

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**RELAÇÕES ENTRE A PRODUÇÃO  
ENXUTA E A COMPLEXIDADE DOS  
SISTEMAS SÓCIO-TÉCNICOS**

MARLON SOLIMAN

Porto Alegre

2018

MARLON SOLIMAN

**RELAÇÕES ENTRE A PRODUÇÃO ENXUTA E A COMPLEXIDADE DOS  
SISTEMAS SÓCIO-TÉCNICOS**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia, na área de concentração em Sistemas de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Tarcisio Abreu Saurin

Porto Alegre

2018

MARLON SOLIMAN

**RELAÇÕES ENTRE A PRODUÇÃO ENXUTA E A COMPLEXIDADE DOS  
SISTEMAS SÓCIO-TÉCNICOS**

Esta tese foi julgada adequada para a obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

---

**Prof. Tarcisio Abreu Saurin, Dr.**  
Orientador PPGE/UFGRS

---

**Prof. Flávio Sanson Fogliatto**  
Coordenador PPGE/UFGRS

**Banca Examinadora:**

Professor Carlos Torres Formoso, Dr. (PPGCI/UFGRS)

Professor Guilherme Luiz Tortorella, Dr. (PPGEP/UFSC)

Professor Ricardo Augusto Cassel, Dr. (PPGEP/UFGRS)

## RESUMO

A necessidade das empresas em aumentar sua eficiência produtiva tem despertado a atenção para a temática da produção enxuta (PE) desde a década de 90. No entanto, é notória a crescente elevação da complexidade organizacional atualmente, de tal forma que os sistemas produtivos estão cada vez mais conectados e sujeitos à imprevisibilidade e dinamismo do ambiente externo. Nesse sentido, estudos recentes apontam que a complexidade é responsável por restringir o avanço das práticas enxutas. Contudo, estes estudos não se encontram apoiados pela teoria da complexidade, o que é inconsistente, visto que a complexidade também pode assumir um papel importante na sustentação da PE. Assim, a pesquisa apresentada nesta tese de doutorado teve como objetivo caracterizar e avaliar as relações entre a produção enxuta e a complexidade dos sistemas sócio-técnicos onde a mesma é implantada. A estratégia de pesquisa foi dividida em três etapas: pesquisa exploratória; descritiva; e explicativa. Na primeira fase, uma revisão sistemática da literatura foi conduzida para evidenciar o estado da arte em relação à temática e as lacunas de conhecimento existentes. Após, um estudo na forma de *survey* buscou-se caracterizar como as empresas com maior nível de adoção dos princípios enxutos diferem-se das demais em relação à complexidade de seus sistemas. Por último, a etapa explicativa buscou através de um estudo de caso identificar e avaliar as lacunas entre a PE como imaginada e como de fato realizada, destacando-se o papel da complexidade nestas lacunas. Esta pesquisa apresenta contribuições acadêmicas e práticas ao descrever e avaliar como a PE se relaciona com a complexidade dos sistemas sócio-técnicos, levando-se em conta a natureza distinta desses sistemas.

**Palavras-chave:** Produção enxuta. Complexidade. Sistemas complexos. Sistemas sócio-técnicos.

## ABSTRACT

The need of companies to increase productive efficiency has been paying attention to the issue of lean production since the 1990s. However, the increasing organizational complexity is evident today, so that production systems are more connected and subject to the unpredictability and dynamism of the external environment. In this sense, recent studies indicate that complexity is responsible for restricting the advance of lean practices. However, these studies are not supported by complexity theory, which is inconsistent, since complexity may also play an important role in sustaining PE. Thus, the research presented in this doctoral thesis aimed to characterize and evaluate the relations between lean production and the complexity of the socio-technical systems where it is adopted. The research strategy was divided into three stages: exploratory research; descriptive; and explanatory. In the first phase, a systematic review of the literature was conducted to show the state of the art in relation to the theme and the existing knowledge gaps. Afterwards, a study in the form of a survey sought to characterize how companies with a higher level of lean principles adoption differ from others in relation to the complexity of their systems. Finally, the explanatory step sought through a case study to identify and evaluate the gaps between lean as imagined and lean as actually done, highlighting the role of complexity in these gaps. This research presents academic and practical contributions by describing and evaluating how LP is related to the complexity of socio-technical systems, taking into account the distinct nature of these systems.

**Keywords:** Lean production. Complexity. Complex systems. Socio-technical systems.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
1.1 Contexto .....	8
1.2 Problema de pesquisa.....	9
1.3 Questões e objetivos da pesquisa.....	12
1.4 Abordagem epistemológica .....	13
1.5 Delineamento da pesquisa.....	14
1.6 Estrutura da tese .....	16
1.7 Delimitações da Tese.....	16
Referências.....	17
<b>2. LEAN PRODUCTION IN COMPLEX SOCIO-TECHNICAL SYSTEMS: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW .....</b>	<b>22</b>
2.1 Introduction .....	22
2.2 What is complexity? .....	25
2.3 Research design .....	27
2.4 Results .....	30
2.5 Conclusions.....	46
References.....	50
<b>3. THE IMPACTS OF LEAN PRODUCTION ON THE COMPLEXITY OF SOCIO- TECHNICAL SYSTEMS .....</b>	<b>59</b>
3.1 Introduction .....	59
3.2 Theoretical background and hypothesis development .....	61
3.3 Research method.....	69
3.4 Results .....	75
3.5 The mixed impacts of lean on complexity.....	91
3.6 Conclusions.....	95
References.....	97
<b>4. LEAN-AS-IMAGINED AND LEAN-AS-DONE: THE INFLUENCE OF COMPLEXITY ON LEAN PRODUCTION .....</b>	<b>104</b>
4.1 Introduction .....	104
4.2 Background.....	106
4.3 Research method.....	108
4.4 Results .....	114
4.5 Discussion.....	126
4.6 Conclusion .....	132
4.7 Acknowledgements .....	134
References.....	135
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>140</b>

5.1 Contribuições da tese.....	140
5.2 Limitações.....	142
5.3 Pesquisas futuras.....	143

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Contexto

A concepção do Sistema Toyota de Produção (STP), marcada pelos esforços iniciais de Taiichi Ohno (1988) e Shigeo Shingo (1989) deu início a uma nova era na gestão industrial. Com foco na redução de desperdícios, estabilidade e nivelamento da carga de trabalho, este sistema ganhou notoriedade devido aos excelentes resultados atingidos pela Toyota Motor Company mesmo durante períodos de recessão econômica (LIKER, 2004). O desempenho superior do STP em relação aos métodos produtivos dos seus principais concorrentes ocidentais serviu como inspiração para uma série de estudos, em especial os organizados pelo *International Motor Vehicle Program* (IMVP/MIT), que nomeou esta nova lógica como produção “enxuta” (*lean*) e iniciou sua disseminação (WOMACK; JONES; ROSS, 1991).

A PE pode ser compreendida como uma filosofia de gerenciamento da produção, a qual engloba artefatos, ferramentas, um conjunto de regras normativas e, em um nível mais profundo, os pressupostos fundamentais sobre os quais esta filosofia se apoia (LIKER; HOSEUS, 2008). Assim, entende-se que as práticas da PE (e.g. sistema kanban, poka-yokes, entre outras) são apenas manifestações de como os princípios fundamentais (e.g. produção puxada) que regem esta filosofia podem ser operacionalizados. Essa distinção entre práticas e princípios implica que a PE pode ser considerada uma filosofia de gerenciamento válida para qualquer configuração de sistema produtivo, uma vez que são os princípios que definem a PE, e não suas práticas.

Desde a década de 90', pesquisas vêm demonstrando os benefícios da produção enxuta (PE) para a redução de tempos de atravessamento (*lead time*), tempos de troca de ferramentas (*setup*) e alavancagem de fluxos de caixa em sistemas produtivos (BARKER, 1994; MACDUFFIE; SETHURAMAN; FISHER, 1996). Melhorias significativas dos indicadores operacionais, financeiros, humanos, mercadológicos e ambientais têm sido alcançadas com a utilização da PE em setores tais como manufatura (DEMETER; MATYUSZ, 2011; FULLERTON; WEMPE, 2009; SEZEN; KARAKADILAR; BUYUKOZKAN, 2012; SHAH; WARD,

2003), logística (HAAN; NAUS; OVERBOOM, 2012) e indústria aeroespacial (BROWNING; HEATH, 2009).

De modo geral, observa-se um elevado interesse prático e acadêmico pelos sistemas de produção enxuta atualmente. Este fenômeno foi demonstrado por Jasti; Kodali (2014) por meio de uma revisão sistemática da literatura, com 546 artigos referentes à produção enxuta (PE) publicados entre 1988 e 2011, na qual 45% das ocorrências datam do último quartil. Os mesmos autores ainda citam: a carência de estudos empíricos, frente à grande quantidade de estudos teóricos; o baixo número de estudos em países subdesenvolvidos; a necessidade de maior disseminação da PE no setor de serviços.

De fato, somente na última década a PE recebeu interesse do setor de serviços e de sistemas sócio-técnicos mais complexos como hospitais (D'ANDREAMATTEO et al., 2015; HADID; AFSHIN MANSOURI, 2014). Um ambiente social e econômico cada vez mais dinâmico e incerto tem pressionado as organizações em geral a se adaptarem constantemente (MALEYEFF, 2012), criando barreiras e dificuldades na implantação e sustentação da PE (DE KOEIJER; PAAUWE; HUIJSMAN, 2014). Exemplos da elevação da complexidade organizacional nos últimos anos podem ser encontrados na gestão da cadeia de suprimentos, onde há necessidade de coordenar um elevado número de agentes que interagem dinamicamente (CHRISTOPHER, 2012; LIU et al., 2013). Da mesma forma, os sistemas sócio-técnicos estão cada vez mais conectados entre si, de tal modo que implementar melhorias sem o profundo conhecimento do contexto e da complexa interação de pessoas, tecnologias, materiais e informações pode levar a resultados indesejados (LORDEN et al., 2014; PACKOWSKI; FRANCAS, 2013; PASQUIRE, 2012).

## **1.2 Problema de pesquisa**

A elevação da complexidade organizacional tem trazido novos desafios à gestão de operações enxutas (AZADEGAN et al., 2013). Neste sentido, uma das atuais frentes de investigação tem sido o estudo dos efeitos do contexto nas implementações enxutas. Marodin; Saurin (2015), por exemplo, constataram a presença de 34 fatores de contexto em um fabricante de válvulas hidráulicas, os

quais possuem capacidade de amplificar e/ou atenuar as barreiras para a implantação da PE.

Aplicações simplistas da produção enxuta são um dos riscos de ignorar o contexto, especialmente em ambientes altamente complexos como a indústria aeroespacial e o setor de saúde (BURSTRÖM et al., 2014). Um exemplo notório é o caso da fabricação do jato F-22, descrito por Browning; Heath (2009). A busca por redução de custos e aumento da eficiência levou a uma implantação da PE, que não proporcionou o tempo necessário para que o sistema de produção se ajustasse ao novo método de trabalho. Com isso, os resultados iniciais foram elevação nos custos e aumento do *lead time*. A intervenção não contemplou a complexa interconexão entre os processos, obscurecida pela incerteza e inovação, levando a empresa a remover as folgas existentes que suportavam estas operações sem que os efeitos colaterais pudessem ser previstos (BROWNING; HEATH, 2009).

Em outro exemplo, Mazzocato et al. (2014) apresentam os resultados da implantação da PE, segundo uma abordagem similar, em sete serviços de emergência pertencentes a um mesmo hospital de grande porte na Suécia. Os autores constataram que, apesar de todas as unidades terem apresentado melhorias nos indicadores, os serviços mais complexos (por exemplo, cirurgia) não conseguiram sustentar os ganhos após três anos, enquanto os serviços de menor complexidade (por exemplo, ginecologia) mantiveram os benefícios iniciais. Conforme a análise dos autores, fatores tais como o tamanho da unidade, heterogeneidade de pessoas e tecnologia influenciaram o nível de complexidade organizacional, levando a resultados diferentes (MAZZOCATO et al., 2014).

Assim como nestes casos apresentados, outros estudos demonstram que a complexidade organizacional é um fator relevante nas implantações enxutas, mas não é tratado de maneira explícita e proativa, sendo muitas vezes só percebido após a ocorrência de resultados inesperados ou indesejados (PAPADOPOULOS; RADNOR; MERALI, 2011). Essa lacuna possivelmente decorre de muitas aplicações da PE utilizarem indistintamente a mesma abordagem tanto para sistemas lineares quanto para altamente complexos. De fato, os atuais sistemas de produção podem ser melhor interpretados como uma rede complexa de pessoas e tecnologias interagindo na busca de um objetivo, de tal forma que não é possível separar o sistema social do sistema técnico na análise destes sistemas. Essa visão é dada

pela teoria dos Sistemas Sócio-Técnicos (TRIST, 1981), a qual possui alinhamento com a teoria da complexidade para a análise de sistemas.

O termo “complexidade” é adotado nesta tese de doutorado como um constructo amplo, englobando os princípios fundamentais da teoria de sistemas (MEEHAN, 1969) e sistemas complexos adaptativos (BRANLAT; WOODS, 2010). Este termo é utilizado como uma perspectiva para a modelagem e análise de sistemas, em linha com os fundamentos da “ciência da complexidade”, a qual vem sendo amplamente utilizada em diversas áreas do conhecimento para avaliar problemas de ordem prática (BRANLAT; WOODS, 2010; KURTZ; SNOWDEN, 2003; PUTNIK; VAN EIJNATTEN; EIJNATTEN, 2004). As diferenças fundamentais entre sistemas sócio-técnicos lineares e complexos estão demonstradas na Tabela 1.1.

**Tabela 1.1 – Sistemas lineares e complexos**

<b>Sistemas complexos</b>	<b>Sistemas lineares</b>
Equipamentos justapostos	Equipamentos espalhados
Proximidade entre as etapas de produção	Etapas de produção segregadas
Muitas conexões comuns entre componentes fora da sequência de produção	Conexões comuns limitadas ao suprimento de energia e ambiente
Limitado isolamento de componentes com defeito	Fácil isolamento de componentes com defeito
Especialização pessoal limita a consciência de interdependências	Baixa especialização de pessoas
Limitada substituição de suprimentos e materiais	Extensiva substituição de suprimentos e materiais
Muitos <i>feedback loops</i> indesejados ou desconhecidos	Poucos <i>feedback loops</i> indesejados ou desconhecidos
Muitos parâmetros de controle com potencial interação	Poucos parâmetros de controle, diretos e segregados
Fontes indiretas de informação	Fontes diretas de informação
Entendimento limitado dos processos	Extensivo entendimento de todos os processos

**Fonte:** Perrow (1984)

Isto posto, pode-se dizer que as relações entre a PE e a complexidade dos sistemas em que ela é implantada ainda não são devidamente claras conceitualmente, nem apoiadas em dados empíricos primários. Além disso, as relações citadas são ambíguas. Por exemplo, o pensamento enxuto tende a reduzir folgas (muitas vezes na forma de estoques), o que pode reduzir a proteção do sistema contra a ocorrência de eventos adversos (CHRISTOPHER, 2012; FEARNE; FOWLER, 2006; FLUMERFELT; BELLA SIRIBAN-MANALANG; KAHLEN, 2012).

Esta fragilidade ficou evidente em 1998, quando uma greve em uma planta produtora de componentes automotivos foi responsável pela parada de todas as operações da General Motors (GM) na América do Norte, resultando em produção perdida de 576.000 veículos e prejuízos de USD 2,2 bilhões (BLUMENSTEIN, 1998; BROWNING; HEATH, 2009). Situação similar foi encontrada por montadoras de automóveis japonesas após a ocorrência de desastres naturais, colocando em evidência os riscos dos sistemas *just-in-time* (CHOZICK, 2007; PARK; HONG; ROH, 2013). Por outro lado, o excesso de estoques, deslocamentos, transportes, procedimentos e informações tende a elevar o nível de complexidade dos sistemas. Estas nuances, que permeiam os novos desafios da produção enxuta em sistemas sócio-técnicos complexos, motivaram a presente pesquisa.

### **1.3 Questões e objetivos da pesquisa**

#### 1.3.1 Questões de pesquisa

Com base no contexto e na problemática apresentada na seção anterior, esta tese trata da seguinte questão de pesquisa: como a produção enxuta se relaciona com os atributos de complexidade em sistemas sócio-técnicos?

#### 1.3.2 Objetivo geral

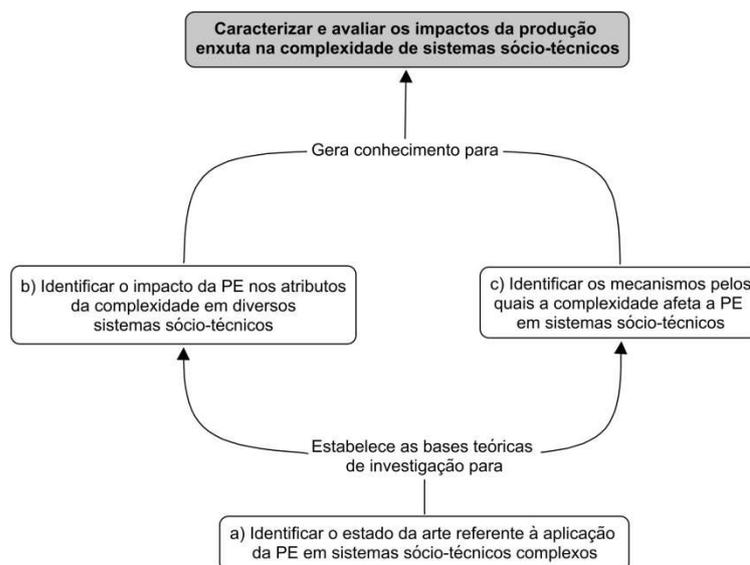
O objetivo geral desta tese é caracterizar e analisar as relações entre a produção enxuta e a complexidade dos sistemas sócio-técnicos onde a mesma é implantada, contribuindo com direcionamentos para a implantação sustentável da produção enxuta nestes sistemas.

#### 1.3.3 Objetivos específicos

A partir do desdobramento do objetivo geral desta Tese, três objetivos específicos foram postulados:

- a) Identificar o estado da arte referente à aplicação da PE em sistemas sócio-técnicos complexos;
- b) Identificar o impacto da PE nos atributos da complexidade em diversos sistemas sócio-técnicos; e
- c) Identificar os mecanismos pelos quais a complexidade afeta a PE em sistemas sócio-técnicos;

As relações entre o objetivo geral e os específicos estão ilustradas na Figura 1.1. Observa-se na figura que o objetivo específico (a) serve como suporte a todos os demais, dado sua natureza exploratória, enquanto que os objetivos (b) e (c) são os meios necessários para o cumprimento do objetivo geral.



**Figura 1.1** – Relações entre os objetivos geral e os específicos

#### 1.4 Abordagem epistemológica

A pesquisa desenvolvida nessa tese de doutorado baseou-se em uma abordagem epistemológica pluralística, o que permite abordar o problema de pesquisa por diversas perspectivas. Assim, utilizaram-se tanto abordagens qualitativas quanto quantitativas, contribuindo para a triangulação (CRESWELL; CLARK, 2013). A abordagem qualitativa, em particular, foi empregada nesta pesquisa porque proporciona (FLICK, 2009): (i) uma compreensão aprofundada dos fenômenos; (ii) melhor evidência dos fatores subjacentes que afetam as variáveis; e (iii) melhor elucidação da relação causal entre os fatores. Em contrapartida, a abordagem quantitativa foi de interesse uma vez que (BALNAVES; CAPUTI, 2001): (i) é indicada para testar teorias objetivas; (ii) fornece proteção contra vieses; e (iii) possibilita melhor controle sobre explicações alternativas.

O método científico predominante nesta pesquisa foi o dialético. O método dialético de interpretação da realidade assume que todos os fenômenos possuem aspectos contraditórios, e que esses são indissolúveis, em um estado constante de

luta entre si (GIL, 2002). O método dialético pressupõe a ausência de um estado absoluto dos fatos, os quais precisam ser sempre considerados em um dado contexto social. Assim, o método dialético torna-se relevante nesta pesquisa pois permite que o conceito de complexidade exista simultaneamente sob diferentes formas, e que tais formas podem ser simultaneamente contraditórias entre si.

## 1.5 Delineamento da pesquisa

O delineamento da pesquisa contempla três fases distintas e sequenciais: exploratória; descritiva; e explicativa. Para o cumprimento de cada uma delas, foram utilizados diferentes procedimentos técnicos, conforme demonstrado na Figura 1.2.

Inicialmente, a pesquisa teve caráter exploratório, cujo objetivo foi proporcionar maior familiaridade dos pesquisadores com o problema e construir as bases teóricas de investigação (HAIR et al., 2011). Para tanto, uma revisão sistemática da literatura foi realizada com base em 94 artigos selecionados a partir de critérios de inclusão e exclusão. A amostra foi analisada tanto sob a ótica da aproximação teórica entre a PE e a ciência da complexidade, quanto sob aspectos de interesse para a prática.

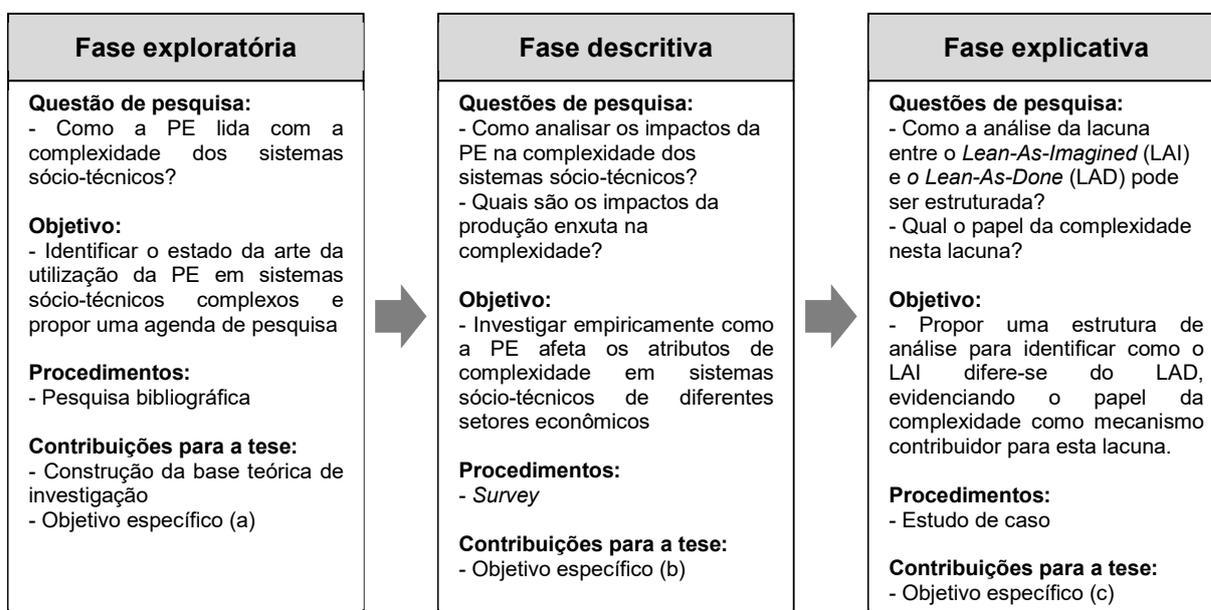


Figura 1.2 – Delineamento da pesquisa

Em um segundo momento, a pesquisa avançou para a fase descritiva. A pesquisa descritiva tem como foco o estudo de um fenômeno alvo, e busca

responder aos questionamentos “quem”, “o quê”, “quando”, “como”, “onde” e “quanto” associados à ocorrência do mesmo (THYER, 2009). Neste momento, o objetivo foi avaliar como a PE afeta os atributos da complexidade. Para isso, uma *survey* foi realizada em diversos sistemas sócio-técnicos brasileiros. Uma análise de *cluster* permitiu separar a amostra em dois conjuntos, sendo um representativo das unidades de análise com alta adoção dos princípios enxutos, e outro com baixa. Após, análises de variância (ANOVA) foram conduzidas para avaliar se havia diferença estatística significativa entre os dois conjuntos, com relação ao nível de complexidade dos mesmos.

Por último, a pesquisa buscou na fase explicativa identificar e analisar em profundidade como a complexidade organizacional contribui para a existência de uma lacuna entre a produção enxuta como imaginada (*Lean-As-Imagined* – LAI) e a produção enxuta como realizada na prática (*Lean-As-Done*, LAD). A pesquisa explicativa visa o entendimento dos “porquês”, aprofundando assim o conhecimento sobre o fenômeno a ser estudado, sendo o tipo de pesquisa que solidifica o conhecimento científico (GIL, 2002). Assim, com base nos resultados atingidos pelas etapas iniciais, a fase explicativa teve como objetivo realizar um estudo de caso em um sistema sócio-técnico complexo baseado na PE para identificar quais são os mecanismos envolvidos que dão origem a lacuna entre o LAI e o LAD e, ao mesmo tempo, contribuem para manter o sistema resiliente diante do ambiente altamente dinâmico e incerto.

Deve-se notar que, enquanto na fase 2 a investigação principal foi no sentido de avaliar os impactos da PE nos atributos de complexidade (PE → complexidade), a fase 3 foi concebida para avaliar o inverso, isto é, os impactos da complexidade na PE (complexidade → PE). Para tanto, justifica-se a utilização de abordagens epistemológicas diferentes uma vez que, na fase 2, o impacto a ser observado era na complexidade, que é um constructo abstrato e, portanto, não passível de observação direta. Por outro lado, na fase 3 o impacto avaliado era da complexidade sobre a PE, que é baseado no distanciamento entre o trabalho prescrito e o realizado, e, portanto, pode ser avaliado *in-loco*. Em conjunto, esta abordagem pluralística mostra-se relevante para avaliar as relações entre a complexidade e a PE por diversas perspectivas.

## 1.6 Estrutura da tese

Esta tese é composta por um capítulo introdutório; três artigos, onde cada um representa o cumprimento de uma das etapas do delineamento da pesquisa; e um capítulo para as considerações finais, totalizando cinco capítulos.

O artigo 1, intitulado “*Lean production and the complexity of socio-technical systems*”, publicado no Journal of Manufacturing Systems (SOLIMAN; SAURIN, 2017) apresenta os resultados da fase exploratória do estudo. Por sua vez, o artigo 2 “*The impacts of lean production on the complexity of socio-technical systems*”, publicado no International Journal of Production Economics (SOLIMAN; SAURIN; ANZANELLO, 2018) é o produto da fase descritiva. O artigo 3, intitulado “*Lean-As-Imagined and Lean-As-Done: the influence of complexity on lean production*”, apresenta os resultados da fase explicativa do problema de pesquisa abordado nesta tese. Por último, o capítulo 5 apresenta as contribuições desta tese retomando os objetivos descendentes do problema de pesquisa originário desta tese. Neste capítulo também são apresentadas as limitações e direcionamentos de estudos futuros.

## 1.7 Delimitações da Tese

O escopo da pesquisa apresentada nesta Tese de doutorado contempla algumas delimitações. Primeiramente, reconhece-se que o tema da complexidade é multifacetado, o que implica na necessidade de escolher a corrente de pensamento apropriada. Walker et al. (2010) discute que a complexidade pode ser compreendida através de três visões: atributos; equivalência computacional; e emergência. A visão de atributos assume que a complexidade de um sistema está relacionada com as propriedades desse sistema e, portanto, a complexidade possui componentes objetivos e quantificáveis. A segunda visão (equivalência computacional) afirma que a complexidade de um sistema é equivalente ao menor algoritmo possível para descrever o sistema, considerando-se assim o conteúdo de informação do sistema. Por último, a visão da complexidade como fenômeno emergente diz respeito ao efeito comportamental do sistema, e não a sua estrutura em si.

Para fins desta pesquisa, optou-se pela visão de atributos, por se entender que esta permite a análise qualitativa e quantitativa dos fenômenos estudados. A visão de atributos assume a complexidade na forma de características, tais como

sistemas abertos (CILLIERS, 1998); interações não lineares (PERROW, 1984); e *feedback loops* (ÉRDI, 2008). Além da visão de atributos, outras categorias de definições incluem a complexidade como fenômeno emergente e complexidade como medida quantitativa, que estão parcialmente contempladas pela visão de atributos (RIGHI; SAURIN, 2015; WALKER et al., 2010).

Nesta pesquisa, a complexidade é abordada segundo a perspectiva filosófica do realismo crítico. Esta visão possui uma abordagem intermediária entre o realismo, que defende a existência de uma realidade objetiva; e o construtivismo, que reconhece que a observação de um fenômeno está sujeita a percepção do indivíduo e está sempre sujeita a imprecisões (ARCHER et al., 1998). A abordagem através do realismo crítico implica que a complexidade, independente das perspectivas que a definem, pode ser gerenciada e influenciada, o que é relevante para a gestão de operações.

Outra delimitação importante é que a PE é contexto-dependente. Como consequência, a estratégia de pesquisa a partir de *survey* e estudo de caso limitam o os resultados quanto a generalizações (MEREDITH et al., 1989). Ainda assim, ressalta-se que os procedimentos e estruturas de análise de dados utilizados não pressupõem um contexto específico para sua aplicação e, portanto, podem ser considerados válidos em outras configurações de estudos.

Por último, destaca-se a impossibilidade de garantir que todas as relações possíveis entre os constructos tenham sido mapeadas, nem que todas as variáveis que influenciam as relações entre a PE e a complexidade tenham sido identificadas. Deste modo, é plausível que não se possam extrair conclusões que expliquem isoladamente os efeitos da PE sobre a complexidade e vice-versa, uma vez que sistemas complexos possuem um fator inerente de incerteza nas suas interações, o que leva a estados imprevisíveis de comportamento (CHRISTOFFERSEN; WOODS, 1999).

## Referências

ARCHER, M. et al. **Critical Realism: Essential Readings**. London: Routledge, 1998.

AZADEGAN, A. et al. The effect of environmental complexity and environmental dynamism on lean practices. **Journal of Operations Management**, v. 31, n. 4, p. 193–212, 2013.

BALNAVES, M.; CAPUTI, P. **Introduction to Quantitative Research Methods: An Investigative Approach**. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2001.

BARKER, R. C. The design of lean manufacturing systems using time-based analysis. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 14, n. 11, p. 86–96, 1994.

BLUMENSTEIN, R. Strike Pushes GM to Shut Down All North American Operations. **The Wall Street Journal**, p. A2, 1998.

BRANLAT, M.; WOODS, D. D. **How do Systems Manage Their Adaptive Capacity to Successfully Handle Disruptions? A Resilience Engineering Perspective**. Papers from the AAAI Fall Symposium (FS-10-03) How. **Anais...Menlo Park: The AAAI Press**, 2010Disponível em: <<http://www.aaai.org/ocs/index.php/FSS/FSS10/paper/viewPaper/2238>>

BROWNING, T. R.; HEATH, R. D. Reconceptualizing the effects of lean on production costs with evidence from the F-22 program. **Journal of Operations Management**, v. 27, n. 1, p. 23–44, 2009.

BURSTRÖM, L. et al. The patient safety culture as perceived by staff at two different emergency departments before and after introducing a flow-oriented working model with team triage and lean principles: a repeated cross-sectional study. **BMC health services research**, v. 14, n. 1, p. 296, 2014.

CHOZICK, A. A Key Strategy of Japan's Car Makers Backfires. **The Wall Street Journal**, 2007.

CHRISTOFFERSEN, K.; WOODS, D. D. How complex human machine systems fail: putting "human error" in the context. In: **The Occupational Ergonomics Handbook**. Boca Raton: CRC Press, 1999. p. 585–601.

CHRISTOPHER, M. Managing supply chain complexity: Identifying the requisite skills. **Supply Chain Forum: an International Journal**, v. 13, p. 4–10, 2012.

CILLIERS, P. **Complexity and postmodernism: Understanding complex systems**. London: Routledge, 1998.

CRESWELL, J. W.; CLARK, V. L. P. **Pesquisa de Métodos Mistos**. Porto Alegre: Grupo A, 2013.

D'ANDREAMATTEO, A. et al. Lean in healthcare: A comprehensive review. **Health Policy**, v. 119, n. 9, p. 1197–1209, set. 2015.

DE KOEIJER, R. J.; PAAUWE, J.; HUIJSMAN, R. Toward a conceptual framework for exploring multilevel relationships between Lean Management and Six Sigma, enabling HRM, strategic climate and outcomes in healthcare. **The International Journal of Human Resource Management**, v. 25, n. 21, p. 2911–2925, 2014.

DEMETER, K.; MATYUSZ, Z. The impact of lean practices on inventory turnover. **International Journal of Production Economics**, v. 133, n. 1, p. 154–163, set. 2011.

ÉRDI, P. **Complexity explained**. Berlin: Springer, 2008.

FEARNE, A.; FOWLER, N. Efficiency versus effectiveness in construction supply chains: the dangers of “lean” thinking in isolation. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 11, n. 4, p. 283–287, jul. 2006.

FLICK, U. **An Introduction to Qualitative Research**. New York: SAGE Publications, 2009.

FLUMERFELT, S.; BELLA SIRIBAN-MANALANG, A.; KAHLEN, F.-J. Are agile and lean manufacturing systems employing sustainability, complexity and organizational learning? **The Learning Organization**, v. 19, n. 3, p. 238–247, 2012.

FULLERTON, R. R.; WEMPE, W. F. Lean manufacturing, non-financial performance measures, and financial performance. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 29, n. 3, p. 214–240, 20 fev. 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

HAAN, J. DE; NAUS, F.; OVERBOOM, M. Creative tension in a lean work environment: Implications for logistics firms and workers. **International Journal of Production Economics**, v. 137, n. 1, p. 157–164, 2012.

HADID, W.; AFSHIN MANSOURI, S. The lean-performance relationship in services: a theoretical model. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 34, n. 6, p. 750–785, 2014.

HAIR, J. F. et al. **Essentials of Business Research Methods**. London: Routledge, 2011.

JASTI, N. V. K.; KODALI, R. Lean production: literature review and trends. **International Journal of Production Research**, v. 53, n. 3, p. 867–885, 2015.

KURTZ, C. F.; SNOWDEN, D. J. The New Dynamics of Strategy: Sense-making in a Complex-Complicated World. **IBM Systems Journal**, v. 42, n. 3, p. 462–483, 2003.

LIKER, J. **The Toyota Way: 14 Management Principles from the World’s Greatest Manufacturer**. New York: McGraw-Hill Education, 2004.

LIKER, J.; HOSEUS, M. **Toyota Culture: The Heart and Soul of the Toyota Way**. 1. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2008.

LIU, S. et al. A decision-focused knowledge management framework to support collaborative decision making for lean supply chain management. **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 7, p. 1–15, 2013.

LORDEN, A. L. et al. Measures of Success: The Role of Human Factors in Lean Implementation in Healthcare. **Quality Management Journal**, v. 21, n. 3, p. 26–37, 2014.

MACDUFFIE, J. P.; SETHURAMAN, K.; FISHER, M. L. Product Variety and Manufacturing Performance: Evidence from the International Automotive Assembly Plant Study. **Management Science**, v. 42, n. 3, p. 350–369, 1996.

MALEYEFF, J. The continuing evolution of Lean Six Sigma. **The TQM Journal**, v. 24, n. 6, p. 542–555, 2012.

MARODIN, G. A.; SAURIN, T. A. Managing barriers to lean production implementation: context matters. **International Journal of Production Research**, v. 53, n. 13, p. 3947–3962, 2015.

MAZZOCATO, P. et al. Complexity complicates lean: lessons from seven emergency services. **Journal of Health Organization and Management**, v. 28, n. 2, p. 266–288, 13 maio 2014.

MEEHAN, M. C. General System Theory: Foundations, Development, Applications. **JAMA: The Journal of the American Medical Association**, v. 208, n. 5, p. 870, 5 maio 1969.

MEREDITH, J. R. et al. in Operations. **Journal of Operations Management**, v. 8, n. 4, p. 297–326, 1989.

OHNO, T. **Toyota production system: beyond large-scale production**. New York: Productivity Press, 1988.

PACKOWSKI, J.; FRANCAS, D. LEAN SCM: A paradigm shift in supply chain management. **Journal of Business Chemistry**, v. 10, n. 3, p. 131–137, 2013.

PAPADOPOULOS, T.; RADNOR, Z.; MERALI, Y. The role of actor associations in understanding the implementation of Lean thinking in healthcare. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 31, n. 2, p. 167–191, 2011.

PARK, Y.; HONG, P.; ROH, J. J. Supply chain lessons from the catastrophic natural disaster in Japan. **Business Horizons**, v. 56, n. 1, p. 75–85, 2013.

PASQUIRE, C. Positioning Lean within an exploration of engineering construction. **Construction Management and Economics**, v. 30, n. 8, p. 673–685, 2012.

PERROW, C. **Normal Accidents: Living with High-Risk Technologies**. Princeton: Princeton University Press, 1984.

PUTNIK, G. D.; VAN EIJNATTEN, F. M.; EIJNATTEN, F. M. VAN. Chaordic systems thinking for learning organizations. **The Learning Organization**, v. 11, n. 6, p. 491–494, dez. 2004.

RIGHI, A. W.; SAURIN, T. A. Complex socio-technical systems: Characterization and management guidelines. **Applied Ergonomics**, v. 50, p. 19–30, 2015.

SEZEN, B.; KARAKADILAR, I. S.; BUYUKOZKAN, G. Proposition of a model for measuring adherence to lean practices: applied to Turkish automotive part suppliers. **International Journal of Production Research**, v. 50, n. 14, p. 3878–3894, 2012.

SHAH, R.; WARD, P. T. Lean Manufacturing : Context , Practice Bundles , and Performance. **Journal of Operations Management**, v. 21, p. 129–149, 2003.

SHINGO, S. **A study of the Toyota production system: from an industrial engineering viewpoint**. New York: Productivity Press, 1989.

SOLIMAN, M.; SAURIN, T. A. Lean production in complex socio-technical systems: A systematic literature review. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 45, p. 135–148, 1 out. 2017.

SOLIMAN, M.; SAURIN, T. A.; ANZANELLO, M. J. The impacts of lean production on the complexity of socio-technical systems. **International Journal of Production Economics**, v. 197, p. 342–357, mar. 2018.

THYER, B. A. **The Handbook of Social Work Research Methods**. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2009.

TRIST, E. **The Evolution of socio-technical systems**. Ontario: Ontario Quality of Working Life Centre, 1981. v. 2

WALKER, G. H. et al. Translating concepts of complexity to the field of ergonomics. **Ergonomics**, v. 53, n. 10, p. 1175–1186, 2010.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROSS, D. **The machine that changed the world**. New York: Productivity Press, 1991.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 Contribuições da tese

A pesquisa apresentada nesta tese de doutorado originou-se da constatação de que muitas empresas buscam aumentar a eficiência de seus sistemas sócio-técnicos através da adoção da produção enxuta, ao mesmo tempo em que se percebe uma escalada no nível de complexidade organizacional devido ao acoplamento cada vez mais rígido entre sistemas. Neste cenário, as relações entre a produção enxuta e a complexidade são ambíguas, uma vez que a complexidade pode ser tanto um entrave quanto um recurso para a sustentação de um sistema enxuto. Assim, esta tese foi motivada pela seguinte questão de pesquisa: como a produção enxuta se relaciona com os atributos de complexidade em sistemas sócio-técnicos?

Para satisfazer este questionamento, caracterizar e analisar as relações entre a produção enxuta e a complexidade dos sistemas sócio-técnicos onde a mesma é implantada, contribuindo com direcionamentos para a implantação sustentável da produção enxuta nestes sistemas. A pesquisa foi conduzida através de três fases, sendo inicialmente realizada uma revisão sistemática da literatura com objetivo exploratório, passando para a fase descritiva conduzida através de uma *survey* e, por último, a fase explicativa através de um estudo de caso.

Os resultados encontrados, a partir de diferentes fontes teóricas e empíricas ao longo das três fases da pesquisa, permitem uma série de contribuições práticas e acadêmicas. Uma das primeiras contribuições desta tese foi o esclarecimento de como a complexidade é abordada em sistemas enxutos. O estudo de revisão sistemática da literatura (Capítulo 2) mostrou que em apenas 20% dos casos a complexidade é abordada de maneira compatível com a teoria. Dessa forma, observa-se a utilização deste termo de maneira vaga e imprecisa, sem uma definição clara do que é e o que conta como um sistema complexo. Como consequência, este estudo demonstrou que a abordagem linear, presente em uma série de práticas enxutas, tem sido utilizada indistintamente em sistemas complexos, gerando efeitos indesejados.

Outro aspecto relevante que emergiu desta tese de doutorado foi a constatação de que a complexidade pode ser tanto um recurso quanto uma fragilidade para sistemas sócio-técnicos. A literatura consultada durante a revisão sistemática traz uma visão predominantemente negativa da complexidade, alegando que a alta complexidade é um entrave para o avanço da PE. No entanto, a contribuição desta pesquisa traz um entendimento mais equilibrado entre a PE e a complexidade, mostrando que, por exemplo, algumas práticas da PE tais como multifuncionalidade e *kaizen* só são possíveis pela existência de um nível mínimo de complexidade. Além disso, as adaptações mostradas ao longo do Capítulo 4 (vistas como lacunas entre o LAI e o LAD) demonstram que a complexidade é tanto uma limitação para operação do sistema conforme o LAI, tanto um recurso para a resiliência para compensar pela impossibilidade de seguir o LAI. Assim, essa pesquisa apresenta uma tentativa de classificação da complexidade em recurso/fragilidade de acordo com seu efeito, onde um mesmo atributo de complexidade pode ter efeitos desejáveis ou indesejáveis.

A orientação empírica desta pesquisa também contribuiu para a coleta e análise de evidências tanto dos impactos da PE sobre a complexidade, quanto da complexidade sobre a PE. No estudo retratado no Capítulo 3 (impactos da PE sobre a complexidade), a pesquisa realizada analisou uma amostra de 326 sistemas sócio-técnicos para avaliar se o nível de complexidade presente em ambientes mais alinhados com a PE é, de fato, diferente de ambientes menos alinhados à PE. Neste sentido, a contribuição trazida foi tanto no sentido de apresentar e testar uma framework para avaliar o nível de complexidade em ambientes sócio-técnicos, bem como descrever em quais dimensões é esperado que a PE influencie na complexidade desses sistemas. Constatou-se, ao final, que a PE possui efeitos mistos sobre a complexidade, contribuindo principalmente na redução da variabilidade, ao mesmo tempo em que eleva o nível de interação dinâmica entre as partes. Ao mesmo tempo, percebeu-se um claro benefício da PE para a resiliência de sistemas sócio-técnicos.

Por outro lado, a investigação de como a complexidade afeta a PE foi retratada no Capítulo 4, com a investigação do papel da complexidade na investigação das lacunas entre o entre o *Lean-As-Imagined* (LAI) e o *Lean-As-Done* (LAD). A teoria da complexidade pressupõe que o trabalho executado pelas pessoas

em um sistema sócio-técnico tende a apresentar lacunas significativas em comparação com o trabalho como prescrito pelos projetistas do sistema. Assim, a contribuição desta tese de doutorado foi no sentido de conceber uma estrutura analítica que permitiu comparar o LAI e o LAD em um caso real. Os resultados mostraram que a complexidade contribui para o surgimento destas lacunas nos exemplos apresentados, e que resultados operacionais envolvem dimensões de resiliência que vão além do projeto e controle do sistema.

A elucidação dos mecanismos que regulam as relações entre atributos de complexidade e práticas da PE em um sistema sócio-técnico também é uma contribuição relevante desta tese de doutorado. Conforme observado empiricamente, a complexidade organizacional traz uma série de situações imprevistas que necessitam rápida adaptação dos sistemas, mesmo em um sistema que vem sistematicamente implantando a PE ao longo de décadas. Assim, os resultados desta tese trazem contribuições acadêmicas e gerenciais ao descrever em profundidade como estas relações ocorrem, bem como ao propor prescrições para a reconciliação do *Lean-As-Imagined* e do *Lean-As-Done*, alinhadas com a teoria da complexidade.

Com base nas contribuições apresentadas, pode-se concluir que o objetivo geral e os específicos desta tese foram cumpridos, uma vez que a abordagem pluralística utilizada mostrou-se capaz de caracterizar e analisar as relações entre a produção enxuta e a complexidade dos sistemas sócio-técnicos onde a mesma é implantada. Uma vez satisfeitos estes objetivos, pode-se concluir que a questão de pesquisa que originou esta tese foi satisfatoriamente respondida, sendo que cada uma das três etapas da pesquisa apresentou contribuições distintas, porém complementares entre si para este fim.

## **5.2 Limitações**

As limitações desta pesquisa devem ser ressaltadas. Inicialmente, as avaliações quanto ao nível de maturidade enxuta (*leaness*) foram limitadas de diferentes maneiras em cada etapa. Na revisão sistemática, esta limitação foi decorrente da ausência de evidências empíricas sobre o nível de maturidade da PE nos casos reportados. Na fase descritiva desta pesquisa (*survey*), a avaliação

utilizada com base nos 14 princípios enxutos propostos por Liker (2004) reflete uma preferência justificada dos pesquisadores por esta *framework*, embora outras fossem igualmente possíveis de serem adotadas. No estudo de caso, não foi realizada uma avaliação do nível de maturidade da PE na empresa estudada, optando-se por analisar apenas como as práticas já implantadas eram influenciadas pela complexidade do sistema sócio-técnico.

De mesma forma, as fases exploratória (revisão sistemática) e descritiva (*survey*) também possuem limitações na avaliação do nível de complexidade dos sistemas abordados. No caso da revisão sistemática, a limitação foi consequência de descrições insuficientes do contexto da adoção da PE nos sistemas sob intervenção, enquanto para a *survey* entende-se que esta limitação foi decorrente da estratégia de pesquisa utilizada, onde se priorizou a coleta de dados em uma amostra mais extensa ao invés da avaliação do contexto em profundidade.

Por fim, esta pesquisa traz em sua fase explicativa um único estudo de caso. Esta limitação impõe restrições quanto à generalização dos resultados, uma vez que se trata de evidências particulares do sistema sócio-técnico abordado.

### **5.3 Pesquisas futuras**

Ao longo deste estudo, diversas oportunidades de pesquisas futuras foram vislumbradas, quais sejam:

(a) A criação de uma *framework* para a operacionalização dos conceitos de valor e perda alinhados com a teoria da complexidade. Conforme demonstrado nesta pesquisa, estes conceitos possuem nuances que não são condizentes com a racionalidade objetiva da ciência reducionista, de tal forma que existem ambiguidades sobre a real contribuição das atividades para a agregação de valor quando analisadas as interações entre as mesmas. Assim, propõe-se que a construção de uma *framework* para a operacionalização destes conceitos pode auxiliar na adoção da PE de forma mais robusta e com maior possibilidade de sustentação no longo prazo.

(b) Construção de um método para avaliar o efeito na complexidade em ações de melhoria de processos. Embora existam diversos métodos para o gerenciamento de ações de melhoria contínua (e.g. planos de ação, gerenciamento

A3, gestão de projetos, entre outros), o efeito dessas ações sobre a complexidade dos sistemas não é avaliado. Dessa forma, sugere-se que o efeito na complexidade (e.g. aumento no número de partes, interações, variabilidade inesperada, capacidade de resiliência) seja considerado explicitamente, visando minimizar o risco da introdução dos novos padrões de trabalho.

(c) Construção de um método para identificar e avaliar os pressupostos implícitos nas práticas da PE. A utilização de práticas enxutas pelas empresas leva em conta diversos pressupostos na sua concepção sobre como a prática projetada irá interagir com o sistema, com as pessoas, com os recursos e condições ambientais. No entanto, o nível de aderência da realidade a tais pressupostos não podem ser completamente antecipados, e por isso o trabalho real tende a distanciar-se do trabalho imaginado. Assim, para realinhar o trabalho real ao imaginado, é necessário um método que permita identificar esses pressupostos (implícitos e explícitos) e avalia-los quanto a sua aderência as condições reais de operação.

(d) Avaliar os mecanismos pelos quais a PE influencia a resiliência e o desempenho operacional dos sistemas sócio-técnicos. Diversos estudos demonstraram melhorias nos resultados operacionais com a implantação da PE, bem como esta pesquisa mostrou que a resiliência do sistema também é positivamente influenciada. No entanto, os mecanismos pelos quais esta influência ocorre ainda não foram suficientemente esclarecidos. Assim, novos estudos podem explorar ainda mais estes mecanismos para um melhor entendimento de causalidade entre a PE e resultados operacionais.

(e) Desenvolvimento de uma sistemática para a implantação da PE alinhada com a complexidade do contexto particular em que ela é implantada. O desenvolvimento de meios para a adoção da PE levando-se explicitamente em conta o papel da complexidade representa um interesse acadêmico e prático. Dessa forma, pode-se buscar uma sistemática que melhor aborde a sequência e método de implantação de diversas práticas da PE em conjunto, considerando as interações entre as mesmas e avaliando como os usuários dessas práticas iram adaptar seu trabalho para melhor desempenhar suas funções.