



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia Mecânica

IZABELA SIMON RAMPASSO

**Validação de um modelo para mensurar a
maturidade de células de manufatura *lean***

CAMPINAS
2017

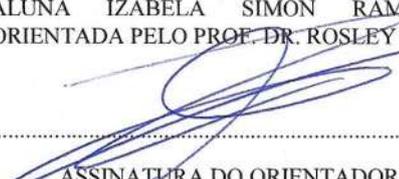
IZABELA SIMON RAMPASSO

Validação de um modelo para mensurar a maturidade de células de manufatura *lean*

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica, na Área de Materiais e Processos de Fabricação.

Orientador: Prof. Dr. Rosley Anholon

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA ALUNA IZABELA SIMON RAMPASSO, E ORIENTADA PELO PROF. DR. ROSLEY ANHOLON.


.....
ASSINATURA DO ORIENTADOR

Prof. Dr. Rosley Anholon
Depto. de Engenharia de Manufatura e Materiais
Faculdade de Engenharia Mecânica / UNICAMP
Matricula 306306

CAMPINAS
2017

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): CAPES, 33003017; FAPESP, 2015/23667-6

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Luciana Pietrosanto Milla - CRB 8/8129

R147v Rampasso, Izabela Simon, 1993-
Validação de um modelo para mensurar a maturidade de células de manufatura lean / Izabela Simon Rampasso. – Campinas, SP : [s.n.], 2017.

Orientador: Rosley Anholon.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Produção enxuta. 2. Manufatura celular. I. Anholon, Rosley, 1979-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Validation of a model to measure the maturity of lean manufacturing cells

Palavras-chave em inglês:

Lean production

Manufacturing cells

Área de concentração: Materiais e Processos de Fabricação

Titulação: Mestra em Engenharia Mecânica

Banca examinadora:

Rosley Anholon [Orientador]

Amauri Hassui

Eduardo Guilherme Satolo

Data de defesa: 21-07-2017

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Mecânica

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MANUFATURA E
MATERIAIS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO

**Validação de um modelo para mensurar a
maturidade de células de manufatura *lean***

Autora: Izabela Simon Rampasso

Orientador: Prof. Dr. Rosley Anholon

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:

Prof. Dr. Rosley Anholon, Presidente
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

Prof. Dr. Amauri Hassui
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

Prof. Dr. Eduardo Guilherme Satolo
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP)

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

Campinas, 21 de Julho de 2017.

Agradecimentos

Ao meu orientador, Rosley Anholon, pela oportunidade, amizade, paciência e todo o suporte oferecido, pelos quais não tenho palavras para agradecer.

Ao professor Dirceu da Silva, por todo o auxílio prestado durante a pesquisa, com esclarecimentos que permitiram o tratamento estatístico dos dados desta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos, fundamental para que eu me pudesse dedicar exclusivamente à minha pesquisa.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), pelo financiamento ao projeto de pesquisa do meu orientador, o qual obtive como um dos resultados a minha dissertação.

Ao Fernando F. Albuquerque, ao Renato Mana e ao Oswaldo Terugi Miyakuchi Junior, pela disponibilidade e por todos os esclarecimentos, essenciais para que eu pudesse realizar essa pesquisa.

A todos os respondentes da *survey* realizada, que viabilizaram a realização desta pesquisa.

Ao Otavio, à Beatriz e à Francisca, por deixarem minha vida mais leve.

Aos meus pais e à Deus, por tudo.

Resumo

Esta dissertação tem como principal objetivo a validação de um modelo desenvolvido para mensurar a maturidade de células que utilizam a filosofia do *lean production*. O modelo teórico foi construído a partir de parâmetros levantados na literatura e de informações advindas da realização de um painel de especialistas. Tomando por base este modelo teórico, realizou-se uma *survey* com 101 gestores de células e os dados coletados foram analisados via técnica de Modelagem de Equações Estruturais (PLS-SEM). Os resultados evidenciaram que a maturidade de uma célula de manufatura pode ser mensurada através três constructos principais denominados “Conhecimento e Habilidade dos Colaboradores”, “Qualidade e Melhoria Contínua” e “Configuração da Célula”, sendo que o segundo constructo impacta de forma mais acentuada a maturidade da célula do que os demais. Os mesmos resultados evidenciaram ainda que um quarto constructo, denominado “Liderança, Autonomia e Comunicação” influencia de forma indireta a maturidade da célula. Uma vez validado, o referido modelo foi utilizado para avaliar duas células de produção de uma empresa do segmento automotivo da região de Campinas. Os resultados decorrentes desta dissertação são de extrema valia tanto para gestores de células de manufatura quanto para pesquisadores interessados no tema em suas futuras pesquisas. É importante salientar que esta pesquisa possui um caráter exploratório e não pretende definir o modelo aqui estudado como o único plausível para a mensuração da maturidade de células *lean*. Sua construção e validação tomou por base a literatura, a opinião de especialistas em *lean* e a opinião de 101 gestores de células e, portanto, a consulta a diferentes artigos e, principalmente a diferentes especialistas e gestores, podem conduzir a resultados ligeiramente diferentes.

Palavras-chaves: *Lean Production*; Células de Manufatura; Modelo de Maturidade; Modelagem de Equações Estruturais.

Abstract

This master thesis has as its main objective the validation of a model developed to measure the maturity of manufacturing cells which use the philosophy of lean production. The theoretical model was constructed with parameters from literature and informations from a panel of experts. Based on this theoretical model, a survey was realized with 101 cells' managers and the data collected were analyzed via Structural Equation Modeling technique (PLS-SEM). The results evidenced that the maturity of a manufacturing cell can be measured through three constructs named "Knowledge and Skill of Employees", "Quality and Continuous Improvement" and "Cell Configuration", and the second construct has a more significant impact on cell maturity than the others. The same results also demonstrated that a fourth construct, named "Leadership, Autonomy and Communication" influences the cell's maturity indirectly. Once validated, the mentioned model was used to evaluate two production cells of a company from the automotive segment in the Campinas region. The findings of this dissertation are extremely valuable both for managers of manufacturing cells and for researchers interested in the subject for their future research. It is important to highlight that this research has an exploratory character and does not intend to define the model studied here as the only plausible model for the measurement of lean cells maturity. Its construction and validation was based on literature, experts' opinion and the opinion of 101 cells managers. Therefore, the consultation of different articles and, in particular, different experts and managers, may lead to slightly different results.

Key-words: Lean Production; Manufacturing Cells; Maturity Model; Structural Equations Modeling.

Lista de Ilustrações

Figura 2.1 Modelo de relações de dependência entre práticas <i>lean</i> para células	32
Figura 2.2 Avaliação de uma célula de manufatura utilizando o modelo proposto por Maasouman e Demirli (2016).....	34
Figura 3.1 Classificação metodológica da pesquisa	51
Figura 3.2 Etapas de desenvolvimento da pesquisa	52
Figura 3.3 Fontes das publicações	53
Figura 3.4 Anos das publicações	54
Figura 4.1. Modelo inicial teórico proposto pelo painel dos especialistas	66
Figura 4.2 Modelo não validado com os valores de t student	67
Figura 4.3 Estrutura do Modelo de Maturidade	68
Figura 4.4 Validação de escala do Modelo de Maturidade	69
Figura 4.5 Modelo para o estudo do constructo LAC	75
Figura 4.6 Validação de escala do Modelo para o estudo do constructo LAC.....	76
Figura 4.7 Parte da planilha elaborada	80
Figura 4.8. Notas atribuídas para a célula 1	82
Figura 4.9. Notas atribuídas para a célula 2	82

Lista de Tabelas

Tabela 4.1 Critérios de qualidade do Modelo de Maturidade	69
Tabela 4.2 Cargas Cruzadas do Modelo de Maturidade.....	70
Tabela 4.3 Valores de t student entre variáveis e constructos do Modelo de Maturidade	71
Tabela 4.4 Valores de redundância e comunalidade do Modelo de Maturidade.....	72
Tabela 4.5 Coeficientes de caminho para cada constructo	72
Tabela 4.6 Critérios de qualidade do Modelo para o estudo do constructo LAC.....	76
Tabela 4.7 Estudo das cargas cruzadas do Modelo para o estudo do constructo LAC	77
Tabela 4.8 Valores de t student entre os constructos e suas variáveis do Modelo para o estudo do constructo LAC	78
Tabela 4.9 Valores de redundância e comunalidade do Modelo para o estudo do constructo LAC	79

Lista de Quadros

Quadro 2.1 Parâmetros para o grupo “Habilidade dos Colaboradores que atuam na célula” ..	37
Quadro 2.2 Parâmetros para o grupo “Conhecimento dos Colaboradores que atuam na célula”	39
Quadro 2.3 Parâmetros para o grupo “Aspectos decorrentes da existência de líderes na célula”	40
Quadro 2.4 Parâmetros para o grupo “Grau de autonomia conferido aos colaboradores da célula”.....	42
Quadro 2.5 Parâmetros para o grupo “Comunicação e compartilhamento de informações entre colaboradores”.....	43
Quadro 2.6 Parâmetros para o grupo “Melhoria Contínua e Qualidade na célula”	45
Quadro 2.7 Parâmetros para o grupo “Configuração da Célula”	48
Quadro 4.1 Parâmetros do constructo “Conhecimento e Habilidade dos Colaboradores”	64
Quadro 4.2 Parâmetros do constructo “Liderança, Autonomia e Harmonia”	64
Quadro 4.3 Parâmetros do constructo "Qualidade e Melhoria Contínua"	65
Quadro 4.4 Parâmetros do constructo "Configuração da Célula"	65

Lista de Abreviaturas e Siglas

AVE: Variância Média Extraída (*Average Variance Extracted*)

CAAE: Certificado de Apresentação para Apreciação Ética

CB: Baseado na Covariância (*Covariance-Based*)

CC: Configuração da célula

CHC: Conhecimento e Habilidade dos Colaboradores

JIT: *Just in Time*

LAC: Liderança, Autonomia e Comunicação

LESAT: Ferramenta de Autoavaliação Empresarial *Lean* (*Lean Enterprise Self-assessment Tool*)

MFV: Mapeamento do Fluxo de Valor

MIT: Instituto de Tecnologia de Massachusetts (*Massachusetts Institute of Technology*)

OEE: Eficiência geral dos equipamentos (*Overall Equipment Efficiency*)

PLS: Mínimos Quadrados Parciais (*Partial Least Squares*)

QMC: Qualidade e Melhoria Contínua

SEM: Modelagem de Equações Estruturais (*Structural Equation Modeling*)

SMED: Troca Rápida de Ferramentas (*Single Minute Exchange of Die*)

STP: Sistema Toyota de Produção

TPM: Manutenção Produtiva Total (*Total Productive Maintenance*)

TQM: Gestão da Qualidade Total (*Total Quality Management*)

Sumário

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Contexto e justificativa para a realização da pesquisa.....	14
1.2	Questão de Pesquisa.....	15
1.3	Objetivo geral	16
1.4	Objetivos específicos	16
1.5	Organização do trabalho	17
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	18
2.1	Princípios do <i>lean production</i> e principais ferramentas	18
2.1.1	Os cinco princípios do <i>lean</i>	18
2.1.2	Solução de problemas no <i>lean</i>	19
2.1.3	<i>Just In Time</i>	20
2.1.4	<i>Kanban</i>	20
2.1.5	Flexibilidade e a redução dos tempos de setup.....	21
2.1.6	Qualidade.....	22
2.1.7	Círculos de Controle da Qualidade (CCQs)	23
2.1.8	Controle visual.....	24
2.1.9	Manutenção Produtiva Total	24
2.1.10	Nivelamento da produção (<i>heijunka</i>) e balanceamento da produção	25
2.1.11	Desperdícios e o programa 5S	25
2.1.12	<i>Lead time</i> , tempo <i>takt</i> , tempo de ciclo e tempo padrão	26
2.1.13	Mapeamento do Fluxo de Valor	27
2.1.14	Foco no longo prazo e uso cauteloso da tecnologia	27
2.1.15	Polivalência, equipes de trabalho e células de manufatura	28
2.2	Modelos de maturidade <i>lean</i>	29
2.3	Manufatura celular	30
2.3.1	Células	30
2.3.2	Proposição de Saurin <i>et al.</i> (2011) visando identificação de melhorias em células 31	
2.3.3	O Modelo de Maturidade proposto por Maasouman e Demirli (2016).....	33
2.4	Parâmetros relevantes para a avaliação da maturidade de células	35
2.4.1	Habilidade dos Colaboradores que atuam na célula	36
2.4.2	Conhecimento dos Colaboradores que atuam na célula	37
2.4.3	Aspectos decorrentes da existência de líderes na célula.....	40

2.4.4	Grau de autonomia conferido aos colaboradores da célula	41
2.4.5	Comunicação e compartilhamento de informações entre colaboradores	42
2.4.6	Melhoria Contínua e Qualidade.....	43
2.4.7	Configuração da célula	46
3	MÉTODO DE PESQUISA	50
3.1	Classificação da pesquisa.....	50
3.2	Etapas de desenvolvimento da pesquisa	52
3.2.1	Etapa 1: Revisão sistemática da literatura e visitas às empresas.	52
3.2.2	Etapa 2: Painel de especialistas	54
3.2.3	Etapa 3: Construção do questionário e submissão ao Comitê de Ética.....	55
3.2.4	Etapa 4: Coleta de dados e tabulação	57
3.2.5	Etapa 5: Análise estatísticas dos dados.....	57
3.2.6	Etapa 6: Análise dos resultados e proposição do modelo final	60
3.2.7	Etapa 7: Estruturação de uma planilha para aplicação do modelo nas empresas e ilustração de seu uso por meio de 2 casos	60
3.2.8	Etapa 8: Estabelecimento de conclusões	60
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
4.1	Visitas realizadas	61
4.2	Painel de especialistas.....	61
4.3	Caracterização da amostra	66
4.4	Desenvolvimento do Modelo de Maturidade.....	66
4.5	Estudo do constructo LAC.....	74
4.6	Estruturação de uma planilha para facilitar a aplicação do modelo nas empresas	79
4.7	Aplicação do Modelo de Maturidade nas empresas	80
4.8	Discussão	83
5	CONCLUSÃO	86
	REFERÊNCIAS	88
	APÊNDICE A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido	100

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto e justificativa para a realização da pesquisa

O mercado atual é caracterizado pelo dinamismo e participação global gerando, desta forma, intensa competição entre as empresas na busca pela maior satisfação dos clientes e participação de mercado. Esta realidade se faz marcante para diferentes tipos de empresa, dentre elas as empresas de manufatura que necessitam aprimorar continuamente seus processos produtivos visando a sobrevivência no longo prazo (DERELI, 2015; DREWS et al., 2016; LOSONCI; DEMETER; JENEI, 2011). Dentro deste contexto de competitividade, destaca-se a filosofia do *lean production*¹. Se bem implantada, esta filosofia caracteriza-se como uma importante aliada na busca pelo melhor desempenho operacional (DEIF; ELMARAGHY, 2014; PAKDIL; LEONARD, 2017).

A importância da *lean* na atualidade é comparável à importância da produção em massa no início do século XX (FORNO et al., 2014). Trata-se de uma abordagem que aumenta a competitividade da organização e já é aplicada em empresas de diferentes setores (DEIF, 2012a; FORNO et al., 2014). Trabalhos como o de Losonci e Demeter (2013), que realizaram uma ampla revisão da literatura sobre pesquisas atreladas ao *lean*, comprovam a correlação positiva entre sua aplicação e o desempenho operacional.

O *lean production* começou a ser desenvolvido pela Toyota na década de 1970, mas foi a partir da publicação do livro “*The Machine that Changed the World: The Story of Lean Production*”, em 1990, que esta filosofia ficou mundialmente conhecida (ANHOLON; SANO, 2016; BORTOLOTTI; DANESE; ROMANO, 2013; BÜYÜKÖZKAN; KAYAKUTLU; KARAKADILAR, 2015). Os princípios da referida filosofia, segundo Shingo (1996), Womack e Jones (2006), Bortolotti, Danese e Romano (2013), Ohno (1997), Womack, Jones e Roos (2004) e Liker e Convis (2013) são baseados na melhoria contínua do fluxo produtivo, produção puxada pelo cliente, flexibilidade, eliminação de desperdícios, zero defeito, gestão visual, manufatura celular, ambiente de trabalho seguro e ordenado e busca pela melhoria contínua (*kaizen*).

¹ Optou-se, nesta dissertação, pelo uso do termo *lean production* em detrimento de sua tradução. A autora desta dissertação acredita que algumas traduções não representam o real significado difundido pelo termo.

Muitos são os benefícios observados em decorrência da adoção do *lean production* como, por exemplo, a redução dos custos de produção, o aumento da qualidade e a maior satisfação dos clientes finais. Além disso, esse sistema de produção proporciona maior eficácia nas operações e maior flexibilidade em relação ao volume *versus* variedade (BORTOLOTTI; DANESE; ROMANO, 2013; BÜYÜKÖZKAN; KAYAKUTLU; KARAKADILAR, 2015; PAKDIL; LEONARD, 2017).

Como apresentado anteriormente, a manufatura celular se caracteriza como uma das bases da filosofia *lean* e, sua correta implantação, proporciona ganhos significativos em termos de utilização de recursos e produtividade (DEIF, 2012b; METTERNICH; BECHTLOFF; SEIFERMANN, 2013; PAMPANELLI; FOUND; BERNARDES, 2014; PATTANAİK; SHARMA, 2009). É importante salientar, entretanto, que muitos gestores industriais não conhecem os elementos essenciais associados à manufatura celular e, como consequência, não conseguem explorar o máximo potencial de seus sistemas produtivos (BLACK, 1999). Para Yang e Deane (1994) e Netland (2016), a falta deste conhecimento contribui e justifica o insucesso de muitos projetos *lean*.

De forma complementar, Marodin, Tortorella e Saurin (2014) argumentam que a literatura não tem enfatizado quais são os fatores mais relevantes no gerenciamento de células de manufatura. Maasouman e Demirli (2016) e Aalaei e Davoudpour (2016) destacam ainda a inadequação das formas de medição do grau *lean* em células de produção. Dessa forma, evidencia-se claramente que estudos associados a células de manufatura *lean* são de grande valia e ainda pouco explorados por pesquisas acadêmicas.

1.2 Questão de Pesquisa

Para Behrouzi e Wong (2013), modelos são essenciais para que as empresas conheçam suas fragilidades e se direcionem rumo à melhoria contínua. Em gestão, modelos são entendidos como instrumentos que representam a realidade em sua totalidade ou parte dela. São extremamente úteis para que gestores estudem ações e/ou avaliem seus sistemas (ALMEIDA, 2006; PIDD, 1999). Modelos de maturidade, por sua vez, caracterizam-se como ferramentas que auxiliam as organizações a mensurar sua maturidade, por meio da avaliação da qualidade de seus processos, e auxiliam na compreensão a respeito do caminho que a empresa precisa percorrer em sua busca pela melhoria (WENDLER, 2012; WILLNER; GOSLING;

SCHÖNSLEBEN, 2016). Focando a temática *lean*, Susilawati et al. (2015) argumentam que ainda é pequeno na literatura o número de pesquisas dedicadas a criação de modelos de maturidade nessa área, seja em sua totalidade ou em relação à alguns aspectos específicos como a manufatura celular. Para este último conceito, os mesmos autores argumentam que existem assuntos pouco explorados, principalmente em relação aos aspectos humanos, de treinamento e de gestão do conhecimento.

Mediante ao exposto, esta dissertação se direciona e tem por objetivo responder à seguinte questão de pesquisa: *É possível validar um modelo para mensurar a maturidade de células que operam segundo a filosofia lean?*

1.3 Objetivo geral

A partir da questão de pesquisa descrita anteriormente, deriva-se o objetivo geral desta dissertação: validar um modelo desenvolvido para mensurar a maturidade de células de que utilizam a filosofia *lean*. Almeja-se, desta forma, fornecer uma contribuição para futuras pesquisas na área e para profissionais da indústria.

1.4 Objetivos específicos

- a) Realizar uma ampla revisão da literatura com o intuito de definir quais são os parâmetros a serem considerados na criação do modelo proposto;
- b) Realizar um painel de especialistas, visando agrupar os parâmetros em constructos temáticos² e verificar a necessidade de inclusão de novos parâmetros não contemplados. Com esta ação, cria-se o modelo teórico;
- c) Realizar uma *survey* com profissionais que gerenciam células de manufatura e utilizar os dados coletados na tentativa de validação do modelo teórico;
- d) Utilizar o modelo validado para operacionalizar uma planilha que permita a gestores mensurar a maturidade das células *lean* que gerenciam;

² Constructos temáticos são agrupamentos de parâmetros segundo suas similaridades.

- e) Ilustrar a utilização desta planilha por meio de sua aplicação em duas células de uma empresa do segmento automotivo.

1.5 Organização do trabalho

Além desta introdução, a presente dissertação é composta por mais quatro capítulos, tendo suas temáticas sintetizadas a seguir.

O capítulo 2 é dedicado à revisão da literatura, no qual são apresentados temas relativos à filosofia *lean*, às células de manufatura e aos parâmetros que compõe a ferramenta desenvolvida neste trabalho. Também serão descritos trabalhos diretamente relacionados à elaboração do modelo e que tiveram maior contribuição na construção do mesmo.

O capítulo 3 é dedicado aos procedimentos metodológicos, no qual é apresentada a classificação da pesquisa e são descritas em detalhes as etapas desenvolvidas para a obtenção dos resultados. Espera-se, dessa forma, permitir que a pesquisa possa ser replicada por outros pesquisadores se assim desejarem, garantindo sua fidedignidade.

O capítulo 4 é dedicado a apresentação e debate dos resultados. Inicia-se pela apresentação dos constructos formados via painel dos especialistas e pelos resultados decorrentes da Modelagem de Equações Estruturais. Na sequência, apresenta-se o modelo validado, a planilha que permite sua operacionalização nas indústrias e ilustra-se a aplicação do mesmo por meio de dois casos. Ao final deste capítulo, realizam-se debates.

O capítulo 5, por sua vez, é reservado para as conclusões finais referentes a pesquisa elaborada e proposições de trabalhos futuros. Lista-se ao final deste documento as referências utilizadas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Princípios do *lean production* e principais ferramentas

Uma observação relevante a ser salientada é que os primeiros livros que abordavam o *lean*, possuem definições mais precisas e identificam melhor os componentes fundamentais desse sistema quando comparados aos artigos de pesquisa, que não abordam todo o sistema, mas partes específicas (SHAH; WARD, 2007). Por esta razão, muitas referências deste tópico baseiam-se em livros. É importante salientar ainda que o foco maior desta revisão reside na manufatura celular e na análise de parâmetros pertinentes à avaliação da maturidade de células e, desta maneira, outras ferramentas e princípios do *lean* são apresentados de forma sucinta.

2.1.1 Os cinco princípios do *lean*

Womack e Jones (1998) definiram os cinco princípios da filosofia *lean*, são eles: o valor; a cadeia de valor; o fluxo; a produção puxada; e a perfeição.

É o cliente final quem determina o que é valor no *lean*. Se um determinado bem (e/ou serviço) não está de acordo com o que o cliente final deseja, no momento certo e com o preço adequado, o valor desse produto não é expressivo. A especificação do que é valor para o cliente deve ser, portanto, a primeira atitude a se tomar para a determinação do que será produzido (ALONY; JONES, 2008; PAMPANELLI; FOUND; BERNARDES, 2014; WOMACK; JONES, 1998).

Determinado o que é valor para o cliente final, deve-se especificar a cadeia de valor do bem e/ou serviço. Trata-se de todas as atividades que o produto passa para ser feito, desde a resolução de problemas – a qual tem como foco todas as etapas do desenvolvimento do produto – passando pelo gerenciamento de informação – desde o momento que o cliente faz o pedido até o momento em que ele recebe sua encomenda – e, por fim, a transformação física (ALONY; JONES, 2008; PAMPANELLI; FOUND; BERNARDES, 2014; WOMACK; JONES, 1998).

Depois de determinada a cadeia de valor e eliminados todos os desperdícios encontrados nela, é necessário criar um fluxo contínuo de lotes pequenos – se possível, de uma única peça

– entre as etapas de criação de valor. Isto é, produzir uma peça por vez (fluxo unitário de peças) ou pequenos lotes de peças e passar essas peças de um processo para outro de forma imediata e sem interrupções. O aumento da velocidade do fluxo faz com que desperdícios mais difíceis de serem detectados sejam percebidos (PAMPANELLI; FOUND; BERNARDES, 2014; ROTHER; SHOOK, 2012; WOMACK; JONES, 1998).

Com o fluxo unitário de peças (*one piece flow*), as peças são produzidas uma a uma, não havendo estoque entre as estações de trabalho. Uma consequência do fluxo unitário de peças é a diminuição do *lead time* (DETTY; YINGLING, 2000; MCWILLIAMS; TETTEH, 2009; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011). Além disso, o fluxo unitário de peças elimina estoques desnecessários na produção (MONDEN, 2015).

Com as três alterações descritas acima, os tempos necessários para os diversos processos da organização são reduzidos de forma significativa. Acrescentado a isso o fato de que o objetivo da produção é entregar valor para o cliente, ao invés de estimar as vendas, os produtores devem simplesmente deixar que os clientes puxem a produção (ALONY; JONES, 2008; PAMPANELLI; FOUND; BERNARDES, 2014; WOMACK; JONES, 1998).

É importante salientar que o princípio da produção puxada não se refere apenas ao cliente final. Dentro do sistema produtivo, um processo deve produzir apenas o que for pedido pelo processo posterior (JURAN, 2009; WOMACK; JONES, 1998).

Conforme a organização cumpre com os quatro primeiros princípios do *lean*, as variáveis de tempo, esforço, espaço, erros e custos são continuamente reduzidas. Adicionalmente, o cliente receberá o que ele realmente deseja, o que aumentará sua satisfação. Com isso, a perfeição (ausência total de desperdícios) estará cada vez mais próxima da realidade da empresa (WOMACK; JONES, 1998).

2.1.2 Solução de problemas no *lean*

Ao contrário do que ocorria na produção fordista, em que os problemas eram resolvidos na medida em que apareciam e não eram tomadas atitudes para que eles não voltassem a ocorrer, no *lean*, busca-se a causa raiz do problema. Essa abordagem constitui-se em perguntar cinco vezes por que, para, dessa forma, encontrar a verdadeira razão de um problema, possibilitando a erradicação do mesmo (OHNO, 1997; WOMACK; JONES; ROOS, 2004).

Outro ponto importante é o *genchi genbutsu*. Trata-se de um princípio que determina a forma como as questões devem ser abordadas. Para que uma decisão seja tomada, o responsável por ela deve ver pessoalmente o que está acontecendo e entender de forma profunda os fatos (LIKER; OGDEN, 2012).

2.1.3 *Just In Time*

O Sistema Toyota de Produção é composto essencialmente por dois pilares: a autonomia e o *Just in Time* (JIT) (CORIAT, 1994; MONDEN, 2015; OHNO, 1997; SHAH; WARD, 2007). O JIT é, dessa forma, um ponto chave desse sistema (SHAH; WARD, 2007).

Segundo seu criador,

“Just in Time significa que, em um processo de fluxo, as partes corretas necessárias à montagem alcançam a linha de montagem no momento em que são necessárias e somente na quantidade necessária. Uma empresa que estabeleça esse fluxo integralmente pode chegar ao estoque zero” (OHNO, 1997, p. 26).

O JIT simplifica a produção, reduzindo o tamanho dos lotes e dos níveis de estoques. Eliminando, dessa forma, desperdícios presentes na produção (SHAH; WARD, 2007).

2.1.4 *Kanban*

O *kanban* permite que o *Just in Time* seja posto em prática (OHNO, 1997). Inspirado nos supermercados americanos, o *kanban* faz a comunicação entre os diferentes processos da empresa, fazendo com que seja produzido somente o necessário, isto é, somente o que for demandado (CORIAT, 1994; MONDEN, 2015). Através do *kanban* são transferidas as informações a respeito do que o processo posterior está precisando do processo anterior (OHNO, 1997).

O *kanban* não foi elaborado para gerenciar os estoques, mas sim para gerenciar os trabalhadores, a partir dos estoques (CORIAT, 1994). Para que o *kanban* faça a comunicação entre os processos, a sincronização da produção é fundamental. A sincronização tem como objetivo manter constante a quantidade produzida por período (MONDEN, 2015).

A extensão do método *kanban* pode ir desde os fornecedores até o cliente final. Para viabilizar toda essa extensão, a Toyota estreitou os laços com seus fornecedores, bem como com seus clientes. A empresa criou, inclusive, um banco de dados de seus consumidores que lhe permitia tentar fazer previsões sobre suas futuras compras e, dessa forma, procurar fidelizar seus clientes (WOMACK; JONES; ROOS, 2004).

Quando o fluxo contínuo não pode ser praticado, recomenda-se um sistema puxado com supermercado. Com isso, se faz necessária a produção de lotes de produtos. Os supermercados são lugares onde ficam estocadas as quantidades necessárias de produtos (ROTHER; SHOOK, 2012). Os clientes retiram do supermercado os produtos que precisam sempre que necessário. O fornecedor, por sua vez, reabastece o supermercado sempre que necessário (ROTHER; SHOOK, 2012). Dessa forma, evita-se o excesso de produção.

Os *kanbans* de produção e de retirada são os responsáveis por essa comunicação. O primeiro é responsável por fazer com que o fornecedor produza e o segundo indica o que o cliente está precisando (ROTHER; SHOOK, 2012).

2.1.5 Flexibilidade e a redução dos tempos de setup

Ao contrário da produção em massa, que reduz custos produzindo em grandes quantidades, o *lean* visa fabricar produtos diversificados com um bom preço. Por isso, o *lean* é um “sistema adaptado à produção em séries restritas de produtos diferenciados variados” (CORIAT, 1994, p. 30).

Nesse sentido, a flexibilidade da empresa refere-se à capacidade de se adequar às variações na demanda dos clientes, sejam elas qualitativas ou quantitativas (CORIAT, 1994). Isso é possível devido à redução nos tempos de setup.

Essa redução consiste em uma das práticas do *lean* (BÜYÜKÖZKAN; KAYAKUTLU; KARAKADILAR, 2015; CULLINANE et al., 2014; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011). Além disso, ela permite que se reduza o tamanho dos lotes de produtos, bem como os estoques e os custos de produção. A redução dos lotes proporciona maior flexibilidade para a produção,

visto que a organização é capaz de se adaptar mais facilmente a variações na demanda (CONTI et al., 2006; MONDEN, 2015; WOMACK; JONES; ROOS, 2004). Por isso, ela é importante para que a empresa resista às mudanças no ambiente competitivo (MOLLEMAN; SLOMP; ROLEFES, 2002).

A melhor maneira de reduzir os tempos de *setup* é por meio da troca rápida de ferramentas – também conhecida como SMED (*Single Minute Exchange of Die*) –, a qual viabiliza economicamente a produção, em um contexto de demanda restrita e necessidade de se fabricar produtos variados (DREWS et al., 2016; SHINGO, 1996; WOMACK; JONES; ROOS, 2004). São as trocas rápidas de ferramentas que permitem que o *Just in Time* seja um sistema eficaz (WOMACK; JONES, 1998).

2.1.6 Qualidade

A garantia de qualidade é definida pela Toyota como “assegurar que a qualidade do produto promova satisfação, confiabilidade e economia para o consumidor” (MONDEN, 2015, p. 237). Para conseguir essa garantia, a Toyota desenvolveu a autonomação (*jidoka*).

Trata-se de sistema para a detecção de erros. Nesse sistema, os trabalhadores têm autorização para paralisar a linha de montagem ao detectarem algum problema. No caso das máquinas, elas possuem dispositivos que paralisam o processo se houver alguma anomalia ou se a cota de produção tiver sido atingida. Além do maior controle de qualidade, a autonomação proporciona redução de custos e uma capacidade maior de adaptação da produção (MONDEN, 2015).

A técnica *poka-yoke* (também conhecida como “à prova de erros”) é uma auxiliar da autonomação. Ela constitui-se da capacidade conferida às máquinas e aos funcionários de inspecionar as próprias tarefas, com a finalidade de detectar a ocorrência de erros e impedir que eles permaneçam na produção. Se alguma anomalia é detectada, a produção é paralisada (CORIAT, 1994; WOMACK; JONES, 1998). Essa técnica tem como objetivo prevenir a ocorrência de defeitos (OHNO, 1997).

Um exemplo bastante ilustrativo a respeito da diferença em relação à quantidade de defeitos entre a produção em massa e o *lean* é mostrado por Womack, Jones e Roos (2004). Enquanto uma planta da General Motors, produzindo com o modelo fordista tinha 130 defeitos para cada 100 carros, a planta da Toyota em Takaoka tinha 45 defeitos.

Outro fator fundamental para essa redução no número de defeitos no *lean* é a Gestão da Qualidade Total (*Total Quality Management* – TQM). Trata-se de uma filosofia que visa, entre outros fatores, a melhoria contínua, o trabalho em equipe, o foco no consumidor, a redução das taxas de retrabalho, a resolução de problemas em equipe, a constante avaliação de resultados e o envolvimento dos trabalhadores (SHAH; WARD, 2007).

Em relação à melhoria contínua (*kaizen*), esta é entendida como uma busca constante pelo aprimoramento incremental das operações (WOMACK; JONES, 1998; YANG; LEE; CHENG, 2016). O objetivo final na Toyota é a perfeição, a qual nunca é atingida plenamente. Por isso, busca-se continuamente o aprimoramento dos processos (LIKER; OGDEN, 2012). Esse aprimoramento pode ser obtido por meio da combinação da melhoria contínua com a melhoria radical (*kaikaku*), a qual pode proporcionar incontáveis melhorias à produção (WOMACK; JONES, 1998).

As atividades de melhoria contínua consistem em tentativas de aprimorar todos os parâmetros dentro da célula (HUNTER; BLACK, 2007), com objetivo final de atingir a perfeição (ALONY; JONES, 2008). Entre os parâmetros alvos dessas atividades estão a qualidade, os custos e os *lead times* de processo e produto (CONTI et al., 2006).

2.1.7 Círculos de Controle da Qualidade (CCQs)

Os CCQs caracterizam-se por atividades voluntárias organizadas em pequenos grupos de pessoas tendo como foco o controle de qualidade e métodos para melhorar a produção (AREZES; DINIS-CARVALHO; ALVES, 2015; ISHIKAWA, 1993). Entre os temas abordados nos CCQs estão: manutenção, redução de custos, segurança, utilização de recursos alternativos e, logicamente, a qualidade do que se produz (MONDEN, 2015).

Outro importante foco de melhorias contínuas são as rotinas de operação-padrão. Elas determinam exatamente o que deve ser feito por cada trabalhador (MONDEN, 2015). Na rotina de operações-padrão está contida a sequência das tarefas, o tempo de ciclo, a quantidade-padrão do material em processo, o tempo operacional líquido, as posições para verificação da qualidade dos produtos, e as posições para observar com atenção a segurança do trabalhador (MONDEN, 2015).

2.1.8 Controle visual

Para conseguir enxergar todo possível desperdício, a empresa precisa ter um controle visual da produção. Nesse sentido, o *Andon* é fundamental, visto que mostra, por meio de suas cores, se a linha está funcionando corretamente (luz verde), se o operário precisa de auxílio (luz alaranjada) ou se a linha de produção precisa ser parada (luz vermelha) (CORIAT, 1994).

A transparência da produção para todos os envolvidos é uma importante aliada para a realização de melhorias e, conseqüentemente, para a busca da perfeição (WOMACK; JONES, 1998).

2.1.9 Manutenção Produtiva Total

A Manutenção Produtiva Total é um complemento significativo para o *lean*. Ao passo que o primeiro visa o aumento da produtividade dos processos e a melhora dos equipamentos, o segundo objetiva eliminar desperdícios de uma forma mais abrangente, produzindo com foco no cliente (BAKRI et al., 2012).

A Manutenção Produtiva Total (mais conhecida como *Total Productive Maintenance - TPM*) visa garantir a máxima eficiência do equipamento. Impedir a ocorrência de perdas antecipadamente e a prevenção de problemas como defeitos e falhas estão entre os focos da TPM (SHEN, 2015).

O objetivo da TPM é a eliminação de quebras, defeitos, acidentes e desperdícios. Entre os benefícios gerados pela TPM estão: redução de custos operacionais e de estoques, e o aumento das taxas de operação dos equipamentos, da produtividade dos trabalhadores, da qualidade e da confiabilidade no prazo de entrega (BAKRI et al., 2012).

2.1.10 Nivelamento da produção (*heijunka*) e balanceamento da produção

O nivelamento da produção visa eliminar desperdícios com as flutuações na produção, decorrentes das variações nas demandas pelos produtos. Além disso, torna visível problemas que ficariam camuflados se a produção não fosse nivelada. O nivelamento consiste basicamente em alternar a produção de pequenos lotes de produtos, permitindo que haja uma maior previsibilidade na produção (LIKER, 2005; OHNO, 1997; ROTHER; SHOOK, 2012).

O balanceamento da produção, por sua vez, consiste em fazer com que as estações de trabalho demorem aproximadamente o mesmo período de tempo para executar suas atividades por meio da reorganização de tarefas entre as estações (PEINADO; GRAEML, 2007).

O balanceamento ideal é aquele em que o trabalho é alocado de forma que todos os estágios necessitem do mesmo tempo para completarem um ciclo. Entretanto, diferenças entre os tempos dos estágios podem ocorrer, são as chamadas perdas por balanceamento (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2015).

2.1.11 Desperdícios e o programa 5S

Reduzir os custos e aumentar a produtividade da produção com o objetivo de aumentar o lucro da organização são os principais focos do *lean* (MONDEN, 2015). Os desperdícios geram custos e perdas de produtividade. Por isso, a eliminação dos desperdícios é um objetivo importante do *lean* (JADHAV; MANTHA; RANE, 2014; MONDEN, 2015; ROTHER; SHOOK, 2012).

A palavra *muda* significa desperdício em japonês. Ela refere-se a “qualquer atividade humana que absorve recursos mas não cria valor” (WOMACK; JONES, 1998, p. 3). O *lean* tem a eliminação dos desperdícios como um foco para aumentar a eficiência da produção (WOMACK; JONES, 1998). Nesse contexto, o controle da quantidade do que se produz, a garantia da qualidade e o respeito às pessoas devem ser buscados a fim de reduzir custos, eliminando desperdícios (SHAH; WARD, 2007).

Ohno (1997) listou sete tipos de desperdícios a que uma produção está sujeita, são eles: de espera, de superprodução, de transporte, de processamento, de estoque, de movimento e de

produtos defeituosos. Os desperdícios reduzem a eficiência da produção e, por isso, devem ser eliminados.

Womack e Jones (1998) acrescentaram o desperdício da elaboração de projetos de mercadorias e serviços que não estão de acordo com as necessidades do cliente final. Enquanto Liker (2005) apontou para mais um tipo de desperdício, o da criatividade dos funcionários. Ele ocorre quando a empresa deixa de aproveitar essa competência dos trabalhadores.

Uma das ferramentas utilizadas no *lean* para eliminar desperdícios é o programa 5S. O programa 5S refere-se a palavras japonesas iniciadas com a letra S e que significam classificar, organizar, limpar, padronizar e disciplinar (LIKER, 2005). Com esse programa, elimina-se o que não é necessário para a produção e tudo o que é necessário para o funcionamento da fábrica fica organizado, com lugares demarcados para cada item (WOMACK; JONES, 1998).

Como resultado desse foco em eliminar desperdícios, os custos de produção de uma organização que utiliza a filosofia *lean* são menores do que os custos de outras organizações. Com isso, a empresa *lean* pode: diminuir os preços de seus produtos; elevar o número de recursos de seus produtos; ampliar sua rede de distribuição e/ou de serviços oferecidos; ou, por fim, investir seu lucro excedente em produtos novos. As cinco soluções listadas gerariam à empresa o aumento do volume de vendas, seja no curto ou no longo prazo (WOMACK; JONES, 1998).

2.1.12 *Lead time*, tempo *takt*, tempo de ciclo e tempo padrão

Esses conceitos são fundamentais para o *lean*. O *lead time* refere-se ao tempo necessário para se fabricar um produto, desde o momento em que a matéria prima entra na empresa até o produto acabado ser entregue ao cliente final (ROTHER; SHOOK, 2012).

O tempo de ciclo, por sua vez, é o tempo decorrido entre a saída de dois produtos do mesmo processo (ROTHER; SHOOK, 2012). O tempo de ciclo deve ser determinado pelo processo que demanda maior tempo para ser executado (METTERNICH; BECHTLOFF; SEIFERMANN, 2013).

Enquanto o tempo *takt* (ou *takt time*) está relacionado diretamente à demanda. Ele é o resultado da divisão entre o tempo disponível para a produção em um turno e a quantidade de produção demandada para aquele turno (MONDEN, 2015; ROTHER; SHOOK, 2012).

No tempo padrão é considerada a velocidade com que um funcionário executa seu trabalho, levando-se em consideração fatores como fadiga e pausas para ir ao banheiro (PEINADO; GRAEML, 2007).

2.1.13 Mapeamento do Fluxo de Valor

O fluxo de valor refere-se a todas as atividades que são realizadas para que um determinado produto seja concebido, fabricado e entregue ao cliente, englobando inclusive as atividades que não agregam valor (ESTEVEES et al., 2014; ROTHER; SHOOK, 2012; WOMACK; JONES, 1998). O gerenciamento do fluxo de valor envolve a compreensão, mensuração e aprimoramento tanto do fluxo de materiais como do fluxo de informações (FORNO et al., 2014).

O Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) é uma ferramenta da filosofia *lean* que auxilia na compreensão dos fluxos de materiais e informações, necessários para a produção e ajuda na identificação de oportunidades de melhorias. Com o MFV, é possível visualizar a produção como um todo e não apenas processos individuais, além disso, identifica-se mais facilmente os desperdícios e suas fontes (ESTEVEES et al., 2014; FORNO et al., 2014; ROTHER; SHOOK, 2012).

2.1.14 Foco no longo prazo e uso cauteloso da tecnologia

Na Toyota, ganhos de longo prazo são priorizados em detrimento de ganhos financeiros de curto prazo (LIKER, 2005). Um exemplo claro disso é a forma como a Toyota se relaciona com seus fornecedores.

A parceria estabelecida entre as montadoras japonesas e seus fornecedores prioriza o longo prazo. Esse tipo de relacionamento é benéfico para ambas as partes, visto que as empresas terceirizadas possuem cada vez mais experiência para produzir. Para ser contratada como terceirizada, a organização deve fornecer um produto de qualidade, com um custo baixo e ser eficiente em seu prazo de entrega (MONDEN, 2015).

Além disso, o número de fornecedores que as empresas automobilísticas japonesas possuem é significativamente menor do que a quantidade de fornecedores das companhias norte-americanas, onde não há uma relação de confiança, especialmente em relação ao preço e à qualidade dos produtos, as montadoras eram obrigadas a ter um número maior de fornecedores. Adicionalmente, a relação de cooperação entre as montadoras japonesas e suas terceirizadas viabiliza o *Just in time* (MONDEN, 2015).

Outro traço de cautela no Sistema Toyota de Produção é a forma como a criadora do STP encara a tecnologia. Ela é vista como uma aliada para otimizar os processos e o trabalho de seus funcionários, porém uma nova tecnologia somente é implantada na organização, quando se tem certeza de sua efetividade (LIKER, 2005).

2.1.15 Polivalência, equipes de trabalho e células de manufatura

Para que uma produção possa ser *lean*, é necessário que os colaboradores que agregam, de fato, valor ao produto sejam encarregados do máximo possível de tarefas e responsabilidade (WOMACK; JONES; ROOS, 2004). Por essa razão, o comprometimento dos funcionários e o enriquecimento do trabalho são dois elementos fundamentais para o sucesso na implementação do *lean*. Esse enriquecimento do trabalho engloba tanto as habilidades dos operários como suas tarefas e requer do trabalhador a capacidade de detectar e controlar variações na produção, com a finalidade de aprimorá-la (AREZES; DINIS-CARVALHO; ALVES, 2015).

A autonomia permitiu que toda a organização do trabalho fosse alterada. Um único trabalhador passou a ser capaz de operar diversas máquinas ao mesmo tempo. Este fato permitiu a desespecialização dos trabalhadores, tornando-os polivalentes (CORIAT, 1994). A polivalência, por sua vez, proporciona flexibilidade para alterações no número de trabalhadores da produção, a partir de variações na demanda (*Shojinka*) (MONDEN, 2015).

Esses trabalhadores polivalentes são normalmente divididos em equipes, organizadas em células de produção. Trata-se de um grupo de pessoas com um líder, alocados em células (frequentemente com um formato de U) para produzir um produto ou uma família de produtos. Essa forma de divisão do trabalho torna o trabalho menos monótono e mais flexível (ALONY; JONES, 2008; AREZES; DINIS-CARVALHO; ALVES, 2015). Além disso, a organização da produção em células auxilia na sincronização entre os processos produtivos (MONDEN, 2015). O tópico 2.3 apresentará maiores detalhes sobre a manufatura celular.

2.2 Modelos de maturidade *lean*

Quando o *lean production* está implantado em uma organização de forma madura, a empresa apresenta todos os conceitos bem aplicados e estes se sustentam ao longo do tempo e se integram perfeitamente a outros conceitos que possibilitam melhor produtividade e qualidade ao trabalho dos colaboradores. Entretanto, apesar de ter suas práticas reconhecidas como de excelência, a busca por melhorias e inovações na organização nunca cessa (BHASIN, 2011; MAASOUMAN; DEMIRLI, 2016; NIGHTINGALE; SRINIVASAN, 2011). Para mensurar o grau de maturidade *lean* nas organizações, utiliza-se modelos de maturidade.

Apesar da importância de modelos que permitam mensurar a maturidade *lean* de sistemas produtivos e do crescente interesse manifestado pela comunidade acadêmica (MAASOUMAN; DEMIRLI, 2016), ainda é pequeno na literatura o número de trabalhos com este foco (AALAEI; DAVOUDPOUR, 2016; MAASOUMAN; DEMIRLI, 2016; SUSILAWATI et al., 2015).

Em sua análise, Maasouman e Demirli (2016) dividem os modelos encontrados em dois grupos: qualitativos e quantitativos. Dentre os qualitativos, os autores citam o Sistema de Produção da Renault, Prêmio Shingo e a Ferramenta de Autoavaliação Empresarial *Lean* (LESAT). Os modelos quantitativos, por sua vez, baseiam-se, em sua maioria, em aplicações da chamada lógica *fuzzy* (ou lógica nebulosa).

Em seu trabalho, Bento (2017) apresenta 19 estudos relacionados à avaliação de práticas *lean*. Entretanto, ao realizar um levantamento dos modelos de maturidade *lean* presentes na literatura, a autora encontrou apenas 6 modelos, dos quais apenas um se refere a células de manufatura. Trata-se do modelo desenvolvido por Maasouman e Demirli (2016), que será discutido no item 2.3.3. Também é válido destacar que dentre esses 6 modelos está o LESAT acima referido.

O LESAT foi pioneiro na definição de estágios de maturidade *lean*. Ele foi desenvolvido por uma equipe no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) entre os anos de 2000 e 2001. Posteriormente, esses estágios de maturidade foram publicados no livro *Beyond the Lean Revolution: Achieving Successful and Sustainable Enterprise Transformation*. O modelo é composto por 5 níveis, dos quais o nível 1 representa o estágio de menor maturidade e o nível 5, o de maior maturidade (BENTO, 2017; NIGHTINGALE; SRINIVASAN, 2011; NIGHTINGALE; MIZE, 2002).

2.3 Manufatura celular

2.3.1 Células

Há várias maneiras de se organizar a produção a partir do arranjo físico dos recursos utilizados. Existem os seguintes tipos de arranjos: por produto, por processo, por posição fixa e celular, podendo também existir o uso misto dos mesmos (PEINADO; GRAEML, 2007). Levando-se em consideração os objetivos desta dissertação, será dado enfoque apenas para o arranjo físico celular.

Nos últimos anos, muitas organizações têm demonstrado um interesse especial pela Manufatura Celular (SAKHAI et al., 2016). Na manufatura celular, máquinas e processos são agrupados, de forma que todas as etapas da produção de um produto – ou uma família de produtos – estejam reunidas dentro da célula (ANGRA; SEHGAL; NOORI, 2008; PEINADO; GRAEML, 2007). Uma família é constituída por produtos que, para serem fabricados, são submetidos a processos parecidos e que compartilham o uso de equipamentos durante seu processamento (ROTHER; SHOOK, 2012).

As células, por sua vez, são definidas como um arranjo otimizado de máquinas, processos e pessoas visando o atendimento de um cliente (podendo este ser final ou intermediário) tanto do ponto de vista de ritmo de produção quanto do ponto de vista de qualidade. O objetivo dessas células é utilizar ao máximo o potencial de seus operadores. Aumentando e, ao mesmo tempo, enriquecendo suas tarefas, os funcionários da célula de manufatura devem se tornar polivalentes (BLACK, 1999).

A organização em células de máquinas que produzem uma mesma família de produtos gera uma série de benefícios. A manufatura celular reduz o tempo de *setup*, os custos, a taxa de defeitos e o espaço necessário para a produção (ANGRA; SEHGAL; NOORI, 2008; BAYRAM; ŞAHIN, 2016; DEEP; SINGH, 2015; PEINADO; GRAEML, 2007; SAKHAI et al., 2016). Além disso, há redução do *lead time* total dos produtos, aumento de percentual de agregação de valor e maior flexibilidade em termos de *mix* de produção versus volume produtivo (HYER; WEMMERLOV, 2002; PRASHAR, 2014; YANG; DEANE, 1994).

Esse tipo de arranjo físico aumenta a flexibilidade em relação ao tamanho dos lotes de produção e ao número de trabalhadores (*Shojinka*), reduz as distâncias de transporte de materiais, o fluxo de materiais e o estoque de trabalho em andamento, além de aumentar a satisfação dos trabalhadores e a produtividade da empresa (ANGRA; SEHGAL; NOORI, 2008; BAYRAM; ŞAHIN, 2016; DEEP; SINGH, 2015; MONDEN, 2015; PEINADO; GRAEML, 2007; SAKHAI et al., 2016).

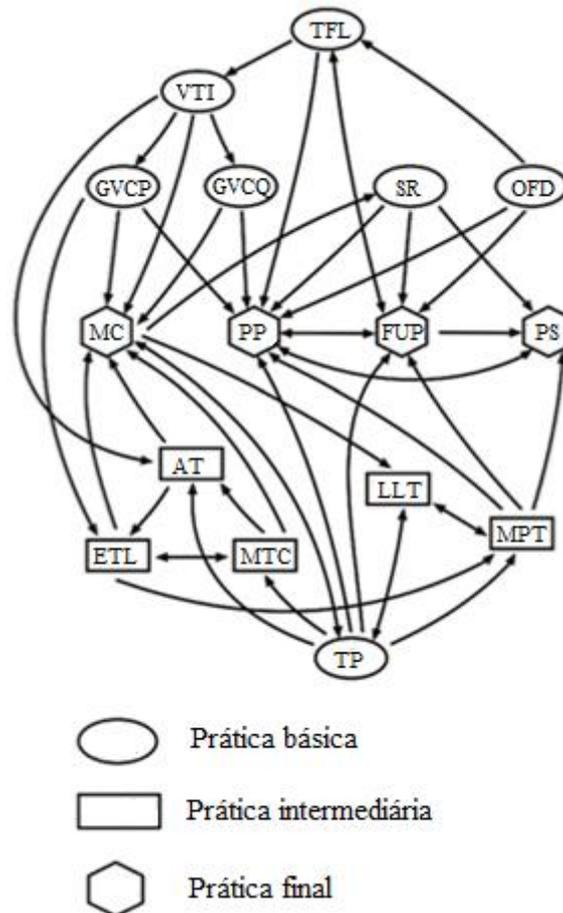
São características principais de células de manufatura *lean*: a produção puxada, fluxo de uma única peça (*one piece flow*, favorecido pela configuração celular), autonomia por parte dos colaboradores para a tomada de certas decisões, programas para a redução dos tempos dos setups, tentativa de balanceamento equânime das atividades realizadas pelos colaboradores e flexibilidade produtiva (LIKER, 2005; ROTHER; SHOOK, 2012).

O Sistema de Manufatura Celular, por sua vez, contribui para a redução das taxas de defeitos, dos tempos de processamento, dos requisitos de espaço da fábrica, dos tempos de deslocamento de materiais e de setup do sistema e dos custos (DEEP; SINGH, 2015; RAFIEE et al., 2011; SAKHAI et al., 2016). Além disso, esse sistema aumenta a eficiência, a flexibilidade e a variedade na produção; a flexibilidade no sistema; simplifica o fluxo de materiais; reduz o número de movimentos entre células, os estoques, os tempos de ciclos, os tempos de manuseio de materiais, o tempo de ociosidade das máquinas e, conseqüentemente, o *lead time* (DEEP; SINGH, 2015; RAFIEE et al., 2011; SAKHAI et al., 2016).

Os tópicos 2.3.2 e 2.3.3 darão atenção especial a dois trabalhos cujos focos residem na análise de células de manufatura. As informações apresentadas nestes trabalhos contribuirão de forma decisiva para esta dissertação e, desta forma, os mesmos são mais bem detalhados.

2.3.2 Proposição de Saurin et al. (2011) visando identificação de melhorias em células

A estrutura proposta por Saurin, Marodin e Ribeiro (2011), ilustrada resumidamente na Figura 2.1, propõem um modelo que estabelece a relação entre as práticas *lean* em células de manufatura e um questionário por meio do qual gestores indicam se a prática é totalmente contemplada, parcialmente contemplada ou não contemplada, evidenciando-se assim oportunidades de melhorias.

Figura 2.1 Modelo de relações de dependência entre práticas *lean* para células

Legenda: Produção Puxada (PP); Tamanho e Formato do *Layout* (TFL); Visibilidade e Troca de Informações (VTI); Gerenciamento Visual do Controle de Produção (GVCP); Gerenciamento Visual do Controle de Qualidade (GVCQ); Setups rápidos (SR); Organização pelo Fluxo Dominante (OFD); Melhoria Contínua (MC); Fluxo Unitário de Peças (FUP); Produção Suavizada (PS); Autonomia dos Trabalhadores (AT); Equipes de Trabalho e Liderança (ETL); Multi-funcionalidade e treinamento cruzado (MTC); Limpeza do Local de Trabalho (LLT); Manutenção Produtiva Total (MPT); Trabalho Padronizado (TP).

Fonte: Adaptado de Saurin, Marodin e Ribeiro (2011).

Esse modelo de relações de dependência entre práticas *lean* para células foi desenvolvido a partir de um questionário aplicado em especialistas em *lean*. Nele, os respondentes precisavam estabelecer qual o grau de suporte dado por cada prática listada do *lean* para todas as demais práticas. As opções eram: nenhum suporte, suporte fraco, suporte moderado e suporte forte.

O questionário para a avaliação das células, por sua vez, é composto de 16 práticas do *lean*, divididas em três grandes áreas: recursos humanos, planejamento e controle da produção, e tecnologia de processo.

Os autores classificam a utilização da estrutura que desenvolveram como uma auditoria que pode ser feita a fim de avaliar o desempenho da célula e, com isso, identificar oportunidades de melhorias. As práticas inclusas nesta auditoria foram coletadas na literatura a respeito do tema.

O artigo inicia com definições de manufatura celular, incluindo tecnologia de grupo e as conexões necessárias em uma célula de manufatura. Posteriormente, há uma definição do método de pesquisa, seguida da explanação de práticas do *lean* aplicáveis a células de produção.

Em seguida, é feita a explicação de como os dados são coletados. A coleta ocorre por meio de três questionários, o primeiro é respondido apenas observando o local, o segundo é respondido por meio de entrevistas com os operários e o terceiro é respondido entrevistando o líder de equipe da célula. Posteriormente, é desenvolvido um modelo de relações entre as práticas do *lean*, a partir das respostas de especialistas em *lean* em um questionário.

A partir das relações entre as práticas do *lean*, os autores classificam as práticas em quatro categorias, são elas: práticas finais, intermediárias, básicas e independentes (ou autônomas). O agrupamento baseia-se na quantidade de práticas que recebem e que proporcionam suporte para cada prática. Por fim, é conduzido um estudo de caso para ilustrar a aplicação da estrutura proposta no trabalho.

Os usos recomendados pelos autores para a estrutura elaborada por eles são: na fase de desenvolvimento de uma nova célula, para guiar esse desenvolvimento; no caso de alterações feitas na célula, para servir como ferramenta de suporte para avaliar os impactos das mudanças; e, por fim, a aplicação regular dessa estrutura como uma ferramenta para proporcionar parâmetros de desempenho para as células.

Em suma, trata-se de um trabalho com foco principal em identificar oportunidades de melhorias em células de manufatura, mas não chega a se constituir em um Modelo de Maturidade, pois, apesar de estudar a relação entre práticas *lean* desejáveis para a célula de manufatura, falta a ela ponderação entre as mesmas, além de estágios evolutivos para as células.

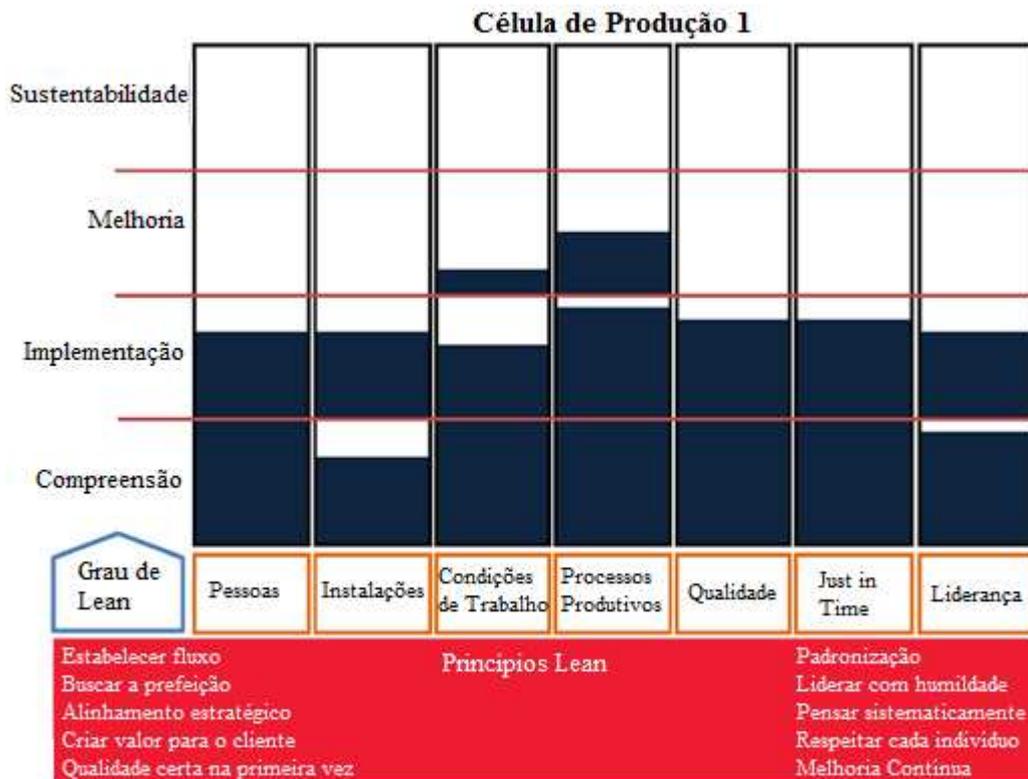
2.3.3 O Modelo de Maturidade proposto por Maasouman e Demirli (2016)

O trabalho proposto por Maasouman e Demirli (2016) apresenta um Modelo de Maturidade para células *lean*, trabalhando sete grandes eixos, sendo eles: pessoas, gestão de instalações, condições de trabalho, processos produtivos, qualidade, *Just in Time* e liderança.

Em cada um destes eixos existem práticas que são enquadradas nos seguintes estágios evolutivos: não compreendido, implantado, melhoria contínua e sustentável.

A Figura 2.2 ilustra uma análise realizada para a maturidade de uma célula valendo-se do modelo proposto pelos autores.

Figura 2.2 Avaliação de uma célula de manufatura utilizando o modelo proposto por Maasouman e Demirli (2016)



Fonte: Adaptado de Maasouman e Demirli (2016).

O artigo é dividido em quatro fases. Na primeira é desenvolvida a estrutura conceitual do modelo. A partir da revisão da bibliografia, são levantados modelos de maturidade assim como conceitos relativos ao *lean*. Com isso, faz-se a proposição dos níveis de maturidade *lean* e de seus eixos de maturidade.

A segunda fase é a de medição, caracterizada pela definição dos indicadores do grau de *lean* em cada eixo, pelo desenvolvimento de uma *checklist* (lista de verificação) para a medição desses indicadores, pelo desenvolvimento de indicadores de desempenho e pela coleta dos dados do estudo de caso que é feito de duas células de produção em uma empresa automotiva.

Os indicadores do grau de *lean* têm como objetivo mensurar a utilização das técnicas e ferramentas do *lean*, a fim de averiguar se está de acordo com o sistema de produção definido pela empresa. Eles devem ser utilizados como guia durante as auditorias na companhia.

A *checklist* é composta por uma série de questionamentos referentes aos indicadores descritos anteriormente. Em cada pergunta existe uma escala de 4 notas para respondê-la, desde a ausência de aplicação do item até o completo cumprimento de suas exigências.

Os indicadores de desempenho são importantes, segundo os autores, para avaliar a efetividade do *lean* em relação aos objetivos organizacionais. De acordo com Maasouman e Demirli (2016), é importante que haja um histórico desses indicadores, assim como a meta desejada e o desempenho mínimo aceitável para cada item.

A terceira fase consiste na análise dos dados coletados. Nessa análise, são feitos os cálculos do grau de *lean* dos eixos analisados, em uma escala de zero a um; também são feitas medidas relativas ao desempenho das células e, por fim, calcula-se a efetividade do *lean*, a partir da comparação dos itens anteriores. A quarta fase, por sua vez, é caracterizada pela verificação, que confere a validade do modelo proposto tanto do ponto de vista teórico como também da perspectiva prática.

A validação teórica do modelo se deu pela comparação do mesmo com os princípios de modelos de maturidade e com o uso de informações coletadas na literatura. Enquanto a validação prática foi conferida a partir de um estudo de caso feito em duas células de manufatura.

Um ponto importante ressaltado pelos autores é que cada empresa precisa adequar o modelo conforme suas particularidades. Dessa forma, percebe-se que eles formularam um modelo que ficasse em aberto para ser capaz de se adequar a diversas realidades.

2.4 Parâmetros relevantes para a avaliação da maturidade de células

No *lean*, são considerados aspectos técnicos e sociais (WANGWACHARAKUL et al., 2014). De acordo com Pampanelli, Found e Bernardes (2014, p. 20), a “essência do pensamento enxuto está no envolvimento pessoas”. Além disso, o envolvimento do trabalhador também é fundamental na Manufatura Celular (HUNTER; BLACK, 2007). Por essas razões, muitos parâmetros levantados na literatura foram conectados aos colaboradores.

A análise da literatura proporcionou a identificação de 37 parâmetros associados a diferentes temáticas. Visando uma apresentação mais fluida destes parâmetros, a autora desta dissertação optou por uma pré-estratificação dos mesmos nas seguintes categorias temáticas: 1) Habilidade dos colaboradores; 2) Conhecimento dos Colaboradores; 3) Aspectos decorrentes

da existência de líderes; 4) Grau de autonomia conferido aos colaboradores; 5) Comunicação e compartilhamento de informações; 6) Qualidade e Melhoria Contínua; e 7) Configuração da célula. Cada um dos subitens a seguir apresentará considerações sobre os parâmetros alocados em cada categoria. É importante salientar que apesar de todas as referências citadas nos quadros abordarem os parâmetros mencionados, apenas parte delas foi utilizada na elaboração dos parágrafos explicativos.

2.4.1 Habilidade dos Colaboradores que atuam na célula

Um primeiro ponto importante em relação à capacitação dos trabalhadores são as técnicas para a solução de problemas, sendo estas consideradas um ponto chave na construção do Sistema Toyota de Produção. A finalidade dessa abordagem é detectar a raiz do problema, ou seja, sua real causa, pois somente dessa forma é possível solucionar um problema de uma forma realmente satisfatória (OHNO, 1997).

Segundo Womack, Jones e Roos (2004), para a gerência, resolver problemas é uma das tarefas mais importante dos trabalhadores. Trata-se de uma fonte de economia de tempo e dinheiro (LIKER, 2005) e, por isso, os trabalhadores devem receber treinamentos. Eles devem ser capazes de analisar a causa raiz dos problemas para solucioná-los (SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011).

Outra questão importante é a polivalência dos colaboradores, para que eles tenham capacidade de trabalhar em diferentes funções. De acordo com Hunter e Black (2007), o trabalhador multifuncional é o recurso mais importante da célula. A polivalência possibilita que os operadores identifiquem oportunidades de melhorias e as implementem (SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011). Com a polivalência, atividades de manutenção, limpeza e de controle de qualidade são realizadas pelos trabalhadores (HUNTER; BLACK, 2007; WOMACK; JONES; ROOS, 2004).

Cabe destacar os incentivos concedidos aos colaboradores. Incentivos para os colaboradores atrelados ao nível de sua polivalência funcionam na medida em que igualam os objetivos da empresa com os objetivos dos operários. A partir do estabelecimento de incentivos para que se aumente o nível de polivalência dos trabalhadores, a organização consegue aumentar a flexibilidade de suas equipes (ALONY; JONES, 2008).

Apresenta-se, por meio do Quadro 2.1, os parâmetros apontados pela literatura na categoria “Habilidade dos Colaboradores que atuam na célula” bem como suas referências.

Quadro 2.1 Parâmetros para o grupo “Habilidade dos Colaboradores que atuam na célula”

Parâmetros	Referências
Os colaboradores da célula são totalmente capacitados em técnicas para a solução de problemas	(CULLINANE et al., 2014; DETTY; YINGLING, 2000; HUNTER; BLACK, 2007; KACH et al., 2014; OHNO, 1997; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011)
Os colaboradores possuem polivalência e podem trabalhar em diferentes funções na célula	(ALONY; JONES, 2008; ANDERSON-CONNOLLY et al., 2002; CULLINANE et al., 2014; HASLE, 2014; HASLE et al., 2012; HUNTER; BLACK, 2007; HUNTER; BULLARD; STEELE, 2004; HYER; BROWN, 1999; KACH et al., 2014; MARODIN; TORTORELLA; SAURIN, 2014; MCDONALD et al., 2009; MCWILLIAMS; TETTEH, 2009; MOLLEMAN; SLOMP; ROLEFES, 2002; PARKER, 2003; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011)
Existem incentivos para o desenvolvimento da polivalência dos colaboradores	(ALONY; JONES, 2008; CORIAT, 1994; HELOANI, 2012)

Fonte: Autora.

2.4.2 Conhecimento dos Colaboradores que atuam na célula

Na manufatura celular, a tecnologia de grupo é utilizada para agrupar peças de uma mesma família (HYER; BROWN, 1999; MCWILLIAMS; TETTEH, 2009; METTERNICH; BECHTLOFF; SEIFERMANN, 2013; PATTANAIK; SHARMA, 2009; SAKHAI et al., 2016; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011), possibilitando ganhos em relação à adoção desta técnica (DEEP; SINGH, 2015; PATTANAIK; SHARMA, 2009). Desta forma, é fundamental que os colaboradores conheçam de forma exata os produtos da família que passam pela célula.

Na literatura, a polivalência, citada no item anterior, é contestada a partir da percepção de que o que realmente acontece é um alargamento das tarefas executadas pelo trabalhador. O operário é encarregado de uma gama maior de tarefas que, para serem executadas, exigem pouco treinamento. Dessa forma, o que ocorre é a multitarefa e não a polivalência de múltiplas habilidades (PARKER, 2003). Como resultado, há um aumento da carga de trabalho e da pressão sobre os trabalhadores, o que gera resistência à implantação do *lean* (ALONY; JONES, 2008).

Recomenda-se assim que a polivalência gere não só um alargamento de funções, mas também o enriquecimento dos colaboradores e, para que isso ocorra, devem ser atreladas aos

colaboradores atividades que desenvolvam responsabilidades e autonomia (HUNTER; BLACK, 2007).

Os conceitos de tempo *takt*, tempo padrão e tempo de ciclo, definidos no item 2.1.12, são conceitos muito importantes para a compreensão do *lean* (ALVAREZ; ANTUNES JR., 2001) e, por isso, torna-se interessante que os colaboradores conheçam estes conceitos.

Assim como os conceitos citados anteriormente, o nivelamento – que auxilia na redução dos desperdícios decorrentes de oscilações na demanda, por meio da alternância na produção entre pequenos lotes de produtos (LIKER, 2005; OHNO, 1997; ROTHER; SHOOK, 2012) – e o balanceamento – que equilibra os tempos de cada tarefa (PEINADO; GRAEML, 2007) – são muito importantes para que a utilização do *lean* seja bem sucedida. Por essa razão, recomenda-se que os colaboradores conheçam técnicas para nivelar e balancear a célula.

Em relação aos objetivos da produção, no *lean* é o cliente final quem determina o que é valor (ALONY; JONES, 2008). O objetivo do *lean* é justamente produzir bens que satisfaçam as necessidades do cliente (CULLINANE et al., 2014; RODRÍGUEZ et al., 2016). Por isso, recomenda-se que os funcionários conheçam os requisitos exigidos pelo cliente final em relação ao produto que está produzindo.

Adicionalmente, a ausência de um trabalhador na manufatura enxuta pode comprometer a operação de uma célula (WOMACK; JONES; ROOS, 2004). Por isso, torna-se interessante a existência de um profissional que seja capaz de substituir um operário ausente. De acordo com Saurin, Marodin e Ribeiro (2011), essa função pode ser assumida pelo líder da equipe.

Apresenta-se, por meio do Quadro 2.2, os parâmetros apontados pela literatura na categoria “Conhecimento dos Colaboradores” bem como suas referências.

Quadro 2.2 Parâmetros para o grupo “Conhecimento dos Colaboradores que atuam na célula”

Parâmetros	Referências
Os colaboradores possuem conhecimento apurado sobre a família de produtos processada pela célula	(AALAEI; DAVOUDPOUR, 2016; AGHAZADEH et al., 2011; AL-MUBARAK; KHUMAWALA; CANEL, 2003; AL KATTAN, 2005; ANGRA; SEHGAL; NOORI, 2008; ARORA; HALEEM; SINGH, 2013; ASKIN; SELIM; VAKHARIA, 1997; BAYRAM; ŞAHIN, 2016; CHAN; LAM; LEE, 1999; CHANG; WU; WU, 2013; DEEP; SINGH, 2015; FARDIS; ZANDI; GHEZAVATI, 2013; HUNTER; BULLARD; STEELE, 2004; HYER; BROWN, 1999; LEE; CHIANG, 2002; MCWILLIAMS; TETTEH, 2009; MOHAMMADI; FORGHANI, 2014; NOURI, 2016; PAPAIOANNOU; WILSON, 2010; PATTANAİK; SHARMA, 2009; PIENKOWSKI; MACZKA; KRZYZANOWSKI, 2005; RAFIEE et al., 2011; RAMINFAR et al., 2013; ROTHER; SHOOK, 2012; SAKHAI et al., 2016; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011; WU et al., 2007; ZOLFAGHARI; LOPEZ; LOPEZ ROA, 2006)
A polivalência procura gerar não só um alargamento de funções, mas também o enriquecimento das habilidades dos colaboradores	(ALONY; JONES, 2008; PARKER, 2003)
Colaboradores dominam os conceitos associados à filosofia <i>lean</i> de tempo padrão, tempo de ciclo e takt-time.	(AALAEI; DAVOUDPOUR, 2016; DEIF, 2012b; HUNTER; BLACK, 2007; MONDEN, 2015; PEINADO; GRAEML, 2007; RAFIEE et al., 2011; ROTHER; SHOOK, 2012; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011)
Colaboradores dominam os conceitos associados à filosofia <i>lean</i> de balanceamento de células e de nivelamento das células	(AGHAZADEH et al., 2011; AL KATTAN, 2005; LEE; CHIANG, 2002; LIKER, 2005; MARODIN; TORTORELLA; SAURIN, 2014; MCWILLIAMS; TETTEH, 2009; METTERNICH; BECHTLOFF; SEIFERMANN, 2013; NOURI, 2016; OHNO, 1997; PATTANAİK; SHARMA, 2009; SHINGO, 1996)
Os colaboradores conhecem os requisitos exigidos pelo cliente final em relação ao produto que está sendo produzido pela célula em determinada ocasião	(ALONY; JONES, 2008; CULLINANE et al., 2014; MCWILLIAMS; TETTEH, 2009; RODRÍGUEZ et al., 2016)
Sempre existe um colaborador capacitado para assumir qualquer função dentro da célula em situações atípicas	(MARODIN; TORTORELLA; SAURIN, 2014; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011; WOMACK; JONES; ROOS, 2004)

Fonte: Autora.

2.4.3 Aspectos decorrentes da existência de líderes na célula

A liderança exerce um papel vital para o sucesso do *lean* nas empresas. Um exemplo disso é o levantamento feito por Jadhav, Mantha e Rane (2014), no qual 5 das 24 barreiras encontradas durante a implantação do *lean* estão relacionadas à liderança. A harmonia dentro da equipe de trabalho é citada como um importante elemento para o bom desempenho das células de produção (ALONY; JONES, 2008). Por esta razão, deve haver uma preocupação constante da liderança com o desenvolvimento e a manutenção de um relacionamento harmônico das equipes de trabalho.

Em relação às habilidades necessárias para cada posto de trabalho dentro de uma célula, faz-se necessário um gerenciamento apurado das mesmas e daquilo que é necessário para o melhor desenvolvimento de cada colaborador. Saurin, Marodin e Ribeiro (2011) apontam para a necessidade de haver um controle formal das habilidades de cada trabalhador.

Entretanto, as atribuições dos líderes não se restringem apenas a questões relacionadas aos trabalhadores. Os resultados da produção estão entre as referidas atribuições e variam em função de diferentes parâmetros (DEIF, 2012a). As variabilidades podem ser consequência de variações no tempo de processamento, da necessidade de retrabalho, entre outros e, frente a estas questões, torna-se interessante que os líderes das equipes conheçam as variabilidades plausíveis para a produção da célula.

Apresenta-se, por meio do Quadro 2.3, os parâmetros apontados pela literatura na categoria “Aspectos decorrentes da existência de líderes na célula” bem como suas referências.

Quadro 2.3 Parâmetros para o grupo “Aspectos decorrentes da existência de líderes na célula”

Parâmetros	Referências
O relacionamento entre os colaboradores que atuam na célula é harmônico	(ALONY; JONES, 2008)
Os líderes das equipes conhecem bem as variabilidades plausíveis para a produção da célula	(DEIF, 2012a)
Os líderes das equipes gerenciam as habilidades existentes e das necessárias para o desenvolvimento de cada colaborador	(MARODIN; TORTORELLA; SAURIN, 2014; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011)

Fonte: Autora.

2.4.4 Grau de autonomia conferido aos colaboradores da célula

Em relação à autonomia dos trabalhadores, no *lean*, existe a autonomia. A autonomia (*jidoka*) abrange desde o maquinário até os operários e a origem desse conceito está relacionada aos primórdios da empresa Toyota, quando a empresa se dedicava a produção têxtil e necessitava fazer com que seus teares fossem paralisados em caso de anomalias (LIKER, 2005). Posteriormente, Ohno ampliou este conceito para qualquer situação de trabalho, sem precisar necessariamente estar relacionada a uma máquina (CORIAT, 1994), conferindo aos operadores a autonomia para paralisarem processos produtivos em caso de problemas.

Esta autonomia evoluiu e hoje, em seu extremo, é entendida como *empowerment* (delegação de poder) (MONDEN, 2015). A dificuldade em definir corretamente o grau de autonomia atribuída aos colaboradores é apontada por alguns autores como uma das principais dificuldades na implantação do *lean* (JADHAV; MANTHA; RANE, 2014). Quando corretamente definida, muitos são os benefícios atrelados e, dessa forma, a autonomia dos colaboradores para parar ciclos de trabalho caso evidenciem problemas é tida como um elemento chave dentro dos sistemas *lean*.

Em algumas células, esta autonomia é ampliada, permitindo que os colaboradores reconfigurem ciclos de trabalhos para que a normalidade seja retomada. Assim, torna-se interessante em células de produção que os colaboradores possuam autorização para reconfigurar os ciclos de trabalho caso notem que um estágio está em defasagem (BHAT, 2008).

Adicionalmente, é apontada na literatura a necessidade de haver apoio aos trabalhadores em atividades como melhorias e resolução de problemas (SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011). Para que esse suporte seja realmente efetivo, os funcionários devem saber de maneira clara até que ponto possuem autonomia para a tomada de decisões.

Apresenta-se, por meio do Quadro 2.4, os parâmetros apontados pela literatura na categoria “Grau de autonomia conferido aos colaboradores da célula” bem como suas referências.

Quadro 2.4 Parâmetros para o grupo “Grau de autonomia conferido aos colaboradores da célula”

Parâmetros	Referências
Os colaboradores sabem de maneira clara até que ponto possuem autonomia para a tomada de decisões	(JADHAV; MANTHA; RANE, 2014; MARODIN; TORTORELLA; SAURIN, 2014; PAMPANELLI; FOUND; BERNARDES, 2014; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011; WOMACK; JONES; ROOS, 2004)
Os colaboradores têm autonomia para parar ciclos de trabalho caso evidenciem problemas	(BROWN; O’ROURKE, 2007; HUNTER; BLACK, 2007; HUNTER; BULLARD; STEELE, 2004; HYER; BROWN, 1999; MARODIN; TORTORELLA; SAURIN, 2014; MONDEN, 2015; OHNO, 1997; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011)
Os colaboradores possuem autonomia para reconfigurar ciclos de trabalho sempre que notarem problemas ou defasagem	(BHAT, 2008)

Fonte: Autora.

2.4.5 Comunicação e compartilhamento de informações entre colaboradores

Jadhav, Mantha e Rane (2014) destacam a falta de comunicação como uma barreira para o bom funcionamento do *lean*. Entretanto, a comunicação é um fator importante para o sucesso do *lean*. Por isso, um bom nível de comunicação entre os colaboradores que atuam na célula deve ser almejado. Saurin, Marodin e Ribeiro (2011) ressaltam a importância da comunicação entre os trabalhadores dentro da célula, destacando a necessidade de que os mesmos consigam se ver e conversar na tonalidade normal de suas vozes. Nesse sentido, a própria configuração celular é propícia para que os operários possam se comunicar (AGHAZADEH et al., 2011; HYER; BROWN, 1999).

De maneira complementar à comunicação, é necessário que haja um compartilhamento satisfatório de informações entre os colaboradores da célula. Fatores como o tamanho da célula, o treinamento recebido, acesso visual do operários a todas as atividades da célula, e sistemas de controle de gerenciamento têm impacto direto sobre o compartilhamento de informações dentro da célula. Dentre as informações necessárias para que a célula tenha um resultado satisfatório, destacam-se: os *status* dos pedidos e as especificações e metas de produção (HYER; BROWN, 1999).

Apresenta-se, por meio do Quadro 2.5, os parâmetros apontados pela literatura na categoria “Comunicação e compartilhamento de informações entre colaboradores” bem como outras referências.

Quadro 2.5 Parâmetros para o grupo “Comunicação e compartilhamento de informações entre colaboradores”

Parâmetros	Referências
O nível de comunicação entre os colaboradores que atuam na célula é excelente	(AGHAZADEH et al., 2011; HYER; BROWN, 1999; MOLLEMAN; SLOMP; ROLEFES, 2002; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011)
O nível de compartilhamento de informações entre os colaboradores que atuam na célula é excelente	(HYER; BROWN, 1999)

Fonte: Autora.

2.4.6 Melhoria Contínua e Qualidade

Dentro do contexto de melhoria contínua, qualidade e projetos *lean* destacam-se os Círculos de Controle da Qualidade (CCQs). Eles são constituídos por grupos de colaboradores reunidos de forma voluntária para debater possibilidades de melhorias. Recomenda-se fortemente que trabalhadores que atuam de maneira conjunta em células de produção desenvolvam este tipo de atividade (ISHIKAWA, 1993).

Muitas destas possibilidades de melhorias podem ser avaliadas em relação aos conceitos de atividades que não agregam valor e desperdícios produtivos. É importante que tais atividades sejam identificadas e minimizadas (LIKER, 2005). Em relação aos desperdícios, citam-se: superprodução, espera, excesso de transporte e movimentação, estoques, retrabalho, entre outros (LIKER, 2005; OHNO, 1997; WOMACK; JONES, 1998).

A própria adoção dos sensores da qualidade (programa 5S) permite identificar amplas possibilidades de melhorias no ambiente produtivo. O programa 5S consiste em classificar, organizar, limpar, padronizar e disciplinar os colaboradores no ambiente de trabalho (LIKER, 2005). O objetivo desse programa é reduzir continuamente as perdas que ocasionam prejuízos à produção, como erros e acidentes de trabalho (LIKER, 2005), contribuindo assim para o aumento da produtividade da organização (RODRÍGUEZ et al., 2016).

Também contribui para uma melhor produtividade o desenvolvimento de trabalhos sinérgicos entre determinados processos e seus respectivos “clientes internos” e “fornecedores internos”. Usando a concepção de Juran (2009), dentro de um sistema produtivo, cada processo deve entender seu processo posterior como um cliente e, desta forma, procurar a melhor maneira de atendê-lo. Isto se faz igualmente verdadeiro na concepção de uma célula de produção, na qual projetos de melhoria contínua devem ser desenvolvidos de forma sinérgica entre aqueles

que fornecem produtos/peças para a célula e aqueles que recebem os produtos/peças decorrentes do trabalho da célula (HUNTER; BLACK, 2007).

Dando continuidade, questões ergonômicas devem ser avaliadas constantemente nas células de produção visto que em geral os trabalhadores atuam em pé, caminham constantemente, são polivalentes e estão submetidos a ritmos de trabalho intensos (HUNTER; BLACK, 2007; HUNTER; BULLARD; STEELE, 2004). Assim, questões associadas às ergonômias física e cognitiva devem ser continuamente avaliadas nas células de manufatura. Nesse sentido, a própria literatura aponta diversos problemas decorrentes da não observação de muitos destes aspectos, como o aumento do *stress*, do cansaço e maior exposição dos operadores a movimentos repetitivos, conduzindo os mesmos a maiores riscos de saúde e precarização das condições de trabalho (AREZES; DINIS-CARVALHO; ALVES, 2015; HASLE, 2014; SEPPÄLÄ; KLEMOLA, 2004; STERLING; BOXALL, 2013; VIDAL, 2011; WOMACK; ARMSTRONG; LIKER, 2009).

Dentro das possibilidades de melhorias plausíveis de serem alcançadas dentro de uma célula de produção, destacam-se aquelas relacionadas à sustentabilidade ambiental. Além da crescente preocupação ambiental no meio empresarial, as leis que visam proteger o meio ambiente estão se tornando cada vez mais rigorosas (ABNT, 2015). O desperdício ambiental nas empresas está relacionado à utilização de recursos produtivos desnecessários e à contaminação do ar, da terra ou do solo por substâncias que prejudiquem o meio ambiente ou o ser humano (EPA, 2007). De certa forma, a adoção da filosofia *lean* contribui de maneira decisiva para um melhor desempenho ambiental das empresas, pois ao se enxugar um processo produtivo, enxuga-se também desperdícios relacionados ao consumo de matérias primas, energia elétrica, entre outros fatores (PAMPANELLI; FOUND; BERNARDES, 2014). Dando-se maior foco em relação às células de produção, as mesmas devem ser avaliadas em relação à sustentabilidade ambiental.

Outros conceitos, ferramentas e programas de qualidade contribuem para que células de produção alcancem bons resultados, sendo os mesmos citados a seguir.

A existência de procedimentos padrão atualizados a serem utilizados em caso de dúvidas em cada posto de trabalho da célula tem como finalidade assegurar um controle de qualidade maior. Informações como a sequência de produção e a configuração da célula devem estar contidos nesses procedimentos padrão (HUNTER; BLACK, 2007; MAASOUMAN; DEMIRLI, 2016; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011). Entre os benefícios gerados pela existência desses procedimentos estão uma produção mais eficiente e a redução de problemas operacionais como erros, acidentes e produtos com defeito (LIKER, 2005). Saurin, Marodin e

Ribeiro (2011) sugerem que estes procedimentos sejam auditados regularmente. Além disso, as instruções dos procedimentos padrão devem ser claras e precisas (MAASOUMAN; DEMIRLI, 2016; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011).

Visando garantir maior qualidade, a manutenção dos equipamentos utilizados na célula deve ser realizada de forma planejada, almejando-se a Manutenção Produtiva Total (TPM em inglês - *Total Productive Maintenance*) (MAASOUMAN; DEMIRLI, 2016; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011; SHEN, 2015). Citam-se como exemplos da adoção desta técnica nas células de produção uma melhor Eficiência Global de Equipamentos (*Overall Equipment Efficiency - OEE*) e, conseqüentemente, menores custos produtivos (CALADO, 2011).

Apresenta-se, por meio do Quadro 2.6, os parâmetros apontados pela literatura na categoria “Melhoria Contínua e Qualidade” bem como suas referências.

Quadro 2.6 Parâmetros para o grupo “Melhoria Contínua e Qualidade na célula”

(continua)

Parâmetros	Referências
O grupo de colaboradores que atua na célula desenvolve CCQs de forma totalmente voluntária	(BLAGA; JOZSEF, 2014; HASLE et al., 2012; HELOANI, 2012; ISHIKAWA, 1993; MONDEN, 2015)
São constantemente realizadas melhorias na célula em função dos princípios do 5S e desperdícios segundo a filosofia <i>lean</i>	(CHAUHAN, 2012; LIKER, 2005; RODRÍGUEZ et al., 2016; SHINGO, 1996; WOMACK; JONES, 1998)
Os projetos de melhoria contínua desenvolvidos na célula procuram envolver de forma sinérgica processos clientes e processos fornecedores da célula	(ALONY; JONES, 2008; CONTI et al., 2006; HASLE, 2014; HASLE et al., 2012; HUNTER; BLACK, 2007; JADHAV; MANTHA; RANE, 2014; JURAN, 2009; LI; FOUND, 2016; PAMPANELLI; FOUND; BERNARDES, 2014; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011; WOMACK; ARMSTRONG; LIKER, 2009)
Parâmetros associados às ergonômias física e cognitiva são avaliados e aperfeiçoados na célula	(ALONY; JONES, 2008; ANDERSON-CONNOLLY et al., 2002; AREZES; DINIS-CARVALHO; ALVES, 2015; BROWN; O’ROURKE, 2007; CONTI et al., 2006; CULLINANE et al., 2014; DE HAAN; NAUS; OVERBOOM, 2012; HASLE, 2014; HASLE et al., 2012; KOUKOULAKI, 2014; MAASOUMAN; DEMIRLI, 2016; MOYANO-FUENTES; SACRISTÁN-DÍAZ, 2012; PARKER, 2003; PEINADO; GRAEML, 2007; RODRÍGUEZ et al., 2016; SEPPÄLÄ; KLEMOLA, 2004; STERLING; BOXALL, 2013; TANIMIZU; ISHII; YOKOTANI, 2014; VIDAL, 2011; WOMACK; ARMSTRONG; LIKER, 2009)
A célula de produção é constantemente avaliada em relação à sustentabilidade ambiental	(ABNT, 2015; EPA, 2007; PAMPANELLI; FOUND; BERNARDES, 2014)
Todos os postos de trabalho da célula apresentam à disposição dos funcionários procedimentos padrão atualizados para serem utilizados em caso de dúvidas	(CONTI et al., 2006; DETTY; YINGLING, 2000; HASLE, 2014; HASLE et al., 2012; HUNTER; BLACK, 2007; LIKER, 2005; MAASOUMAN; DEMIRLI, 2016; MARODIN; TORTORELLA; SAURIN, 2014; MONDEN, 2015; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011; WOMACK; ARMSTRONG; LIKER, 2009)

Quadro 2.6 Parâmetros para o grupo “Melhoria Contínua e Qualidade na célula”

(conclusão)

Parâmetros	Referências
São realizadas auditorias regulares para verificar a conformidade da célula com os procedimentos padrão estabelecidos segundo princípios da qualidade e da filosofia <i>lean</i>	(SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011)
A manutenção dos equipamentos/ferramentas utilizados nos postos de trabalho da célula toma por base os princípios da TPM (<i>Total Productive Maintenance</i>)	(BAKRI et al., 2012; CALADO, 2011; CONTI et al., 2006; CULLINANE et al., 2014; MAASOUMAN; DEMIRLI, 2016; MARODIN; TORTORELLA; SAURIN, 2014; RODRÍGUEZ et al., 2016; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011; SHEN, 2015; WOMACK; ARMSTRONG; LIKER, 2009)

Fonte: Autora.

2.4.7 Configuração da célula

Este tópico tem por objetivo apresentar os parâmetros relevantes à configuração de uma célula de produção. A célula almeja trabalhar com o conceito do "*one piece flow*", conceito este que procura dar fluxo à produção evitando o estoque de peças entre postos de trabalho (DETTY; YINGLING, 2000; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011). Além disso, o conceito de "*one piece flow*" proporciona maior suavidade para a produção de uma célula de manufatura (DEIF, 2012b).

Outros dois aspectos importantes relacionados à configuração de células e que devem ser almejados são a existência de ciclos de trabalhos pré-definidos que atendam a diferentes ritmos de demanda (tempo *takt*) e a existência de diferentes necessidades dos clientes em relação à tamanho de lotes (*pitch* de produção do cliente).

Sobre a existência de ciclos de trabalho pré-definidos, observa-se que a variação no ritmo da demanda é crescente e isto impacta diretamente as empresas que precisam ajustar o ritmo de seus sistemas produtivos (YANG; GAO, 2016). Por estar relacionado diretamente à demanda, o tempo *takt* varia exigindo adequações nos tempos de ciclos. Empresas que se antecipam e conseguem estruturar estes ciclos de trabalho com antecipação, possuem melhor capacidade de resposta.

Em relação ao *pitch* de produção, é preciso atender às solicitações dos clientes e cada vez mais estes exigem lotes menores, mais frequentes e com produtos confiáveis. Assim, almeja-se que células de produção tenham a capacidade de produzir diferentes tipos de produtos de uma mesma família em um mesmo turno, técnica está denominada *Heijunka* (ROTHER; SHOOK,

2012). Logicamente, a aplicação inicial desta técnica aumentará os tempos de *setup*, mas os colaboradores da célula devem continuamente trabalhar em projetos que possibilitem a redução dos tempos de *setups*.

Uma consequência importante da redução dos tempos de *setups* é o aumento da flexibilidade do sistema produtivo. A flexibilidade deve ser uma característica constantemente perseguida na configuração das células de produção. Para Hunter e Black (2007), a flexibilidade de células pode ser entendida como a capacidade de se ajustar de forma rápida às alterações de demanda e tipo de produto (HUNTER; BLACK, 2007). A literatura destaca que células de produção flexível contribuem positivamente para a flexibilização da produção como um todo (ARORA; HALEEM; SINGH, 2013; HUNTER; BLACK, 2007; METTERNICH; BECHTLOFF; SEIFERMANN, 2013; MOYANO-FUENTES; SACRISTÁN-DÍAZ, 2012; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011).

Conhecer os pormenores de cada posto de trabalho dentro de uma célula contribui para uma melhor configuração e, desta forma, torna-se interessante determinar operações restritivas que impedem a mesma de alcançar maior nível de desempenho (PEINADO; GRAEML, 2007). Deve-se atuar continuamente para a “quebra” destas restrições em prol da melhoria contínua.

Para auxiliar no monitoramento das atividades da célula e identificação rápida de possível discrepâncias em relação ao desempenho almejado, Godinho Filho e Fernandes (2004) recomendam a utilização de quadros de gestão à vista. Dessa forma, todos dentro de uma empresa acompanharão o desempenho da célula, debater seus resultados e propor melhorias. O quadro para o controle da produção deve conter informações atualizadas a respeito da produção na célula. O que foi planejado para a célula fazer, o que foi feito, ações para corrigir os erros e as justificativas para o não cumprimento do que foi planejado estão entre as informações que devem constar nestes quadros (SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011). O controle visual permite que se perceba de forma imediata a existência de desvios em relação ao padrão estabelecido (LIKER, 2005).

Com relação às ordens de produção a serem executadas pelas células, estas devem se dar por meio da utilização da técnica de *kanban*. Trata-se de um importante instrumento para que as células produzam de acordo com as necessidades definidas, fazendo assim com que desperdícios de superprodução sejam evitados (BHAT, 2008). O uso da técnica de *kanban* em células de produção está diretamente relacionado a filosofia *lean* de puxar a produção (HUNTER; BLACK, 2007).

Devido à maior autonomia que os trabalhadores devem possuir em célula de manufatura *lean*, é importante que a célula possua dispositivos visuais (*Andon*) para chamar o líder da

equipe ou equipes de suporte, em momentos pertinentes. Porém, conforme ressaltado por Ohno (1997), é importante que os operários não tenham medo de acionar o *Andon* quando necessário.

Em relação ao maquinário, bem como aos postos de trabalho da célula, é importante que eles tenham dispositivos à prova de erro (*poka-yoke*). Esse atributo dispensa a necessidade de monitoramento constante das máquinas, ao não permitir que a produção continue se existir algum problema (SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011). Outras vantagens decorrentes da adoção deste dispositivo são a menor necessidade de inspeção dos produtos e o aumento na qualidade da produção (AGHAZADEH et al., 2011; CONTI et al., 2006; LIKER, 2005).

Por fim, a definição correta das áreas de operação, circulação e corredores de movimentação é mais um importante parâmetro relacionado à configuração da célula. A existência desse parâmetro deve-se a importância do conhecimento das especificações da área física necessária para a produção (PEINADO; GRAEML, 2007).

Apresenta-se, por meio do Quadro 2.7, os parâmetros apontados pela literatura na categoria “Configuração da Célula” bem como suas referências.

Quadro 2.7 Parâmetros para o grupo “Configuração da Célula”

(continua)

Parâmetros	Referências
A célula trabalha com o conceito de fluxo de peças (preferencialmente " <i>one piece flow</i> ")	(DEIF, 2012b; DETTY; YINGLING, 2000; MARODIN; TORTORELLA; SAURIN, 2014; MCWILLIAMS; TETTEH, 2009; METTERNICH; BECHTLOFF; SEIFERMANN, 2013; PATTANAIAK; SHARMA, 2009; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011)
Os tempos padrão definidos a priori para os processos da célula são realmente observados na prática	(PEINADO; GRAEML, 2007)
O <i>layout</i> projetado para a célula demonstra-se adequado para diferentes ciclos produtivos desenvolvidos pelos colaboradores	(AALAEI; DAVOUDPOUR, 2016; ARORA; HALEEM; SINGH, 2013; ASKIN; SELIM; VAKHARIA, 1997; CHAN; LAM; LEE, 1999; CHANG; WU; WU, 2013; DEEP; SINGH, 2015; DETTY; YINGLING, 2000; HUNTER; BLACK, 2007; HUNTER; BULLARD; STEELE, 2004; HYER; BROWN, 1999; LEE; CHIANG, 2002; METTERNICH; BECHTLOFF; SEIFERMANN, 2013; MOYANO-FUENTES; SACRISTÁN-DÍAZ, 2012; PAPAIOANNOU; WILSON, 2010; RAFIEE et al., 2011; RAMINFAR et al., 2013; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011; TANIMIZU; ISHII; YOKOTANI, 2014; WU et al., 2007; ZOLFAGHARI; LOPEZ; LOPEZ ROA, 2006)
Os processos mais críticos da célula (operações restritivas) são conhecidos, constantemente gerenciados e melhorados	(BROWN, 2015; ERENAY et al., 2015; PEINADO; GRAEML, 2007)
A célula consegue produzir diferentes produtos da mesma família em um mesmo turno (<i>Heijunka</i>)	(ANGRA; SEHGAL; NOORI, 2008; CONTI et al., 2006; DEIF, 2012b; DETTY; YINGLING, 2000; HUNTER; BLACK, 2007; KACH et al., 2014; MARODIN; TORTORELLA; SAURIN, 2014; MOYANO-FUENTES; SACRISTÁN-DÍAZ, 2012; OHNO, 1997; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011; WOMACK; ARMSTRONG; LIKER, 2009)

Quadro 2.7 Parâmetros para o grupo “Configuração da Célula”

(conclusão)

Parâmetros	Referências
Existem ciclos de trabalho pré-definidos e conhecidos pelos colaboradores que possibilitam atender diferentes <i>takt-times</i>	(ROTHER; HARRIS, 2008; ROTHER; SHOOK, 2012; YANG; GAO, 2016)
A célula sempre consegue atender a diferentes <i>pitches</i> de produção do cliente	(ROTHER; SHOOK, 2012)
Existem quadros de gestão à vista por meio do qual os colaboradores podem acompanhar o desempenho da célula em questão de forma global e comparativa	(DEIF, 2012b; DETTY; YINGLING, 2000; GODINHO FILHO; FERNANDES, 2004; HYER; BROWN, 1999; MARODIN; TORTORELLA; SAURIN, 2014; MOYANO-FUENTES; SACRISTÁN-DÍAZ, 2012; PAMPANELLI; FOUND; BERNARDES, 2014; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011)
A célula atua por meio da disparada de <i>kanbans</i>	(BHAT, 2008; CONTI et al., 2006; CULLINANE et al., 2014; DETTY; YINGLING, 2000; HASLE, 2014; HASLE et al., 2012; HUNTER; BLACK, 2007; HUNTER; BULLARD; STEELE, 2004; KACH et al., 2014; MCWILLIAMS; TETTEH, 2009; OHNO, 1997; ROTHER; SHOOK, 2012; SHINGO, 1996)
A célula possui dispositivos visuais (<i>Andon</i>) que permitem paralisar a operação e mobilizar equipes em prol de soluções	(LIKER, 2005; OHNO, 1997; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011; WOMACK; JONES; ROOS, 2004)
Análises em relação a possibilidades de aplicação de dispositivos à prova de erro são feitas e, quando pertinentes, tais dispositivos são aplicados	(AGHAZADEH et al., 2011; CONTI et al., 2006; DETTY; YINGLING, 2000; HASLE, 2014; HASLE et al., 2012; KACH et al., 2014; MAASOUMAN; DEMIRLI, 2016; MARODIN; TORTORELLA; SAURIN, 2014; OHNO, 1997; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011; SHINGO, 1996; WOMACK; ARMSTRONG; LIKER, 2009)
As áreas de operação, circulação e corredores de movimentação estão corretamente definidas	(PEINADO; GRAEML, 2007; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011)

Fonte: Autora.

3 MÉTODO DE PESQUISA

3.1 Classificação da pesquisa

A classificação desta pesquisa será feita em relação à sua abordagem, estratégias utilizadas, natureza e objetivos.

Do ponto de vista da abordagem do problema, as classificações possíveis são pesquisa quantitativa, qualitativa e pesquisa mista. A pesquisa qualitativa procura descrever fenômenos e comportamentos atrelados a um determinado objeto de estudo, a pesquisa quantitativa procura obter conclusões a partir de dados coletados e utilização de métodos estatísticos e a abordagem mista utiliza-se de técnicas das duas abordagens anteriores, procurando potencializar os resultados (GRAY, 2012). Entende-se que a pesquisa apresentada por esta dissertação apresenta uma abordagem mista. Avaliam-se percepções de profissionais em relação a parâmetros específicos no cotidiano de células de manufatura bem como seu grau de maturidade e muitas destas avaliações exigem do entrevistado análise de fenômenos e comportamentos, portanto, características da pesquisa qualitativa. Entretanto, para organizar os dados e permitir conclusões mais assertivas, utilizou-se uma escala numérica evolutiva e, posteriormente, foram realizadas análises estatísticas, características típicas de uma pesquisa quantitativa. Assim, frente ao exposto, justifica-se a classificação desta pesquisa como mista.

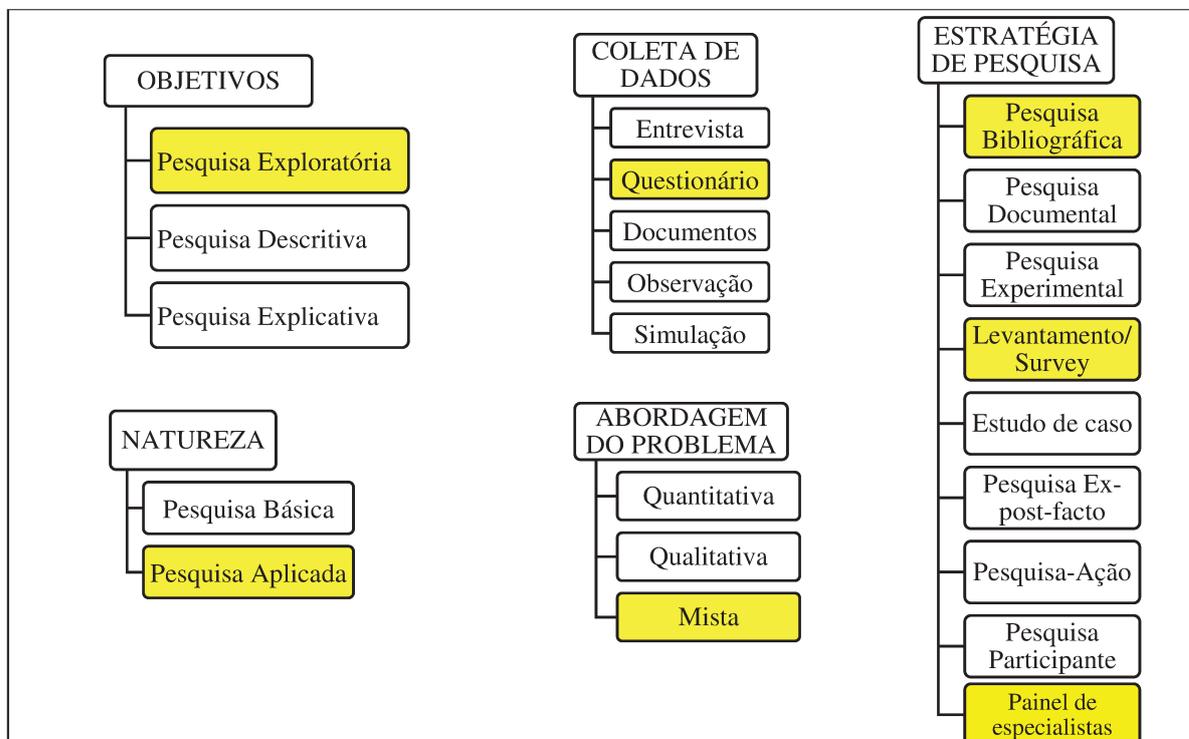
Em relação às estratégias utilizadas, tem-se inicialmente uma pesquisa bibliográfica, por meio da qual foram levantados os atributos a serem testados. Na sequência, foi realizado um painel de especialistas, seguido de uma *survey*. Segundo Gil (2010), a pesquisa bibliográfica é desenvolvida a partir de materiais já elaborados, constituídos principalmente de livros e artigos. Praticamente todos os tipos de estudos contam com alguma pesquisa dessa natureza (GAUCH JUNIOR, 2003; GIL, 2010; YIN, 2014). No painel de especialistas, reúne-se um grupo de especialistas em determinado assunto para solucionar um problema a partir de suas opiniões, em uma validação qualitativa (CAMPOS et al., 2010). Para essa pesquisa, o painel de especialistas foi utilizado na fase preliminar, para estabelecer as bases do modelo a ser tratado estatisticamente (PINHEIRO; FARIAS; ABE-LIMA, 2013). Para Gil (2010), a *survey* formula perguntas para conhecer atitudes e opiniões de um grupo pesquisado, estabelecendo conclusões a partir disso. É importante salientar que a amostra utilizada na referida *survey* se caracterizou como não probabilística por julgamento, visto que os respondentes foram selecionados de forma

não aleatória, a partir do julgamento de que os mesmos se caracterizam como aqueles mais aptos a contribuir com a pesquisa (GIL, 2010; MALHOTRA, 2012; SILVA; MENEZES, 2005). A amostragem por julgamento é um tipo de amostragem por conveniência, em que o pesquisador seleciona os respondentes a partir de sua avaliação (MALHOTRA, 2012).

Focando-se a natureza, esta pesquisa caracteriza-se como aplicada. A pesquisa aplicada tem como objetivo o desenvolvimento de conhecimentos que tenham finalidade prática e que possam auxiliar na resolução de questões específicas (SILVA; MENEZES, 2005). A ideia central é validar um modelo para avaliar a maturidade de células de manufatura que utilizam a filosofia *lean* e que este modelo possa ser utilizado nas empresas.

Por fim, em relação aos objetivos, a presente pesquisa é classificada como exploratória. Para Gil (2010) e Silva e Menezes (2005), na pesquisa exploratória busca-se uma maior conhecimento a respeito de um determinado assunto ainda pouco trabalhado pela academia. A autora desta dissertação entende que o tema “maturidade de células de manufatura *lean*” ainda é pouco explorado pela academia. A Figura 3.1 sintetiza a classificação metodológica descrita anteriormente.

Figura 3.1 Classificação metodológica da pesquisa



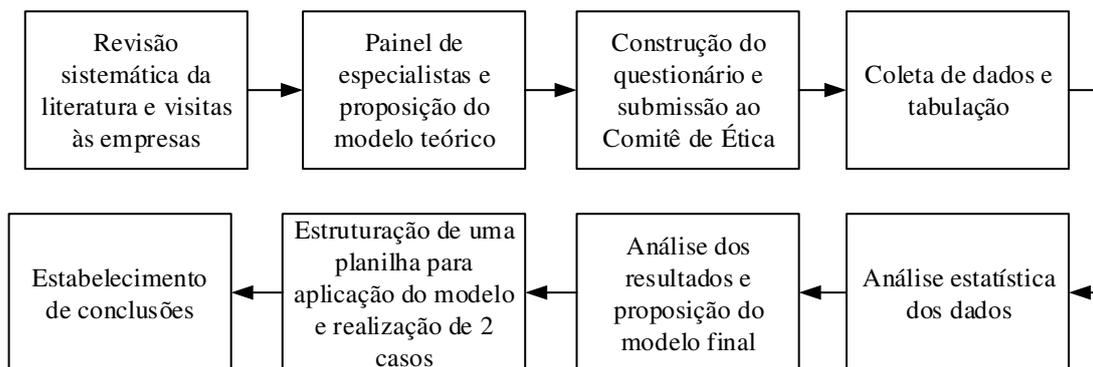
Fonte: Adaptado de Anholon (2006), Campos et al. (2010), Gil (2010), Martins (1999), Pinheiro, Farias e Abe-Lima (2013), Ruy (2002) e Silva e Menezes (2005).

3.2 Etapas de desenvolvimento da pesquisa

Segundo Trujillo (1974 *apud* LAKATOS; MARCONI, 2003), o método é uma forma de proceder ao longo de um caminho. Na ciência, os métodos constituem os instrumentos básicos para que os cientistas trabalhem com um pensamento sistêmico e alcancem os objetivos pré-estabelecidos. Lakatos e Marconi (2003) acreditam que, ao desenvolver uma pesquisa baseada em métodos científicos, atua-se a favor da segurança e da economia, já que estes permitem a correção de erros e auxiliam nas decisões dos pesquisadores.

Baseado na descrição anterior, as etapas dessa dissertação foram definidas a fim de alcançar os objetivos propostos. Estas etapas são apresentadas na Figura 3.2 e serão descritas posteriormente.

Figura 3.2 Etapas de desenvolvimento da pesquisa



Fonte: Autora.

3.2.1 Etapa 1: Revisão sistemática da literatura e visitas às empresas.

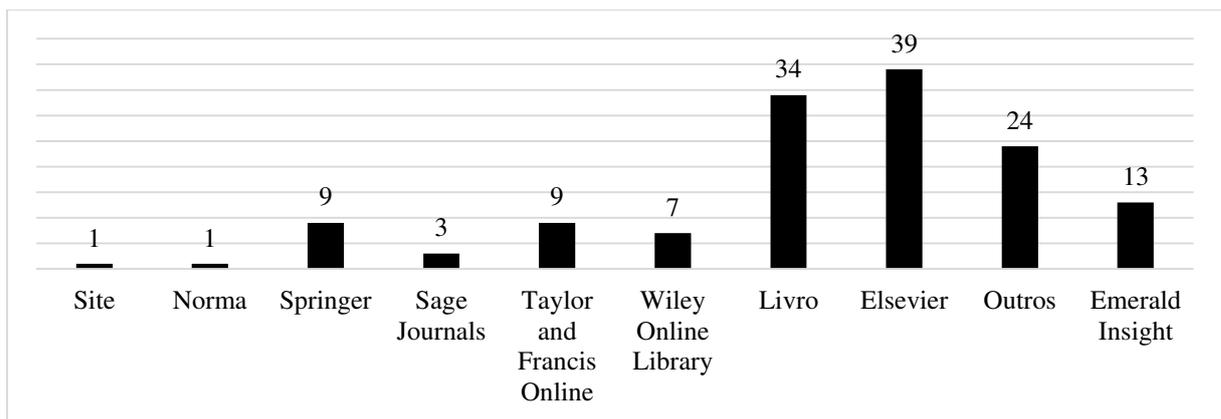
Esta etapa teve início com a revisão sistemática da literatura, na qual foram realizados levantamentos acerca dos conceitos e ferramentas da filosofia *lean* e sobre os parâmetros atrelados ao funcionamento de células de manufatura. Foi realizada uma ampla varredura em bases científicas como *Taylor and Francis*, *Emerald Insight*, *Scielo*, *Elsevier*, *Springer*, etc, a fim de encontrar artigos que abordassem as temáticas citadas. Ao todo, nesta dissertação, foram

utilizadas 140 referências. A seguir será feita uma breve explanação a respeito da composição dessas referências.

Do total de referências utilizadas, 99 são artigos científicos. Focou-se naqueles pertencentes a bases de dados de maior prestígio no meio acadêmico e com datas de publicação mais recentes.

Explicações a respeito dos conceitos relacionados ao *lean* foram encontradas principalmente em livros de autores consagrados da área como James P. Womack, Mike Rother, Shigeo Shingo, entre outros. O fato dessas obras apresentarem definições completas e atuais a respeito dos temas foi a principal motivação da escolha por elas. Na Figura 3.3, as publicações estão organizadas a partir da fonte.

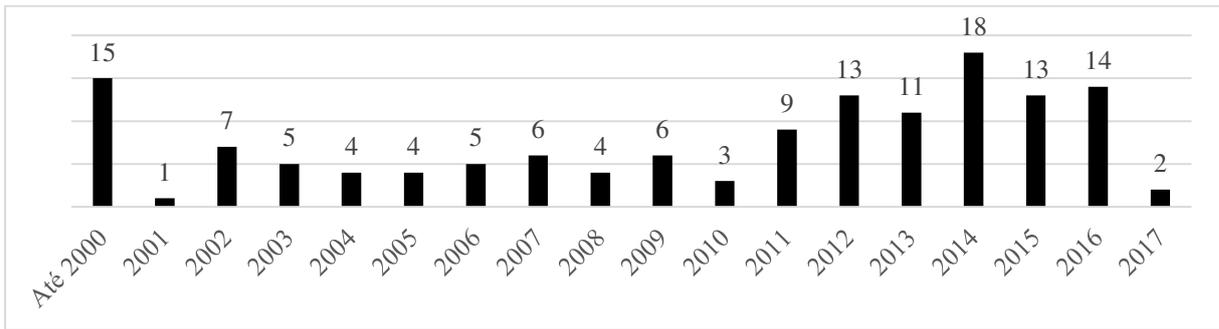
Figura 3.3 Fontes das publicações



Fonte: Autora.

A Figura 3.4 mostra as referências utilizadas com base no ano de publicação.

Figura 3.4 Anos das publicações



Fonte: Autora.

É importante salientar que frente à especificidade do tema, foram realizadas nesta fase algumas visitas técnicas em empresas para conhecer os pormenores atrelados ao funcionamento de células de manufatura. Foram realizadas visitas em uma empresa fabricante de manômetros localizadas na cidade de Iperó e em uma empresa fabricante de freios automotivos localizada na cidade de Campinas.

3.2.2 Etapa 2: Painel de especialistas

A etapa anterior identificou uma lista de parâmetros associados ao funcionamento de células de manufatura. Inicialmente foi realizada uma pré-divisão dos mesmos em constructos temáticos. Entretanto, a fim de organizar melhor esta divisão e checar a necessidade de inclusões de outros parâmetros, realizou-se um painel de especialistas.

O painel de especialistas é uma técnica de pesquisa utilizada nas áreas de administração e ciências sociais aplicadas. Nessa técnica, cada especialista apresenta sua perspectiva, as mesmas são debatidas e conclusões são estabelecidas (PINHEIRO; FARIAS; ABE-LIMA, 2013). A discussão em grupo visa esclarecer todos os pontos e organizar todas as questões de uma forma coerente. Assim, as prioridades podem ser identificadas (COHEN; MANION; MORRISON, 2007). Sugestões de melhorias dos itens analisados podem ser feitas pelos especialistas participantes (PETRICK, 2002).

No caso específico dessa pesquisa, o painel de especialistas caracterizou-se como uma fase preliminar ao desenvolvimento da *survey* e permitiu a obtenção de um primeiro modelo teórico. Dez especialistas em *lean production* participaram desta atividade, sendo 5 doutores

em engenharia de produção e 5 gestores industriais. Um especialista em estatística também foi convidado para assistir ao evento. Entretanto, os assuntos relacionados à engenharia de produção foram debatidos apenas entre os dez especialistas em *lean*.

3.2.3 Etapa 3: Construção do questionário e submissão ao Comitê de Ética

O painel de especialistas se mostrou útil, permitiu uma melhor estruturação dos parâmetros em constructos temáticos e, conseqüentemente, a criação de um primeiro modelo teórico. Este modelo teórico serviu de base para a elaboração do questionário a ser aplicado aos profissionais que gerenciam células de manufatura que utilizam a filosofia *lean*.

O questionário foi composto por 35 questões, sendo 34 relacionadas aos parâmetros organizados em constructos temáticos no painel de especialistas e 1 relacionada ao grau geral de maturidade da célula na percepção dos participantes da *survey*. Para cada parâmetro em questão, os participantes deveriam indicar por meio de uma escala de 0 a 10 o quanto o mesmo estava bem estruturado no cotidiano das células de manufatura que gerenciam. Estas notas foram alocadas dentro de faixas e a existência de mais de uma nota em cada faixa permitia um ajuste fino dentro da mesma. Adicionalmente, uma escala com maiores possibilidades de escolha permite, em tese, maiores chances de entender aquilo que está sendo estudado. Tais níveis tomaram por base as proposições de Nightingale e Srinivasan (2011) e são apresentados a seguir:

- Nível 5: O parâmetro está totalmente desenvolvido, é reconhecido como de excelência. Ainda assim, o mesmo é analisado criticamente buscando-se oportunidades de melhorias e outras inovações. Atribua nota 9 ou 10, segundo sua percepção.
- Nível 4: O parâmetro é aplicado de forma sistemática na célula, observam-se ganhos decorrentes de sua melhoria com tendência positiva rumo a excelência, ainda assim com possibilidades de refinamento. Atribua nota 7 ou 8, segundo sua percepção.
- Nível 3: O parâmetro é aplicado de forma sistemática na célula. Ainda assim, observam-se instabilidades frequentes em sua aplicação. Atribua nota 5 ou 6, segundo sua percepção.

- Nível 2: O parâmetro é considerado na análise da célula, porém de maneira informal e irregular. Atribua nota 3 ou 4, segundo sua percepção.
- Nível 1: É dada pouca ou nenhuma atenção a esse parâmetro. Quando desenvolvidas, atividades de melhoria são dispersas e raras. Atribua nota 0, 1 ou 2, segundo sua percepção.

Para a nota relacionada à maturidade geral da célula, os respondentes deveriam atribuir livremente uma nota de 0 a 10 de acordo com sua percepção. Como é possível perceber, optou-se³ por um grau de maturidade evolutivo de 0 a 10 e não por níveis em faixas como utilizado nos parâmetros. Essa escolha se deve ao fato de que a adoção de níveis de maturidade (com explicações do que se espera para cada nível) conduziria a uma interpretação parcial do real estágio em que a célula se encontra. Como exemplo, a definição de um nível intermediário de maturidade poderia conduzir a falsa percepção de que todos os parâmetros estariam implantados e em fase de desenvolvimento, mas isto poderia não ser verdade se alguns parâmetros apresentassem notas muito altas e outros notas muito baixas. O grau de maturidade, ao contrário, indica apenas uma referência em relação ao almejado sem maiores conclusões e, desta forma, para melhorar este grau torna-se necessário analisar pontualmente cada parâmetro apresentado e atuar sobre aqueles mais críticos. Por meio deste grau, o gestor da célula poderia acompanhar a evolução da mesma ou estabelecer comparações entre células da mesma empresa.

Tomando por base os autores Bhasin (2011), Maasouman e Demirli (2016) e Nightingale e Srinivasan (2011), entende-se como uma célula de manufatura madura grau 10 aquela na qual todos os conceitos *lean* estão bem implantados e se sustentam ao longo do tempo, além de se integrarem perfeitamente a outros conceitos que possibilitam melhor produtividade e qualidade ao trabalho dos colaboradores. Os principais indicadores de desempenho desta célula demonstram excelência quando comparado a referenciais de mercado e ou segmento de atuação da empresa. O fluxo de informação, a comunicação e o grau conhecimento são intensos. Autonomia, habilidade e aspectos de liderança contribuem positivamente para o alcance dos objetivos. Mesmo com resultados considerados referenciais, ainda sim gestor e colaboradores da célula realizam análises críticas, buscando oportunidades de melhorias e/outras inovações que proporcionem ganhos. Por sua vez, o grau 0 na extremidade inferior denotaria a inexistência do conceito de manufatura celular. Os graus intermediários mostram quão próxima a célula está de ser considerada madura.

³ Esta opção foi feita com o auxílio dos profissionais presentes no painel de especialistas.

Antes da aplicação do questionário, conforme recomendado por Hair et al. (2011), Gil (2010) e por Marconi e Lakatos (2003), foi realizado um pré-teste do questionário junto a alguns profissionais, a fim de verificar a necessidade de ajustes, porém, não houve sugestões de alterações. Os profissionais que participaram do pré-teste não participaram da amostra principal.

No Brasil, toda pesquisa envolvendo seres humanos, mesmo em caráter de opinião deve passar pela apreciação de um comitê de ética, atendendo à resolução 466 do Ministério da Saúde de 2012. Sendo assim, o questionário elaborado foi submetido ao Comitê de Ética Pesquisa da Universidade Estadual de Campinas, sendo aprovado e autorizado sob o número de Certificado de Apresentação para Apreciação Ética (CAAE): 54939916.5.0000.5404.

3.2.4 Etapa 4: Coleta de dados e tabulação

Nesta fase, foi elaborada uma lista de profissionais aptos a responderem a *survey* no meio industrial contendo 530 nomes e endereços eletrônicos. Para facilitar a coleta de dados e posterior tabulação, optou-se pelo envio de um e-mail apresentando os propósitos da pesquisa e contendo um link para a plataforma *Google Forms*. Este e-mail foi enviado para os 530 profissionais entre os meses de novembro de 2016 a fevereiro de 2017. Após um mês do primeiro envio, a autora desta dissertação escreveu um novo e-mail reforçando o convite de participação na pesquisa para aqueles que ainda não haviam respondido o questionário. A coleta de dados foi finalizada contendo 101 questionários válidos que foram tabulados e utilizados nas análises estatísticas.

3.2.5 Etapa 5: Análise estatísticas dos dados

Para a análise dos dados optou-se pela Modelagem de Equações Estruturais (SEM), sendo esta uma técnica estatística utilizada na área das ciências sociais aplicadas e engenharia de produção. Esta técnica “testa redes diretas e indiretas de relações causais teóricas de conjuntos de dados complexos com variáveis dependentes e independentes intercorrelacionadas” (LAMB

et al., 2014, p. 2434). A partir de modelos hipotetizados, é possível analisar as relações lineares entre variáveis latentes e observadas (HARRING; WEISS; LI, 2015).

Na SEM, duas técnicas são utilizadas, a primeira delas é o método dos mínimos quadrados parciais (PLS) e a segunda é o método baseado na covariância dos fatores (CB) (HAIR et al., 2014). Nessa dissertação, optou-se pela utilização do método PLS com o intuito de verificar quais parâmetros são validados em seus respectivos constructos e como cada constructo influencia na percepção da maturidade. O software estatístico selecionado para analisar os dados obtidos foi o SmartPLS versão 2.0.

Um ponto importante a salientar é que se optou por uma relação reflexiva entre as variáveis observáveis e seus constructos. Nesse tipo de modelo, assume-se que existe uma alta correlação entre as variáveis que estão sendo analisadas. Além disso, na relação reflexiva, o significado do constructo não se altera quando um item deste constructo é retirado do mesmo (HAIR et al., 2014). Modelos reflexivos entre variáveis e seus constructos são os mais usuais em pesquisas de ciências sociais aplicadas e engenharia de produção.

A fim de facilitar a apresentação dos resultados, define-se nove passos tomando por base as considerações propostas por Ringle, Silva e Bido (2014). Esta mesma sequência será utilizada na descrição dos resultados.

O primeiro passo é caracterizado pela definição da estrutura inicial do modelo a ser testado no software SmartPLS. Esse modelo inicial é definido a partir do levantamento bibliográfico e pressupostos a serem testados pelo pesquisador (RINGLE; SILVA; BIDO, 2014). No caso desta dissertação, pretende-se analisar o modelo teórico resultante da realização do painel dos especialistas.

O segundo passo constitui-se pela definição da amostra mínima necessária e, para tal, utiliza-se o software G*Power. Seguindo as recomendações de Hair et al. (2014), o cálculo da amostra mínima é feito tomando por base o teste F com regressão múltipla linear, modelo fixo e R^2 desvio de zero; com poder do teste de 80%; probabilidade de erro de 5%; e tamanho de efeito mediano de 15%.

O terceiro passo se caracteriza pela validação da estrutura proposta e aplicação do método dos mínimos quadrados parciais (PLS). Nesta aplicação, considerou-se os seguintes parâmetros de ajuste: *Path Weighting Scheme*, média zero e variância de 1, o número máximo de interações para convergir o modelo foi de 300; e o critério de parada dos cálculos foi de 0,00001. Todos esses valores seguem as recomendações de Ringle, Silva e Bido (2014).

O quarto passo constitui-se da análise das validades convergentes por meio das variâncias médias extraídas (*Average Variance Extracted – AVE*). Todos os constructos devem possuir

valores de AVE maiores que 0,50 para que o modelo convirja a um resultado satisfatório (RINGLE; SILVA; BIDO, 2014).

No quinto passo, foi feita a análise do Alpha de Cronbach e da Confiabilidade Composta. Esses indicadores mostram a presença ou não de vieses nos dados, portanto, mostram a confiabilidade dos mesmos. Os valores do Alpha de Cronbach devem ser maiores que 0,60 e os valores da Confiabilidade Composta devem ser maiores que 0,70 (HAIR et al., 2014). De acordo com Ringle, Silva e Bido (2014), a Confiabilidade Composta é mais apropriada para Modelagem de Equações Estruturais.

O passo seis é composto pela análise da validade discriminante. Nessa análise, também conhecida como análise de cargas cruzadas, as cargas fatoriais devem ser mais altas em seus constructos do que nos demais. Esse resultado mostra que as variáveis estão bem alocadas em seus constructos (RINGLE; SILVA; BIDO, 2014).

No passo sete, é feita a análise dos coeficientes de determinação de Pearson (R^2) que indicam a qualidade da estrutura. Para a área de gestão e engenharia de produção, na qual se encontra o estudo proposto por esta dissertação, os valores para os coeficientes de determinação de Pearson (R^2) são de 2%, 13% e 26%, para efeito pequeno, médio e grande, respectivamente (COHEN, 1988).

A SEM utiliza como premissa a existência de correlações e regressões lineares e, para verificar se as mesmas são aplicáveis na maioria das vezes (pelo menos 95% dos casos), faz-se necessária a realização de alguns testes (oitavo passo). Isto é feito por meio da técnica de reamostragem denominada *Bootstrapping* definindo-se o número de sujeitos da amostra (101, para essa pesquisa) e o valor de 5.000 para reamostragem. Todos os valores obtidos devem ser maiores que 1,96 (isto é, p-valores $\leq 0,05$) indicando assim que as correlações e regressões são válidas para pelos menos 95% dos casos. É importante destacar que o *Bootstrapping* apresenta resultados diferentes a cada vez em que é rodado. Isso ocorre porque o *Bootstrapping* é feito a partir de subamostras aleatórias, com isso, cada rodada apresentará subamostras diferentes. Entretanto, a diferença entre os valores é pequena se o número de amostras escolhido for grande o suficiente, como 5.000, por exemplo (HAIR et al., 2014).

O nono e último passo é composto pela análise dos parâmetros de Relevância ou Validade Preditiva (Q^2) e Indicador de Cohen ou Comunalidade (f^2), para verificar a qualidade do ajuste da estrutura (RINGLE; SILVA; BIDO, 2014). Para obter esses dados, é necessário rodar o *Blindfolding* no SmartPLS. A Validade Preditiva ou Redundância (Q^2) indica o quanto a estrutura do modelo está próxima do que se esperava do mesmo e deve possuir valores maiores

que zero. O Indicador de Cohen ou Comunalidade (f^2), por sua vez, mostra quão útil cada constructo é para o modelo e deve possuir valores maiores que 0,15⁴ (HAIR et al., 2014).

3.2.6 Etapa 6: Análise dos resultados e proposição do modelo final

Essa etapa se caracteriza pela análise e debates dos resultados, tomando por base os resultados estatísticos e proposições citadas na literatura. Apresenta-se ainda a proposição final do modelo.

3.2.7 Etapa 7: Estruturação de uma planilha para aplicação do modelo nas empresas e ilustração de seu uso por meio de 2 casos

Uma vez validado o modelo final, estruturou-se uma planilha em MS Excel com o intuito de facilitar a aplicação do modelo nas empresas. Para fins de ilustração, realizou-se a análise de duas células de uma empresa do segmento automotivo.

3.2.8 Etapa 8: Estabelecimento de conclusões

A última etapa é dedicada ao estabelecimento de conclusões a respeito do modelo proposto, destacando-se tanto suas aplicações como limitações.

⁴ É importante destacar que Ringle, Silva e Bido (2014) apresentam ainda um índice denominado (GoF – Goodness of Fit) por meio do qual pode-se avaliar todo o modelo proposto. O autor Silva, entretanto, mencionou para a autora desta dissertação que a validação via nove etapas se faz mais confiável e, por este motivo, optou-se por esta análise.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo é composto pelos resultados da pesquisa e debates a eles associados. A apresentação será feita de acordo com as etapas apresentadas no item 3.2.

4.1 Visitas realizadas

Ao longo da elaboração da dissertação, foram realizadas visitas em empresas que utilizam células de manufatura *lean* em sua produção. Foram feitas visitas em uma fábrica produtora de manômetros e em uma fabricante de freios automotivos, ambas localizadas no interior do Estado de São Paulo.

As visitas foram fundamentais para que a autora desta dissertação conhecesse melhor os pormenores do funcionamento de células de manufatura e, desta forma, realizar uma análise criteriosa dos parâmetros que vieram a compor o Modelo de Maturidade desenvolvido. Apesar de não se caracterizar como objetivo deste trabalho descrever as visitas, citam-se dois pontos que chamaram a atenção.

Na fábrica de manômetros, observou-se uma célula com alto nível de maturidade em funcionamento, com funcionários polivalentes reconfigurando circuitos da célula, por iniciativa própria, para reequilibrar a produção depois que um dos postos de trabalho apresentou problemas de operação. Em poucos minutos, a produção foi normalizada e o circuito padrão foi reestabelecido. Já na fabricante de freios automotivos, o destaque ficou por conta da alta flexibilidade das células, que facilmente podiam ser reconfiguradas para a execução de novos produtos em poucos minutos.

4.2 Painel de especialistas

O painel com especialistas foi composto por dez membros, conforme a recomendação de Campos et al. (2010), sendo cinco doutores e cinco profissionais atuantes em empresas. Entre os doutores estava um professor da Universidade de São Paulo; um professor da Universidade

Federal Fluminense; um pós-doutorando da Universidade Estadual de Campinas; e dois professores da Universidade Estadual de Campinas. Todos os participantes possuem amplo conhecimento sobre o tema. Entre os profissionais de empresas, destaca-se que todos atuam em multinacionais que utilizam a filosofia *lean* e que os mesmos possuem conhecimento amplo a respeito do tema. Conforme destacado anteriormente, um especialista em estatística também foi convidado para participar da reunião.

Conforme apontado por Campos et al. (2010), para a realização desse painel, foi realizada uma reunião, na qual foram apresentados os parâmetros, e cada participante apontou como eles deveriam ser agrupados. Os resultados obtidos foram apresentados a todos e foi realizado um novo debate em relação às classificações divergentes. Por fim, foi feita uma nova avaliação dos agrupamentos e chegou-se a um consenso em relação aos grandes constructos. É importante salientar que, seguindo as recomendações do estatístico presente, tentou-se gerar no máximo 5 constructos.

Adicionalmente, assim como ocorreu com o estudo de Petrick (2002), houve sugestões de melhorias. Os participantes sugeriram a inclusão de alguns parâmetros que não constam na literatura específica sobre *lean* ou sobre células, porém estão intimamente relacionados aos princípios *lean*. Além disso, foram sugeridos alguns agrupamentos dentre os parâmetros levantados na literatura, devido à proximidade entre eles.

A partir da análise dos participantes do painel de especialistas e de suas sugestões, foram realizadas as seguintes alterações:

- Os parâmetros “Os colaboradores possuem polivalência e podem trabalhar em diferentes funções na célula” e “Existem incentivos para o desenvolvimento da polivalência dos colaboradores” foram unidos no parâmetro “Os colaboradores possuem polivalência e podem trabalhar em diferentes funções na célula, existindo incentivos para o desenvolvimento desta polivalência”;
- Os parâmetros “Os colaboradores dominam os conceitos associados à filosofia *lean* de tempo padrão, tempo de ciclo e *takt-time*” e “Os colaboradores dominam os conceitos associados à filosofia *lean* de balanceamento de células e de nivelamento das células” foram unidos no parâmetro “Os colaboradores dominam os conceitos associados à filosofia *lean* (tempo padrão, tempo de ciclo, *takt-time*; tipos de desperdícios, balanceamento de células, etc.)”;
- Os parâmetros “Os líderes das equipes conhecem bem as variabilidades plausíveis para a produção da célula” e “Os líderes das equipes gerenciam as habilidades existentes e das necessárias para o desenvolvimento de cada colaborador” foram unidos no

parâmetro “Os líderes das equipes conhecem bem as variabilidades plausíveis para a produção da célula e gerenciam as habilidades existentes e as necessárias para o desenvolvimento de cada colaborador”;

- Os parâmetros “O nível de comunicação entre os colaboradores que atuam na célula é excelente” e “O nível de compartilhamento de informações entre os colaboradores que atuam na célula é excelente” foram unidos no parâmetro “Os níveis de comunicação e de compartilhamento de informações entre os colaboradores que atuam na célula são excelentes”;
- Os parâmetros “A célula atua por meio da disparada de *kanbans*” e “A célula sempre consegue atender a diferentes *pitches* de produção do cliente” foram unidos no parâmetro “A célula atua por meio da disparada de *kanbans* dentro dos *pitches* de produção definidos e conhecidos por todos”;
- Os constructos “Habilidade dos colaboradores que atuam na célula” e “Conhecimento dos Colaboradores que atuam na célula” foram unidos no constructo “Conhecimento e Habilidade dos Colaboradores”;
- Os constructos “Aspectos decorrentes da existência de líderes na célula”, “Grau de autonomia conferido aos trabalhadores da célula” e “Comunicação e Compartilhamento de Informações entre os colaboradores” foram unidos no constructo “Liderança, Autonomia e Harmonia”;
- Os parâmetros “São gerados registros documentados para problemas ocorridos na célula e as experiências passadas são utilizadas em ações posteriores” e “Técnicas de inspeção por amostragem são utilizadas na análise dos componentes que alimentam postos de trabalho da célula e/ou na conferência de produtos finais dela resultantes” foram adicionados ao constructo “Qualidade e Melhoria Contínua”;
- O parâmetro “Existem quadros de gestão à vista por meio dos quais colaboradores podem acompanhar o desempenho da célula em questão de forma global e comparativa” foi transferido do constructo “Configuração da célula” para o constructo “Qualidade e Melhoria Contínua”.

Dessa forma, como resultado do painel dos especialistas, os parâmetros foram reorganizados e divididos em quatro constructos, são eles: Conhecimento e Habilidade dos Colaboradores (CHC); Liderança, Autonomia e Comunicação (LAC); Qualidade e Melhoria Contínua (QMC); e Configuração da Célula (CC). É importante salientar que as siglas

apresentadas serão utilizadas para a representação dos referidos constructos no software SmartPLS.

Os Quadros 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 apresentam a alocação dos parâmetros após realização do painel de especialistas. Nesta mesma tabela, apresenta-se uma coluna denominada “variável” com os termos pelos quais cada parâmetro será representado na análise estatística. A validação dessa divisão em constructos, bem como dos parâmetros adicionais sugeridos pelos especialistas serão feitas posteriormente via Modelagem de Equações Estruturais.

Quadro 4.1 Parâmetros do constructo “Conhecimento e Habilidade dos Colaboradores”

Variável	Parâmetros
CHC1	Os colaboradores possuem conhecimento apurado sobre a família de produtos processada pela célula.
CHC2	Os colaboradores da célula são totalmente capacitados em técnicas para a solução de problemas.
CHC3	Os colaboradores possuem polivalência e podem trabalhar em diferentes funções na célula, existindo incentivos para o desenvolvimento desta polivalência.
CHC4	A polivalência procura gerar não só um alargamento de funções, mas também o enriquecimento dos colaboradores.
CHC5	Os colaboradores dominam os conceitos associados à filosofia <i>lean</i> (tempo padrão, tempo de ciclo, <i>takt-time</i> ; tipos de desperdícios, balanceamento de células, etc.).
CHC6	Os colaboradores conhecem os requisitos exigidos pelo cliente final em relação ao produto que está sendo produzido pela célula em determinada ocasião.
CHC7	Sempre existe um colaborador capacitado para assumir qualquer função dentro da célula em situações atípicas.

Fonte: Autora.

Quadro 4.2 Parâmetros do constructo “Liderança, Autonomia e Harmonia”

Variável	Parâmetros
LAC1	Os colaboradores sabem de maneira clara até que ponto possuem autonomia para a tomada de decisões.
LAC2	Os colaboradores têm autonomia para parar ciclos de trabalho caso evidenciem problemas.
LAC3	Os colaboradores possuem autonomia para reconfigurar ciclos de trabalho sempre que notarem problemas ou defasagem.
LAC4	O relacionamento entre os colaboradores que atuam na célula é harmônico.
LAC5	Os níveis de comunicação e de compartilhamento de informações entre os colaboradores que atuam na célula são excelentes.
LAC6	Os líderes das equipes conhecem bem as variabilidades plausíveis para a produção da célula e gerenciam as habilidades existentes e as necessárias para o desenvolvimento de cada colaborador.

Fonte: Autora.

Quadro 4.3 Parâmetros do constructo "Qualidade e Melhoria Contínua"

Variável	Parâmetros
QMC1	Existem quadros de gestão à vista por meio dos quais colaboradores podem acompanhar o desempenho da célula em questão de forma global e comparativa.
QMC2	O grupo de colaboradores que atua na célula desenvolve Círculos de Controle da Qualidade (CCQs) de forma totalmente voluntária.
QMC3	São constantemente realizadas melhorias na célula em função dos princípios do 5S e desperdícios segundo a filosofia <i>lean</i> .
QMC4	Os projetos de melhoria contínua desenvolvidos na célula procuram envolver de forma sinérgica processos clientes e processos fornecedores da célula.
QMC5	Técnicas de inspeção por amostragem são utilizadas na análise dos componentes que alimentam postos de trabalho da célula e/ou na conferência de produtos finais dela resultantes.
QMC6	São gerados registros documentados para problemas ocorridos na célula e as experiências passadas são utilizadas em ações posteriores.
QMC7	Todos os postos de trabalho da célula apresentam à disposição dos funcionários procedimentos padrão atualizados para serem utilizados em caso de dúvidas.
QMC8	São realizadas auditorias regulares para verificar a conformidade da célula com os procedimentos padrão estabelecidos segundo princípios da qualidade e da filosofia <i>lean</i> .
QMC9	Parâmetros associados às ergonômias física e cognitiva são avaliados e aperfeiçoados na célula
QMC10	A manutenção dos equipamentos/ferramentas utilizados nos postos de trabalho da célula toma por base os princípios da TPM (<i>Total Productive Maintenance</i>).
QMC11	A célula de produção é constantemente avaliada em relação à sustentabilidade ambiental.

Fonte: Autora.

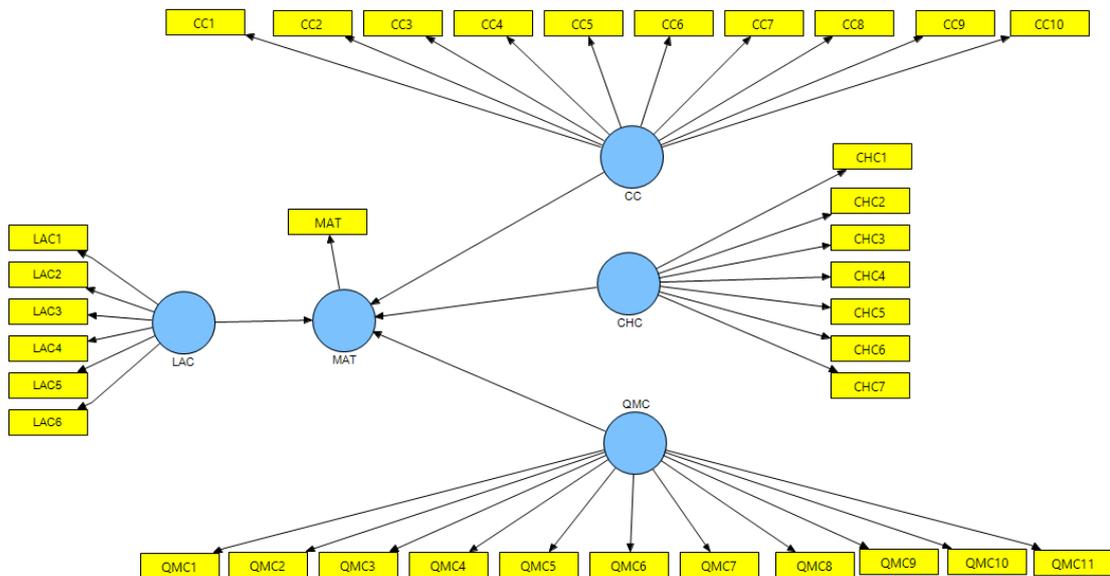
Quadro 4.4 Parâmetros do constructo "Configuração da Célula"

Variável	Parâmetros
CC1	A célula trabalha com o conceito de fluxo de peças (preferencialmente " <i>one piece flow</i> ").
CC2	Os tempos padrão definidos a priori para os processos da célula são realmente observados na prática.
CC3	Existem ciclos de trabalho pré-definidos e conhecidos pelos colaboradores que possibilitam atender diferentes <i>takt-times</i> .
CC4	O <i>layout</i> projetado para a célula demonstra-se adequado para diferentes ciclos produtivos desenvolvidos pelos colaboradores.
CC5	Os processos mais críticos da célula (operações restritivas) são conhecidos, constantemente gerenciados e melhorados.
CC6	A célula consegue produzir diferentes produtos da mesma família em um mesmo turno (<i>Heijunka</i>).
CC7	A célula atua por meio da disparada de <i>kanbans</i> dentro dos <i>pitches</i> de produção definidos e conhecidos por todos.
CC8	A célula possui dispositivos visuais (<i>Andon</i>) que permitem paralisar a operação e mobilizar equipes em prol de soluções.
CC9	Análises em relação a possibilidades de aplicação de dispositivos à prova de erro são feitas e, quando pertinentes, tais dispositivos são aplicados.
CC10	As áreas de operação, circulação e corredores de movimentação estão corretamente definidas.

Fonte: Autora.

Definiu-se assim o primeiro modelo teórico a ser testado, no qual os quatro constructos influenciam a maturidade da célula de manufatura, como ilustra a Figura 4.1.

Figura 4.1. Modelo inicial teórico proposto pelo painel dos especialistas



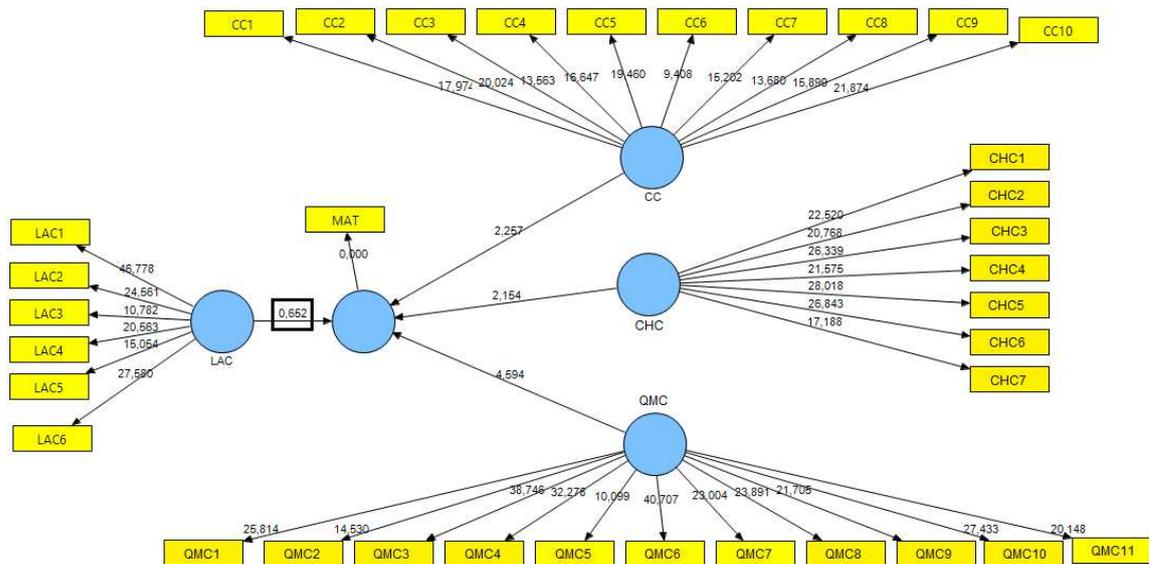
Fonte: Autora.

4.3 Caracterização da amostra

Dos 101 respondentes da pesquisa, a maior parte da amostra possui pós-graduação e todos os respondentes possuem nível superior e trabalham com células de manufatura que utilizam o *lean*. Em relação às empresas nas quais atuam os respondentes, destacam-se montadoras, empresas de autopeças, metalúrgicas, fabricantes de aviões e peças para este segmento, fabricantes de máquinas, entre outras.

4.4 Desenvolvimento do Modelo de Maturidade

Tomando por base a avaliação apresentada pelos 101 respondentes acerca de cada parâmetro e do nível de maturidade de suas células, partiu-se para o estudo do modelo estrutural. A proposição inicial era de que os quatro constructos apresentados pelos Quadros 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 influenciam diretamente a maturidade da célula. Este modelo foi testado no software SmartPLS como apresenta a Figura 4.2.

Figura 4.2 Modelo não validado com os valores de *t student*

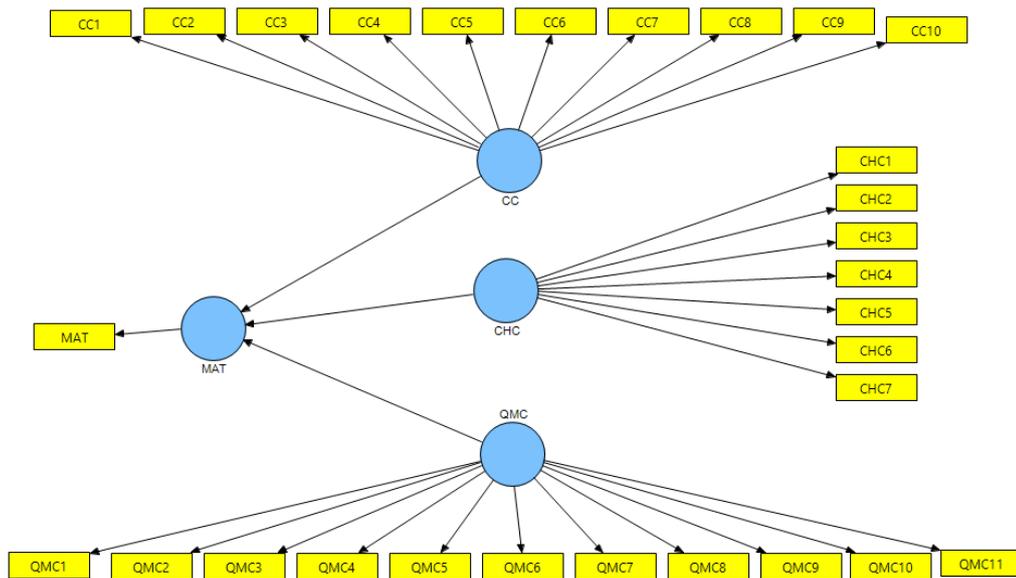
Fonte: Autora.

Porém, ao rodar o *Bootstrapping* no software SmartPLS, foi constatado que o construto “Liderança, Autonomia e Comunicação” possuía valor *t-student* inferior a 1,96 ($t\text{-student} = 0,990$), denotando que as regressões no sentido construto maturidade nem sempre ocorreram para 95% dos casos conforme apontam Ringle, Silva e Bido (2014).

A partir dessa constatação, partiu-se para a verificação de outro modelo, no qual apenas os CC, CHC e QMC influenciam diretamente a maturidade da célula. Esse novo modelo foi validado e as nove etapas que possibilitaram sua validação são apresentadas a seguir. O modelo validado será referenciado como Modelo de Maturidade, ao longo da análise.

O primeiro passo para a validação do modelo se caracterizou por sua definição. A Figura 4.3 apresenta o modelo estrutural testado e justificado no parágrafo anterior.

Figura 4.3 Estrutura do Modelo de Maturidade

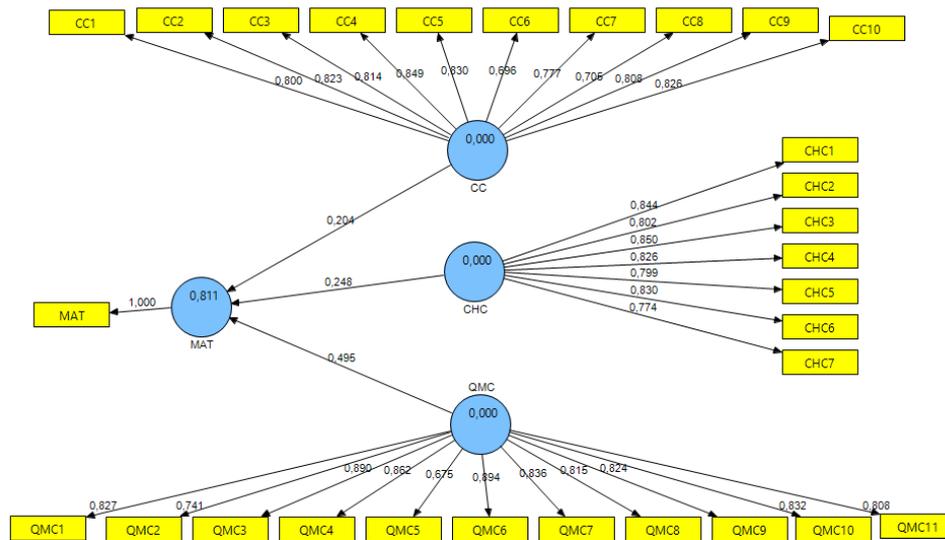


Fonte: Autora.

O segundo passo se caracterizou pelo cálculo do tamanho mínimo da amostra realizado por meio do *software* G*Power, poder do teste de 80% e tamanho do efeito mediano de 15% (HAIR et al., 2014). Ao se fazer esse cálculo com 3 preditores, chegou-se ao resultado de que a amostra mínima necessária seria de 77 respondentes. Como existiam 101 casos, o poder do teste chegou a 90,81%.

O terceiro passo consistiu na aplicação do algoritmo do método dos mínimos quadrados parciais (PLS). Valendo-se dos critérios sugeridos por Ringle, Silva e Bido (2014) apresentados no capítulo 3, o algoritmo foi rodado, obtendo-se os valores apresentados pela Figura 4.4 e pela Tabela 4.1. Os valores apresentados na Tabela 4.1 serão analisados nos passos posteriores (passos 4 e 5).

Figura 4.4 Validação de escala do Modelo de Maturidade



Fonte: Autora.

Tabela 4.1 Critérios de qualidade do Modelo de Maturidade

Constructos	AVE	Confiabilidade Composta	Alpha de Cronbach
CC	0,631315	0,944619	0,934572
CHC	0,669156	0,93397	0,917411
MAT	1	1	-
QMC	0,673702	0,957607	0,950795

Fonte: Autora.

O quarto passo se caracterizou pela análise das Variâncias Médias Extraídas (AVE) que, segundo recomendações de Ringle, Silva e Bido (2014), devem ser maiores que 0,5. Como pode ser observado por meio da Tabela 4.1, todos os valores estão adequados, indicando que o modelo converge a um resultado satisfatório.

Em relação à confiabilidade composta (passo cinco), todos os valores são superiores a 0,70 e todos os valores do Alpha de Cronbach são maiores que 0,60, atendendo às recomendações de Hair et al. (2014). Ambos os critérios indicam que a amostra não contém vieses e, portanto, é confiável para medir aquilo que se pretendia (RINGLE; SILVA; BIDO, 2014).

No passo 6, foram analisadas as cargas cruzadas com o intuito de verificar se os parâmetros analisados estavam corretamente alocados nos constructos para os quais foram designados. Constatou-se que, para todos os parâmetros, as maiores cargas ocorriam dentro do constructo nos quais foram originalmente alocados pelos especialistas, indicando assim a

adequação da estrutura proposta. A Tabela 4.2 apresenta o resultado para o estudo das cargas cruzadas.

Tabela 4.2 Cargas Cruzadas do Modelo de Maturidade

	CC	CHC	MAT	QMC
CC1	0,800194	0,589001	0,627354	0,632005
CC2	0,823234	0,773347	0,746668	0,790552
CC3	0,81429	0,658411	0,662618	0,637036
CC4	0,849442	0,634063	0,634017	0,695052
CC5	0,830292	0,755668	0,747068	0,791784
CC6	0,696446	0,593509	0,520803	0,549955
CC7	0,777395	0,627821	0,661078	0,633272
CC8	0,705056	0,547068	0,582104	0,616701
CC9	0,807984	0,674175	0,667992	0,693053
CC10	0,825709	0,682746	0,733372	0,743503
CHC1	0,662157	0,843712	0,715808	0,673152
CHC2	0,62968	0,801727	0,671492	0,692301
CHC3	0,759979	0,849976	0,727479	0,734786
CHC4	0,728281	0,825705	0,675497	0,720009
CHC5	0,663895	0,798725	0,696479	0,697008
CHC6	0,616895	0,829593	0,634063	0,632981
CHC7	0,671929	0,773978	0,628646	0,63467
MAT	0,834961	0,831208	1	0,877995
QMC1	0,720692	0,735201	0,71564	0,826876
QMC2	0,604088	0,645723	0,67208	0,740855
QMC3	0,685805	0,713777	0,731232	0,890229
QMC4	0,68143	0,708388	0,715046	0,862043
QMC5	0,592051	0,594173	0,616712	0,675121
QMC6	0,767274	0,726099	0,787925	0,89417
QMC7	0,7794	0,722951	0,749333	0,835959
QMC8	0,734747	0,625424	0,70853	0,814876
QMC9	0,773989	0,69293	0,756459	0,823765
QMC10	0,677884	0,693687	0,727415	0,83224
QMC11	0,722627	0,684286	0,727806	0,808157

Fonte: Autora.

O sétimo passo avalia o Coeficiente de Pearson (R^2), o qual indica a qualidade do modelo ajustado (RINGLE; SILVA; BIDO, 2014). No modelo proposto, o coeficiente é calculado apenas para o constructo Maturidade (0,811067), denotando efeito grande e satisfatório segundo a concepção de Cohen (1988).

No oitavo passo, realizou-se a reamostragem para verificar se os pressupostos de correlações e regressões lineares são validos para pelo menos 95% dos casos (valores de *t student* maiores que 1,96 tanto para as relações entre constructos quanto para as relações entre

os constructos e suas variáveis (RINGLE; SILVA; BIDO, 2014). Os valores de *t student* demonstram que estes pressupostos são válidos para as relações CC/MAT (2,278), CHC/MAT (2,547) e QMC/MAT (5,169). As relações entre as variáveis observáveis e seus constructos também são válidas, como apresenta a Tabela 4.3.

Tabela 4.3 Valores de *t student* entre variáveis e constructos do Modelo de Maturidade

Parâmetros	<i>t student</i>
CC1	19,3571
CC2	19,8766
CC3	14,5849
CC4	16,0323
CC5	20,9917
CC6	9,3381
CC7	16,8982
CC8	12,6566
CC9	18,1433
CC10	20,1959
CHC1	22,9249
CHC2	20,5664
CHC3	24,4537
CHC4	22,3142
CHC5	24,4071
CHC6	25,5887
CHC7	15,5632
QMC1	23,9758
QMC2	14,4568
QMC3	41,3608
QMC4	30,7567
QMC5	10,3753
QMC6	41,4165
QMC7	23,409
QMC8	21,2602
QMC9	22,1904
QMC10	27,8455
QMC11	18,4741

Fonte: Autora.

Por fim, o passo 9 aborda a qualidade do ajuste do modelo. Para essa análise, utilizaram-se os indicadores de redundância (Q^2) e de comunalidade (f^2), apresentados pela Tabela 4.4.

Tabela 4.4 Valores de redundância e comunalidade do Modelo de Maturidade

Constructos	Redundância	Comunalidade
CC	0,539954	0,539954
CHC	0,550844	0,550844
MAT	0,807152	1
QMC	0,66814	0,66814

Fonte: Autora.

Os valores relativos à redundância (Q^2) indicam a “qualidade da predição do modelo”. Devem ser positivos e quanto mais se aproximarem de 1, melhor, pois significa que o modelo está mais próximo da realidade (RINGLE; SILVA; BIDO, 2014). Pode-se verificar, pela análise da Tabela 4.4, que o modelo analisado tem acurácia.

A comunalidade (f^2), por sua vez, indica quanto cada item é realmente importante para o modelo. Sendo os valores 0,02; 0,15; 0,35, pequeno, médio e grande, respectivamente (RINGLE; SILVA; BIDO, 2014). Todos os constructos apresentam f^2 grande, ou seja, todos eles são importantes para o modelo.

Conforme constatado pelas nove etapas anteriormente apresentadas, o modelo estrutural proposto foi validado. Pela análise do Modelo de Maturidade validado, constatou-se que os constructos “Conhecimento e Habilidade dos Colaboradores”, “Qualidade e Melhoria Contínua” e “Configuração da Célula” permitem avaliar o nível de maturidade da célula. O constructo “Liderança, Autonomia e Comunicação” não atendeu aos pressupostos de correlações e regressões mínimas e desta forma não foi considerado no modelo. A contribuição de cada um dos três constructos para a maturidade das células é apresentada por meio de seus coeficientes de caminho, como ilustra a Tabela 4.5. Como exemplo, no caso específico deste trabalho, o incremento de 1 ponto no constructo CC geraria um incremento de 0,204 na maturidade da célula. Por sua vez, o incremento de 1 ponto em todos os constructos validados geraria um incremento de 0,947 na maturidade.

Tabela 4.5 Coeficientes de caminho para cada constructo

Relações Causais	Coefficientes de caminho
CC → MAT	0,204
CHC → MAT	0,248
QMC → MAT	0,495

Fonte: Autora.

Desta forma, torna-se possível escrever a equação que rege a maturidade da célula em função dos coeficientes de caminho e do erro (composto pelos erros de especificação e pelos

erros aleatórios de mensuração) (Equação 4.1). É importante salientar que na equação gerada pelo PLS-SEM não há coeficiente linear visto que o mesmo só utiliza coeficientes padronizados (Hair et al, 2014).

$$MAT = 0,204 \times CC + 0,248 \times CHC + 0,495 \times QMC + erro \quad \text{Equação 4.1}$$

Em relação à parcela do erro, cabe salientar que alguns autores como Joreskog e Sorbom (1993) e Hair et al. (2009) chegam a desconsiderá-la e utilizam apenas a equação decorrente da combinação linear dos constructos, gerando assim simplificações na análise pretendida. Isto ocorre pelo fato da Modelagem de Equações Estruturais buscar a minimização do erro. Em especial no PLS-SEM, o mesmo só é estimado via reamostragem (HAIR et al., 2014).

Utilizando-se técnicas de reamostragem para 5.000 interações, foi possível estimar a parcela do erro médio em 0,092, evidenciando assim que a mesma pouco interfere na nota global da maturidade atribuída pelos respondentes. Em função desta análise, a mesma foi eliminada da equação. Assume-se assim o pressuposto de que a maturidade final da célula é definida somente pela combinação linear dos três constructos validados, com perda desprezível de conteúdo pela eliminação da parcela do erro. A Equação 4.2 demonstra a combinação linear ajustada.

$$MAT_{ajustada} = 0,204 \times CC + 0,248 \times CHC + 0,495 \times QMC \quad \text{Equação 4.2}$$

É possível observar pela Equação 4.2 que o constructo “Qualidade e Melhoria Contínua” impacta o grau de maturidade da célula de forma mais acentuada que os demais constructos. Um ponto importante decorrente desse resultado é que, de acordo com esta pesquisa, a implantação de princípios *lean* de configuração celular e o domínio de conhecimentos, assim como as habilidades dos colaboradores são importantes, porém, é imprescindível que questões relacionadas à qualidade e a melhoria contínua façam parte do cotidiano da célula de manufatura *lean* para que ela tenha condições de se tornar madura.

Observa-se que a Equação 4.2 é decorrente de um ajuste e se notas máximas (10) fossem atribuídas a todos os parâmetros, o valor da maturidade seria de 9,47. Para tornar mais fácil a operacionalização de uma planilha que permita calcular um grau de maturidade variando de 0 a 10, sem alterar a contribuição percentual de cada constructo, normalizou-se ambos os lados da equação pelo fator 1,056 (10/9,47). Esta forma final é apresentada pela Equação 4.3 e será utilizada na operacionalização da planilha.

$$MAT_{normalizada} = 0,215 \times CC + 0,262 \times CHC + 0,523 \times QMC \quad \text{Equação 4.3}$$

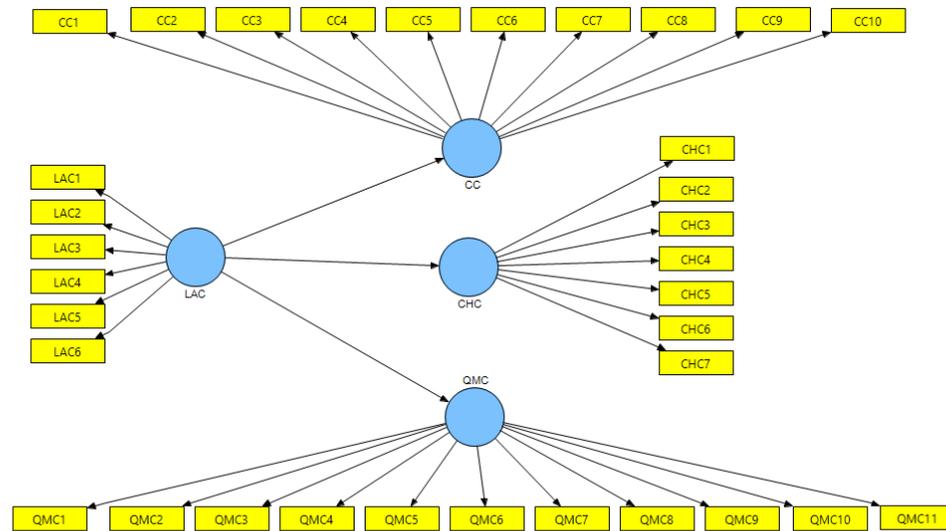
Por fim, é importante destacar que com a equação obtém-se um grau de maturidade numérico que indica onde a célula está em uma escala evolutiva, não se propondo subdividir os graus em níveis de maturidade para esta nota final. Este grau permite comparação entre células, identificando aquelas mais problemáticas. A melhoria do desempenho destas células está relacionada a uma análise detalhada das notas atribuídas aos parâmetros.

4.5 Estudo do constructo LAC

Os resultados anteriores validaram um modelo que avalia a maturidade de células de manufatura com pequena margem de erros. Entretanto, chamou a atenção neste modelo o fato do constructo Liderança, Autonomia e Comunicação (LAC) não apresentar pressupostos mínimos de correlação e regressão lineares com as notas de maturidade da célula, visto que esses parâmetros estão presentes na literatura.

Mediante ao exposto, testou-se o pressuposto de um terceiro modelo, no qual o constructo Liderança, Autonomia e Comunicação (LAC) se caracteriza como a base dos demais constructos e, estes sim, ao serem avaliados, de forma indireta já permitem também a avaliação do constructo LAC. A estrutura desse modelo, chamado de Modelo para o estudo do constructo LAC, é apresentada por meio da Figura 4.5.

Figura 4.5 Modelo para o estudo do constructo LAC

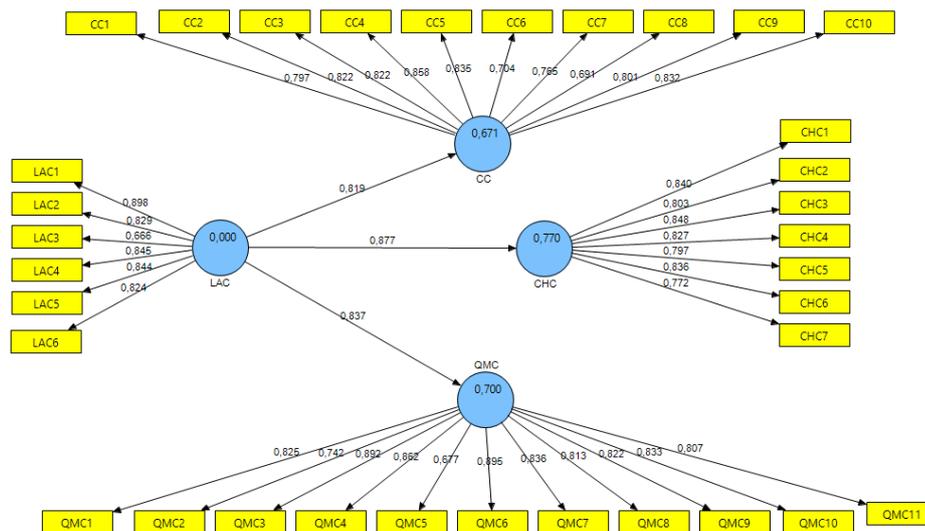


Fonte: Autora.

Apresentam-se as nove etapas que permitiram a validação deste modelo. Visto que os elementos de validação foram amplamente citados no estudo do Modelo de Maturidade e que muitas análises são semelhantes, realiza-se aqui uma apresentação sintética. É importante salientar que pequenas diferenças podem ser observadas em alguns valores em relação ao Modelo de Maturidade analisado anteriormente, decorrentes de ajustes e arredondamentos, mas isto de forma alguma altera as conclusões anteriores.

Inicialmente calculou-se no software G*Power o tamanho da amostra mínima com os mesmos parâmetros citados anteriormente. Os resultados demonstraram a necessidade de 55 casos. Como foram utilizados todos os 101 casos, o poder do teste foi ampliado chegando a 97,09%. A aplicação do método dos mínimos quadrados parciais (PLS) foi realizada e retornou os resultados apresentados pela Figura 4.6 e pela Tabela 4.6.

Figura 4.6 Validação de escala do Modelo para o estudo do constructo LAC



Fonte: Autora.

Tabela 4.6 Critérios de qualidade do Modelo para o estudo do constructo LAC

Constructos	AVE	Confiabilidade Composta	R ²	Alpha de Cronbach
CC	0,63105	0,944529	0,6715	0,934572
CHC	0,66919	0,933978	0,76983	0,917411
LAC	0,67384	0,924816	-	0,901887
QMC	0,67368	0,957604	0,7004	0,950795

Fonte: Autora.

Como pode ser visualizado pela Tabela 4.6, todas as Variâncias Médias Extraídas (AVE) apresentam valores maiores que 0,5 e atendem à recomendação Ringle, Silva e Bido (2014). Em relação à Confiabilidade Composta, todos os valores são superiores a 0,70 e todos os valores do Alpha de Cronbach são maiores que 0,60. Isto atende às recomendações de Hair et al. (2014) e denota que a amostra é livre de viés.

Na análise de cargas cruzadas, todos os parâmetros apresentaram maiores cargas em seus constructos do que nos demais constructos, denotando assim que estão corretamente alocados. A Tabela 4.7 apresenta o estudo das cargas cruzadas deste modelo.

Tabela 4.7 Estudo das cargas cruzadas do Modelo para o estudo do constructo LAC

	CC	CHC	LAC	QMC
CC1	0,796664	0,586272	0,619278	0,631626
CC2	0,821643	0,772953	0,706214	0,790115
CC3	0,821531	0,656174	0,682274	0,635987
CC4	0,858136	0,633416	0,692886	0,694288
CC5	0,834656	0,755954	0,761524	0,791366
CC6	0,704193	0,593751	0,539894	0,549163
CC7	0,765493	0,623982	0,549626	0,631196
CC8	0,691094	0,544894	0,501925	0,615149
CC9	0,800505	0,67303	0,608105	0,692534
CC10	0,83217	0,682221	0,765045	0,74307
CHC1	0,661467	0,840479	0,724879	0,672728
CHC2	0,626701	0,803132	0,723812	0,692964
CHC3	0,761133	0,847816	0,740469	0,733565
CHC4	0,729163	0,827233	0,740436	0,719519
CHC5	0,660793	0,796911	0,702399	0,69696
CHC6	0,619664	0,836302	0,749254	0,634126
CHC7	0,670021	0,771593	0,634599	0,634065
LAC1	0,73609	0,795907	0,897958	0,734963
LAC2	0,622451	0,672802	0,829427	0,664155
LAC3	0,441478	0,547968	0,665997	0,474581
LAC4	0,652392	0,738457	0,844981	0,705086
LAC5	0,726588	0,750977	0,843714	0,681194
LAC6	0,790362	0,776266	0,82424	0,806177
QMC1	0,719777	0,732609	0,646215	0,824532
QMC2	0,601168	0,645105	0,654986	0,742432
QMC3	0,687788	0,71425	0,742274	0,891912
QMC4	0,679722	0,707172	0,669307	0,862451
QMC5	0,59019	0,593444	0,594115	0,676589
QMC6	0,769252	0,725691	0,767413	0,895322
QMC7	0,782204	0,722204	0,726722	0,836106
QMC8	0,734559	0,623215	0,648796	0,812933
QMC9	0,773702	0,691022	0,699471	0,822423
QMC10	0,676589	0,695008	0,707	0,832635
QMC11	0,718191	0,683318	0,675154	0,806934

Fonte: Autora.

Em relação ao Coeficiente de Pearson, como observa-se na Tabela 4.6, todos os constructos classificam-se como de efeito grande. Em relação a técnica de reamostragem, verificou-se o pressuposto de que correlações e regressões lineares são atendidas visto que todos os valores de *t student* se apresentaram superiores a 1,96, como sugere Ringle, Silva e Bido (2014). A relação entre os constructos apresentou os seguintes valores LAC /CC →20,617; LAC /CHC →27,78; LAC /QMC → 22,831. A Tabela 4.8 mostra os valores de *t student* calculados para as relações entre os constructos e seus parâmetros.

Tabela 4.8 Valores de *t student* entre os constructos e suas variáveis do Modelo para o estudo do constructo LAC

Parâmetros	<i>t student</i>
CC1	17,639
CC2	19,538
CC3	16,296
CC4	18,061
CC5	22,21
CC6	10,036
CC7	14,615
CC8	10,979
CC9	16,048
CC10	22,779
CHC1	21,85
CHC2	20,748
CHC3	23,234
CHC4	22,454
CHC5	22,651
CHC6	28,475
CHC7	14,82
LAC1	42,241
LAC2	26,256
LAC3	10,534
LAC4	23,279
LAC5	19,092
LAC6	25,641
QMC1	22,237
QMC2	14,777
QMC3	42,596
QMC4	29,7
QMC5	10,757
QMC6	41,006
QMC7	23,278
QMC8	20,194
QMC9	22,019
QMC10	29,471
QMC11	18,842

Fonte: Autora.

Por fim, a qualidade do ajuste do modelo foi avaliada por meio dos indicadores de redundância (Q^2) e de comunalidade (f^2). A Tabela 4.9 apresenta os valores obtidos.

Tabela 4.9 Valores de redundância e comunalidade do Modelo para o estudo do constructo LAC

Constructos	Redundância	Comunalidade
CC	0,389502	0,534358
CHC	0,499696	0,551986
LAC	0,544827	0,544827
QMC	0,449985	0,6044

Fonte: Autora.

Pode-se verificar, pela análise da Tabela 4.9, que o modelo analisado tem acurácia. Os valores do tamanho do efeito, ou da redundância (Q^2), são todos positivos e todos os constructos formativos apresentam f^2 grande, ou seja, todos eles são importantes para o modelo. A comunalidade, ou validade preditiva (f^2) indica quanto constructo é realmente importante para o modelo. Sendo os valores 0,02; 0,15; 0,35, pequeno, médio e grande, respectivamente (RINGLE; SILVA; BIDO, 2014). Todos os constructos apresentam f^2 grande, ou seja, todos eles são importantes para o modelo.

Analisando o modelo validado percebe-se que, apesar do constructo “Liderança, Autonomia e Comunicação” não influenciar diretamente o nível de maturidade da célula, esse constructo influencia os demais constructos. Desta forma, ao se avaliar os constructos “Conhecimento e Habilidade dos Colaboradores”, “Qualidade e Melhoria Contínua” e “Configuração da Célula” indiretamente avalia-se o constructo “Liderança, Autonomia e Comunicação”.

4.6 Estruturação de uma planilha para facilitar a aplicação do modelo nas empresas

Conforme apresentado anteriormente, a validação do Modelo de Maturidade permitiu a obtenção de uma equação normalizada (Equação 4.3) e a mesma foi utilizada na estruturação de uma planilha para facilitar a aplicação do modelo nas empresas. Esta planilha foi desenvolvida no *software* MS Excel. A planilha elaborada permite que gestores de células de manufatura apliquem o modelo de forma prática, simples e abrangente.

Para utilizar a planilha, o gestor deve indicar para cada parâmetro seu nível de aplicação. A indicação deste nível de aplicação ocorre por meio de notas, como detalhado no capítulo 3 desta dissertação. Uma vez avaliados todos parâmetros, a planilha automaticamente calcula o

grau de maturidade da célula e apresenta via gráfico radar aqueles parâmetros com possibilidades de melhorias. A Figura 4.7 ilustra parte desta planilha.

Figura 4.7 Parte da planilha elaborada

1. Conhecimento e Habilidade dos Colaboradores				
1.1. Os colaboradores possuem conhecimento apurado sobre a família de produtos processada pela célula				
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
<input type="radio"/> Nota 0 <input type="radio"/> Nota 1 <input type="radio"/> Nota 2	<input type="radio"/> Nota 3 <input type="radio"/> Nota 4	<input type="radio"/> Nota 5 <input type="radio"/> Nota 6	<input type="radio"/> Nota 7 <input type="radio"/> Nota 8	<input type="radio"/> Nota 9 <input checked="" type="radio"/> Nota 10
1.2. Os colaboradores da célula são totalmente capacitados em técnicas para a solução de problemas				
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
<input type="radio"/> Nota 0 <input type="radio"/> Nota 1 <input type="radio"/> Nota 2	<input type="radio"/> Nota 3 <input type="radio"/> Nota 4	<input type="radio"/> Nota 5 <input type="radio"/> Nota 6	<input type="radio"/> Nota 7 <input type="radio"/> Nota 8	<input type="radio"/> Nota 9 <input checked="" type="radio"/> Nota 10
1.3. Os colaboradores possuem polivalência e podem trabalhar em diferentes funções na célula, existindo incentivos para o desenvolvimento desta polivalência				
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
<input type="radio"/> Nota 0 <input type="radio"/> Nota 1 <input type="radio"/> Nota 2	<input type="radio"/> Nota 3 <input type="radio"/> Nota 4	<input type="radio"/> Nota 5 <input type="radio"/> Nota 6	<input type="radio"/> Nota 7 <input type="radio"/> Nota 8	<input type="radio"/> Nota 9 <input checked="" type="radio"/> Nota 10
1.4. A polivalência procura gerar não só um alargamento de funções, mas também o enriquecimento dos colaboradores				
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
<input type="radio"/> Nota 0 <input type="radio"/> Nota 1 <input type="radio"/> Nota 2	<input type="radio"/> Nota 3 <input type="radio"/> Nota 4	<input type="radio"/> Nota 5 <input type="radio"/> Nota 6	<input type="radio"/> Nota 7 <input type="radio"/> Nota 8	<input type="radio"/> Nota 9 <input checked="" type="radio"/> Nota 10

Fonte: Autora.

4.7 Aplicação do Modelo de Maturidade nas empresas

Com a finalidade de ilustrar a aplicação do Modelo de Maturidade nas empresas, foram realizadas avaliações em duas células de manufatura *lean* de uma empresa do setor automotivo. As células analisadas pertencem a uma das maiores fabricantes de freios automotivos do mundo. Dentre seus produtos, encontram-se: freios a disco, freios a tambor, rotores (disco e tambor) e freios de estacionamento automatizados. Trata-se de uma multinacional de grande porte, presente em diversos países nos cinco continentes e possui ao todo mais de 5.000 funcionários. A unidade foco desta análise está localizada no interior de São Paulo e possui como clientes importantes montadoras.

Foram analisadas duas células dentro da empresa, denominadas aqui como célula 1 e célula 2. As duas células são dedicadas à produção de *calipers* de freio, porém para diferentes tipos de veículos. O perfil e qualificação dos funcionários que atuam nestas células são

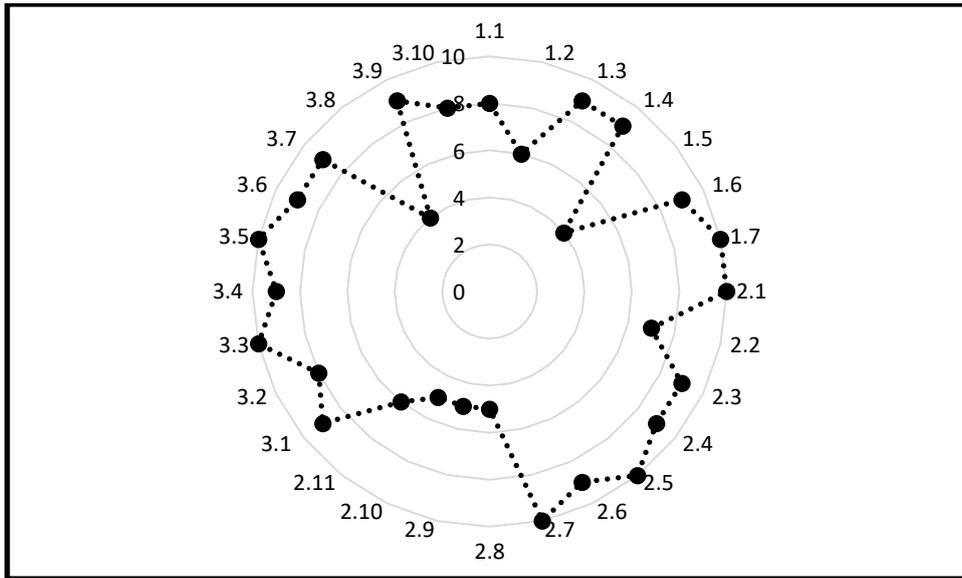
praticamente idênticos. Os principais processos realizados nessas células são: testes de estanqueidade, operação de cravamento, torque e teste funcional. Entretanto, o sequenciamento e o número de estações de trabalho não são os mesmos.

A célula 1 possui nove postos de trabalho e o número de colaboradores atuantes varia entre 3 e 8, conforme o tempo *takt*. Ao todo, 5 colaboradores possuem polivalência e estão aptos a trabalhar em qualquer função. A movimentação dos produtos é feita pelos próprios colaboradores, assim como as operações que não possuem carga e descarga automática. Um dos destaques desta célula está relacionado à sua flexibilidade. Os postos de trabalho foram projetados para serem adicionados ou retirados, conforme a necessidade, isto é, as estações de trabalho são móveis e a célula pode ter seu *layout* alterado conforme o necessário.

A célula 2, por sua vez, apresenta uma mescla entre tarefas desenvolvidas por colaboradores e robôs. Os produtos se deslocam entre os postos de trabalho por meio de uma esteira, que determina o ritmo de produção. Trata-se de uma célula com maior nível de automação do que a célula 1. O número de colaboradores atuantes nesta célula varia entre 7 e 9 de acordo com o tempo *takt* estabelecido.

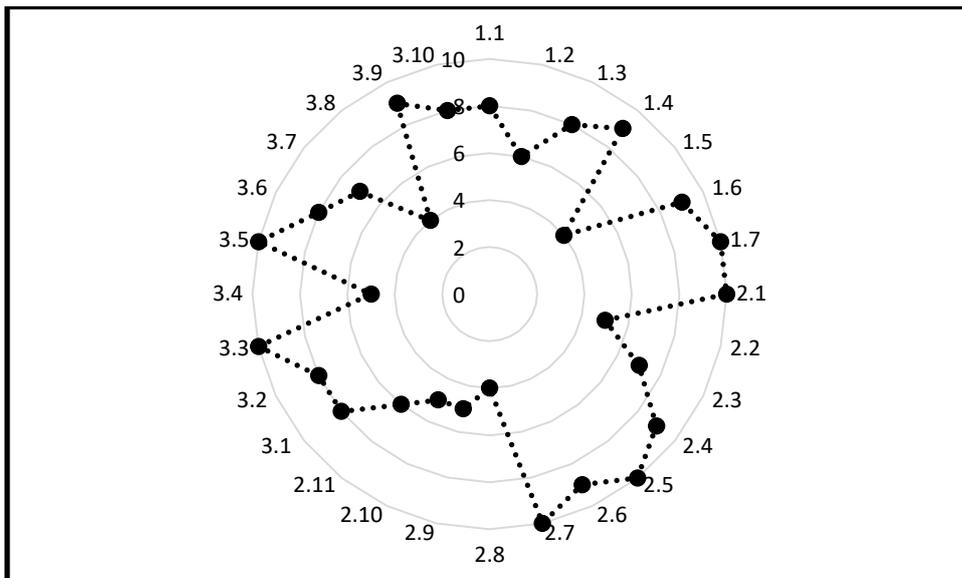
A utilização da planilha permitiu mensurar o grau de maturidade para as duas células analisadas. Os graus de maturidade das células foram calculados automaticamente pela planilha, a partir da Equação 4.3. Dessa forma, a célula 1 apresentou grau de maturidade 7,93 e a célula 2 grau de maturidade de 7,48. Com relação às médias obtidas pelos constructos, a célula 1 apresentou 7,86, para CHC; 7,73, para QMC; e 8,50, para CC; enquanto a célula 2 apresentou 7,71; 7,27; e 7,70, para CHC, QMC e CC, respectivamente. As Figuras 4.8 e 4.9 apresentam os gráficos radares gerados pela planilha. Apesar de ambas as células possuírem um grau de maturidade acima de 70%, é possível verificar possibilidades de melhorias em alguns parâmetros. Para isso, é importante que os gráficos sejam analisados de dentro para fora, focando inicialmente os parâmetros mais críticos, isto é, que receberam as menores notas.

Figura 4.8. Notas atribuídas para a célula 1



Fonte: Autora.

Figura 4.9. Notas atribuídas para a célula 2



Fonte: Autora.

4.8 Discussão

Em relação à maturidade de células de manufatura que utilizam a filosofia *lean*, partiu-se do pressuposto que células maduras apresentam altos graus de aplicação dos parâmetros da referida filosofia e também de conceitos que extrapolam as técnicas e ferramentas do *lean*. Por essa razão, foram adicionados alguns parâmetros extras relacionados à ergonomia e sustentabilidade, sendo os mesmos apontados pela literatura. Há de se destacar ainda que muitos pontos estiveram relacionados aos trabalhadores, visto que um bom desempenho dos mesmos está diretamente associado a melhores resultados da manufatura celular.

Ao longo da realização do painel dos especialistas, houve a adição de dois novos parâmetros referentes à inspeção por amostragem (parâmetro QMC5) e à elaboração de registros documentados (parâmetro QMC6). Posteriormente, via Modelagem de Equações Estruturais, estes parâmetros se demonstraram úteis para seus constructos e foram validados. O fato de terem sido validados estaticamente permite que os mesmos sejam utilizados em pesquisas posteriores.

Focando-se no modelo obtido, em especial a equação validada para mensuração da maturidade, é possível observar que o constructo “Qualidade e Melhoria Contínua” impacta o nível de maturidade da célula de forma mais acentuada que os demais constructos. Um ponto importante decorrente desse resultado é que, de acordo com esta pesquisa, a implantação de princípios *lean* de configuração celular e o domínio de conhecimentos, assim como as habilidades dos colaboradores é importante, porém, é imprescindível que questões relacionadas à qualidade e a melhoria contínua façam parte do cotidiano da célula para que ela tenha condições de se tornar madura. A literatura corrobora este resultado, na medida em que ressalta o gerenciamento da qualidade como um dos alicerces fundamentais para o bom desempenho da filosofia *lean*, originada a partir do Sistema Toyota de Produção (HELOANI, 2012). Além disso, como a filosofia *lean* almeja a perfeição, deve-se buscar o aperfeiçoamento contínuo dos parâmetros atrelados à célula de manufatura, mesmo que ela já seja uma referência para outras atividades. O *kaizen* nunca pode cessar (ALONY; JONES, 2008; CONTI et al., 2006; HUNTER; BLACK, 2007; LIKER; OGDEN, 2012).

No constructo “Conhecimento e Habilidade dos Colaboradores”, foram apresentados os atributos almejados para os funcionários que atuam na célula *lean*. Conforme salientado anteriormente, o desempenho dos colaboradores está diretamente relacionado ao sucesso da manufatura celular (HUNTER; BLACK, 2007; PAMPANELLI; FOUND; BERNARDES,

2014). Dentre esses atributos, que foram contemplados e validados nesta pesquisa, destacam-se os conhecimentos a respeito da família de produtos que passa pela célula (METTERNICH; BECHTLOFF; SEIFERMANN, 2013; SAKHAI et al., 2016; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011), de técnicas de solução de problemas (CULLINANE et al., 2014; KACH et al., 2014; OHNO, 1997; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011), de conceitos associados ao *lean* (LIKER, 2005; NOURI, 2016; OHNO, 1997; ROTHER; SHOOK, 2012; SHINGO, 1996), assim como conhecimentos relacionados aos requisitos do cliente final (CULLINANE et al., 2014; MCWILLIAMS; TETTEH, 2009; RODRÍGUEZ et al., 2016).

Outro ponto abordado e validado nesse constructo é a polivalência dos trabalhadores. Trata-se de um ponto essencial no *lean* (HUNTER; BLACK, 2007; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011) e que é muitas vezes tratado de forma equivocada pelas empresas (PARKER, 2003). É importante que os colaboradores sejam de fato polivalentes (HUNTER; BLACK, 2007) e que sejam dados incentivos para que essa polivalência seja desenvolvida (ALONY; JONES, 2008; CORIAT, 1994; HELOANI, 2012).

O constructo “Configuração da Célula”, por sua vez, foi validado com todos os seus parâmetros. Os componentes desse constructo abordam questões importantes relacionadas ao projeto da célula que devem ser constantemente refinados visando alcançar a maturidade da célula. Dentre essas questões, estão a busca pelo fluxo de peças (DEIF, 2012b; MARODIN; TORTORELLA; SAURIN, 2014; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011), a compatibilidade dos tempos padrão definidos com o que se observa na prática (PEINADO; GRAEML, 2007), a flexibilidade dos ciclos de trabalho para atender a diferentes tempos *takt* e *pitches* de produção (ROTHER; HARRIS, 2008; ROTHER; SHOOK, 2012; YANG; GAO, 2016), a adequação do *layout* aos ciclos produtivos (AALAEI; DAVOUDPOUR, 2016; DEEP; SINGH, 2015; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011), entre outras.

Depois de finalizada a validação e análise do Modelo de Maturidade, buscou-se entender a razão pela qual, apesar de ter seus parâmetros presentes na literatura, o constructo “Liderança, Autonomia e Comunicação” não foi validado no Modelo de Maturidade. Para isso, foi elaborado um modelo baseado no pressuposto de que este constructo é a base dos demais, estabelecendo, dessa forma, uma relação direta com os mesmos.

Como pode ser observado nos resultados, este modelo denominado “Estudo do Constructo LAC” foi validado via PLS-SEM. Ao se analisar o modelo validado, percebe-se que, apesar do constructo “Liderança, Autonomia e Comunicação” não influenciar diretamente o grau de maturidade da célula, esse constructo influencia os demais de maneira direta. Portanto, para a amostra utilizada nesta pesquisa, esse grupo de parâmetros impacta o grau de

maturidade da célula de forma indireta. Dessa forma, ao se avaliar o nível de maturidade de uma célula *lean* a partir dos três constructos validados no modelo anterior, a célula já estará sendo avaliada em relação aos parâmetros de “Liderança, Autonomia e Comunicação”.

A planilha estruturada para a aplicação do modelo nas indústrias mostrou-se adequada para os dois casos analisados. As duas células da empresa automotiva apresentam bons graus de maturidade, apesar de ainda existirem possibilidades de melhorias em alguns parâmetros pontuais. O gestor desta célula pode atuar diretamente nos pontos destacados no gráfico radar.

5 CONCLUSÃO

A presente dissertação teve como objetivo validar um modelo desenvolvido para mensurar a maturidade de células de manufatura que utilizam a filosofia *lean* e, mediante os resultados encontrados pode-se afirmar que esse objetivo foi alcançado. Foi desenvolvido e validado um modelo que permite mensurar a maturidade das referidas células. Relembrando Almeida (2006), Pidd (1999), Wendler (2012) e Willner, Gosling e Schönsleben (2016), modelos de maturidade são entendidos como ferramentas que representam a realidade de uma organização, avaliando a qualidade de seus processos e são extremamente úteis para que gestores possam estudar ações e/ou avaliar seus sistemas.

O modelo validado evidenciou que a maturidade de uma célula *lean* é mensurada via análise de três constructos principais: “Conhecimento e Habilidade dos Colaboradores”, “Qualidade e Melhoria Contínua” e “Configuração da Célula”, sendo que o segundo constructo impacta de forma mais acentuada a maturidade da célula do que os demais. A literatura corrobora este resultado, na medida em que ressalta o gerenciamento da qualidade como um dos alicerces fundamentais para o bom desempenho da filosofia *lean*. Deve-se buscar o aperfeiçoamento contínuo dos parâmetros atrelados à célula de manufatura, mesmo que ela já seja uma referência do ponto de vista de arranjo produtivo.

Em relação ao constructo Liderança, Autonomia e Comunicação (LAC), percebe-se que, apesar do mesmo não influenciar diretamente o grau de maturidade da célula, esse influencia os demais constructos de maneira direta. Assim, ao se avaliar o nível de maturidade de uma célula *lean* a partir dos três constructos mencionados anteriormente, a célula já estará sendo avaliada em relação aos parâmetros de “Liderança, Autonomia e Comunicação”.

O modelo validado pela pesquisa é de extrema valia tanto para gestores de células de manufatura quanto para pesquisadores interessados no tema. Para gestores, este modelo pode se caracterizar como um importante instrumento na avaliação de células e, para pesquisadores, os resultados aqui obtidos e validados caracterizam-se como uma importante fonte de informações para futuras pesquisas relacionadas ao tema.

Ressalta-se novamente o caráter exploratório desta pesquisa. Não se pretende definir este modelo como o único plausível para a mensuração da maturidade de células *lean*. O modelo aqui apresentado tomou por base a literatura, a opinião de especialistas em *lean* e a opinião de 101 gestores de células. A consulta a diferentes artigos e, principalmente a diferentes especialistas e gestores, pode conduzir a resultados ligeiramente diferentes.

Por fim, como trabalhos futuros, sugere-se a análise de como o Modelo de Maturidade obtido nesta pesquisa se encaixaria em um modelo maior de maturidade *lean*. Isto é, uma análise de como conciliar o presente Modelo de Maturidade para células de manufatura *lean* com um Modelo de Maturidade que tenha como escopo a organização inteira, desde o nível estratégico até o operacional.

REFERÊNCIAS

AALAEI, A.; DAVOUDPOUR, H. Revised multi-choice goal programming for incorporated dynamic virtual cellular manufacturing into supply chain management: A case study. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 47, p. 3–15, jan. 2016.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ISO 14001: Sistemas da gestão ambiental - Requisitos com orientações para uso. 2015.

AGHAZADEH, S.-M. et al. The influence of work-cells and facility layout on the manufacturing efficiency. **Journal of Facilities Management**, v. 9, n. 3, p. 213–224, 2011.

AL-MUBARAK, F.; KHUMAWALA, B. M.; CANEL, C. Focused cellular manufacturing: an alternative to cellular manufacturing. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 23, n. 3, p. 277–299, 2003.

AL KATTAN, I. Workload balance of cells in designing of multiple cellular manufacturing systems. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 16, n. 2, p. 178–196, 2005.

ALMEIDA, C. M. P. R. DE. **Modelos de Gestão Estratégica de Cadeias de Organizações: um estudo exploratório**. Tese (Doutorado em Administração) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

ALONY, I.; JONES, M. Lean supply chains, JIT and cellular manufacturing - the human side. **Issues in Informing Science and Information Technology**, v. 5, p. 165, 2008.

ALVAREZ, R. D. R.; ANTUNES JR., J. A. V. Takt-time: conceitos e contextualização dentro do Sistema Toyota de Produção. **Gestão & Produção**, v. 8, n. 1, p. 1–18, 2001.

ANDERSON-CONNOLLY, R. et al. Is lean mean? Workplace transformation and employee well-being. **Work, employment and society**, v. 16, n. 3, p. 389–413, 2002.

ANGRA, S.; SEHGAL, R.; NOORI, Z. S. Cellular manufacturing-A time-based analysis to the layout problem. **International Journal of Production Economics**, v. 112, n. 1, p. 427–438, 2008.

ANHOLON, R. **Método de Implantação de Práticas de Gestão da Qualidade para Microempresas**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Campinas, Campinas, 2006.

ANHOLON, R.; SANO, A. T. Analysis of critical processes in the implementation of lean

manufacturing projects using project management guidelines. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 84, n. 9–12, p. 2247–2256, 26 jun. 2016.

AREZES, P. M.; DINIS-CARVALHO, J.; ALVES, A. C. Workplace ergonomics in lean production environments: A literature review. **Work**, v. 52, n. 1, p. 57–70, 19 ago. 2015.

ARORA, P. K.; HALEEM, A.; SINGH, M. K. Recent development of cellular manufacturing systems. **Sadhana**, v. 38, n. 3, p. 421–428, 2013.

ASKIN, R. G.; SELIM, H. M.; VAKHARIA, A. J. A methodology for designing flexible cellular manufacturing systems. **IIE Transactions**, 1997.

BAKRI, A. et al. Boosting Lean Production via TPM. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 65, n. 65, p. 485–491, 2012.

BAYRAM, H.; ŞAHİN, R. A comprehensive mathematical model for dynamic cellular manufacturing system design and Linear Programming embedded hybrid solution techniques. **Computers & Industrial Engineering**, v. 91, p. 10–29, 2016.

BEHROUZI, F.; WONG, K. Y. An integrated stochastic-fuzzy modeling approach for supply chain leanness evaluation. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 68, n. 5–8, p. 1677–1696, 2013.

BENTO, G. D. S. **Modelo de avaliação da maturidade em práticas de lean manufacturing e sua relação com o desempenho operacional: uma análise da indústria catarinense**. Dissertação (Mestrado em Administração) - Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2017.

BHASIN, S. Measuring the Leanness of an organisation. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 2, n. 1, p. 55–74, 2011.

BHAT, S. The effect of ordering policies for a manufacturing cell changing to lean production. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture**, v. 222, n. 11, p. 1551–1560, 2008.

BLACK, J. T. Design and Implementation of Lean Manufacturing Systems and Cells. In: **Handbook of Cellular Manufacturing Systems**. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 1999. p. 453–496.

BLAGA, P.; JOZSEF, B. Human Resources, Quality Circles and Innovation. **Procedia Economics and Finance**, v. 15, n. 14, p. 1458–1462, 2014.

BORTOLOTTI, T.; DANESE, P.; ROMANO, P. Assessing the impact of just-in-time on operational performance at varying degrees of repetitiveness. **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 4, p. 1117–1130, 2013.

BROWN, G. D.; O'ROURKE, D. Lean Manufacturing Comes to China: A Case Study of Its Impact on Workplace Health and Safety. **International Journal of Occupational and Environmental Health**, v. 13, n. 3, p. 249–257, 2007.

BROWN, J. R. A capacity constrained mathematical programming model for cellular manufacturing with exceptional elements. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 37, p. 227–232, 2015.

BÜYÜKÖZKAN, G.; KAYAKUTLU, G.; KARAKADILAR, İ. S. Assessment of Lean Manufacturing Effect on Business Performance using Bayesian Belief Networks. **Expert Systems with Applications**, v. 42, n. 19, p. 6539–6551, 2015.

CALADO, R. D. **Método de Diagnóstico de Empresa: uma abordagem segundo os princípios Lean**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Campinas, Campinas, 2011.

CAMPOS, R. T. O. et al. Oficinas de construção de indicadores e dispositivos de avaliação: uma nova técnica de consenso. **Estudos e Pesquisas em Psicologia**, v. 10, n. 1, p. 221–241, 2010.

CHAN, C.-Y.; LAM, F.-W.; LEE, C.-P. Considerations for using cellular manufacturing. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 96, n. 1–3, p. 182–187, 1999.

CHANG, C. C.; WU, T. H.; WU, C. W. An efficient approach to determine cell formation, cell layout and intracellular machine sequence in cellular manufacturing systems. **Computers and Industrial Engineering**, v. 66, n. 2, p. 438–450, 2013.

CHAUHAN, G. Measuring parameters of lean manufacturing realization. **Measuring Business Excellence**, v. 16, n. 3, p. 57–71, 2012.

COHEN, J. **Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences**. 2. ed. New York: Psychology Press, 1988.

COHEN, L.; MANION, L.; MORRISON, K. **Research Methods in Education**. 6. ed. Abingdon: Routledge, 2007.

CONTI, R. et al. The effects of lean production on worker job stress. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 26, n. 9, p. 1013–1038, 2006.

CORIAT, B. **Pensar pelo avesso: O modelo japonês de trabalho e organização**. Rio de Janeiro: UFRJ/ Revan, 1994.

CULLINANE, S.-J. et al. Job design under lean manufacturing and the quality of working life: a job demands and resources perspective. **The International Journal of Human Resource Management**, v. 25, n. 21, p. 2996–3015, 2014.

DE HAAN, J.; 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.

DEEP, K.; SINGH, P. K. Design of robust cellular manufacturing system for dynamic part population considering multiple processing routes using genetic algorithm. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 35, p. 155–163, abr. 2015.

DEIF, A. M. Assessing lean systems using variability mapping. **Procedia CIRP**, v. 3, n. 1, p. 2–7, 2012a.

DEIF, A. M. Dynamic analysis of a lean cell under uncertainty. **International Journal of Production Research**, v. 50, n. 4, p. 1127–1139, 2012b.

DEIF, A. M.; ELMARAGHY, H. Cost performance dynamics in lean production leveling. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 33, n. 4, p. 613–623, 2014.

DERELI, D. D. Innovation Management in Global Competition and Competitive Advantage. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 195, p. 1365–1370, 2015.

DETTY, R. B.; YINGLING, J. C. Quantifying benefits of conversion to lean manufacturing with discrete event simulation : A case study. **International Journal of Production Research**, v. 38, n. 2, p. 429–445, 2000.

DREWS, T. et al. Value-focused Design of Lean Production Systems Based on a System Dynamics Approach. **Procedia CIRP**, v. 50, p. 478–483, 2016.

EPA. **United States Environmental Protection Agency**. Disponível em: <www.epa.gov/lean/lean-environment-toolkit>. Acesso em: 25 jan. 2016.

ERENAY, B. et al. Comparison of layered cellular manufacturing system design approaches. **Computers & Industrial Engineering**, v. 85, p. 346–358, 2015.

ESTEVEZ, R. R. et al. **Projeto de um transportador logístico para melhoria do fluxo**

interno em uma empresa do setor óptico. XXXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Anais...**Curitiba: 2014

FARDIS, F.; ZANDI, A.; GHEZAVATI, V. Stochastic extension of cellular manufacturing systems: a queuing-based analysis. **Journal of Industrial Engineering International**, v. 9, n. 1, p. 20, 2013.

FORNO, A. J. D. et al. Value stream mapping: A study about the problems and challenges found in the literature from the past 15 years about application of Lean tools. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 72, n. 5–8, p. 779–790, 2014.

GAUCH JUNIOR, H. G. **Scientific Method in Practice**. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

GIL, A. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. São Paulo: Editora Atlas, 2010.

GODINHO FILHO, M.; FERNANDES, F. C. F. Manufatura Enxuta: uma revisão que classifica e analisa os trabalhos apontando perspectivas de pesquisas futuras. **Gestão & Produção**, v. 11, n. 1, p. 1–19, 2004.

GRAY, D. E. **Pesquisa no mundo real**. Porto Alegre: Penso, 2012.

HAIR, J. F. et al. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HAIR, J. F. et al. **Essentials of Business Research Methods**. 2. ed. Armonk: ME Sharpe, 2011.

HAIR, J. F. et al. **A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM)**. Thousand Oaks: Sage Publications, 2014.

HARRING, J. R.; WEISS, B. A.; LI, M. Assessing Spurious Interaction Effects in Structural Equation Modeling: A Cautionary Note. **Educational and Psychological Measurement**, v. 75, n. 5, p. 721–738, 2015.

HASLE, P. et al. Lean and the working environment: a review of the literature. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 32, n. 7, p. 829–849, 2012.

HASLE, P. Lean Production—An Evaluation of the Possibilities for an Employee Supportive Lean Practice. **Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries**, v. 24, n. 1, p. 40–53, 2014.

HELOANI, R. **Gestão e organização no capitalismo globalizado: história da manipulação**

psicológica no mundo do trabalho. São Paulo: Atlas, 2012.

HUNTER, S. L.; BLACK, J. T. Lean Remanufacturing: a Cellular Case Study. **Journal of Advanced Manufacturing Systems**, v. 6, n. 2, p. 129–144, 2007.

HUNTER, S. L.; BULLARD, S.; STEELE, P. H. Lean production in the furniture industry: The double D assembly cell. **Forest Products Journal**, v. 54, n. 4, p. 32–38, 2004.

HYER, N. L.; BROWN, K. A. Discipline of real cells. **Journal of Operations Management**, v. 17, n. 5, p. 557–574, 1999.

HYER, N.; WEMMERLOV, U. **Reorganizing the factory: Competing through cellular manufacturing.** New York: Productivity Press, 2002.

ISHIKAWA, K. **Controle de qualidade total: a maneira japonesa.** Rio de Janeiro: Campus, 1993.

JADHAV, J. R.; MANTHA, S. S.; RANE, S. B. Exploring barriers in lean implementation. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 5, n. 2, p. 122–148, 2014.

JORESLOG, K. G.; SORBOM, D. **LISREL 8: Structural equation modeling with the SIMPLIS command language.** Lincolnwood: Scientific Software International, 1993.

JURAN, J. M. **A qualidade desde o projeto.** Boston: Cengage Learning, 2009.

KACH, S. C. et al. **Implementação do Método Kanban em Célula de Montagem dos Componentes Plásticos para Linha de Implementos Agrícolas.** XI Simpósio de excelência em gestão e tecnologia. **Anais...**2014

KOUKOULAKI, T. The impact of lean production on musculoskeletal and psychosocial risks: An examination of sociotechnical trends over 20 years. **Applied Ergonomics**, v. 45, n. 2, p. 198–212, 2014.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Metodologia científica.** 7. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LAMB, E. et al. Spatially explicit structural equation modeling. **Ecology**, v. 95, n. 9, p. 2434–2442, 2014.

LEE, S.-D.; CHIANG, C.-P. Cell formations in the uni-directional loop material handling environment. **European Journal of Operational Research**, v. 137, n. 2, p. 401–420, 2002.

LI, A. Q.; FOUND, P. Lean and Green Supply Chain for the Product-Services System (PSS): The Literature Review and A Conceptual Framework. **Procedia CIRP**, v. 47, p. 162–167, 2016.

LIKER, J. K. **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

LIKER, J. K.; CONVIS, G. L. **O Modelo Toyota de Liderança Lean**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

LIKER, J. K.; OGDEN, T. N. **A crise da Toyota: como a Toyota enfrentou o desafio dos recalls e da resseção para ressurgir mais forte**. Porto Alegre: Bookman, 2012.

LOSONCI, D.; DEMETER, K. Lean production and business performance: international empirical results. **Competitiveness Review: An International Business Journal incorporating Journal of Global Competitiveness**, v. 23, n. 3, p. 218–233, 2013.

LOSONCI, D.; DEMETER, K.; JENEI, I. Factors influencing employee perceptions in lean transformations. **International Journal of Production Economics**, v. 131, n. 1, p. 30–43, 2011.

MAASOUMAN, M. A.; DEMIRLI, K. Development of a lean maturity model for operational level planning. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 83, n. 5, p. 1171–1188, 2016.

MALHOTRA, N. K. **Pesquisa de Marketing. Uma orientação aplicada**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MARODIN, G.; TORTORELLA, G. L.; SAURIN, T. **Fatores que afetam à implantação de práticas de produção enxuta em células de manufatura**. Fatores que afetam à implantação de práticas de produção enxuta em células de manufatura. **Anais...SIMPOI**, 2014

MARTINS, R. A. **Sistema de Medição de Desempenho: um modelo para a estruturação do uso**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 1999.

MCDONALD, T. et al. Development and application of a worker assignment model to evaluate a lean manufacturing cell. **International Journal of Production Research**, v. 47, n. 9, p. 2427–2447, 2009.

MCWILLIAMS, D. L.; TETTEH, E. G. Managing lean DRC systems with demand uncertainty: An analytical approach. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 45, n. 9–10, p. 1017–1032, 2009.

METTERNICH, J.; BECHTLOFF, S.; SEIFERMANN, S. Efficiency and economic evaluation of cellular manufacturing to enable lean machining. **Procedia CIRP**, v. 7, p. 592–597, 2013.

MOHAMMADI, M.; FORGHANI, K. A novel approach for considering layout problem in cellular manufacturing systems with alternative processing routings and subcontracting approach. **Applied Mathematical Modelling**, v. 38, n. 14, p. 3624–3640, 2014.

MOLLEMAN, E.; SLOMP, J.; ROLEFES, S. The evolution of a cellular manufacturing system—a longitudinal case study. **International Journal of Production Economics**, v. 75, p. 305–322, 2002.

MONDEN, Y. **Sistema Toyota de Produção: uma abordagem integrada ao just-in-time**. Porto Alegre: Bookman, 2015.

MOYANO-FUENTES, J.; SACRISTÁN-DÍAZ, M. Learning on lean: a review of thinking and research. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 32, n. 5, p. 551–582, 2012.

NETLAND, T. H. Critical success factors for implementing lean production: the effect of contingencies. **International Journal of Production Research**, v. 54, n. 8, p. 2433–2448, 17 abr. 2016.

NIGHTINGALE, D. J.; SRINIVASAN, J. **Beyond the Lean Revolution: Achieving Successful and Sustainable Enterprise Transformation**. New York: AMACOM Div American Mgmt Assn, 2011.

NIGHTINGALE, D.; MIZE, J. H. Development of a Lean Enterprise Transformation Maturity Model. **Information Knowledge Systems Management**, v. 3, n. 1, p. 15–30, 2002.

NOURI, H. Development of a comprehensive model and BFO algorithm for a dynamic cellular manufacturing system. **Applied Mathematical Modelling**, v. 40, n. 2, p. 1514–1531, 2016.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997.

PAKDIL, F.; LEONARD, K. M. Implementing and sustaining lean processes: the dilemma of societal culture effects. **International Journal of Production Research**, v. 55, n. 3, p. 700–717, 2017.

PAMPANELLI, A. B.; FOUND, P.; BERNARDES, A. M. A Lean & Green Model for a production cell. **Journal of Cleaner Production**, v. 85, p. 19–30, 2014.

PAPAIOANNOU, G.; WILSON, J. M. The evolution of cell formation problem methodologies based on recent studies (1997-2008): Review and directions for future research. **European Journal of Operational Research**, v. 206, n. 3, p. 509–521, 2010.

PARKER, S. K. Longitudinal effects of lean production on employee outcomes and the mediating role of work characteristics. **Journal of Applied Psychology**, v. 88, n. 4, p. 620–634, 2003.

PATTANAİK, L. N.; SHARMA, B. P. Implementing lean manufacturing with cellular layout: A case study. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 42, n. 7–8, p. 772–779, 2009.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. **Administração da Produção (Operações Industriais e de Serviços)**. Curitiba: UnicenP, 2007.

PETRICK, J. F. Development of a multi-dimensional scale for measuring the perceived value of a service. **Journal of Leisure Research**, v. 34, n. 2, p. 119–134, 2002.

PIDD, M. Just modeling through: A rough guide to modeling. **Interfaces**, v. 29, n. 2, p. 118–132, 1999.

PIENKOWSKI, G.; MACZKA, J.; KRZYŻANOWSKI, J. **Designing production cells under condition of lean manufacturing**. Annals of DAAAM. Anais...2005

PINHEIRO, J. DE Q.; FARIAS, T. M.; ABE-LIMA, J. Y. Painel de Especialistas e Estratégia Multimétodos : Reflexoes, Exemplos, Perspectivas. **Psico - Revista Eletrônica PUC - RS**, v. 44, n. 2, p. 184–192, 2013.

PRASHAR, A. Redesigning an assembly line through Lean-Kaizen: an Indian case. **The TQM Journal**, v. 26, n. 5, p. 475–498, 4 ago. 2014.

RAFIEE, K. et al. A new approach towards integrated cell formation and inventory lot sizing in an unreliable cellular manufacturing system. **Applied Mathematical Modelling**, v. 35, n. 4, p. 1810–1819, 2011.

RAMINFAR, R. et al. An integrated model for production planning and cell formation in cellular manufacturing systems. **Journal of Applied Mathematics**, v. 2013, 2013.

RINGLE, C. M.; SILVA, D.; BIDO, D. Modelagem de Equações Estruturais com Utilização do Smartpls. **Revista Brasileira de Marketing**, v. 13, n. 2, p. 54–71, 2014.

RODRÍGUEZ, D. et al. Impact of Lean Production on Perceived Job Autonomy and Job Satisfaction: An Experimental Study. **Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries**, v. 26, n. 2, p. 159–176, 2016.

ROTHER, M.; HARRIS, R. **Criando fluxo contínuo: um guia de ação para gerentes, engenheiros e associados da produção**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2008.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2012.

RUY, M. **Aprendizagem organizacional no processo de desenvolvimento de produtos: estudo exploratório em três empresas manufatureiras**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, 2002.

SAKHAI, M. et al. A robust optimization approach for an integrated dynamic cellular manufacturing system and production planning with unreliable machines. **Applied Mathematical Modelling**, v. 40, n. 1, p. 169–191, 2016.

SAURIN, T. A.; MARODIN, G. A.; RIBEIRO, J. L. D. A framework for assessing the use of lean production practices in manufacturing cells. **International Journal of Production Research**, v. 49, n. 11, p. 3211–3230, 2011.

SEPPÄLÄ, P.; KLEMOLA, S. How do employees perceive their organization and job when companies adopt principles of lean production? **Human Factors and Ergonomics in Manufacturing**, v. 14, n. 2, p. 157–180, 2004.

SHAH, R.; WARD, P. T. Defining and developing measures of lean production. **Journal of Operations Management**, v. 25, n. 4, p. 785–805, 2007.

SHEN, C. C. Discussion on key successful factors of TPM in enterprises. **Journal of Applied Research and Technology**, v. 13, n. 3, p. 425–427, 2015.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da engenharia de produção**. 2. ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação - 4a edição. **Portal**, p. 138p, 2005.

SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2015.

STERLING, A.; BOXALL, P. Lean production, employee learning and workplace outcomes: A case analysis through the ability-motivation-opportunity framework. **Human Resource Management Journal**, v. 23, n. 3, p. 227–240, 2013.

SUSILAWATI, A. et al. Fuzzy logic based method to measure degree of lean activity in manufacturing industry. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 34, p. 1–11, jan. 2015.

TANIMIZU, Y.; ISHII, S.; YOKOTANI, T. A study on development of a work instruction system for assembly cells based on analysis of learning processes. **Journal of advanced mechanical design, systems, and manufacturing**, v. 8, n. 4, p. 1–9, 2014.

VIDAL, M. Reworking postfordism: Labor process versus employment relations. **Sociology Compass**, v. 5, n. 4, p. 273–286, 2011.

WANGWACHARAKUL, P. et al. Cultural aspects when implementing lean production and lean product development -experiences from a Swedish perspective. **Quality Innovation Prosperity**, v. 18, n. 1, p. 125–140, 2014.

WENDLER, R. The maturity of maturity model research: A systematic mapping study. **Information and Software Technology**, v. 54, n. 12, p. 1317–1339, 2012.

WILLNER, O.; GOSLING, J.; SCHÖNSLEBEN, P. Establishing a maturity model for design automation in sales-delivery processes of ETO products. **Computers in Industry**, v. 82, p. 57–68, 2016.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza**. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **Soluções enxutas: como empresas e clientes conseguem juntos criar valor e riqueza**. Rio de Janeiro: Campus, 2006.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**. Rio de Janeiro: Campus, 2004.

WOMACK, S. K.; ARMSTRONG, T. J.; LIKER, J. K. Lean Job Design and Musculoskeletal Disorder Risk: A Two Plant Comparison. **Human Factors and Ergonomics in Manufacturing**, v. 19, n. 4, p. 279–293, 2009.

WU, X. et al. Genetic algorithms for integrating cell formation with machine layout and scheduling. **Computers and Industrial Engineering**, v. 53, n. 2, p. 277–289, 2007.

YANG, C.; GAO, J. Balancing mixed-model assembly lines using adjacent cross-training in a demand variation environment. **Computers and Operations Research**, v. 65, p. 139–148, 2016.

YANG, J.; DEANE, R. H. Strategic Implications of Manufacturing Cell Formation Design. **Integrated Manufacturing Systems**, v. 5, n. 4/5, p. 87–96, 1 dez. 1994.

YANG, Y.; LEE, P. K. C.; CHENG, T. C. E. Continuous improvement competence, employee creativity, and new service development performance: A frontline employee perspective. **International Journal of Production Economics**, v. 171, p. 275–288, jan. 2016.

YIN, R. K. **Case Study Research: Design and Methods**. 5. ed. Thousand Oaks: SAGE Publications, Inc., 2014.

ZOLFAGHARI, S.; LOPEZ, E. V; LOPEZ ROA, E. V. Cellular manufacturing versus a hybrid system: a comparative study. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 17, n. 7, p. 942–961, 2006.

APÊNDICE A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Número do CAAE: 54939916.5.0000.5404

Você está sendo convidado a participar como voluntário de uma pesquisa. Este documento, chamado Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, visa assegurar seus direitos como participante e você poderá manter uma cópia do mesmo, caso assim deseje.

Por favor, leia com atenção e calma, aproveitando para esclarecer suas dúvidas. Se houver perguntas antes ou mesmo depois de indicar sua concordância por meio eletrônico, você poderá esclarecê-las com os pesquisadores. Se preferir, pode levar este Termo para casa e consultar seus familiares ou outras pessoas antes de decidir participar. Não haverá nenhum tipo de penalização ou prejuízo se você não aceitar participar ou retirar sua autorização em qualquer momento.

Justificativa e objetivos:

A principal justificativa para a realização deste trabalho é o fato de que ainda são poucos os atributos validados para mensurar a maturidade presentes na literatura específica sobre gestão de células de manufatura *lean*. Sendo assim, a presente pesquisa contribui para gerar conhecimento nesta área e poderá ser utilizado por outros alunos/pesquisadores como alicerce de seus projetos.

Procedimentos:

Você está sendo convidado a participar de uma pesquisa e para tal solicitamos o preenchimento de algumas informações. Inicialmente, assinale a opção abaixo declarando que deseja participar como voluntário. Em seguida, insira seus dados, informações sobre sua empresa e seu e-mail, caso deseje receber os resultados tratados estatisticamente e uma versão final da pesquisa. Na sequência, avalie o grau de aplicação de cada parâmetro para uma célula de manufatura. Solicitamos que utilize as escalas de notas de 0 a 10 apresentadas, escolhendo uma nota para o grau de aplicação de cada parâmetro (de acordo com os níveis de maturidade descritos abaixo). No final, há uma questão para você fazer uma avaliação global de sua célula. Se você trabalha em uma empresa que possui células que operam com a filosofia *lean*, tome como base a melhor célula de sua empresa. Se você for pesquisador, atribua a nota tendo como base a média do grau de aplicação de cada parâmetro nas células que utilizam o *lean* que você conheça.

Estas notas, após tratamento estatístico, serão utilizadas para a validação dos parâmetros. O preenchimento se dará de forma unicamente eletrônica e a previsão para o preenchimento deste questionário é 15 minutos.

Os níveis de maturidade para os parâmetros, com suas respectivas notas propostas, são apresentados a seguir. A existência de duas ou mais notas dentro de cada nível tem o intuito de possibilitar um ajuste fino.

Níveis de maturidade dos parâmetros:

Nível 5: O parâmetro está totalmente desenvolvido, é reconhecido como de excelência. Ainda assim, o mesmo é analisado criticamente buscando-se oportunidades de melhorias e/outras inovações. Atribua nota 9 ou 10, segundo sua percepção.

Nível 4: O parâmetro é aplicado de forma sistemática na célula, observam-se ganhos decorrentes de sua melhoria com tendência positiva rumo a excelência, ainda assim com possibilidades de refinamento. Atribua nota 7 ou 8, segundo sua percepção.

Nível 3: O parâmetro é aplicado de forma sistemática na célula. Ainda assim, observam-se instabilidades frequentes em sua aplicação. Atribua nota 5 ou 6, segundo sua percepção.

Nível 2: O parâmetro é considerado na análise da célula, porém se maneira informal e irregular. Atribua nota 3 ou 4, segundo sua percepção.

Nível 1: É dada pouca ou nenhuma atenção a esse parâmetro. Quando desenvolvidas, atividades de melhoria são dispersas e raras. Atribua nota 0, 1 ou 2, segundo sua percepção.

Desconfortos e riscos:

Não há riscos previsíveis nesta pesquisa e que possam ser mensuráveis. Você não deve participar deste estudo se sentir qualquer desconforto em fornecer as informações solicitadas.

Benefícios:

O grande benefício indireto associado a esta pesquisa está relacionado à contribuição para o conhecimento científico na área de gestão de projetos de manufatura e ao fato do respondente poder receber, caso deseje, os resultados tabulados e tratados estatisticamente. Tais informações poderão ser de grande valia para a empresa na qual atua ou em sua vida profissional.

Acompanhamento e assistência:

A todo o momento, os responsáveis por essa pesquisa, a aluna de mestrado Izabela Simon Rampasso e o professor Dr. Rosley Anholon estarão disponíveis via meios eletrônicos (e-mail, telefone, entre outros) ou pessoalmente (se possível) para prestar assistência e acompanhamento. Tais contatos são apresentados posteriormente.

Sigilo e privacidade:

Você tem a garantia de que sua identidade será mantida em sigilo e nenhuma informação será dada a outras pessoas que não façam parte da equipe de pesquisadores. Na divulgação dos resultados desse estudo, seu nome não será citado.

Contato:

Em caso de dúvidas sobre a pesquisa, você poderá entrar em contato com os pesquisadores

1) Aluna de Mestrado: Izabela Simon Rampasso , Curso: Mestrado em Engenharia Mecânica, Rua Mendelejev, 200, Departamento de Engenharia de Manufatura e Materiais (DEMM), Faculdade de Engenharia Mecânica (FEM), Universidade Estadual de Campinas, telefone (11) 99172-9636, e-mail: izarampasso@gmail.com

2) Professor Doutor Rosley Anholon, Rua Mendelejev, 200, Departamento de Engenharia de Manufatura e Materiais (DEMM), Faculdade de Engenharia Mecânica (FEM), Universidade Estadual de Campinas, telefone (19) 3521-3312, e-mail: rosley@fem.unicamp.br, sala EE207

Em caso de denúncias ou reclamações sobre sua participação e sobre questões éticas do estudo, você poderá entrar em contato com a secretaria do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da UNICAMP das 08:30hs às 11:30hs e das 13:00hs as 17:00hs na Rua: Tessália Vieira de Camargo, 126; CEP 13083-887 Campinas – SP; telefone (19) 3521-8936 ou (19) 3521-7187; e-mail: cep@fcm.unicamp.br.

O Comitê de Ética em Pesquisa (CEP).

O papel do CEP é avaliar e acompanhar os aspectos éticos de todas as pesquisas envolvendo seres humanos. A Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP), tem por objetivo desenvolver a regulamentação sobre proteção dos seres humanos envolvidos nas pesquisas. Desempenha um papel coordenador da rede de Comitês de Ética em Pesquisa (CEPs) das instituições, além de assumir a função de órgão consultor na área de ética em pesquisas

Consentimento livre e esclarecido:

Após ter recebido esclarecimentos sobre a natureza da pesquisa, seus objetivos, métodos, benefícios previstos, potenciais riscos e o incômodo que esta possa acarretar, indique o aceite à pesquisa. Para formalizar esse aceite, coloque seu nome completo, data e clique no botão: aceito participar da pesquisa.