para processar aproximadamente 105.600 litros/ano de leite.

As etapas da pesquisa encontram-se no fluxograma da Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma de metodologia da pesquisa



Fonte: Autoria própria (2011)

## 5. Resultados e discussões

O processo de beneficiamento do leite e derivados foi observado e todas as instalações de ambas as usinas foram avaliadas. A partir da metodologia da PML, alinhada aos conceitos fundamentais da TRIZ, foram detectadas oportunidades de melhoria nos processos produtivos das usinas. Entre essas, destacam-se a necessidade de melhor gerenciamento no uso da água e a busca pelo reaproveitamento de subproduto. A seguir, são descritos os resultados das pesquisas nas duas usinas.

### 5.1. Funções indesejadas, recursos e Resultado Final Ideal (RFI) dos processos

Dentro da usina da UFSM, na recepção das matérias-primas, é feita a higienização das embalagens de armazenamento do leite oriundo dos produtores, das caixas plásticas usadas no transporte do leite envasado e outros produtos. Dois tanques de 500 litros são utilizados para imersão do material a ser limpo, ocorrendo um consumo diário de aproximadamente 2.000 litros de água – equivalente a 528 m<sup>3</sup>/ano.

Durante a pasteurização do leite, quantidade elevada de água é consumida no processo, bem como o vapor originado da caldeira. A água é eliminada por meio de uma tubulação ao lado da bacia de pasteurização. Através de medidas no local, estimou-se um desperdício aproximado de 3.000 litros por hora – equivalente a 4.752 m<sup>3</sup>/ano de água perdida (Figura 3).

Figura 3 – Perdas de água na pasteurização do leite cru na usina da UFSM



Fonte: Kubota, Silva Filho e Rosa (2010)

Também foram detectados desperdícios de vapor em acessórios e conexões que transportam o mesmo para os processos produtivos (Figura 4), resultando em maior consumo de lenha e água na caldeira da empresa. No setor de envase (embalagem) de queijos, constatou-se a ausência de porta com isolamento térmico, bem como uma janela basculante de vidro simples, o que é indesejado devido à passagem de calor do meio externo ao setor (Figura 5).

Figura 4 – Perdas de vapor na pasteurização do leite e próximo a caldeira



Fonte: Kubota, Silva Filho e Rosa (2010)

Figura 5 – Perdas térmicas no setor de envase de queijos: abertura no acesso (ausência de porta) e janela basculante



Fonte: Kubota, Silva Filho e Rosa (2010)

No caso da usina da SETREM, o processo de higienização dos equipamentos da produção é realizado manualmente, através de mangueiras. Entretanto, por vezes foi observado que a mesma fica em repouso no piso, enquanto a água é desperdiçada. Esse procedimento consome em torno de 132 m<sup>3</sup>/ano, sendo a atividade com maior consumo de água na empresa (Figura 6).

Além disso, ocorrem perdas de água nos processos de pasteurização e envase do leite e fabricação do iogurte, as quais foram mensuradas em 149,13 m<sup>3</sup>/ano, sendo que o efluente perdido é limpo e com potencial reaproveitamento nos processos produtivos (Figura 6).

Figura 6 – Perdas de água na pasteurização e envase do leite, fabricação de iogurte e higienização



Fonte: Autoria própria (2011)

Ainda na mesma empresa, o processo de dessoragem, na fabricação do queijo, também representa problema crítico e função indesejada, pois o soro gerado no processo não é aproveitado posteriormente. As perdas com esse subproduto são de 3.168 litros/ano.

Após o conhecimento dos processos críticos, é possível encontrar as funções indesejadas dos mesmos. O Quadro 1 apresenta as funções indesejadas em cada uma das situações.

Quadro 1 – Funções indesejadas dos processos estudados

Unidade de análise	Processo (s)	Função indesejada
<b>Usina – UFSM</b>	Recepção de matérias-primas	Água excessiva na lavagem de caixas (528 m <sup>3</sup> /ano)
	Pasteurização do leite cru	Água perdida no processo (Figura 3) – 4.752 m <sup>3</sup> /ano
	Pasteurização e caldeira	Perdas de vapor em acessórios ou juntas na tubulação distribuidora (Figura 4)
	Envase (embalagem) de queijos	Perdas térmicas – falta de isolamento no envase de queijos (Figura 5)
<b>Usina – SETREM</b>	Higienização das instalações	Água excessiva na lavagem dos equipamentos da produção (132 m <sup>3</sup> /ano) – Figura 6
	Pasteurização, envase e iogurte	Água perdida nos processos (Figura 6) – 149,13 m <sup>3</sup> /ano
	Dessoragem	Soro residual não aproveitado (3.168 litros/ano)

Fonte: A autoria própria (2011)

No processo produtivo, constatou-se que a água é um recurso reutilizável. Adicionalmente, o soro gerado na fabricação do queijo também é um recurso não utilizado e reaproveitável, denominado recurso de substância (CARVALHO, 2007). Vapor e energia térmica também são recursos de substância, e suas perdas poderiam ser minimizadas

Por meio das funções indesejadas, elaborou-se a idealidade, onde a situação ideal é a inexistência de: consumo de água; consumo de energia térmica e de vapor, e; geração de soro.

Entretanto, considerando que essas situações ainda são utópicas, uma vez que, nos casos estudados, não se pode – ainda – higienizar as instalações sem uso de água, resfriar e/ou congelar os produtos sem consumo de energia térmica, aquecimento sem utilização de vapor e produção de queijo sem a geração de soro, propõe-se soluções que minimizem o consumo dos recursos citados.

Dessa maneira é que se gera o Resultado Final Ideal (RFI) para os problemas detectados, expostos no Quadro 2.

Quadro 2 – Resultado Final Ideal (RFI) para as funções indesejadas

Unidade de análise	Função indesejada	Resultado Final Ideal (RFI)
Usina – UFSM	Água excessiva na lavagem de caixas (528 m <sup>3</sup> /ano) – Recepção de matéria-prima	Redução no consumo de água para lavagem de caixas e produtos na recepção
	Água perdida no processo (Figura 3) – 4.752 m <sup>3</sup> /ano – Pasteurização do leite	Reaproveitamento por completo da água perdida
	Perdas de vapor em acessórios ou juntas na tubulação distribuidora (Figura 4) – Pasteurização do leite e Caldeira	Minimização das perdas nos locais observados
	Perdas térmicas – falta de isolamento no envase de queijos (Figura 5)	Minimização de perdas de calor no setor
Usina – SETREM	Água excessiva na lavagem dos equipamentos da produção (132 m <sup>3</sup> /ano) – Figura 6	Redução no consumo de água para higienização, utilizando-se de alta pressão
	Água perdida nos processos (Figura 6) – 149,13 m <sup>3</sup> /ano	Reaproveitamento da água perdida nos processos
	Soro residual não aproveitado (3.168 litros/ano) – Dessoragem (queijo)	Utilização do soro residual como matéria-prima para outros processos relativos à indústria de laticínios

Fonte: Autoria própria (2011)

Desse modo, por meio dos RFI elaborados, pode-se partir para a busca de oportunidades de PML nas situações descritas.

## 5.2. Levantamento de oportunidades de PML

Depois de organizados os RFI de cada um dos problemas, parte-se para a elaboração de estratégias de eliminação e/ou minimização dos mesmos. Com isso, realizou-se a última etapa desta pesquisa, a geração de oportunidades PML. Os resultados deste levantamento se encontram no Quadro 3.



Quadro 3 – Propostas de solução inventiva para cada RFI elaborado

Unidade de análise	Resultado Final Ideal (RFI)	Proposta de solução
Usina – UFSM	Redução no consumo de água para lavagem de caixas e produtos na recepção	Aquisição de equipamento para lavagem automática de caixas. Possibilidade de redução no consumo de água
	Reaproveitamento por completo da água perdida	Sistema de tubulação com bomba (2 CV) e reservatório de água (10.000 l) para reutilização da água no processo
	Minimização das perdas de vapor nos locais observados	Implantação de um programa de manutenção corretiva, preventiva e preditiva para manter as conexões e instalações em bom estado de uso
	Minimização de perdas de calor no setor	Instalação de porta “vai-e-vem” em aço e PVC flexível
		Instalação de cortinas de PVC flexível
		Fechamento da janela basculante existente com alvenaria
		Substituição da janela basculante por janela com isolamento térmico
Usina – SETREM	Redução no consumo de água para higienização, utilizando-se de alta pressão	Aquisição de lavadora de alta pressão
	Reaproveitamento da água perdida nos processos	Sistema de tubulação com bomba (2 CV) para reutilização da água no processo
	Utilização do soro residual como matéria-prima para outros processos relativos à indústria de laticínios	Alimentação de suínos (BERTOL, GOMES e SILVA, 1993; ZARDO e LIMA, 1999; CERDAN e SAUTIER, 2003; LIZIEIRE e CAMPOS, 2006)
		Fabricação de bebida láctea (MENEZES, 2011)
		Fabricação de doce de leite (MORAES <i>et al.</i> , 2009)
		Fabricação de pão de forma (CALDAS, 2008)
		Fabricação de ricota (CHAVES, CALLEGARO e SILVA, 2010)
Fabricação de sorvete (SILVA e BOLINI, 2006)		

Fonte: Autoria própria (2011)

Desse modo, ressaltam-se as diversas opções disponíveis que podem ser analisadas para posterior implantação. Técnica e ambientalmente, as propostas são viáveis, necessitando-se, previamente, de análise econômica para se conhecer qual a proposta mais atrativa para posterior implantação pelas unidades de análise em questão.

## **5. Considerações finais**

Este trabalho teve como objetivo a utilização da Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ) na identificação de oportunidades de PML nas empresas estudadas, visando o direcionamento na busca de práticas sustentáveis.

Através da pesquisa, foi possível observar a importância de conceitos da TRIZ na resolução de problemas relacionados à PML, principalmente no que se refere à procura de oportunidades a serem estudadas.

Os conceitos de idealidade e recursos mostraram-se relevantes na geração de alternativas para os problemas (funções indesejadas) encontrados. O conceito de função indesejada mostrou-se importante para orientar as equipes envolvidas quanto às situações prejudiciais ocorrentes na produção. Com isso, foram priorizados os problemas relacionados ao processo de beneficiamento do leite e derivados em ambas as empresas. Em seguida, possibilitou-se aplicar o conceito de recursos, relevante para conhecer o ambiente e os recursos ainda não utilizados nas unidades de análise pesquisadas.

Com base nos conceitos aplicados, foi possível elaborar o Resultado Final Ideal (RFI) em cada uma das situações abordadas neste trabalho, sendo uma etapa significativa para a elaboração das oportunidades de solução inventiva para os problemas encontrados. Percebeu-se, adicionalmente, que foi encontrada maior quantidade de oportunidades relacionadas ao reaproveitamento do soro gerado na fabricação do queijo. Dentro desse contexto foi possível, também, aplicar o princípio da TRIZ o qual afirma que todos os problemas já foram resolvidos, de alguma forma, no passado. Através da literatura, encontraram-se diversas aplicações do referido subproduto, possibilitando a usina SETREM estudar qual a alternativa mais tangível às suas condições técnicas e financeiras.

Além disso, a TRIZ auxilia, essencialmente, na sistematização do processo de criatividade e procura por soluções inventivas, organizando os problemas e orientando a busca por ideias já utilizadas no passado e presente, visando melhorias futuras nos sistemas estudados.

Como limitação deste estudo, ressalta-se a não realização de estudos aprofundados de viabilidade econômica das oportunidades encontradas. Considerando-se que o foco desta pesquisa é a identificação de melhorias na produção de lácteos, sugere-se, em estudos futuros, que as oportunidades encontradas sejam estudadas na perspectiva financeira, para as unidades de análise escolhidas nos referidos trabalhos, para que tenham condições de avaliar qual das alternativas é a mais atrativa

economicamente.

Além disso, tratam-se de usinas escolas, que possuem limitações financeiras e porte reduzido. Entretanto, o estudo contribui para melhoria do padrão de gestão ambiental no ramo pesquisado, pois as propostas descritas podem ser replicadas em âmbito regional e nacional, considerando a viabilidade técnica e ambiental das mesmas.

Espera-se que este trabalho possa servir como um guia para a compreensão e aplicação dos conceitos fundamentais e ferramentas básicas da TRIZ em processos produtivos, facilitando o entendimento da metodologia e proporcionando oportunidade de estudos acerca do tema.

Assim, conclui-se que os conceitos da metodologia TRIZ podem oferecer suporte à produção mais limpa (PML), explicitando as funções indesejadas – do ponto de vista ambiental – dos processos, organizando os recursos não aproveitados no sistema e orientando para a idealidade nas situações problemáticas pesquisadas, auxiliando na geração de soluções e posterior tomada de decisão.

## Abstract

Innovation and improved results in production have been essential requirements in the food industry. In parallel, simple and creative ideas contribute for improving enterprises. Thereby, this paper aims to investigate cleaner production (CP) opportunities through the Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ), searching for critical points in small dairy industries production. To perform the survey, it was carried out a qualitative and exploratory research, with a case study in two small dairy plants in Rio Grande do Sul (RS). The results show several CP opportunities in the studied cases, mainly in wastewater and whey loss in the production processes. Thus, it was concluded that the TRIZ's concepts were important in organizing the creative process, clarifying the definition of the problems encountered and, ultimately, in the pursuit for inventive solutions.

**Key-words:** cleaner production, TRIZ, dairy industry, process improvement.

## Referências

- BARROS, A. I. S.; LEHFELD, N. A. S. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 3. ed. São Paulo: Pearson Makron Books, 2007.
- BERLIN, J.; SONESSON, U.; TILLMAN, A. M. A life cycle based method to minimise environmental impact of dairy production through product sequencing. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 4, p. 347-356, 2007.
- BERTOL, T. M.; GOMES, J. D. F.; SILVA, E. D. Soro de leite integral na alimentação de suínos em crescimento e terminação. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 22, n. 6, p. 993-1002, 1993.
- BRUM, L. F. W.; SANTOS JÚNIOR, L. C. O.; BENEDETTI, S. Reaproveitamento de Água de Processo e Resíduos da Indústria de Laticínios. In: INTERNACIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 2, 2009, São Paulo. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/second/files/sessoes/4a/5/L.%20F.%20W.%20Brum%20-%20Resumo%20Exp.pdf>. Acesso em: 19 mai. 2011.
- CALDAS, M. C. S. **Aproveitamento de soro de leite na elaboração de pão de forma**. 2008. 67f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.
- 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. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE

- PRODUTO, 2, 2001, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <http://www.decarvalho.eng.br/macartigoiiicbgdp.pdf>. Acesso em: 10 jun., 2011.
- CARVALHO, M. A.; FERREIRA, C. V. A TRIZ e sua Utilização no Processo de Desenvolvimento de Produto. In: OLIVEIRA, J. F. G.; GUERRINI, F. M.; AMARAL, D. C. (Org.) **Gestão do Ciclo de Vida dos Produtos**. Jaboticabal: Novos Talentos, 2005, cap. 13, p. 181-194.
- 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: 10 jul. 2011.
- CERDAN, C. T.; SAUTIER, D. Sistemas de intermediação e valorização econômica dos produtos. In: SABOURIN, E.; CARON, P. Camponeses do sertão. **Mutação das agriculturas no Nordeste do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 179-200, 2003.
- CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; SILVA, R. **Metodologia Científica**. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.
- CHAVES, K. F.; CALLEGARO, E. D.; SILVA, V. R. O. Utilização do soro de leite nas indústrias de laticínios da região de Rio Pomba-MG. In: CONGRESSO NACIONAL DE LATICÍNIOS, 27, 2010, Juiz de Fora-MG. **Anais eletrônicos...** Disponível em: [http://www.cnlepamig.com.br/anais/img/trabalhos\\_cnl/poster/043.pdf](http://www.cnlepamig.com.br/anais/img/trabalhos_cnl/poster/043.pdf). Acesso em: 15 ago., 2011.
- CHEN, J. L.; LIU, C. An eco-innovative design approach incorporating the TRIZ method without contradiction analysis. **The Journal of Sustainable Product Design**, v. 1, n. 4, p. 263-272, 2001.
- COUTINHO, J. P.; RODRIGUES, L. B.; SILVA, C. A. Implantação de uma estratégia para reaproveitamento do óleo de fritura residual em um restaurante industrial. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 16, 2009, Bauru. **Anais eletrônicos...** Disponível em: [http://www.simpep.feb.unesp.br/anais\\_simpep.php?e=4](http://www.simpep.feb.unesp.br/anais_simpep.php?e=4). Acesso em: 24 jun. 2011.
- DEMARQUE, E. **TRIZ – teoria para a resolução de problemas inventivos aplicada ao planejamento de processos na indústria automotiva**. Trabalho de conclusão de curso do mestrado profissionalizante. Engenharia Automotiva. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA EM AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Ranking da Produção Anual de Leite por Estado no Brasil – 2007**. Disponível em: <http://www.cnpgl.embrapa.br/>. Acesso em: 27 jul. 2011.
- FISHER, P. M. J.; SCOTT, R. Evaluating and controlling pharmaceutical emissions from dairy farms: a critical first step in developing a preventative management approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, n. 14, p. 1437-1446, 2008.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Produção mundial de leite – 2008**. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/569/DesktopDefault.aspx?PageID=569#ancor>. Acesso em: 27 jul. 2011.
- FREITAS, P.; RIBAS, L. Gestão ambiental em uma empresa de laticínios de Toledo, Paraná: um estudo de caso. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 15, 2008, Bauru. **Anais eletrônicos...** Bauru: Unesp, 2008. Disponível em: [http://www.simpep.feb.unesp.br/anais\\_simpep.php?e=2](http://www.simpep.feb.unesp.br/anais_simpep.php?e=2). Acesso em: 24 jun. 2011.
- 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**, v. 18, n. 2, p. 128-136, 2010.
- HAIR, J. F. P. J.; BABIN, B.; MONEY, A. H.; SOMOUEL, P. **Fundamentos de métodos de pesquisa em administração**. São Paulo: Bookman, 2005.
- HOCKERTS, K. **Eco-efficient service innovation**: increasing business – ecological efficiency of products and services, in charter. In: Greener M, editor. Marketing: a global perspective on greener marketing practice. Sheffield, UK: Greenleaf Publishing, p. 95–108, 1999.
- JANTSCHGI, J.; MANN, D. Fostering methodical Product – and Process – Development by Combining TRIZ-Tools and Sustainable Development. **TRIZ Journal**, v. 2, n. 4, 2005. Disponível em: <http://www.triz-journal.com/archives/2005/02/04.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2011.
- JONES, E.; MANN, D. An eco-innovation case study of domestic dishwashing through the application of TRIZ tools. **Creativity and Innovation Management**, v. 10, n. 1, p. 3-14, 2001.

- KOBAYASHI, H. A systematic approach to eco-innovative product design based on life cycle planning. **Advanced Engineering Informatics**, v. 20, n. 2, p. 113-125, 2006.
- 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. In: 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](http://www.simpep.feb.unesp.br/anais_simpep.php?e=5). Acesso em: 22 jun. 2011.
- LAURINDO, F. J. B.; ROTONDARO, R. G. **Gestão integrada de processos e da tecnologia da informação**. São Paulo: Atlas, 2006.
- 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**, v. 11, p. 439-444, 2001.
- LIZIEIRE, R. S.; CAMPOS, O. F. Soro de queijo “in natura” na alimentação do gado de leite. **Instrução técnica para o produtor de leite**. 2ª Edição. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2006. Disponível em: <http://www.cileite.com.br/sites/default/files/44Instrucao.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2011.
- MALKIN, S.; MALKIN, A. **Eureka on Demand**. Ideation International Inc. 2003. Disponível em: <http://www.ideationtriz.com>. Acesso em: 20 ago. 2011.
- MEDEIROS, D. D.; CALÁBRIA, F. A.; SILVA, G. C. S.; SILVA FILHO, J. C. V. Aplicação da Produção mais Limpa em uma empresa como ferramenta de melhoria contínua. **Revista Produção**, v. 17, n. 1, p. 109-128, 2007.
- MENDES, L. Gestão ambiental, custo ou benefício para a micro e pequena empresa: um estudo de caso no setor de laticínios. VI SEMEAD – Seminários em Administração, 6., 2003, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: USP, 2003. Disponível em: <http://www.ead.fea.usp.br/Semead/6semead/index.htm>. Acesso em: 15 jun. 2011.
- MENEZES, A. C. S. **Desenvolvimento de bebida láctea fermentada à base de soro de leite e polpa de cajá (Spondias mombin L.) com potencial atividade probiótica**. 2011. 106f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011.
- MORAES, A. H.; RUSTICK, A.; ROBERTI, E.; BRATZ, R.; STEIN, M. Desenvolvimento de projeto para um novo produto: doce de leite com soro de leite e amendoim torrado. In: SALÃO DE PESQUISA SETREM, 7, Três de Maio. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <http://sites.setrem.com.br/saps/2009/index.html>. Acesso em: 16 ago., 2011.
- NGUYEN, M. H.; DURHAM, R. J. Status and prospects for cleaner production in the dairy food industry. **Australian Journal of Dairy Technology**, v. 59, n. 2, p. 171-173, 2004.
- ÖZBAY, A.; DEMIRER, G. N. Cleaner production opportunity assessment for a milk processing facility. **Journal of Environmental Management**, v. 84, n. 4, p. 484-493, 2007.
- RIGHETTI, C. C.; RODRIGUES, I.; FACÓ, J. F. B.; SAKURAMOTO, J. C. B. Estratégias de Gestão Ambiental nas Empresas: um Estudo de Caso sobre o Papel Reciclado. In: ENCONTRO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO, 29, Brasília. **Anais eletrônicos...** Brasília: Unb, 2005. Disponível em: [http://www.anpad.org.br/evento.php?acao=trabalho&cod\\_edicao\\_subsecao=30&cod\\_evento\\_edicao=9&cod\\_edicao\\_trabalho=160](http://www.anpad.org.br/evento.php?acao=trabalho&cod_edicao_subsecao=30&cod_evento_edicao=9&cod_edicao_trabalho=160). Acesso em: 28 jun. 2011.
- SILVA, D. J. P. **Diagnóstico do consumo de água e da geração de efluentes em uma indústria de laticínios e desenvolvimento de um sistema multimídia de apoio**. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.
- SILVA, K.; BOLINI, H. M. A. Avaliação sensorial de sorvete formulado com produto de soro ácido de leite bovino. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 1, p. 116-122, 2006.
- SILVA, M. A.; QUEIROZ, R. F. M.; CELESTINO, J. E. M.; MATTOS, K. M. C. Gerenciamento dos resíduos como ferramenta para uma produção mais limpa no ramo de panificação. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 16, Bauru. **Anais eletrônicos...** Bauru: Unesp, 2009. Disponível em: [http://www.simpep.feb.unesp.br/anais\\_simpep.php?e=4](http://www.simpep.feb.unesp.br/anais_simpep.php?e=4). Acesso em: 20 jun. 2011.
- THRANE, M.; NIELSEN, E. H.; CHRISTENSEN, P. Cleaner production in Danish fish processing – experiences, status and possible future strategies. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 3, p. 380-390, 2009.

UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME – UNEP. **Changing production patterns: Learning from the experience of national cleaner production centers.** Paris: United Nations Publication, 2002.

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**, v. 19, n. 9-10, p. 998-1006, 2011.

ZARDO, A. O.; LIMA, G. J. M. M. Alimentos para suínos. **Boletim Informativo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA – e Emater/RS**, 1999. Disponível em: <http://www.suinocturaindustrial.com.br/PortalGessulli/AppFile/Material/Tecnico/alimentosuino.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2011.

### **Dados dos autores:**

Nome completo: Flávio Issao Kubota

Filiação institucional: Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

Departamento: Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas (DEPS)

Função ou cargo ocupado: Mestrando – bolsista CAPES

Endereço completo para correspondência (bairro, cidade, estado, país e CEP): Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Centro de Tecnologia, UFSM, Campus Camobi, Bairro Camobi, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil, CEP 97105-900

Telefones para contato: (55) 3220-8442

*e-mail:* [flavioissao.kubota@gmail.com](mailto:flavioissao.kubota@gmail.com)

Nome completo: Leandro Cantorski da Rosa

Filiação institucional: Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

Departamento: Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas (DEPS)

Função ou cargo ocupado: Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

Endereço completo para correspondência (bairro, cidade, estado, país e CEP): Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Centro de Tecnologia, UFSM, campus Camobi, Bairro Camobi, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil, CEP 97105-900

Telefones para contato: (55) 3220-8442

*e-mail:* [leski78@hotmail.com](mailto:leski78@hotmail.com)

### **3.3 Identification and conception of cleaner production opportunities by Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ)**

Artigo submetido ao periódico Journal of Cleaner Production (formatado conforme recomendado pelo periódico).

**Identification and conception of cleaner production opportunities by Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ)**

**Flávio I. Kubota<sup>a,\*</sup>, Leandro Cantorski da Rosa<sup>a</sup>**

<sup>a</sup> Industrial Engineering, Federal University of Santa Maria. Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brazil.

[flavioissao.kubota@gmail.com](mailto:flavioissao.kubota@gmail.com); [leski78@hotmail.com](mailto:leski78@hotmail.com)

\* To whom correspondence should be addressed

**Abstract**

The search for innovative solutions, aligned with the growing need for cleaner industrial operations, is a process of problem solving. In addition, we emphasize that the dairy industry has significant importance to the regional, national and global economy, since Brazil is one of the largest milk producers, while Rio Grande do Sul is one of the three largest producers (inside Brazil). Thus, this study used the Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ) as a support tool in solving problems related to cleaner production (CP), identifying and developing opportunities within the dairy industry, serving as an innovative tool to search higher environmental efficiency. The research involved three companies of different sizes and characteristics, and was based on the TRIZ fundamental concepts and tools (functional analysis), aiming to detect the critical processes in the industries, detailing the features that influence the quality of the processes studied. Results show that TRIZ can be an alternative to be considered in resolving related CP problems, especially when companies have a scarcity of available data. Also, we highlight the necessity for the stage of feasibility analysis, since TRIZ does not have this phase within their methodology. The proposals are attractive both technically, environmentally and economically, meeting the needs of the companies studied. Hence, we concluded that the TRIZ/CP integration is effective in generating opportunities for inventive and sustainable solutions.

**Keywords:** TRIZ; Cleaner Production; Dairy Industry; Productive Processes.



## 1. Cleaner production in dairy industry

Food industry is constantly searching for innovation and better results in processes and final products, considering the high competition and more demanding clients. Also, the search for better environmental practices are being requested by stakeholders, since greater part of the resources used on productive processes is not renewable (KUBOTA, SILVA FILHO and ROSA, 2010; KUBOTA, BOLZAN and ROSA, 2011).

In this sector, dairy industry stands out due to its high impact on international, Brazilian and gaúcho economy. Data from Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) highlight Brazil as the fifth cow milk producer in the world, producing 29.112 millions of tons in 2009 (FAO, 2011), corresponding to 5% of worldwide production. At a national perspective, according to Brazilian Enterprise of Agricultural Research (EMBRAPA), Rio Grande do Sul (RS) is the second Brazilian State on milk production, with an average of 3.460 millions of liters (l) produced between 2008 and 2010 (EMBRAPA, 2011), totalizing 12% of national production on period.

In relation to environmental impacts from dairy industry, Machado *et al.* (2001) say that exists generation of effluents, wastes and emissions which can affect the environment. Industrial effluents are liquid wastes from various activities, which contain milk and milk products, detergents, cleaning products, disinfectants, sand, lubricants, sugar, essences and various condiments that are diluted on cleaning water for equipments, tabulations, floor and other facilities (MACHADO *et al.*, 2001).

Cleaner production (CP) is an important tool which, since its creation, has assisting considerably on sustainable development of society. Özbay and Demirer (2007) affirm that CP is a preventive strategy towards minimization of production/process environmental impacts, besides it offers new opportunities of optimization and business savings. Compared to other “end-of-pipe” approaches, CP technologies and techniques use raw material, energy and other inputs more efficiently, produce less waste and residues, facilitating reuse and recycling of resources and facilitate waste management (ÖZBAY and DEMIRER, 2007).

CP is accomplished through the know-how application, improving Technologies and changing work attitudes (RIVERA *et al.*, 2009), this last one, more known as good housekeeping. It is believed that CP implementation can bring relevant benefits to dairy industry, because this sector have significant source of contaminants, and however, a limited

quantity of studies on the literature about CP applied to dairy plants (NGUYEN and DURHAM, 2004).

Hence, this study solved problems related to cleaner production in dairy industry, through concepts and tools originated from the Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ), aiming sustainable, innovative and attractive solutions. In the next section, information about TRIZ methodology, as well the motivation of its application as support within CP strategy, are presented.

## **2. TRIZ**

### **2.1. History and implementation strategy**

Search for innovative and creative solutions is a process of problem solving. Even the industrial processes, when studied and implemented (or incremented), are ways to solve a problem during the development of products/processes/services.

Genrich Altshuler, born in 1926 in former Soviet Union, served as consultant in the Navy in 1940 to support inventors on the process of invention patenting. Altshuler is considered the creator of the Theory of Inventive Problem Solving, generally known as TRIZ, originated from the Russian terms: *Teorija Rezhenija Izobretatel'skisch Zadach* (BACK *et al.*, 2008). The same authors confirm that this work, started in 1946, led Altshuler to research methods of problem solving, and identified that the existing intuitive methods at the time did not meet the requirements of the 2<sup>nd</sup> half of the 20<sup>th</sup> Century's inventions.

Zhang and Shang (2010) say that TRIZ is considered as a kind of innovative theory, which essentially works in solving contradictions. The methodology, based on evolution of technical systems, is composed of various types of methods and tools, calculations in aspects of solving technical problems and innovative exploration, according as the comprehension of the problem (ZHANG e SHANG, 2010). Furthermore, TRIZ has been applied in various fields of knowledge (CARVALHO and BACK, 2001; CARVALHO and FERREIRA, 2005; ZHANG and SHANG, 2010).

In addition, TRIZ has several concepts and tools, which provide systematic approaches and general principles to model and analyze problems, engender creative ideas, and forecast trends of evolution if a system or project (more details can be seen in Carvalho (2007) and Zhang, Mao e Abourisk (2009)). This research addressed the fundamental concepts of

ideality, Ideal Final Result (IFR) and resources (section 2.1.1), in addition to the functional analysis (section 2.1.2).

Classical TRIZ, developed by Altshuler and his employees, is composed of methods to formulate and solve problems, a knowledge basis and laws of evolution for technical systems (CARVALHO and BACK, 2001). In general, TRIZ is applied as follows: an inventive problem is reformulated in a TRIZ's generic problem. Posteriorly, TRIZ's tools are introduced to analyze and propose a general solution based on TRIZ to, finally, formulate a generic solution, which should be interpreted to solve a specific inventive problem (CARVALHO, 2007; YANG and CHEN, 2011). Figure 1 illustrates this process.

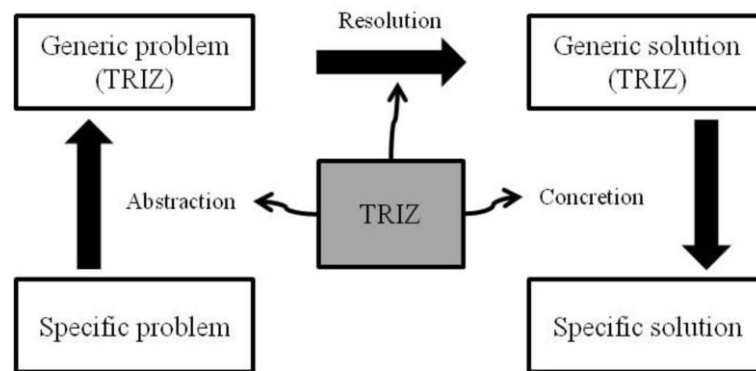


Figure 1 – TRIZ Methodology (STRATTON e MANN, 2003; SRINIVASAN e KRASLAWSKI, 2006; CARVALHO, 2007; LI e HUANG, 2009; KIM *et al.*, 2011; AHMED *et al.*, 2011; NOVOA *et al.*, 2011; YANG e CHEN, 2011)

TRIZ applications to the design products towards cooperative sustainability and eco-efficiency related problems are documented in the literature, but rare (CHEN and LIU, 2001; KOBAYASHI, 2006). Also, explicit use of TRIZ within CP was not registered until nowadays, according to Fresner *et al.* (2010). In Brazil, Carvalho and Ferreira (2005) found that the adoption of TRIZ by Brazilian enterprises has found an additional difficulty, when compared to foreign enterprises, which is the scarcity of teaching materials and TRIZ examples in Portuguese. However, authors affirm that its use is growing worldwide on the last decade and, in Brazil, there are efforts to disseminate the methodology from academia to industry.

Large companies such as Procter & Gamble, Ford Motor Company, Boeing, Phillips Semiconductors, Samsung and LG have been applying TRIZ (FRESNER *et al.*, 2010), whilst, in Brazil, organizations like National Service of Industrial Apprenticeship (SENAI), Brazilian Support Service to Micro and Small Enterprises (SEBRAE) and Parana Institute of

Technology (TECPAR) have been established initiatives to diffuse TRIZ in small and medium enterprises (CARVALHO and FERREIRA, 2005).

To understand the methodology, it is important the clear understanding of its fundamental concepts, which are: ideality, resources and contradiction. In this study, we used only the first two concepts (ideality and resources).

### 2.1.1. Fundamental concepts – Ideality and resources

Ideality is the ratio between desired functions and unwanted functions of the system (CARVALHO and BACK, 2001; CARVALHO and HATAKEYAMA, 2003; FRESNER *et al.*, 2010). Still, the ideality equation is aimed at the direction of success, with greater benefits and lower costs and damages (JANTSCHGI and MANN, 2005). As say Yang and Chen (2011), the ideal system (utopian) only performs desired functions, using all possible resources. Finally, TRIZ method interprets ideality as the starting point for solving a problem, avoiding, as much as possible, the process of trial and error to find solutions.

Nevertheless, defining what is desirable and undesirable can vary according to the analyst's perspective or the problem analyzed conditions. Malkin and Malkin (2003, cited by DEMARQUE, 2005) summarize this, saying that ideality varies according to each situation. Condition that motivates the development and definition of the Ideal Final Result (IFR), equivalent to local ideality, which helps, clearly, to define the limits of the problem, inhibiting non-ideal solutions, avoiding trade-offs and urging the creation of innovative concepts, as well expresses the expected result for the problem under study (DEMARQUE, 2005).

Resources are elements of the system which still were not used for desirable functions on the system (CARVALHO and BACK, 2001; CARVALHO and FERREIRA, 2005; CARVALHO, 2007). In the literature, there are several examples of application of this concept, always aiming to imitate Nature, major reference in use of natural resources.

### 2.1.2. Functional Analysis

Functionality corresponds to use of functions to formulate problems and search solutions (CARVALHO and FERREIRA, 2005). Utilization of functions is not TRIZ's exclusivity. However, TRIZ's function analysis considers the harmful functions in the problem formulation (CARVALHO and FERREIRA, 2005), action which enables the prioritization

and ranking in the search for improvements in studied product, process or service. Functional analysis consists to connect each system's element through interactions (CARVALHO, 2007). Athwart function analysis, it is possible modeling a technical system as a system composed of components and functions. A function is "an activity, by which one component of a system changes a property of another component" (FRESNER *et al.*, 2010, p. 130). In addition, the same authors argue that this function modeling literally opens up the black box models of process steps normally used in CP. That is, exposes all the process functions.

## 2.2. TRIZ/CP

During their research, Fresner *et al.* (2010) found that the eight principles from the TRIZ Laws of Evolution have similarities and some correspondence with CP. Authors, moreover, related the Laws of Evolution to CP strategy through practical examples, which were entered in a relationship matrix (more details are available in Fresner *et al.*, 2010).

Li, Rong e Kraslawski (2001), for example, proposed the integration of TRIZ within thermodynamic analysis, in order to replace two equipments in the distillation sector of an industry. Results obtained, using the methodology, contributed to the preparation of detailed flowcharts about the ideal process, and for the conclusion that exchange of equipments should reduce steam consumption in 23,7% and 27,7%, respectively. Li *et al.* (2003) used the conflict/contradiction analysis (derived from TRIZ) to minimize wastewater in industrial processes, and found effective results on the treatment of conflicts among the objectives to identify potential alternatives of pollution prevention.

In another approach, Srinivasan and Kraslawski (2006) developed solutions towards improvement of chemical process safety, modifying and validating a new TRIZ approach for the needs of the studied field. Still related to chemical processes, Fresner *et al.* (2010) sought for alternatives to eliminate rinsing water on the pickling process in a chemical plant. Through "trimming" and function analysis, researches pursued and found the Ideal Final Result for the process and, posteriorly, ideas to reach the IFR.

Therefore, we observed that TRIZ has potential to be further explored in the development and improvement of processes, since function analysis, along with "trimming" and subsequent generation of the IFR, allows a complete process mapping, as well clarifies all wanted and unwanted functions of the process under study, serving, hence, as a director in the pursuit of productive process optimization, bringing, consequently, continuous improvement focused on

innovation (KUBOTA and ROSA, 2011). Features found in the relationship between TRIZ/CP are raised by the authors, as follows in Figure 2.

Lastly, TRIZ is considered a promising methodology, because many designers face ecodesign/economical growing relation as a contradiction (LUTTROP and LAGERSTEDT, 2006). However, TRIZ/ecodesign integration helps designers to maximize resource use of a system to accomplish the development objectives of a novel product with lower cost and without unwanted effects (SERBAN *et al.*, 2005; LUTTROP and LAGERSTEDT, 2006).

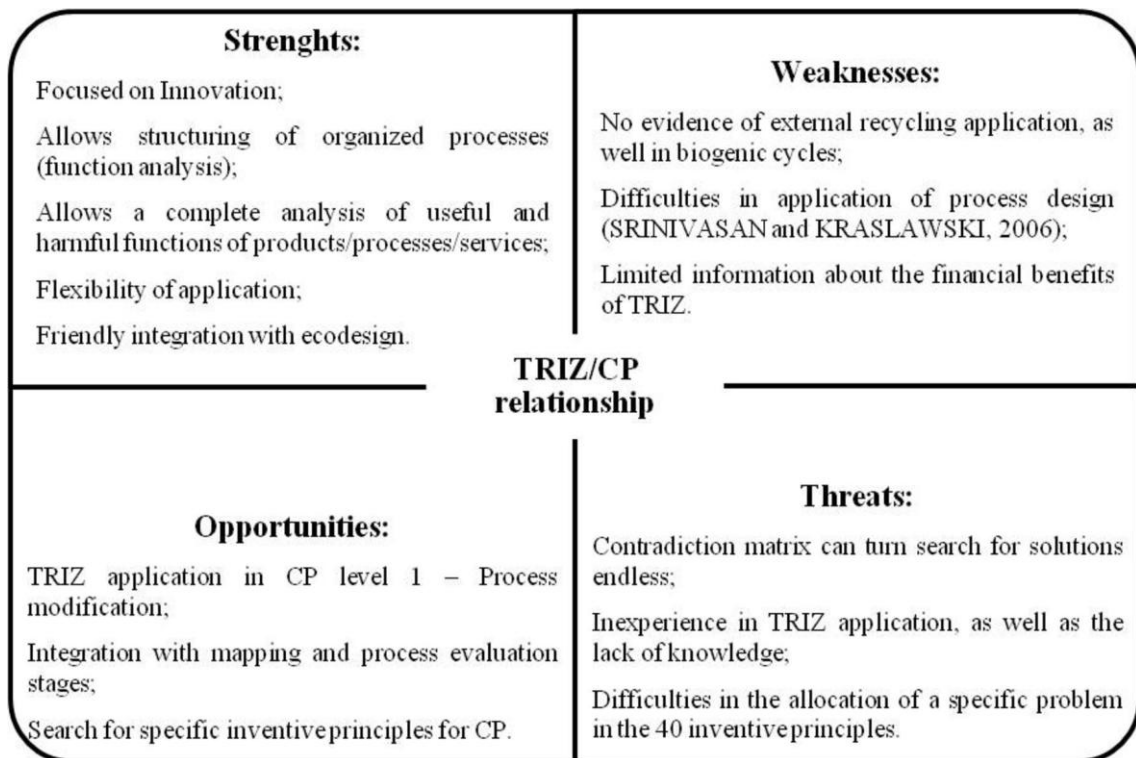


Figure 2 – Evidence about TRIZ application on CP (KUBOTA e ROSA, 2011)

### 3. Material and methods

#### 3.1. Characterization of Research's cases

The study was conducted in three separate companies. The first company (called Case 1) is located in the central region of the State of Rio Grande do Sul (RS), situated in southern Brazil, and was initially selected to do a pilot test, while Case 2 and Case 3 are located in the northwest region of the State, which were selected due to economic relevance of the region in State's dairy production (EVANGELISTA *et al.*, 2006). First and second industries have similar characteristics, because of their reduced production and higher financial restraints for

investments. Respectively, have processing capacity of 3.960.000 liters/year and 105.600 liter/year. The third company has 11.520.000 liter/year of process capacity.

### **3.2. Data collection and analysis techniques**

Information searches, data collection and analysis were performed through literature review, technical visits (with non-participant observation, measurements, calculations and estimates of environmental losses found), semi-structured interviews and other available data (flowchart, print and electronic spreadsheets) provided by companies.

Theoretical framework was important not only for study of the referred field (dairy industry), but also to find, previously, CP opportunities on the sector. The technical visits had the intention to apply the research, being carried out available data analysis, measurements at process steps with unwanted functions, and subsequent calculation of annual estimate losses. At this stage, there were limitations regarding data availability by companies, justifying, thereby, the measurements.

Interviews were conducted with employees who work directly in production. Aspects such as the functioning of processes, inputs, outputs, and losses were asked for a better understanding of the productive process. Data provided by industries are related to their own production, as well as consummation expenditure of equipment, water and other raw materials. About the sequencing and operation, the research occurred as described on section 3.3.

Financial figures were estimated and calculated based on data provided by enterprises and the flowcharts were developed by the authors. For economic calculations, we used the following indicators, in this order: Net Present Value (NPV), Annualized Net Present Value (ANPV), Benefit-Cost Index (BCI), Additional Return on Investment (ARI), Internal Rate of Return (IRR) and payback (SOUZA and CLEMENTE, 2009). It is noteworthy mention that we considered as Minimum Rate of Attractiveness (MRA) the value of 12% (BRAZIL, 2011), equivalent to the average of the Special System of Settlement and Custody Rate (SELIC) by the time of projections fulfillment. The exception is the analysis of the reuse of whey (Case 2), where the savings estimate was based on using the byproduct along with swine feed (more detailed in section 4.2).

As for water consumption account, we considered the values currently in effect under Riograndense Company of Sanitation (CORSAN, 2011). To convert Brazilian values (reals – R\$) in American dollars (US\$), we used current quotes from Brazilian Central Bank website

(<http://www.bcb.gov.br>) by the time of study was conducted (1 U\$ = R\$ 1,86). And finally, to ensure viability of the projects, we carried out a sensitivity analysis, involving the variables used in economic feasibility calculation.

### 3.3. Steps description

**Process selection:** through technical visits, it was possible to comprehend its operation and observe the processes, formulate flowcharts and select those processes with higher waste (water, energy, emissions, raw material, etc.). Thus, we defined the critical points to act;

**Functional analysis:** after selecting the critical processes on previous step, we conducted a functional analysis, in order to map all occurring interactions. Thereby, useful and harmful functions were exposed, along with the responsible for companies. Then, the ideal situation could be prepared;

**Ideality and Ideal Final Result (IFR):** through the ideality concept aligned with useful and harmful functions, we formulated the ideal situation for the problems detected. From this, local ideality was studied, considering the environment, its possibilities and limitations. Guided by these variables, IFR was defined. It is important to note that the IFR is the starting point of problem resolution, instead of starting from the problem;

**Resource analysis:** survey of resources used for none purpose. Search of possibilities of using resources, through literature review, backcasting and studies about the existence of similar cases, proposing solutions applied as well as their feasibility analysis;

**Inventive solution proposals:** starting from IFR, proposals of inventive solution should be generated for each studied situation, by recovering obtained database, aiming the formulation of specific solutions for each problem;

**Feasibility analysis – environmental, technical and economic:** analysis of proposed solutions, aiming to ascertain whether they are feasible (or not) to the organization. Estimate of economic indicators, reduction of negative environmental impact and technical studies of the proposals made were conducted to achieve this step. Also, a sensitivity analysis was carried out to ensure projects viability;

**Information recording:** registration of all pertinent information to the ideation process as well as the lessons learned and peculiarities encountered during the study. Information



recorded here (in this step) are important for learning, as well as to generate a database for future studies in the field.

Flowchart displayed on Figure 3 illustrates the research steps, in a summarized manner.

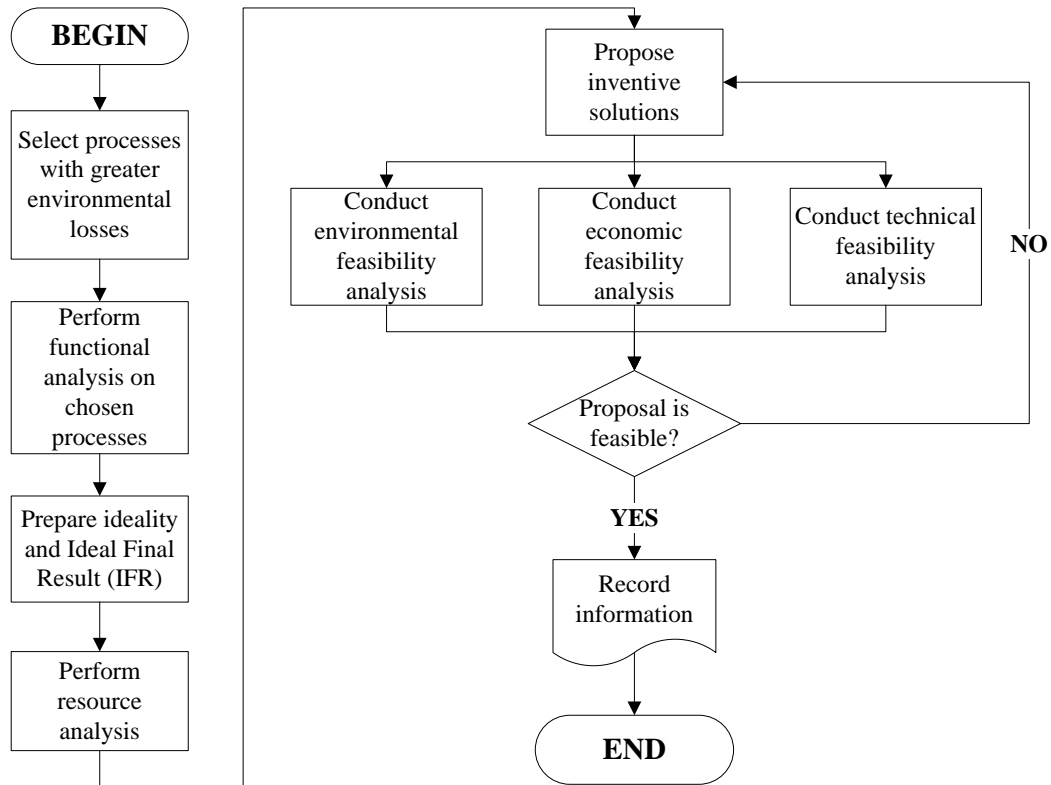


Figure 3 – Flowchart of the developed methodology

#### 4. Results and discussion

Milk processing was observed, mapped and analyzed, where each processing unit was evaluated considering their characteristics and facilities. It was possible to identify improvement opportunities in organizations, through TRIZ fundamental concepts and functional analysis. Figure 4 shows the general operation of a dairy plant, focusing on the studied processes in this research.

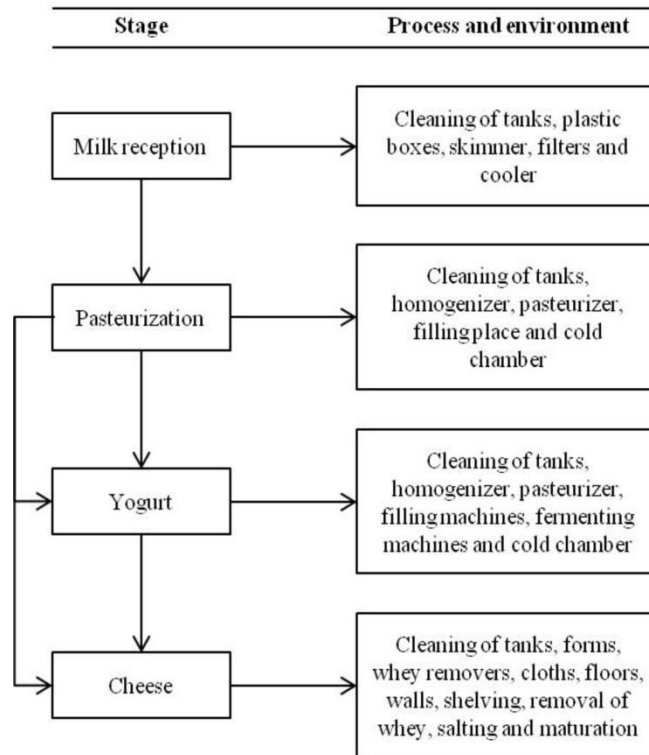


Figure 4 – Global flowchart of milk production (applied from SILVA, 2006)

#### 4.1. Case study 1

Case 1, besides the production of pasteurized Milk (whole and skimmed), there is also the processing of the following products: standard and fresh white cheese, snack cheese, yogurt (natural and strawberry flavors), fresh ricotta and ice-cream (strawberry, cream, chocolate and flakes flavors). The company has six employees, and trainees from undergraduate and postgraduate level. We chose to limit the search in the pasteurized milk production due to its higher environmental losses.

During the monitoring and analysis of production processes, we observed that the greatest loss occurs in pasteurization process. Thus, we carried out a functional analysis of the process (Figure 5) to check desired and undesired functions. The elements which compose the process are, essentially: water, wastewater, heat, energy, plaques (pasteurizer), pests and pasteurized milk.

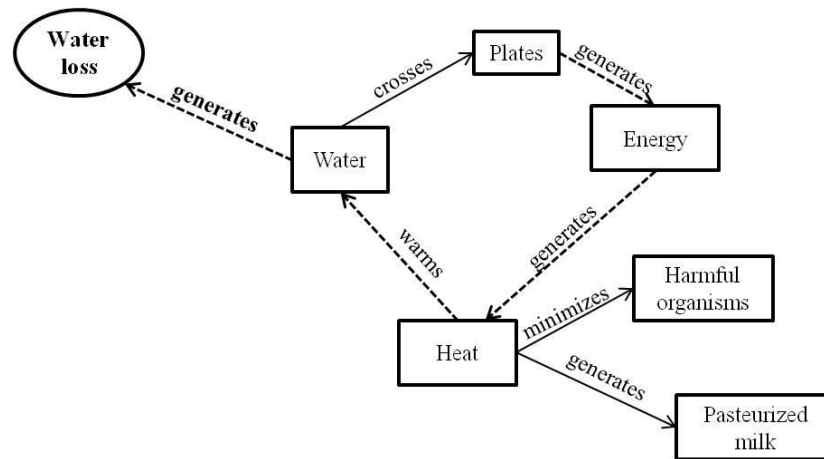


Figure 5 – Function analysis of raw milk pasteurization. Dotted lines: harmful functions; Full lines: useful functions; circulated element: most harmful function to the environment

Harmful function to be prioritized is the wastewater during milk pasteurization. Water, after passing through the plates, is not used for any other function, being dumped on the floor of the production area, in an amount of 4.752 m<sup>3</sup>/year (US\$ 9.963,87/year). Thus, the ideality would be a system that pasteurized milk without any of the harmful functions. However, it is known that this scenery is still utopian, far from being achieved. Therefore, we set up the IFR, which is the absence of water losses in the pasteurization process (Table 1 – adapted model from Carvalho (2007)).

Table 1 – Preparation of the IFR for the raw milk pasteurization

Questions for the IFR	Function “Pasteurize milk”
1) What is the ultimate objective of the system	Eliminate harmful microorganisms in milk.
2) What is the Ideal Final Result (IFR)?	Pasteurization of milk with no wastewater.
3) What prevents the achievement of the IFR?	Drinking water that crosses the plaques of the pasteurizer is lost in the process.
4) Why prevents?	Because the resource (water) is not minimized and/or reused in the system.
5) How make things that prevent the achievement of the IFR disappear?	Reusing wastewater in production processes.
6) What resources are available to help establish the necessary conditions?	Wastewater itself, water tank.
7) Has anyone been able to solve this problem?	Industries which use self-cleaning processes and water reuse in the food industry.

During analysis of available resources in the system and surroundings, we noted that wastewater is an untapped resource. Hence, a wastewater sample was sent for analysis, and results showed that it has bacteriological potability, being possible to reuse in Case 1 production processes. After performed this procedure, the efforts were directed to design a

technical system which provides water reuse in the industry. Figure 6 shows the proposed inventive solution.

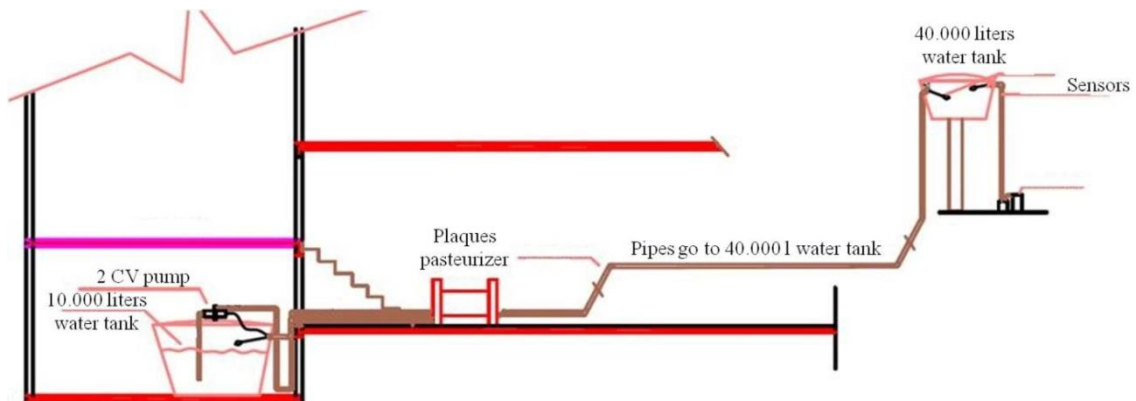


Figure 6 – Cutaway view of the water reuse project in the pasteurization sector

The proposal involves the installation of pipes from the wastewater location (pasteurizer), which will direct the resource for a 10,000 liters capacity fiberglass water tank. This tank will have a sensor which indicates water level, redirecting it when appropriate to the existing 40,000 liters water tank, by a 2 CV pump. In the larger reservoir, a sensor will be installed to indicate need for refueling.

The proposal is technically feasible and attractive, since the system will have no increase in workmanship or additional procedure, and also reduces the risk of occupational accidents, since the floor will be no longer soggy. Environmentally, it will bring benefits related to the complete reuse of wastewater generated in the production process of the plant. Estimated investment for this project is approximately U\$ 1.502,69, and consumption expenditure is projected to U\$ 265,06/year, bringing economical benefits of U\$ 9.698,81/year. Thereby, we made an economic feasibility study to see how attractive the proposal is by calculating the indicators shown in Table 2, and sensitivity analysis (as commented in section 3.2), shown in Table 3.

Considering values exposed on Table 3, it is possible to infer that the project will be profitable even with 30% of variance on investment, receipt or MRA. Thus, we concluded (based on these indicators) that the project is feasible, and it deserves to be considered for implementation.

Table 2 – Economic indicators of inventive solution developed (Case 1)

<b>Indicators</b>	<b>Value</b>
Net Present Value (NPV)	US\$ 50.175,01
Annualized Net Present Value (ANPV)	US\$ 16.519,34
Benefit-Cost Index (BCI)	US\$ 34,39
Additional Return on Investment (ARI)	48%
Internal Rate of Return (IRR)	645%
Payback	0,1549 years

Table 3 – Sensitivity analysis of inventive solution (Case 1). Net Present Value (NPV) variance

<b>Percentage change of variables</b>	<b>Investment (U\$)</b>	<b>Revenue (U\$)</b>	<b>Minimum Rate of Attractiveness (MRA) – %</b>
<b>-30%</b>	\$ 50.625,81	\$34.671,70	\$ 58.089,74
<b>-25%</b>	\$ 50.550,68	\$37.255,58	\$ 56.644,09
<b>-20%</b>	\$ 50.475,54	\$39.839,47	\$ 55.252,24
<b>-15%</b>	\$ 50.400,41	\$42.423,35	\$ 53.911,71
<b>-10%</b>	\$ 50.325,28	\$45.007,24	\$ 52.620,13
<b>-5%</b>	\$ 50.250,14	\$47.591,12	\$ 51.375,27
<b>0%</b>	<b>\$ 50.175,01</b>	<b>\$50.175,01</b>	<b>\$ 50.175,01</b>
<b>5%</b>	\$ 50.099,87	\$52.758,89	\$ 49.017,33
<b>10%</b>	\$ 50.024,74	\$55.342,78	\$ 47.900,35
<b>15%</b>	\$ 49.949,60	\$57.926,66	\$ 46.822,26
<b>20%</b>	\$ 49.874,47	\$60.510,55	\$ 45.781,36
<b>25%</b>	\$ 49.799,33	\$63.094,43	\$ 44.776,01
<b>30%</b>	\$ 49.724,20	\$65.678,32	\$ 43.804,69

## 4.2. Case study 2

Case 2 produces three types of distinct products: pasteurized and whole milk, cheese and yogurt. It consists of three employees: general manager, a production contributor and a trainee. In this industry, we found that the critical problem occurs in the process of whey removal. So, we delimited the study in the cheese manufacturing. The by-product generated (whey) is discarded (Figure 7), bringing a negative environmental impact on the region. Whey has nutrients and features that allow its use as raw material for processing other dairy products.

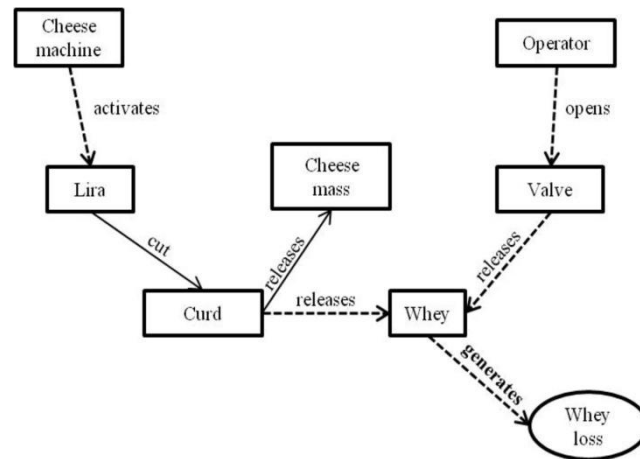


Figure 7 – Functional analysis of whey removal from curd (cheese production). Dotted lines: harmful functions; full lines: useful functions; circulated element: most harmful function to the environment

Ideality would be the inexistence of whey in cheese fabrication. Nevertheless, this is not a possible situation, so IFR, in this case, is an action of CP internal recycling, which is using whey as raw material for other products that have this by-product in composition (Table 4). At this stage, we emphasize the importance of good sense, retreating to a position closer to the ideal as possible and, simultaneously, closer to reality.

Table 4 – Preparation of the IFR for the whey withdrawal from cheese

Questions for the IFR	Function “Withdraw whey from cheese”
1) What is the ultimate objective of the system	Generate cheese mass.
2) What is the Ideal Final Result (IFR)?	Generate cheese mass without whey.
3) What prevents the achievement of the IFR?	Inability to turn the whole curd in mass cheese only.
4) Why prevents?	Because it is not possible to cut the curd without generating whey.
5) How make things that prevent the achievement of the IFR disappear?	Since we cannot eliminate the whey generation, we proposed to reuse it as raw material for another process.
6) What resources are available to help establish the necessary conditions?	Whey, piggery, swine, storage tanks.
7) Has anyone been able to solve this problem?	Several authors have reported the problem resolution, in different ways (as shown in Table 4).

Then, proceeding the resource analysis, we observed that whey is a resource itself (substance resource) non-used in the technical system under study, in addition to the sty (which will be discussed later in this topic). For this loss, numerous solutions have technical, environmental

and economical feasibility potential. Table 5 illustrates the possible alternatives for reuse of whey.

Table 5 – Solution opportunities to the use of whey as raw material

Company	Ideality	Ideal Final Result (IFR)	Proposal of solution
Case 2	Absence of whey during the process of cheese manufacturing.	Use of residual whey as raw material for other dairy industry processes.	Feeding swine (BERTOL, GOMES and SILVA, 1993; ZARDO and LIMA, 1999; MACHADO, SILVA and FREIRE, 2001; CERDAN and SAUTIER, 2003; LIZIEIRE and CAMPOS, 2006)
			Milk drink manufacture (MACHADO, SILVA and FREIRE, 2001; MENEZES, 2011)
			Production of “dulce de leche” (MORAES <i>et al.</i> , 2009)
			Production of bread (CALDAS, 2008)
			Production of ricotta (MACHADO, SILVA and FREIRE, 2001; CHAVES, CALLEGARO and SILVA, 2010)
			Production of cottage cheese (ÁGUA-DOCE, ESTEVES and SERRALHEIRO, 2002)
Production of icecream (SILVA and BOLINI, 2006)			

In Case 2, there are various areas in its physical structure and, among these, a sty. Hence, the selected proposal for a detailed study was to use whey in swine feed. This solution was selected due to lower value of investment, considering the limited budget of the company. For the manufacture of other products, additional raw materials, new equipments and their adaptations (electrical, mechanical, etc.), and investment in civil construction are necessary, to organize the production layout.

Technically, exists attractiveness in relation to the nutritional value of whey and low production cost (MARTINS *et al.*, 2008), being able to be inserted on swine feed (BERTOL, GOMES and SILVA, 1993; CERDAN and SAUTIER, 2003; LIZIEIRE and CAMPOS, 2006). From an environmental perspective, the solution is feasible since whey will be used as raw material for another process, rather than an effluent. Thereby, a complete reduction of whey loss will occur, minimizing the negative environmental impact generated by the effluent. Regarding economic viability, we concluded that the proposal is appealing. With the partial replacement of ration for whey, it is evident an economy in ration expenditure, since the amount spent on this product can be reduced by 30% (ZARDO and LIMA, 1999).

From this parameter, we projected the savings with the gradual replacement of 10%, 20% and 30% of ration by whey (Table 6). Furthermore, the fact that the company has space for raising animals eliminates transport costs, requiring only purchasing equipment for storage and internal transportation. As complement, Cerdan and Sautier (2003) affirm that creating swine with whey contributes to the economic stability of small farms.

Table 6 – Savings estimate in use of whey within swine feed

Use of whey in swine diet – projected savings in ration purchase		
Situation	Value per year	Economy (U\$/year)
Current amount of ration consumed (kg/year)	528 kg	-
Current ration consumption (R\$/year)	U\$ 31.225,81	-
Consumption – 10% replacement of ration for whey	U\$ 28.103,23	U\$ 3.122,58
Consumption – 20% replacement of ration for whey	U\$ 24.980,65	U\$ 6.245,16
Consumption – 30% replacement of ration for whey	U\$ 21.858,06	U\$ 9.367,74

### 4.3. Case study 3

After analyzing processes and conducted measurements, we noted that critical environmental problem is the lost water used on cheese cooling. All water, after used on the process, is dumped on the floor, in a quantity of 1.114,56 m<sup>3</sup>/year (U\$ 2.654,57). Figure 8 explains the studied process.

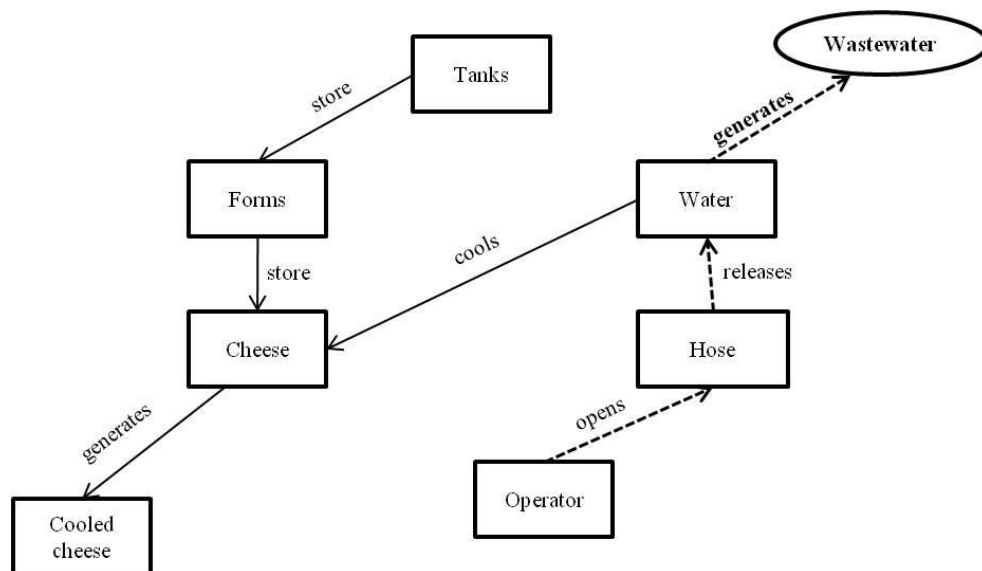


Figure 8 – Function analysis of the cooling process of mozzarella cheese. Dotted lines: harmful functions; full lines: useful functions; circulated element: most harmful function to the environment

Ideality, in this case, would be a “self-cooling” cheese. However, would be a very time-consuming operation, which would complicate the entire production. Thus, IFR designed is the minimization of water consumption for cooling the product (Table 7).



Table 7 – Preparation of the IFR for the cooling cheese process

Questions for the IFR	Function “Cool the cheese”
1) What is the ultimate objective of the system	Cool cheese before brine process.
2) What is the Ideal Final Result (IFR)?	Cooling cheese without wastewater.
3) What prevents the achievement of the IFR?	Wastewater after cooling.
4) Why prevents?	Because the water consumed in the process is lost after used.
5) How make things that prevent the achievement of the IFR disappear?	Eliminate or minimize water use in cooling cheese process.
6) What resources are available to help establish the necessary conditions?	Water itself, cooling tower, cold water tank.
7) Has anyone been able to solve this problem?	No evidence was found.

Guided by IFR (reduction of water consumption in cheese cooling), it was possible to project a technical system to minimize water use. It is a closed water cooling system. Operation will occur as follows (Figure 9):

1. Two tanks, with a capacity of 1.76 m<sup>3</sup> each, will be installed inside production line, to replace the five existing tanks (with equivalent capacity). The two tanks will have inlet and outlet chilled water;
2. Cold water rolling inside tanks will cool the water in direct contact with cheese, thus generating the cooling process;
3. Circulating water, after finishing the cooling process, leaves out the tank towards cooling tower (already existing in unit), which is then cooled again to go into the cold water tank, where it is returned to the tanks again.

Cooling water used directly in the product must be periodically replaced, since that accumulates fat, protein and other properties from the mozzarella cheese.

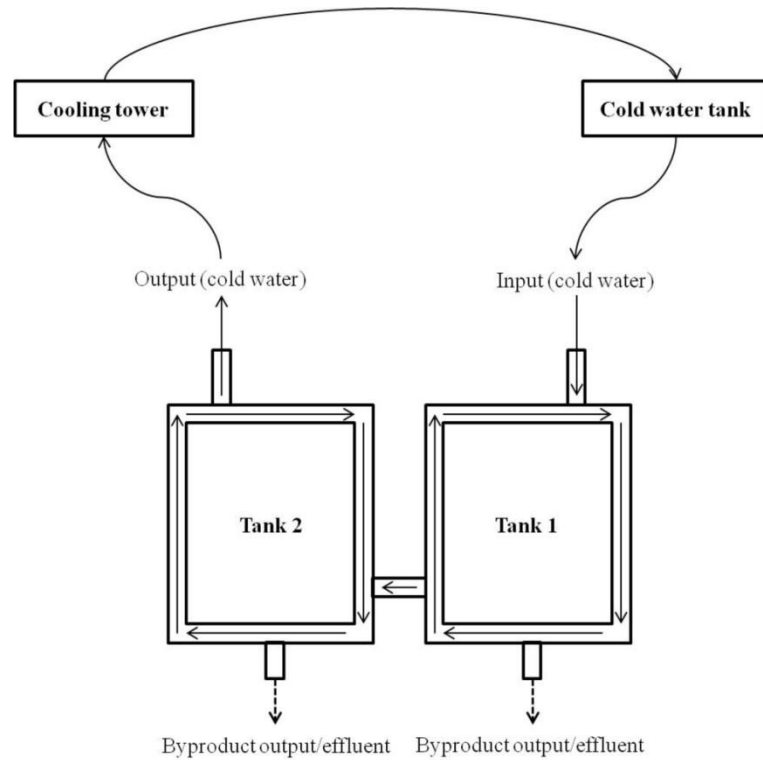


Figure 9 – Cooling project for mozzarella cheese: water reduction proposal. Full lines: cooling water flow; dotted lines: byproduct outputs

Technically, it is a viable option, since the main function will not be affected with the new proposal. The difference is that there will be cold water circulating inside the tanks, with the function of cooling the cheese, needing only to pay attention on regular exchange of water that cools directly mozzarella cheese. In addition, the proposal will also bring benefits to the occupational safety it reduces the amount of water in the floor, reducing, hence, risk of accidents (such as proposed in Case 1). In the environmental perspective, benefit is a water consumption reduction of 743.04 m<sup>3</sup>/year (US\$ 1.769,72/year). And finally, in the economic point of view, the project has benefits, as shown in Table 8 and Table 9 (sensitivity analysis).

Table 8 – Economic indicators of inventive solution developed (Case 3)

<b>Indicadores</b>	<b>Valor</b>
Net Present Value (NPV)	US\$ 1.203,67
Annualized Net Present Value (ANPV)	US\$ 396,29
Benefit-Cost Index (BCI)	US\$ 1,15
Additional Return on Investment (ARI)	2 %
Internal Rate of Return (IRR)	16 %
Payback	4,65 years

Table 9 – Sensitivity analysis of inventive solution (Case 3). Net Present Value (NPV) variance

Percentage change of variables	Investment (U\$)	Revenue (U\$)	Minimum Rate of Attractiveness (MRA) – %
-30%	\$ 3.671,41	- \$ 1.625,17	\$ 2.647,85
-25%	\$ 3.260,12	- \$ 1.153,70	\$ 2.384,06
-20%	\$ 2.848,83	- \$ 682,23	\$ 2.130,10
-15%	\$ 2.437,54	- \$ 210,75	\$ 1.885,50
-10%	\$ 2.026,25	\$ 260,72	\$ 1.649,82
-5%	\$ 1.614,96	\$ 732,20	\$ 1.422,68
<b>0%</b>	<b>\$ 1.203,67</b>	<b>\$ 1.203,67</b>	<b>\$ 1.203,67</b>
5%	\$ 792,38	\$ 1.675,14	\$ 992,43
10%	\$ 381,09	\$ 2.146,62	\$ 788,62
15%	- \$ 30,20	\$ 2.618,09	\$ 591,90
20%	- \$ 441,49	\$ 3.089,56	\$ 401,97
25%	- \$ 852,78	\$ 3.561,04	\$ 218,53
30%	- \$ 1.264,07	\$ 4.032,51	\$ 41,30

It is noteworthy that sensitivity analysis indicates that the variables “Investment” and “Revenue” cannot be changed by a percentage exceeding 10%. Otherwise, project will bring financial loss and will not be economically feasible anymore.

## 5. Conclusions

The research aimed to solve problems related to cleaner production (CP) in dairy industry, through TRIZ tools and its fundamental concepts, in order to generate sustainable, innovative and attractive solutions, as well a new approach to CP strategies.

In general, we concluded that TRIZ can be integrated within CP, focusing on improvements in the industrial processes. On the studied sector (dairy products), the concepts and tools in this study were effective in developing CP opportunities, since solutions were attractive technically, environmentally and economically, demonstrating the feasibility of include the environmental variable in production processes without bringing financial and technical losses.

Function analysis brought effectiveness in describing the problems studied, and may become an alternative to CP mass balance, especially in companies which have a lack of available data and information (study limitation). Still, it also may become an option to initiate pilot projects, in order to conduct a preliminary evaluation of TRIZ/CP approach. Besides, it allows a detailed study about the useful and harmful functions in processes, contributing to develop inventive solutions.

Ideality concept was important in forming the ideal framework for the problems found. Although ideality, in certain cases, be a utopian situation, it was important to conduct the process to guide teams for a situation closer to reality, thereby creating the Ideal Final Result (IFR), which considers the studied environment aligned with their characteristics, advantages and limitations. Figure 10 summarizes the TRIZ/CP model structured in this research.

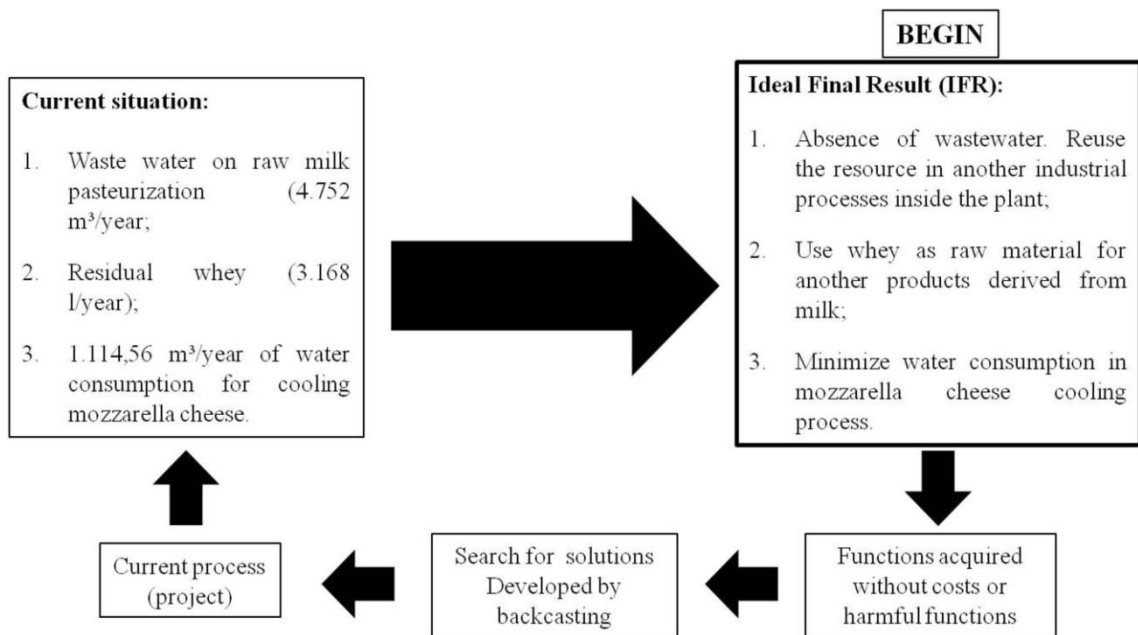


Figure 10 – IFR from 3 case studies. Adapted model from Fresner *et al.* (2010)

Hence, we concluded that TRIZ can be effective in finding opportunities for cleaner production, directing for compelling solutions which approximate the ideal situation. Whilst ideality is utopian in studied cases, the possibility to reach it was raised, by focusing research on this aim. Related to proposals made, in general, they all have potential to be replicated in similar-sized industries, as well as medium and large, since they generate benefits with a low investment value and easy deployment.

Regarding limitations, we observed that TRIZ does not provide tools for economic feasibility analysis, being restricted to stages of abstraction and ideation of inventive solutions, without checking their added value. As future opportunities, we suggest that further research can be conducted in other industry fields besides dairy sector, and also utilize and evaluate other TRIZ tools, such as Inventive Principles Method, Substance-Field Analysis, Contradiction Matrix (largely used in product design), Algorithm of Inventive Problem Solving (for more complex problems), within CP methodology.

## References

- ÁGUA-DOCE, A. M.; ESTEVES, M. M.; SERRALHEIRO, M. L. Caracterização Bioquímica de Queijo e Requeijão de Castelo Branco. CONFERÊNCIA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA, Lisboa, Portugal, 2002. **Electronic proceedings.** Available at: <http://www.deetc.isel.ipl.pt/jetc05/CCTE02/papers/finais/quimica/511.PDF>. Accessed: 10 sep. 2011.
- 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**, v. 96, n. 1, p. 201-209, 2011.
- BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; SILVA, J. C. **Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, Concepção e Montagem.** Florianópolis: Manole, 2008.
- BERTOL, T. M.; GOMES, J. D. F.; SILVA, E. D. Soro de leite integral na alimentação de suínos em crescimento e terminação. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 22, n. 6, p. 993-1002, 1993.
- BRASIL. Banco Central. **Copom reduz a taxa Selic para 12,00% ao ano.** Available at: <http://www.bcb.gov.br/textonoticia.asp?codigo=3203&idpai=NOTICIAS>. Accessed: 16 oct. 2011.
- CALDAS, M. C. S. **Aproveitamento de soro de leite na elaboração de pão de forma.** 2008. 67f. Thesis (Food Science and Technology Master of Science) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.
- CARVALHO, M. A. **Metodologia IDEATRIZ para a Ideação de Novos Produtos.** 2007. 254f. Thesis (Industrial Engineering Doctor's Degree) – 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. **Electronic proceedings.** Florianópolis: UFSC, 2001. Available at: <http://www.decarvalho.eng.br/macartigoiicbgdp.pdf>. Access: 10 dec. 2010.
- CARVALHO, M. A.; FERREIRA, C. V. A TRIZ e sua Utilização no Processo de Desenvolvimento de Produto. In: OLIVEIRA, J. F. G.; GUERRINI, F. M.; AMARAL, D. C. (Org.) **Gestão do Ciclo de Vida dos Produtos.** Jaboticabal: Novos Talentos, 2005, cap. 13, p. 181-194.
- CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS (CNTL). **O que é a Produção mais Limpa?** Disponível em: [http://srvprod.sistemafergs.org.br/portal/page/portal/sfergs\\_senai\\_uos/senairs\\_uo697/O%20que%20E%20Pr%20du%20E%20E3o%20mais%20Limpa.pdf](http://srvprod.sistemafergs.org.br/portal/page/portal/sfergs_senai_uos/senairs_uo697/O%20que%20E%20Pr%20du%20E%20E3o%20mais%20Limpa.pdf). Access: 10 jun. 2011.
- CERDAN, C. T.; SAUTIER, D. Sistemas de intermediação e valorização econômica dos produtos. In: SABOURIN, E.; CARON, P. Camponeses do sertão. **Mutação das agriculturas no Nordeste do Brasil.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 179-200, 2003.
- CHANG, H. T.; CHEN, J. L. Eco-Innovative Examples for 40 TRIZ Inventive Principles. **TRIZ Journal**, v. 8, n. 1, 2003.
- CHANG, H. T.; CHEN, J. L. The conflict-problem-solving CAD software integrating TRIZ into eco-innovation. **Advances in Engineering Software**, v. 35, n. 8-9, p. 553-566, 2004.

- CHAVES, K. F.; CALLEGARO, E. D.; SILVA, V. R. O. Utilização do soro de leite nas indústrias de laticínios da região de Rio Pomba-MG. In: CONGRESSO NACIONAL DE LATICÍNIOS, 27, 2010, Juiz de Fora-MG. **Electronic proceedings**. Available at: [http://www.cnlepamig.com.br/anais/img/trabalhos\\_cnl/poster/043.pdf](http://www.cnlepamig.com.br/anais/img/trabalhos_cnl/poster/043.pdf). Access: 15 aug. 2011.
- CHEN, J. L.; LIU, C. An eco-innovative design approach incorporating the TRIZ method without contradiction analysis. **The Journal of Sustainable Product Design**, v. 1, n. 4, p. 263-272, 2001.
- COMPANHIA RIOGRANDENSE DE SANEAMENTO (CORSAN). Tariff structure. Available at: <http://www.corsan.com.br/sites/default/files/conteudo/Estrutura%20Tarif%C3%A1ria%20nova.pdf>. Access: 02 dec. 2011.
- DEMARQUE, E. **TRIZ – teoria para a resolução de problemas inventivos aplicada ao planejamento de processos na indústria automotiva**. Monograph (Professional Master's Degree). Automotive Engineering. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA EM AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Annual Ranking of milk production sorted by State in Brazil – 2011**. Available at: <http://www.cnpqgl.embrapa.br/>. Access: 28 jun. 2011.
- EVANGELISTA, M. L. S.; HECKLER, V.; ELGER, F. A.; GRIEBLER, G.; NÜSKE, A. C. A sustentabilidade no sistema produtivo da atividade leiteira na Região Fronteira Noroeste do Rio Grande do Sul. XIII SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 13, 2006, Bauru. **Electronic proceedings...** Available at: [http://www.simpep.feb.unesp.br/anais\\_simpep\\_aux.php?e=13](http://www.simpep.feb.unesp.br/anais_simpep_aux.php?e=13). Access: 10 nov. 2011.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **World milk production – 2009**. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Acesso em: 28 jun. 2011.
- 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**, v. 18, n. 2, p. 128-136, 2010.
- 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.
- HOCKERTS, K. **Eco-efficient service innovation**: increasing business – ecological efficiency of products and services, in charter. In: Greener M, editor. Marketing: a global perspective on greener marketing practice. Sheffield, UK: Greenleaf Publishing, p. 95–108, 1999.
- JANTSCHGI, J.; MANN, D. Fostering methodical Product – and Process – Development by Combining TRIZ-Tools and Sustainable Development. **TRIZ Journal**, v. 2, n. 4, 2005. Disponível em: <http://www.triz-journal.com/archives/2005/02/04.pdf>. Acesso em: 23 jun. 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**, v. 22, n. 6, p. 1039-1043, 2011.
- KOBAYASHI, H. A systematic approach to eco-innovative product design based on life cycle planning. **Advanced Engineering Informatics**, v. 20, n. 2, p. 113-125, 2006.

KUBOTA, F. I.; BOLZAN, L. M.; ROSA, L. C. Conceitos fundamentais da Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ) aplicados na produção mais limpa. XI SEMANA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO SUL-AMERICANA, 11, 2011. Santa Maria. **Proceedings...** Santa Maria: UFSM, 2011. CD-ROM.

KUBOTA, F. I.; ROSA, L. C. A TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving) aplicada à produção mais limpa: uma abordagem preliminar. XXXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 31, 2011. Belo Horizonte. **Electronic proceedings**. Available at: <http://www.abepro.org.br/publicacoes/>. Access: 25 oct. 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. **Electronic proceedings**. Bauru: Unesp, 2010. Available at: [http://www.simpep.feb.unesp.br/anais\\_simpep.php?e=5](http://www.simpep.feb.unesp.br/anais_simpep.php?e=5). Access: 22 nov. 2010.

LI, T. S; HUANG, H. H. Applying TRIZ and Fuzzy AHP to develop innovative design for automated manufacturing systems. **Expert Systems with Applications**, v. 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**, v. 11, p. 439-444, 2001.

LI, X. N.; RONG, B. G.; KRASLAWSKI, A.; L. NYSTRÖM. A Conflict-based approach for process synthesis with wastes minimization. **European Symposium on Computer Aided Process Engineering**, v. 13, p. 209-214, 2003.

LIZIEIRE, R. S.; CAMPOS, O. F. Soro de queijo “in natura” na alimentação do gado de leite. **Technical instruction for milk producers**. 2ª Ed. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2006. Available at: <http://www.cileite.com.br/sites/default/files/44Instrucao.pdf>. Access: 27 jul. 2011.

LUTTROP, L.; LAGERSTEDT, J. EcoDesign and The Ten Golden Rules: generic advice for merging environmental aspects into product development. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, n. 15-16, p. 1396-1408, 2006.

MACHADO, R. M. G.; SILVA, P. C.; FREIRE, V. H. Controle ambiental em indústrias de laticínios. **Revista Brasil Alimentos On-Line**, n. 7, p. 34-36, 2001.

MANN, D. **Hands-on Systematic Innovation**. Ieper: CREAX, 2002.

MARTINS, T. D. D.; PIMENTA FILHO, E. C.; COSTA, R. G.; SOUZA, J. H. M. Soro de queijo líquido na alimentação de suínos em crescimento. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 2, p. 301-307, 2008.

MENEZES, A. C. S. **Desenvolvimento de bebida láctea fermentada à base de soro de leite e polpa de cajá (Spondias mombin L.) com potencial atividade probiótica**. 2011. 106f. Thesis (Food and Science Technology Master's Degree) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011.

MORAES, A. H.; RUSTICK, A.; ROBERTI, E.; BRATZ, R.; STEIN, M. Desenvolvimento de projeto para um novo produto: doce de leite com soro de leite e amendoim torrado. In: SALÃO DE PESQUISA SETREM, 7,

- Três de Maio. **Electronic Proceedings...** Available at: <http://sites.setrem.com.br/saps/2009/index.html>. Access: 16 aug. 2011.
- NGUYEN, M. H.; DURHAM, R. J. Status and prospects for cleaner production in the dairy food industry. **Australian Journal of Dairy Technology**, v. 59, n. 2, p. 171-173, 2004.
- NOVOA, R. D.; ROVIRA, N. L.; TELLEZ, H. A.; SAID, D. Inventive problem solving based on dialectical negation, using evolutionary algorithms and TRIZ heuristics. **Computers in Industry**, v. 62, n. 4, p. 437-445, 2011.
- ÖZBAY, A.; DEMIRER, G. N. Cleaner production opportunity assessment for a milk processing facility. **Journal of Environmental Management**, v. 84, n. 4, p. 484-493, 2007.
- 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**, v. 17, n. 2, p. 137-142, 2009.
- SERBAN, D.; MAN, E.; IONESCU, N.; ROCHE, T. A TRIZ Approach to Design for Environment. **Kluwer Academic Journal**, Elsevier Science, 2005.
- SILVA, D. J. P. **Diagnóstico do consumo de água e da geração de efluentes em uma indústria de laticínios e desenvolvimento de um sistema multimídia de apoio**. 101 f. Thesis (Food and Science Technology Master of Science) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.
- SILVA, K.; BOLINI, H. M. A. Avaliação sensorial de sorvete formulado com produto de soro ácido de leite bovino. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 1, p. 116-122, 2006.
- SILVA, M. A.; QUEIROZ, R. F. M.; CELESTINO, J. E. M.; MATTOS, K. M. C. Gerenciamento dos resíduos como ferramenta para uma produção mais limpa no ramo de panificação. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 16, Bauru. **Electronic proceedings**. Bauru: Unesp, 2009. Available at: [http://www.simpep.feb.unesp.br/anais\\_simpep.php?e=4](http://www.simpep.feb.unesp.br/anais_simpep.php?e=4). Access: 20 jun. 2011.
- SOUZA, A.; CLEMENTE, A. **Decisões financeiras e análise de investimentos**. 6ª ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- SRINIVASAN, R.; KRASLAWSKI, A. Application of the TRIZ creativity enhancement approach to design of inherently safer chemical processes. **Chemical Engineering and Processing**, v. 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**, v. 139, n. 1-3, p. 120-126, 2003.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME – UNEP. **Changing production patterns: Learning from the experience of national cleaner production centers**. Paris: United Nations Publication, 2002.
- 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**, v. 19, n. 9-10, p. 998-1006, 2011.
- ZARDO, A. O.; LIMA, G. J. M. M. **Alimentos para suínos**. Newsletter from Brazilian Enterprise of Agricultural Research – EMBRAPA – and Emater/RS, 1999. Available at: <http://www.suinculturaindustrial.com.br/PortalGessulli/AppFile/Material/Tecnico/alimentosuino.pdf>. Access: 19 jul. 2011.



ZHANG, X.; MAO, X.; ABOURIZK, S. M. Developing a knowledge management system for improved value engineering practices in the construction industry. **Automation in Construction**, v. 18, n. 6, p. 777-789, 2009.

ZHANG, J.; SHANG, J. Research on Developing Environmental Protection Industry Based on TRIZ Theory. **Procedia Environmental Sciences**, v. 2, p. 1326-1334, 2010.

## **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

### **4.1 Considerações acerca da pesquisa**

A pesquisa teve como objetivo aplicar a TRIZ como instrumento suporte à metodologia da produção mais limpa, com o intuito de se gerar soluções sustentáveis, inovadoras e atrativas, bem como proporcionar nova abordagem para as estratégias de PML e resolução de problemas ambientais. De modo geral, pode-se concluir que a TRIZ tem potencial para ser integrada à PML, no enfoque de melhorias no processo produtivo das indústrias. No setor estudado (laticínios), os conceitos e ferramentas utilizadas nesta pesquisa foram efetivos na elaboração de oportunidades de PML, pois as soluções obtiveram atratividade técnica, ambiental e econômica, o que evidencia a possibilidade da inserção da variável ambiental nos processos produtivos sem prejuízos técnicos e financeiros.

Acerca das ferramentas e conceitos da TRIZ utilizados, pode-se afirmar, com base nos casos observados e estudados, que a análise funcional trouxe efetividade na descrição dos problemas estudados, podendo-se tornar uma alternativa ao balanço de massa, principalmente em caso de aplicação da PML em empresas com baixa disponibilidade de dados e informações, onde a gestão e o monitoramento dos processos ainda são precários. Além desse aspecto (falta de dados), pode-se tornar uma opção para o caso de execução de projetos piloto, visando uma avaliação preliminar da efetividade da abordagem TRIZ/PML proposta. Além disso, permite um estudo detalhado acerca dos aspectos desejados e indesejados nos processos, contribuindo para o direcionamento das soluções inventivas.

Em relação ao conceito de idealidade, conforme apresentado no referencial teórico desta dissertação, esta tem como objetivo a ausência ou o mínimo de funções indesejadas no produto/processo/serviço em questão. A PML, em paralelo, visa à redução de efluentes, resíduos e emissões dentro dos processos produtivos, bem como um consumo racional e sustentável de matéria-prima, além da busca por insumos menos agressivos ao meio ambiente. Assim, pode-se inferir, dentro da perspectiva da integração TRIZ/PML, que a idealidade na PML é a não-geração de efluentes/resíduos/emissões nos produtos, processos produtivos e prestação de serviços, resultando, assim, na inexistência de saídas indesejadas em todos os níveis de atuação da produção mais limpa.

O conceito de contradição também tem relação com a PML. Serban *et al.* (2005) concluíram, em suas pesquisas, que a TRIZ é considerada uma metodologia promissora, uma

vez que muitos projetistas encaram a relação *ecodesign*/crescimento econômico como uma contradição. Contudo, os mesmos autores, juntamente com Luttrupp e Lagerstedt (2006) consideram que 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. Portanto, o conceito de contradição, no contexto da produção mais limpa, pode ser entendido como o aumento de produção simultâneo à eliminação ou minimização de efluentes, resíduos e emissões, bem como uso racional de matérias-primas, utilizando-se de menor quantidade de entradas e gerando menos saídas.

O conceito de recursos também possui alinhamento com as estratégias de PML, principalmente no que se refere àqueles que o sistema não utiliza dentro de suas funções. Na literatura, há uma quantidade significativa de estudos que detectaram recursos os quais, após serem incorporados aos sistemas técnicos, trouxeram benefícios técnicos, ambientais e econômicos aos mesmos. Complementando esses benefícios, as propostas agregam valor no que se refere à segurança ocupacional dos processos, pois há redução de efluentes e resíduos os quais podem gerar maiores riscos de acidentes de trabalho, bem como torna o ambiente de trabalho mais limpo, saudável e mais seguro.

Ainda sobre os conceitos, idealidade e recursos mostraram-se relevantes na geração de alternativas para os problemas (funções indesejadas) encontrados. O conceito de função indesejada mostrou-se importante para orientar as equipes envolvidas quanto às situações prejudiciais ocorrentes na produção. Com isso, foram priorizados os problemas relacionados ao processo de beneficiamento do leite e derivados em ambas as empresas. Em seguida, possibilitou-se aplicar o conceito de recursos, relevante para conhecer o ambiente e os recursos ainda não utilizados nas unidades de análise pesquisadas.

Outro aspecto observado foi o fato de todas as propostas de soluções inventivas elaboradas estarem alinhadas com as Oito Leis de Evolução para Sistemas Técnicos. Na primeira proposta (Caso 1 – artigo 3.3), notou-se que há, pelo menos, três leis presentes: aumento da idealidade, aumento na dinâmica e controle e diminuição na interação humana, uma vez que a proposta visa eliminar/minimizar as funções indesejadas mais prejudiciais ao sistema e, simultaneamente, de forma dinâmica e controlada, pois as perdas d'água são automaticamente direcionadas para o reuso nos processos produtivos, além de não haver interação humana no que se refere ao processo de reaproveitar o recurso em questão (água). No Caso 2 (artigo 3.3), ocorre o aumento da idealidade, uma vez que a função indesejada de

gerar perdas de soro será eliminada, enquanto que no terceiro projeto (Caso 3 – artigo 3.3), ocorre o aumento da idealidade minimizando-se o consumo de água, aumento na dinâmica e controle por meio do sistema fechado de resfriamento do produto, aumento da coordenação, fazendo com que o ciclo de resfriamento do produto, bem como da água, ocorra de maneira sincronizada, e a diminuição na interação humana, uma vez que a proposta de solução inventiva necessitará apenas de um colaborador para a troca periódica da água em contato direto com as formas de massa de queijo (à época, a inserção de água para resfriamento era realizada manualmente).

Além disso, a TRIZ auxilia, essencialmente, na sistematização do processo de criatividade e procura por soluções inventivas, organizando os problemas e orientando a busca por ideias já utilizadas no passado e presente, visando melhorias futuras nos sistemas estudados. Quanto às limitações, observou-se que a TRIZ não proporciona ferramentas que orientem o estudo de viabilidade econômica, sendo restrita às etapas de abstração dos problemas e ideação de soluções inventivas.

Assim, conclui-se que os conceitos da metodologia TRIZ podem oferecer suporte à produção mais limpa (PML), explicitando as funções indesejadas – do ponto de vista ambiental – dos processos, organizando os recursos não aproveitados no sistema e orientando para a idealidade nas situações problemáticas pesquisadas, auxiliando na geração de soluções e posterior tomada de decisão. Adicionalmente, espera-se que este trabalho possa servir como um guia para a compreensão e aplicação dos conceitos fundamentais e ferramentas básicas da TRIZ, facilitando o entendimento da metodologia e proporcionando oportunidade de estudos acerca do tema.

#### **4.2 Oportunidades e sugestões para trabalhos futuros**

Como oportunidades futuras, sugere-se o aprofundamento da pesquisa nos problemas relatados anteriormente, nesta conclusão, e a ampliação deste estudo para outros setores da indústria, além de utilizar e avaliar a aplicação das demais ferramentas da TRIZ (Método dos Princípios Inventivos, Análise Substância-Campo, Matriz de Contradições, ARIZ, etc.) dentro da metodologia da produção mais limpa em seus diversos níveis.

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. Outra oportunidade levantada é quanto à fase de mapeamento e elaboração de fluxogramas de processo, onde se sabe que, em algumas situações, podem ocorrer limitações de obtenção de dados e informações, limitando as pesquisas. A análise funcional é uma alternativa, pois essa ferramenta permite o estudo aprofundado de uma etapa do processo a ser incrementado.

Outra oportunidade sugerida é a integração da TRIZ a outras metodologias de resolução de problemas e elaboração de novos produtos/processos/serviços. Aplicações da TRIZ têm tido sucesso em projetos Seis Sigma (FRESNER *et al.*, 2010). Pode-se aplicar a TRIZ em outros métodos e estratégias, como o Método de Análise e Solução de Problemas (MASP), Engenharia e Análise de Valor (EAV), *Quality Function Deployment* (QFD), entre outras metodologias.

## 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**, v. 96, n. 1, p. 201-209, 2011.

AMATO NETO, J. **Sustentabilidade & Produção: teoria e prática para uma gestão sustentável**. São Paulo: Atlas, 2011.

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.

BERLIN, J.; SONESSON, U.; TILLMAN, A. M. A life cycle based method to minimize environmental impact of dairy production through product sequencing. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 4, p. 347-356, 2007.

BERTO, R. M. V. S.; NAKANO, D. N. A produção científica nos anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção: um levantamento de métodos e tipos de pesquisa. **Produção**, v. 9, n. 2, p. 65-76, 2000.

CARAWAN, R. E.; CHAMBERS, J. V.; ZALL, R. R. **Water and wastewater management in food processing**. Extention Special Report no. AM-18B. 189f. North Carolina State University, Cornell University, Purdue University, 1979.

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.; BACK, N.; OGLIARI, A. **TRIZ no Desenvolvimento de Produto: Encontrando e Resolvendo Contradições Técnicas e Físicas**. V CONGRESSO BRASILEIRO

DE GESTÃO E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 2005, Curitiba, PR. 5 CBGDP, 2005, v. CD-ROM, 10 p.

CARVALHO, M. A.; CHAGAS, L. G. M.; BRANDALIZE, G. G.; BUZINARO, C. G. Criatividade em Problemas de Projeto e Processo com Auxílio da TRIZ (Teoria da Solução Inventiva de Problemas) / Inovação Sistemática. 8º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto, 8, 2011, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 2011.

CARVALHO, M. A.; FERREIRA, C. V. A TRIZ e sua Utilização no Processo de Desenvolvimento de Produto. In: OLIVEIRA, J. F. G.; GUERRINI, F. M.; AMARAL, D. C. (Org.) **Gestão do Ciclo de Vida dos Produtos**. Jaboticabal: Novos Talentos, 2005, cap. 13, p. 181-194.

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: 10 jul. 2011.

CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS (CNTL). **O que é a Produção mais Limpa?** Disponível em: [http://srvprod.sistemafiergs.org.br/portal/page/portal/sfiergs\\_senai\\_uos/senairs\\_uo697/O%20que%20%E9%20Produ%E7%E3o%20mais%20Limpa.pdf](http://srvprod.sistemafiergs.org.br/portal/page/portal/sfiergs_senai_uos/senairs_uo697/O%20que%20%E9%20Produ%E7%E3o%20mais%20Limpa.pdf). Acesso em: 10 de junho, 2011.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; SILVA, R. **Metodologia Científica**. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

CHANG, H. T.; CHEN, J. L. Eco-Innovative Examples for 40 TRIZ Inventive Principles. **TRIZ Journal**, v. 8, 2003.

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**, v. 1, n. 4, p. 263-272, 2001.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). "**Crescem a produção, o consumo e a exportação de leite no País**". Notícia. 28 fev. 2008. Disponível em: <http://www.canaldoprodutor.com.br/comunicacao/noticias/crescem-producao-o-consumo-e-exportacao-de-leite-no-pais>. Acesso em: 26 de maio, 2010.

COUTINHO, J. P.; RODRIGUES, L. B.; SILVA, C. A. Implantação de uma estratégia para reaproveitamento do óleo de fritura residual em um restaurante industrial. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 16, 2009, Bauru. **Anais eletrônicos...** Disponível em: [http://www.simpep.feb.unesp.br/anais\\_simpep.php?e=4](http://www.simpep.feb.unesp.br/anais_simpep.php?e=4). Acesso em: 24 set. 2011.

COWI Consult. **Cleaner Production Assessment in Dairy Processing**. Paris: United Nations Environment Programme (UNEP), Division of Technology, Industry and Economics; Copenhagen: Danish Environmental Protection Agency (DEPA), 2000. 95 p.

DEMARQUE, E. **TRIZ – teoria para a resolução de problemas inventivos aplicada ao planejamento de processos na indústria automotiva**. Trabalho de conclusão de curso do mestrado profissionalizante. Engenharia Automotiva. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.

DUBOIS, S.; ELTZER, T.; DE GUIO, R. A dialectical based model coherent with inventive and optimization problems. **Computers in Industry**, v. 60, n. 8, p. 575-583, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA EM AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Ranking da Produção Anual Leite por Estado no Brasil – 2011**. Disponível em: <http://www.cnpqgl.embrapa.br/>. Acesso em: 28 de junho, 2011.

EVANGELISTA, M. L. S.; HECKLER, V.; ELGER, F. A.; GRIEBLER, G.; NÜSKE, A. C. A sustentabilidade no sistema produtivo da atividade leiteira na Região Fronteira Noroeste do Rio Grande do Sul. XIII SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 13, 2006, Bauru. **Anais eletrônicos...** Disponível em: [http://www.simpep.feb.unesp.br/anais\\_simpep\\_aux.php?e=13](http://www.simpep.feb.unesp.br/anais_simpep_aux.php?e=13). Access: 10 nov. 2011.

FILIPPINI, R. Operations management research: some reflections on evolution, models and empirical studies in OM. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 17, n. 7, p. 655-670, 1997.

FISHER, P. M. J.; SCOTT, R. Evaluating and controlling pharmaceutical emissions from dairy farms: a critical first step in developing a preventative management approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, n. 14, p. 1437-1446, 2008.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Produção mundial de leite – 2009**. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Acesso em: 28 de junho, 2011.



FREITAS, P.; RIBAS, L. Gestão ambiental em uma empresa de laticínios de Toledo, Paraná: um estudo de caso. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 15, 2008, Bauru. **Anais eletrônicos...** Bauru: Unesp, 2008. Disponível em: [http://www.simpep.feb.unesp.br/anais\\_simpep.php?e=2](http://www.simpep.feb.unesp.br/anais_simpep.php?e=2). Acesso em: 24 jun. 2011.

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**, v. 18, n. 2, p. 128-136, 2010.

GUPTA, S.; VERMA, R.; VICTORINO, L. Empirical research published in production and operations management (1992-2005): trends and future research directions. **Production and Operations Management**, v. 15, n. 3, p. 432-448, 2006.

HAIR, J. F. P. J.; BABIN, B.; MONEY, A. H.; SOMOUEL, P. **Fundamentos de métodos de pesquisa em administração**. São Paulo: Bookman, 2005.

HAIR, J. F. P. J.; BABIN, B.; MONEY, A. H.; SOMOUEL, P. **Fundamentos de métodos de pesquisa em administração**. São Paulo: Bookman, 2006.

HOCKERTS, K. **Eco-efficient service innovation**: increasing business – ecological efficiency of products and services, in charter. In: Greener M, editor. Marketing: a global perspective on greener marketing practice. Sheffield, UK: Greenleaf Publishing, p. 95–108, 1999.

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.

JONES, E.; MANN, D. An eco-innovation case study of domestic dishwashing through the application of TRIZ tools. **Creativity and Innovation Management**, v. 10, n. 1, p. 3-14, 2001.

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**, v. 22, n. 6, p. 1039-1043, 2011.

KOBAYASHI, H. A systematic approach to eco-innovative product design based on life cycle planning. **Advanced Engineering Informatics**, v. 20, n. 2, p. 113-125, 2006.

KUBOTA, F. I.; BOLZAN, L. M.; ROSA, L. C. Conceitos fundamentais da Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ) aplicados na produção mais limpa. XI SEMANA DE

ENGENHARIA DE PRODUÇÃO SUL-AMERICANA, 11, 2011. Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2011. CD-ROM.

KUBOTA, F. I.; ROSA, L. C. A TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving) aplicada à produção mais limpa: uma abordagem preliminar. XXXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 31, 2011. Belo Horizonte. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <http://www.abepro.org.br/publicacoes/>. Acesso em: 25 out. 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](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**, v. 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**, v. 11, p. 439-444, 2001.

LI, X. N.; RONG, B. G.; KRASLAWSKI, A.; L. NYSTRÖM. A Conflict-based approach for process synthesis with wastes minimization. **European Symposium on Computer Aided Process Engineering**, v. 13, p. 209-214, 2003.

LOH, H. T.; HE, C.; SHEN, L. Automatic classification of patent documents for TRIZ users. **World Patent Information**, v. 28, n. 1, p. 6-13, 2006.

LUTTROPP, L.; LAGERSTEDT, J. EcoDesign and The Ten Golden Rules: generic advice for merging environmental aspects into product development. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, n. , p. 1396-1408, 2006.

MACHADO, R. M. G.; SILVA, P. C.; FREIRE, V. H. Controle ambiental em indústrias de laticínios. **Revista Brasil Alimentos On-Line**, n. 7, p. 34-36, 2001.

- MALKIN, S.; MALKIN, A. **Eureka on Demand**. Ideation International Inc. 2003. Disponível em: <http://www.ideationtriz.com>. Acesso em: 20 ago. 2011.
- MANN, D. **Hands-on Systematic Innovation**. Ieper: CREAM, 2002.
- MENDES, L. Gestão ambiental, custo ou benefício para a micro e pequena empresa: um estudo de caso no setor de laticínios. VI SEMEAD – Seminários em Administração, 6., 2003, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: USP, 2003. Disponível em: <http://www.ead.fea.usp.br/Semead/6semead/index.htm>. Acesso em: 15 jun. 2011.
- MERK, C. Z.; CAVALLUCCI, D.; ROUSSELOT, F. An ontological basis for computer aided innovation. **Computers in Industry**, v. 60, n. 8, p. 563-574, 2009.
- MIGUEL, P. A. C. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- NGUYEN, M. H.; DURHAM, R. J. Status and prospects for cleaner production in the dairy food industry. **Australian Journal of Dairy Technology**, v. 59, n. 2, p. 171-173, 2004.
- 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.
- ÖZBAY, A.; DEMIRER, G. N. Cleaner production opportunity assessment for a milk processing facility. **Journal of Environmental Management**, v. 84, n. 4, p. 484-493, 2007.
- 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**, v. 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**, v. 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**, v. 48, n. 1, p. 239-249, 2009.
- SAVRANSKI, S. D. **Engineering of Creativity – Introduction to TRIZ Methodology if Inventive Problem Solving**. CRC Press: Boca Raton, 2000.

SCHNEIDER, L. **Diagnóstico do uso das águas em unidade de laticínios visando Produção mais Limpa**. 2008. 56f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Tecnologia Ambiental) – Universidade de Santa Cruz, Santa Cruz, 2008.

SCYOC, K. V. Process safety improvement – Quality and target zero. **Journal of Hazardous Materials**, v. 159, n. 1, p. 42-48, 2008.

SEIFFERT, M. E. B. **Gestão Ambiental: Instrumentos, Esferas de Ação e Educação Ambiental**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2011.

SERBAN, D.; MAN, E.; IONESCU, N.; ROCHE, T. A TRIZ Approach to Design for Environment. **Kluwer Academic Journal**, Elsevier Science, 2005.

SILVA, M. A.; QUEIROZ, R. F. M.; CELESTINO, J. E. M.; MATTOS, K. M. C. Gerenciamento dos resíduos como ferramenta para uma produção mais limpa no ramo de panificação. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 16, Bauru. **Anais eletrônicos...** Bauru: Unesp, 2009. Disponível em: [http://www.simpep.feb.unesp.br/anais\\_simpep.php?e=4](http://www.simpep.feb.unesp.br/anais_simpep.php?e=4). Acesso em: 20 jun. 2011.

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**, v. 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**, v. 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**, v. 139, n. 1-3, p. 120-126, 2003.

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**, v. 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**, v. 3, n. 4, p. 217-234, 2006.

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**, v. 19, n. 9-10, p. 998-1006, 2011.

ZHANG, J.; SHANG, J. Research on Developing Environmental Protection Industry Based on TRIZ Theory. **Procedia Environmental Sciences**, v. 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**, v. 18, n. 6, p. 777-789, 2009.