

Aplicação Lean-TRIZ na abordagem Toyota Kata para melhoria em nível organizacional

Applying Lean-TRIZ hybrid approach into Toyota Kata for organizational level improvement

Thiago Bastos Fernandes* – thiago.bastos@posgrad.ufsc.br
Rodrigo Bastos Fernandes** – rodrigo.b.fernandes@sesisc.org.br
Fernando Antônio Forcellini* – fernando.forcellini@ufsc.br

*Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Belo Horizonte, MG

**Centro de Inovação SESI em Tecnologias para Saúde, Florianópolis, SC

Article History:

Submitted: 2018 - 01 - 16

Revised: 2018 - 01 - 22

Accepted: 2018 - 01 - 23

Resumo: A busca por vantagem competitiva exige que fabricantes aumentem a flexibilidade, produtividade e lucratividade, e ao mesmo tempo reduzam o custo operacional e tempo ocioso. A fabricante japonesa Toyota foi capaz de desenvolver uma forma diferenciada de tratar destas questões, originando o Sistema Toyota de Produção. Este conceito foi estudado, ocidentalizado e vastamente divulgado como Manufatura Lean, primordialmente pela adoção de práticas e aplicação de ferramentas do Sistema Toyota (e.g. Kanban, A3 e Mapeamento do fluxo de valor) em plantas fabris. Contudo, relatos de insustentabilidade de aplicação das ferramentas foram identificados, dando início à busca pela mentalidade que embasa a melhoria, denominada abordagem Toyota Kata. Esta abordagem consiste no estabelecimento das relações entre os níveis de comando (gestão) e a maneira como problemas são identificados e tratados, podendo ser descrita como uma pesquisa-ação. Desta forma, este artigo apresenta uma proposta de integração Lean-TRIZ para suportar de forma sistemática o nível organizacional na definição das características de operação que o sistema produtivo por assumir a longo prazo, denominado Desafio. Tal sistemática foi analisada por meio de simulação, onde propostas de desafios geradas foram avaliadas por especialistas quanto à quantidade, utilidade e novidade de ideias. Os resultados foram estatisticamente analisados e indicam que a proposta tem capacidade de gerar maior grau de novidade, utilidade e quantidade de alternativas de solução.

Palavras-chave: Manufatura Lean; Melhoria contínua; TRIZ; Toyota Kata de melhoria

Abstract: The pursuit for competitive advantages demand manufacturers to increase flexibility, productivity and profitability, while reducing operational cost and idle time. The Japanese manufacturer Toyota was capable to develop a unique method to treat those issues, originating the Toyota Production System. This concept was studied, westernized and widely spread as Lean Manufacturing, predominantly by applying best practices – e.g. Kanban, A3 and Value Stream Mapping – from the Japanese facility. Through a variety of reports about unsustainability the mindset behind the improvement was researched, coming out the Toyota Kata approach. This method identified the patterns of relationship among the command chain and the way of identify and solve problems seeking improvement and knowledge, this may be described as a study-action approach. This project presents a Lean-TRIZ proposal for empower organizational level with a systematic support for Challenge creation, meaning to define long term systems operational characteristics. A method based on the state of the art Lean-TRIZ was developed and verified by simulations, hence proposed challenges were evaluated by experts according to quantity, utility and novelty of ideas. Finally, the data was statistically analyzed proving the integrated model capabilities.

Keywords: Lean manufacturing, Continuum improvement, TRIZ, Improvement Kata

1. Introdução

A concorrência por mercado faz com que fabricantes concebam melhores produtos para atender às dores e/ou demandas de clientes – *Job to be done* – exigindo que a manufatura permaneça em constante mutação. No passado o processo produtivo atendia a uma grande variedade produtos (e.g. artigos artesanais). Entretanto, em pouca quantidade, o aumento da população exigiu maior quantidade, mesmo que com menor variedade (e.g. Ford Modelo-T). Atualmente, identifica-se que os requisitos dos clientes estão relacionados à prontidão ou disponibilidade e variedade de produtos, que pode ser traduzido em meios produtivos mais ágeis (Koren, 2010).

Nesse contexto de mudança no processo produtivo, pode-se citar o conhecido caso da fabricante japonesa de automóveis Toyota, fundada em 1937, que após os 13 primeiros anos de operação chegou próximo a falência devido a falhas gerenciais. Na ocasião, Eiji Toyoda e o chefe de produção Taiichi Ohno analisaram profundamente o processo e concluíram que produção em massa não era viável para o mercado local, iniciando assim o Sistema Toyota de Produção – STP (Womack *et al.*, 1990). Devido às exigências da inter-relação entre mercado e suprimento, o STP busca de forma contínua aumentar a flexibilidade, a produtividade e a lucratividade, ao mesmo tempo objetivando a redução no custo operacional, tempo ocioso e outros tipos de desperdícios (Morgan; Liker, 2008; Shingo, 1996).

O sucesso da abordagem japonesa foi então ocidentalizado e largamente divulgado como Manufatura Lean – ML – principalmente por meio de ferramentas e melhores práticas presentes em montadoras automotivas. Atualmente diversos fabricantes compreendem e usufruem das vantagens e benefícios (e.g. carga de trabalho equilibrada, conhecimento do fluxo de valor) da adoção da ML (Bashkit; Karaulova, 2012).

Considerando-se a evolução dos requisitos dos clientes, processos de fabricação melhores e inovadores são considerados diferenciais competitivos, provendo às empresas vantagem sobre os concorrentes, que pode ser traduzido em menor custo operacional, assim como aumento de flexibilidade e lucratividade, gerando uma busca constante por novas formas de se obter melhorias sistemáticas no processo (Schreiber, 2012; Rother, 2008; Shingo, 1996).

Por muitos anos o ocidente se apropriou e aplicou somente ferramentas, práticas e princípios do STP, ocasionando diversos casos de insustentabilidade na implementação, visto que tais meios foram desenvolvidos inicialmente para problemas da montadora e, com o tempo, se tornaram melhores práticas. De acordo com Snowden e Boone (2007), melhores práticas são

aplicáveis somente para problemas com a relação causa-efeito definida, caracterizados como simples.

A referida insustentabilidade de aplicação direta das chamadas melhores práticas e ferramentas Lean conduziram pesquisadores a identificar e mapear a mentalidade que fomenta a melhoria, ou seja, o *mindset* dos colaboradores que identificam e propõe melhorias. Estas que resultam em sistema melhor geridos e na criação de conhecimento. Para tal identificação e mapeamento do *mindset*, recorreu-se ao método científico e à criatividade, surgindo assim a metodologia Toyota Kata.

Toyota Kata – TK – é uma abordagem sistematizada por Mike Rother após profunda análise das rotinas e hábitos presentes na planta japonesa da montadora Toyota, buscando os fundamentos e diferenciais para o sucesso de implementações de melhorias. Nessa análise, o autor categorizou o trabalho cotidiano de todo e qualquer funcionário em duas partes, o próprio trabalho e o trabalho de melhoria. Ainda, Rother (2008) subdividiu a ML em duas partes, a visível e a invisível, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Subdivisão da manufatura Lean

Lean	Partes	Exemplos
Visível	<ul style="list-style-type: none"> • Ferramentas • Práticas • Princípios 	○ Mapeamento de fluxo de valor
		○ Kanban
		○ Supermercado
		○ 5S
Invisível	<ul style="list-style-type: none"> • Pensamento gerencial • Rotinas 	○ Just-in-Time
		○ Definição de condição futura
		○ Método científico
		○ Aprendizagem

Fonte: Adaptado de Rother (2008)

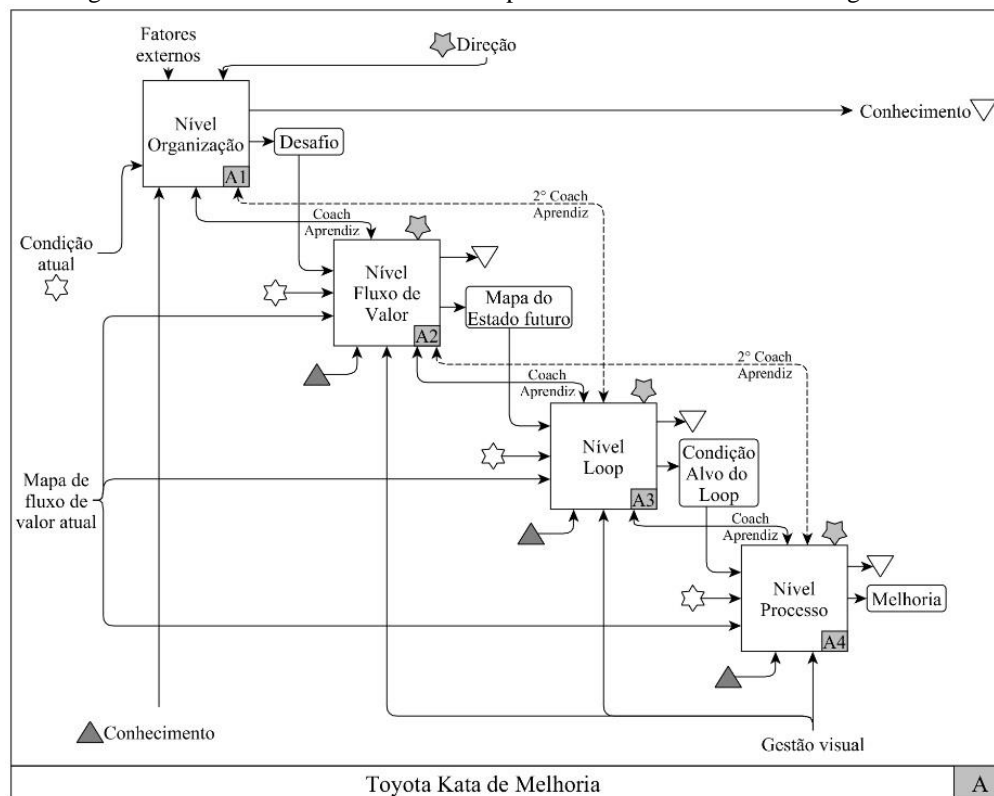
A maior evolução do conceito abordado no TK em relação ao STP foi a identificação da maneira na qual diversos níveis administrativos se relacionam. Onde existem mentores e aprendizes, este relacionamento percorre toda a cadeia hierárquica da empresa, tendo cada indivíduo uma função específica em um objetivo comum, cujo objetivo é encontrar meios de melhoria do sistema produtivo para atender um estado futuro idealizado para o sistema, denominado Visão (Rother, 2008).

A Figura 1 apresenta, conforme a estrutura do IDEF0, a maneira como ocorre a interação dos níveis de comando para a melhoria, com funções atribuídas a cada parte orientada a um objetivo comum. No ‘nível organização’ o desafio de melhoria para o sistema é sintetizado e se mantém para todos os níveis como um objetivo a ser alcançado. Cada esfera de atuação e/ou hierarquia apresenta funções específicas para guiar o sistema até a condição idealizada na forma do desafio, com respectivas interações de aprendizagem entre os níveis mapeados. Em suma, a

função para o ‘nível organização’ é tanto orientar a evolução do sistema, abordando problemas cujas soluções terão impacto real de melhoria, aproximando-o da visão, quanto prestar suporte ao nível inferior – Nível Fluxo de valor – nas decisões de alterações de fluxo de materiais e informações para atender exigências externas.

Para a projeção de evoluções nos sistemas produtivos a abordagem Kata de melhoria – IK – se baseia no método científico, codificado na forma de PDCA, da língua inglesa *Plan, Do, Check e Act*. O ciclo inicia com um planejamento de atividade, seguido pela experimentação proposta, que posteriormente será checada quanto à efetividade e é finalizado por uma avaliação e reflexão dos resultados (Moen, 2009).

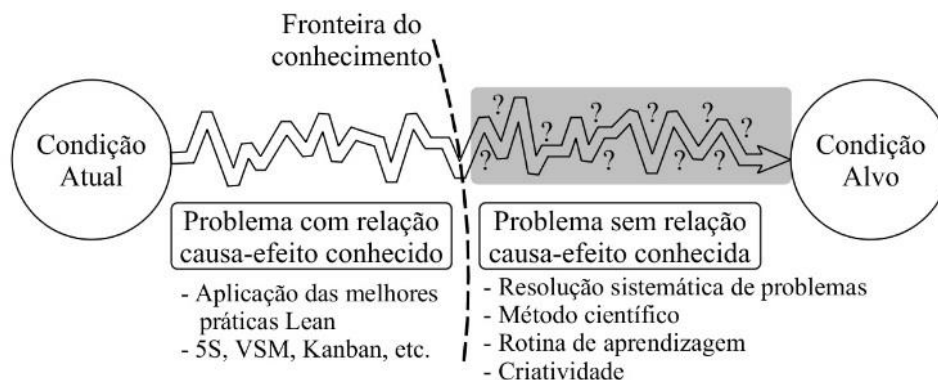
Figura 1 – Relacionamento de mentor e aprendiz de acordo com a abordagem Kata



O caminho para alcançar o próximo estado idealizado do sistema é muitas vezes desconhecido e pode apresentar barreiras imprevistas para implementação. Desta forma, a montadora japonesa faz uso do método científico de Deming com a adição do conceito de observação constante – *go and see* – pois considera que a condição está em constante mutação e a forma de não se tornar distante do sistema é uma rotina de observação. Assim, superando obstáculos por formulação hipóteses e experimentação, de acordo com a abordagem o suporte ao processo de melhoria é provido pelo nível superior, o qual realiza uma função de *Coach* – ou treinador – onde o este não sugere respostas, mas sim por meio de questionamentos faz com que seus aprendizes busquem uma solução plausível para o problema.

Conforme apresentado na Figura 2, apenas uma parcela do caminho entre a condição atual e desejada pode ser antecipada, sendo essa limitada ao conhecimento da organização. Para avançar a fronteira do conhecimento se faz necessária a presença de uma rotina de aprendizagem, baseada no método científico, com soluções novas e criativas. Entretanto, essa abordagem não apresenta ferramentas de suporte, sendo uma barreira para a consolidação da evolução.

Figura 2 – Representação gráfica dos obstáculos inerentes à evolução



Fonte: Adaptado de ROTHER (2008)

Neste contexto, devido a diversidade de melhoria possíveis e incertezas inerentes às mudanças, a utilização de métodos de criatividade se torna de fundamental importância para contribuir com o processo de geração de ideias e concepções inovadoras, favorecendo a evolução sistemática do processo. Dentre os métodos de criatividade mais explorados por profissionais de desenvolvimento de produto pode-se citar o *brainstorming*, o *brainwriting*, o *design thinking*, a técnica MESCRAI e analogias – identificação e transferência de informações (e.g. Biomimética). Ainda, além de métodos de criatividade, tem-se também a possibilidade na aplicação de teorias como a Teoria da Resolução Inventiva de Problemas - TRIZ (Clarkson; Eckert, 2010; Nakagawa, 1998).

A teoria da resolução inventiva de problemas foi originada por meio de análise de patentes, cerca de 200.000 em um primeiro momento, por Genrich Altshuller e seus colaboradores, visando identificar correlações e meios que levaram ao sucesso, assim sintetizando da TRIZ, acrônimo para nome em russo Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch (Smith, 2003).

De acordo com Savransky (2000), todo o conhecimento adquirido pelo homem (exceto matemática e filosofia) pode ser classificado em três grupos: estudo de eventos da natureza, comportamento humano e objetos artificiais. A singularidade da TRIZ é que ela combina

conhecimento desses três grandes grupos. Em suma, TRIZ é uma teoria sistematizada para a resolução inventiva de problemas baseada em conhecimento e orientada pelo homem.

Desta forma, a combinação dos conceitos Lean e TRIZ pode resultar em uma maneira sistemática de resolver problemas na manufatura que não são devidamente abordadas pelas ferramentas Lean. Para isso, este artigo apresenta uma revisão sistemática de literatura realizada de forma a identificar o estado da arte dos conceitos considerados, os integrando por meio de uma sistemática baseada na abordagem TK para resolução de problemas sem relação causa-efeito completamente definida, caracterizados como não simples.

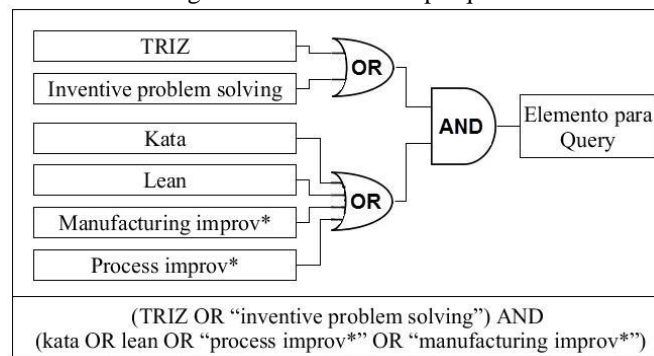
2. Revisão Bibliográfica Sistemática

Estudos publicados compõem a base para uma pesquisa, formando uma lista de informações a ser analisada. Contudo, nenhum processo de busca é capaz de abranger integralmente o conhecimento disponível, uma vez que materiais como teses e dissertações não são facilmente acessíveis. Desta forma, o integrador do conhecimento deve trabalhar dentro de limitações dos tipos temporal e tipos de material (Feldman, 1971).

Este estudo se caracteriza por consultas a bancos de dados científicos realizadas conforme a metodologia *Systematic Search Flow* – SSF – composta por atividades capazes de fornecer alicerce, desde a formação da estratégia de busca até a redação dos resultados, conforme Figura 3 (Ferenhof; Fernandes, 2016).

Na metodologia SSF o protocolo de pesquisa é a primeira fase e contém cinco atividades, onde se apresenta a estratégia de busca, consulta em bancos de dados, gestão de documentos, padronização, seleção e composição do portfólio de documentos, respectivamente. A estratégia de busca foi formulada partindo de requisitos relevantes ao projeto, para os quais foi adotada a formulação de diagrama lógico e posteriormente sua tradução para lógica escrita conforme Figura 3. Nota-se que para absorver variações de escrita, foram adotadas as notações lógicas AND (e), OR (ou), “ ” (notação para frase exata) e * (notação utilizada para admitir outras terminações). A busca foi realizada no período temporal entre o ano de 2001 até o mês de julho de 2017.

Figura 3 – Protocolo de pesquisa



Os bancos de dados selecionados para a pesquisa foram os que apresentaram maior relevância para com a área de engenharia, sendo eles, *Scopus*[®], *Web of Knowledge*[®], *Ebsco*[®], *Compendex*[®] e *ProQuest*[®]. Após a busca, as informações selecionadas foram gerenciadas, comparadas e avaliadas com finalidade de formar o portfólio. A Tabela 2 apresenta as respectivas quantidades de artigos indexados a cada base de dados.

Tabela 2 – Resultado da consulta aos bancos de dados

Banco de dados	Quantidade
<i>Scopus</i> [®]	12
<i>Web of Knowledge</i> [®]	10
<i>Ebsco</i> [®]	7
<i>Compendex</i> [®]	25
<i>ProQuest</i> [®]	55
Total	109

O montante de artigos foi analisado com base em quatro critérios, que serviram como filtros sequenciais, sendo apresentada na Tabela 3 a quantidade de artigos relacionados a cada qual. Como se pode visualizar na Tabela 3, apenas dois artigos resultaram da filtragem, sendo esses (Tabela 4) diretamente relacionados à relação dos conceitos Lean-TRIZ proposta.

Tabela 3 – Filtros aplicado na formação do portfólio

Filtro	Justificativa	Quantidade
Duplicados	Foram comparados os 109 artigos para remoção de artigos duplicados, resultando num subtotal de 96 itens válidos	96
Título / Palavra-chave / Resumo	Remoção de material fora do escopo da pesquisa com base numa análise dos títulos, palavras-chave e resumos, resultando em 23 artigos alinhados à pesquisa	23
Disponíveis	Materiais cujo acesso não pode ser realizado com sucesso, resultando num total de 15 artigos para análise	15
Nível organizacional	Remoção de materiais que não tratavam de melhoria em nível organizacional do IK	2

Tabela 4 – Portfolio gerado por meio da RBS

Idioma	Autores	Data	Título	Nacionalidade
Inglês	Toivonen, T.	2015	<i>Continuous innovation - Combining Toyota Kata and TRIZ for sustained innovation</i>	Finlândia
Inglês	Navas, H. V. G. Cruz Machado, V.	2013	<i>Systematic innovation in a lean management environment</i>	Portugal

Considerando o resultado da revisão sistemática realizada, foram então organizadas as informações dos artigos resultantes, servindo essas como base para o mapeamento do estado da arte Lean-TRIZ para o nível organizacional, de acordo com a abordagem IK. Para isso, as propostas dos autores foram resumidas e analisadas quanto às contribuições reais dos projetos, formando assim o conteúdo exposto na Tabela 5.

Tabela 5 – Resumo e análise dos artigos

Autor	Resumo	Análise
Toivonen, T. (2015)	O autor propõe uma combinação da abordagem Toyota Kata com a teoria TRIZ para inovação contínua, que pode ser usada como forma rápida e pouco custosa de gerenciamento	O autor enquadrando ferramentas apresentadas pela TRIZ a requisitos da abordagem Toyota Kata, gerando utilizações hipotéticas de ferramentas TRIZ no IK
Navas, H. V. G. Cruz Machado, V. (2013)	Os autores almejam criar um modelo robusto de TRIZ-Lean para ser testado em organizações. Presumindo determinar o potencial do modelo	Os autores propuseram correlações entre conceitos apresentados pela manufatura Lean a ferramentas da TRIZ _{plus}

As publicações que formam o estado da arte conforme apresentado nesta RBS são compostas apenas de correlações Lean-TRIZ para resolução de problemas, sem relatos de metodologias. Deste modo, este projeto propõe a criação de uma sistemática baseada no estado da arte para melhorias em nível organizacional segundo a abordagem IK.

3. Integração Lean-TRIZ para nível organizacional

A projeção de modelos para ciências aplicadas consiste em construir e avaliar, onde a construção refere ao processo de criar artefatos específicos e a avaliação determina a operacionalidade do artefato. O *framework* utilizado para construção do modelo é dividido em ‘Outputs de Pesquisa’ e ‘Atividades de Pesquisa’, a primeira dimensão é baseada em artefatos – constructos, modelos, métodos e instâncias – e a segunda dimensão em atividades – construir, avaliar, teorizar e justificar – conforme Tabela 6 (March; Smith, 1995).

Tabela 6 - *Framework* para construção de modelos
Atividades de pesquisa

		Atividades de pesquisa			
		Ciências Aplicadas		Ciências Naturais	
		Construir	Avaliar	Teorizar	Justificar
Outputs de Pesquisa	Constructo	-	-	-	-
	Modelo	-	-	-	-
	Método	-	-	-	-
	Instanciação	-	-	-	-

Fonte: Adaptado de March; Smith (1995)

Com a revisão sistemática foi possível identificar, mesmo que em forma abstrata, indicações de práticas de aplicação de ferramentas TRIZ aos problemas em nível organizacional de acordo com a abordagem IK, a Tabela 7 foi utilizada para organizar os constructos coletados, tornando possível a identificação de requisitos para modelar a sistemática.

Tabela 7 – Constructos para construção do modelo

	Id	Constructo	Justificativa	Fontes
Identificação das condições	A	Identificar e selecionar obstáculo	Compreender condição atual e	Rother (2009) Toivonen (2015)
			fatores externos com objetivo de identificar itens que bloqueiam a evolução do sistema	
Caracterização do problema	B	Classificar problema	Caracterização do problema de acordo com causa-efeito	Snowden e Boone (2007)
TRIZ <i>insights</i>	C	Matriz de contradições (MC)	Busca por <i>Insight</i>	Toivonen (2015)
	C	Identificar TRIZ insight	Definir ordem para planejar soluções	Autores
Método Científico	D	PDCA	Aplicar o método científico para superar obstáculos	Rother (2009)

3.1. Modelo de integração

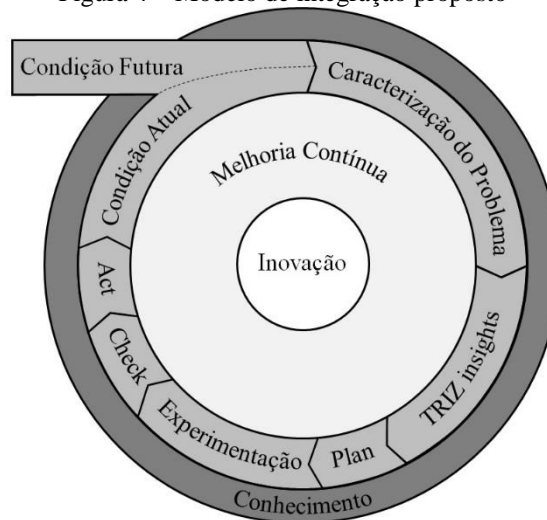
Na síntese do modelo foram identificadas quatro fases, baseadas em conhecimento e com objetivo de gerar melhoria e inovação. Sendo eles:

- a) Identificação das condições: Comparação entre a condição de funcionamento do sistema e condição futura requisitada, identificando obstáculos;

- b) Caracterização do problema: Utilização do conhecimento de causa e efeito para tomada de decisão quanto à forma de superar obstáculos;
- c) TRIZ *insights*: Busca e coleta de *insights* para orientar a resolução do obstáculo encontrado;
- d) Método Científico: Utilização do método científico – codificado no formato PDCA – para planejar soluções, superar obstáculos e gerar conhecimento e inovação.

Desta maneira, o esquema apresentado na Figura 4 contém a representação visual entre os requisitos, assim como o sequenciamento de atividades necessárias. Onde pode ser observado que o processo de melhoria é iniciado pela determinação de uma Condição Futura para o sistema, quando comparada à Condição Atual revela problemas que serão caracterizados e cientificamente abordados em busca das resoluções.

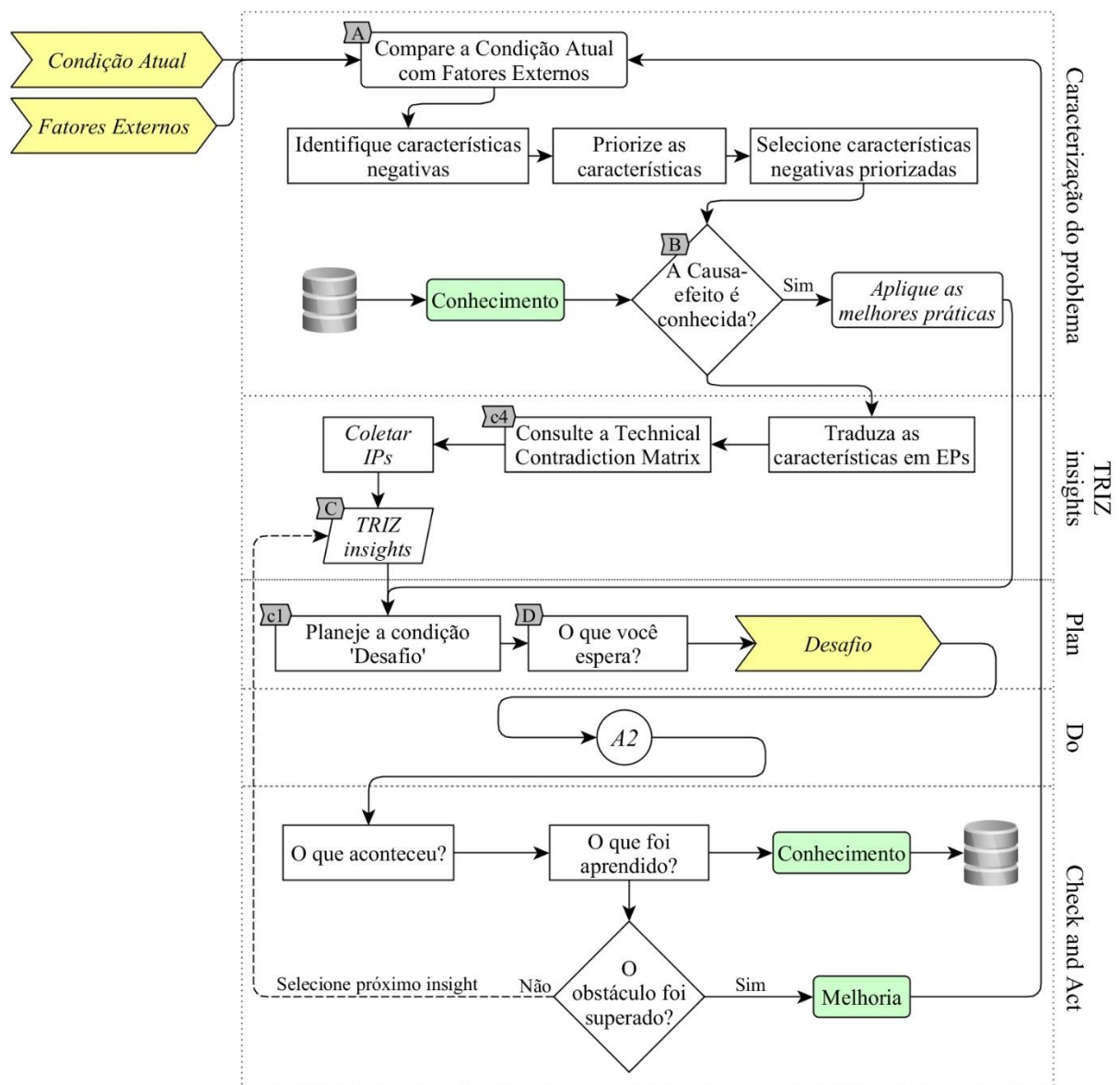
Figura 4 – Modelo de integração proposto



3.2. Sistemática de integração para nível organizacional

Nesta fase de aplicação da sistemática proposta foram concebidos meios de integração das informações organizacionais, identificando um conjunto de ferramentas aplicáveis. Desta maneira, o fluxograma apresentado na Figura 5 foi concebido para o nível abordado neste projeto. Onde conforme o modelo apresentado na Figura 4, a Condição Futura é identificada como Fatores Externas – e.g. requisitos de clientes, normas e diretrizes da empresa – iniciando o fluxo de atividades.

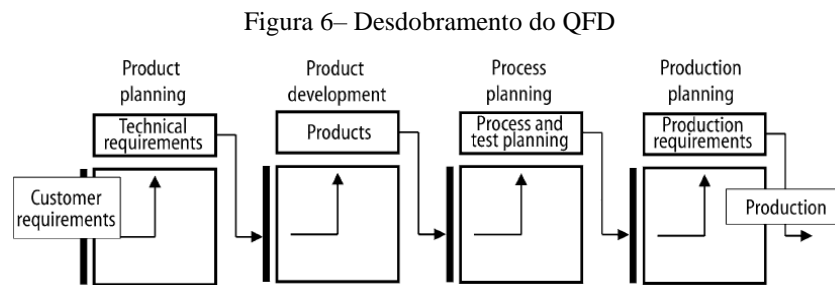
Figura 5 – Sistemática proposta para nível organizacional



No fluxograma pode ser observado que se fez necessária a inserção de conceitos e ferramentas para a comparação da condição atual e fatores externos, assim como para priorizar e selecionar características.

Foi adotado o desdobramento da função qualidade – QFD – para a comparação entre requisitos e condições. Esta é uma metodologia formada por um conjunto de procedimentos, ponderações e tabelas com objetivo de transformar necessidades dos clientes em especificações de projeto (Rozenfeld *et al.*, 2000). Por dispor de um conjunto de ferramentas estruturadas na forma de tabelas relacionais, é possível abordar sistematicamente demandas de clientes para definir requisitos de projeto (Dikmen *et al.*, 2005; Xie *et al.*, 2003). O QFD é uma metodologia que sistematicamente suporta o planejamento do produto e processo, onde requisitos externos são traduzidos em processos organizacionais e requisitos de produção (Pahl; Beitz, 2005). A

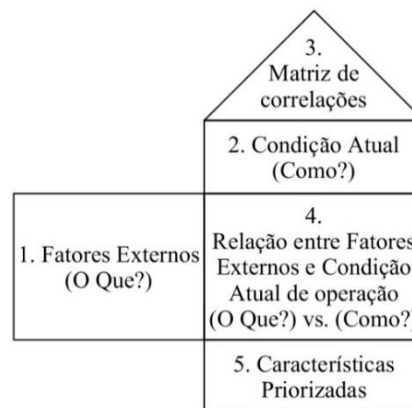
Figura 6 apresenta o processo de quatro etapas da metodologia, ilustrando a integração entre as principais atividades do processo de criação de um produto.



Fonte: Adaptado de Pah; Beitz (2005)

A casa da qualidade – ou QFD – apresenta a matriz de correlação localizada na parte superior, conforme ilustrado na Figura 7. Que por sua vez identifica inter-relações entre pares de características de engenharia, revelando quais características são contraditórias. (Natee *et al.*, 2016)

Figura 7 – Estrutura da casa da qualidade



Fonte: Adaptado de Natee *et al.* (2016)

O resultado numérico das comparações torna possível a realização de análises como a SWOT, para análise de cenários, que considera forças, fraquezas, ameaças e oportunidades (Rozenfeld *et al.*, 2000). Sendo uma ferramenta efetiva para planejamento estratégico, onde forças e fraquezas são identificadas quanto às capacidades internas da organização, e oportunidades e ameaças tratam do ambiente externo (Kubiak; Benbow, 2009). Com as fraquezas do sistema identificadas foi proposta a utilização de uma matriz multicritério – Matriz de Pugh – em busca dos fatores de maior impacto ao sistema. Slack *et al.* (2007) apresentam cinco objetivos de desempenho para um sistema produtivo, sendo custo, confiabilidade, flexibilidade, qualidade e rapidez. Para a matriz proposta os objetivos rapidez e confiabilidade foram substituídos por facilidade de aplicação e oportunidade de inovação, uma vez que são

mais adequados ao escopo deste projeto, conforme Figura 8. Os resultados são novamente classificados gerando prioridades reais de melhoria.

Figura 8 – Matriz multicritério para classificação dos fatores

		Relacionamento:							Classificação		
		● Relacionamento forte (5)	○ Relacionamento médio (3)	△ Relacionamento fraco (1)	Prioridade interna	Baixo Custo	Flexibilidade	Qualidade		Facilidade	Oportunidade de Inovação
Fraquezas no ambiente interno											

Com as fraquezas classificadas, é proposto que os fatores de maior impacto sejam agrupados com fatores conflitantes presentes na Matriz de correlação do QFD, identificando assim contradições presentes no sistema. É pressuposto que ao resolver tais contradições o sistema se aproximará da idealidade, ou seja, de uma condição ideal de operação.

A sistemática apresenta dois caminhos para que contradições sejam resolvidas, no primeiro caso tem-se o conhecimento da relação causa-efeito, onde deve-se aplicar ferramentas conhecidas pelos usuários. No segundo caso, são aplicados os princípios inventivos – PIs – consultados na matriz de contradições – MC – da TRIZ, onde os fatores devem ser traduzidos em parâmetros de engenharia, a MC consultada e *insights* coletados. Partindo dos resultados obtidos devem ser ideadas condições futuras de operação para o sistema, gerando assim o ‘desafio’.

4. Instanciação da sistemática

Para avaliar a sistemática proposta foi realizada validação de performance empírica. Esse tipo de validação é baseado na proposição de exemplos e os resultados devem ser avaliados conforme sua utilidade e quantidade, isso é realizado comparando respostas com e sem o suporte dos constructos, tornando possível análise quantitativa (Pedersen; Satchell, 2000). Por se tratar de suporte a decisões de longo prazo – entre 2 e 5 anos – se fez necessária a realização da instanciação por meio de exemplo.

4.1 Requisitos e proposições para experimentação

Para a experimentação foi proposta a alunos de pós-graduação com conhecimento em processos de manufatura uma empresa fictícia, que fabrica bicicletas e tem como visão se tornar referência em produtos simples e de qualidade. As informações das condições de operação e exigências externas foram identificadas na Tabela 8.

Tabela 8 – Informações base para experimentação

Indicadores do ambiente Interno	Exigências externas
<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidade: 40 horas/semana • Quantidade de operadores: 19 • Utilização da mão de obra: 51,3% • Produção semanal: 270 bicicletas • Lead Time: 21,5 dias • WIP: 13,4 dias 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar giro de estoque • Aumentar volume de produção • Reduzir tempo de entrega • Reduzir custo de produção

4.2 Experimentação sem suporte

Nesta fase da validação, os participantes foram requisitados a realizar três comparações entre as informações da empresa e em seguida realizar ao menos um planejamento para cada comparação e indicar o resultado esperado, a Figura 9 apresenta uma das respostas obtidas.

Figura 9 – Resultado parcial sem suporte da sistemática

Comparação	Quais indicadores?
1º	Aumentar volume de produção utilização da mão de obra

Comparação	O que planeja?	O que espera?
①	organizar atividades de acordo c/ o takttime	↑ utilização mão de obra ↓ nº operadores

Fonte: Autores

Após a realização dos planejamentos foi requisitado que para a definição do desafio fosse selecionado um conjunto de três soluções. Assim como classificar o grau de dificuldade enfrentado para a definição e a satisfação para com as soluções.

4.3 Experimentação com suporte da sistemática

Conforme exposto na sistemática – presente na Figura 5 – a comparação, identificação, priorização e seleção das características negativas foram realizadas por meio da utilização do QFD, análise SWOT, matriz multicritério e da matriz de correlação – telhado do QFD – respectivamente. Com as prioridades identificadas, os usuários definiram de acordo com seus conhecimentos se a relação causa-efeito era conhecida, caso contrário, os indicadores eram traduzidos em parâmetros de engenharia para consultar a MC.

Com a consulta, *insights* foram coletados e planejamentos foram realizados, a Figura 10 apresenta uma das respostas geradas.

Figura 10 – Resultado parcial com suporte da sistemática

Comparação	Quais indicadores?	Tradução adotada para EPs	<i>Insights</i> resultantes
1º	Lead time Prod. Semanal	15 39	35, 17, 14 e 19

Comp	<i>Insight</i>	O que planeja?	O que espera?
1	35	refazer tempo padrão das atividades	↓ Lead time ↑ Prod Semanal
1	17	rearranja layout para prod em paralelo	↑ Prod Semanal
1	14	tornar atividades sequenciais aprox. recebimento da expedição	↑ Prod Semanal ↓ Lead time
1	19	produção em peça unitária intercalando produto	↓ Lead time ↑ Prod Semanal

Conforme realizado na experimentação sem a sistemática, foi requisitado que para a definição do desafio fosse selecionado um conjunto de três soluções, e que fosse classificado o grau de dificuldade enfrentado para a definição, satisfação para com as soluções e a opinião dos participantes para com a utilidade e novidade das respostas com a sistemática.

4.3.1 Conversão de parâmetros para consultar a Matriz de Contradições

Conforme descrito na sistemática, os indicadores deveriam ser convertidos em parâmetros de engenharia para consulta da MC, estas foram assimiladas e estão apresentadas na Tabela 9, onde pode ser observado que alguns indicadores apresentam diversas conversões.

Tabela 9 – Conversões adotadas nas simulações

Indicadores Lean		Parâmetros de Engenharia (TRIZ)	
Capacidade produtiva	39 – Produtividade		
Defeitos	30 – Danos gerados por um objeto		
Disponibilidade	25 – Perda de tempo		
Lead Time	9 – Velocidade	15 – Duração da ação em um objeto em movimento	
Número de operadores	22 – Perda de energia	21 – Energia	
OEE	27 – Confiabilidade		
Produção semanal	39 – Produtividade	29 – Precisão na manufatura	
Utilização da mão de obra	25 – Perda de tempo		
WIP	39 – Produtividade	1 – Peso de um objeto em movimento	
	32 – Facilidade de fabricação	6 – área de um objeto estacionário	

5. Análise dos resultados

Os resultados foram coletados e identificados para análise, sendo aspectos comuns entre ambas as aplicações analisadas estatisticamente e questões exclusivas para a sistemática proposta analisadas qualitativamente.

5.1 Análise estatística

Experimentos que envolvem dois ou mais grupos podem ser analisados através da variância dos resultados. A análise de variância – ANOVA – é aplicável para testes envolvendo a mesma amostra (Smalheiser, 2017)

A ANOVA é realizada por meio da proposição de duas hipóteses, sendo uma delas nula. No caso de a hipótese nula ser dada como verdadeira, significa que o tratamento – ou efeito externo aplicado – não apresenta influência nos resultados (Montgomery *et al.*, 2000).

Desta maneira, a Tabela 10 apresenta os fatores mensurados, assim como a média, desvio padrão e variância dos fatores sob análise.

Tabela 10 – Resultado da análise de variância

Fator mensurado	Presença da sistemática	Média dos resultados	Desvio padrão	Variância	Resultado ANOVA
Quantidade de planejamentos gerados	Não	3,5	1,22	1,5	Com 98% de confiança o tratamento tem efeito
	Sim	6,3	1,86	3,47	
Utilidade das proposições	Não	5,9	0,88	0,77	Com 97% de confiança o tratamento tem efeito
	Sim	7,3	0,83	0,68	
Novidade das soluções	Não	1,5	0,30	0,07	Com 99% de confiança o tratamento tem efeito
	Sim	3,3	1,30	1,69	
Satisfação para com o resultado obtido	Não	6,7	2,04	4,16	Com 97% de confiança o tratamento tem efeito
	Sim	9,17	1,67	1,29	
Grau de dificuldade para definição do desafio	Não	5,0	1,58	2,5	Com 25% de confiança o tratamento tem efeito
	Sim	5,4	2,45	6,04	

Desta maneira pode ser observado que a presença da sistemática potencializa a quantidade, utilidade e novidade das proposições de solução, sem significativamente elevar o grau de dificuldade do processo de definição do desafio.

5.2 Análise qualitativa

Fatores mensurados somente em uma das partes da simulação não podem ser comparadas, onde as respostas atribuem caráter qualitativo. Os participantes responderam questões quanto ao suporte da sistemática e apoio à concepção das soluções para o desafio.

Os dados coletados foram que 96% dos participantes acreditam que não conseguiriam conceber as mesmas soluções sem o apoio da sistemática, e 88% reconheceram o suporte da proposta para sistematicamente resolver contradições internas ao sistema.

6. Conclusões

A proposta alia conhecimento de inovação sistemática aplicada à resolução de problemas em nível organizacional de acordo com a abordagem Toyota Kata, organizando ferramentas para tornar possível sua aplicação. Os resultados experimentais indicaram que apesar do diversificado nível de conhecimento de cada participante, a proposta auxilia na criação de maior quantidade de possíveis soluções, sem aumentar o grau de dificuldade enfrentado e apresenta um alto nível de satisfação nas soluções geradas. Desta forma, este projeto apresenta um avanço na integração Lean-TRIZ ao identificar e sistematizar o estado da arte do tema, ao apresentar conversão entre indicadores e parâmetros de engenharia, assim possibilitando maior utilização da TRIZ por profissionais que visam melhorias em ambientes de manufatura enxuta.

REFERÊNCIAS

- Bashkite, V., & Karaulova, T. (2012) Integration of Green thinking into Lean fundamentals by Theory of Inventive Problems-Solving tools. *DAAAM International*, Vienna, Austria, EU, p. 345-350.
- Clarkson, J., & Eckert, C. (2010). Design process improvement: a review of current practice. *Springer Science & Business Media*.
- Dikmen, I., Birgonul, M. T., & Kiziltas, S. (2005) Strategic use of quality function deployment (QFD) in the construction industry. *Building and environment*, v. 40, n. 2, p. 245-255.
- Feldman, K. A. (1971) Using the work of others: Some observations on reviewing and integrating. *Sociology of Education*, p. 86-102.
- Ferenhof, H. A., & Fernandes, R. F. (2016). Passo-a-passo para construção da Revisão Sistemática e Bibliometria Utilizando a ferramenta Endnote. Florianópolis: IGCI.
- Koren, Yo. (2010). Globalization and manufacturing paradigms. *The Global Manufacturing Revolution: Product-Process-Business Integration and Reconfigurable Systems*, p. 1-40.
- Kubiak, T. M., & Benbow, D. W. (2009) The certified six sigma black belt handbook. *ASQ Quality Press*.
- March, S. T., & Smith, G. F. (1995) Design and natural science research on information technology. *Decision support systems*, v. 15, n. 4, p. 251-266.
- Moen, R. (2009) Foundation and History of the PDSA Cycle. In: *Asian network for quality conference*. Tokyo. https://www.deming.org/sites/default/files/pdf/2015/PDSA_History_Ron_Moen.Pdf.
- Montgomery, D C., Runger, G C., & Calado, V. (2000) Estatística Aplicada E Probabilidade Para Engenheiros. *Grupo Gen-LTC*.
- Morgan, J. M., & Liker, J. K. (2008) Sistema Toyota de desenvolvimento de produto: integrando pessoas, processo e tecnologia. *Bookman Editora*.
- Nakagawa, T. (1998) TRIZ: Theory of Inventive Problem Solving Understanding and Introducing It. *Bulletin of Cultural and Natural Sciences in Osaka Gakuin University*, n. 37, p. 1-12.
- Natee, S., Low, S. P., & Teo, E. A. (2016) Decision Making and Quality Function Deployment (QFD). In: *Quality Function Deployment for Buildable and Sustainable Construction*. *Springer Singapore*. p. 17-55.

- Navas, H. V.G., & Machado, V. Cruz. (2013) Systematic Innovation in a Lean Management Environment. In: *IIE Annual Conference*. Proceedings. Institute of Industrial and Systems Engineers (IISE). p. 2138.
- Pahl, G., & Beitz, W. (2005) Projeto na engenharia. São Paulo: *Edgard Blücher*.
- Pedersen, C. S., & Satchell, S. E. (2000) Small sample analysis of performance measures in the asymmetric response model. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, v. 35, n. 3, p. 425-450.
- Rother, M. (2008) Toyota kata. *McGraw-Hill Professional Publishing*.
- Rozenfeld, H., Forcellini, F. A., & Amaral, D. C. (2000) Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo. *Editora Saraiva*.
- Savransky, S. D. (2000) Engineering of creativity: Introduction to TRIZ methodology of inventive problem solving. *CRC Press*.
- Schreiber, D. (2012) Inovação e desenvolvimento organizacional. Novo Hamburgo. *Editora Feevale*.
- Shingo, S. (1996) O sistema Toyota de produção. *Bookman Editora*.
- Slack, N. (2007) *Administração da produção*/Nigel Slack, Stuart Chambers, Robert Johnston; tradução Maria T. C. de Oliveira, F. Alher; revisão técnica Henrique L. Corrêa—2ª Ed. 7ª reimpr. São Paulo: Atlas.
- Smalheiser, N. (2017) How to Make Your Experiments Robust and Reproducible. 1st Edition. *Elsevier*.
- Smith, E. M. (2003) From russia with TRIZ. *Mechanical Engineering*, v. 125, n. 3, p. D18.
- Snowden, D. J., & Boone, M. E. (2007) A leader's framework for decision-making. *Harvard business review*, v. 85, n. 11, p. 68.
- Toivonen, T. (2015) Continuous innovation—combining Toyota Kata and TRIZ for sustained innovation. *Procedia Engineering*, v. 131, p. 963-974.
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990) Machine that changed the world. *Simon and Schuster*.
- Xie, M., Goh, T. N., & Tan, K. C. (2003) Advanced QFD applications. *ASQ Quality Press*.