

SIMULAÇÃO DE MODELO DE CLUSTERIZAÇÃO PARA ANÁLISE DE IMPLANTAÇÕES DE LEAN MANUFACTURING E INDÚSTRIA 4.0: PROPOSTA PARA APLICAÇÃO EM MICRO E PEQUENAS EMPRESAS

SIMULATION OF CLUSTERING MODEL TO ANALYSE LEAN MANUFACTURING AND INDUSTRY 4.0 IMPLEMENTATIONS: PROPOSAL FOR APPLICATION IN MICRO AND SMALL COMPANIES

Luís Henrique Rodrigues*
Vanessa Rodrigues Gutierrez**
Júlio César de Siqueira Ramos***

RESUMO

No mundo atual, fatores como a globalização, a digitalização e o advento da quarta revolução industrial contribuem para que a competitividade do mercado se torne maior, com clientes mais conscientes e exigentes quanto à qualidade, preços, confiabilidade, velocidade e flexibilidade dos produtos e serviços oferecidos pelas empresas. Neste contexto, buscar arquiteturas de gestão, que ajudem na obtenção de vantagem competitiva, tornou-se indispensável para que as empresas sobrevivam em meio à competição contemporânea. Entre essas arquiteturas podemos citar as estruturas tecnológicas que envolvem a Indústria 4.0 e o *Lean Manufacturing*. Levando em consideração a importância do estado competitivo das empresas, este artigo apresenta uma proposta de modelo de agrupamento de empresas em *clusters*, para análise dos níveis de implantação de *lean manufacturing* e Indústria 4.0. O objetivo deste trabalho é propor um modelo que seja capaz de classificar as empresas quanto aos seus níveis de implantação de tecnologias de gestão aplicadas à Indústria 4.0 e as práticas do *lean manufacturing*. O estudo faz uma simulação de aplicação do modelo, a partir de uma amostra gerada aleatoriamente. Os resultados demonstram uma aderência e validação do modelo, habilitando-o para aplicação em amostras de micro e pequenas empresas, proporcionando a capacidade de análise exploratória da clusterização destas. Este estudo se classifica como qualitativo, de natureza básica descritiva, com experimentação por simulação.

Palavras-chave: Indústria 4.0. Manufatura Enxuta. Competitividade. Cluster.

ABSTRACT

In today's world, factors such as globalisation, digitalisation and the advent of the fourth industrial revolution contribute to making the market more competitive, with customers more aware and demanding of the quality, price, reliability, speed and flexibility of the products and services offered by companies. In this context, the search for management

* Universidade Federal do ABC - Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas – CECS – Engenharia de Gestão – Doutor em Engenharia Mecânica. rodrigues.luis@ufabc.edu.br

** Universidade Federal do ABC - Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas – CECS - Engenharia de Gestão. vanessa.gutierrez@aluno.ufabc.edu.br

*** Universidade Federal do ABC - Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas – CECS - Engenharia de Gestão. julio.ramos@aluno.ufabc.edu.br

architectures that help to obtain competitive advantage has become indispensable for companies to survive in the midst of contemporary competition. Among these architectures we can mention the technological structures that involve Industry 4.0 and Lean Manufacturing. Taking into account the importance of the competitive state of companies, this article presents a proposal of a model of grouping companies into clusters, for analysis of the levels of implementation of lean manufacturing and Industry 4.0. The objective of this work is to propose a model that is able to classify companies according to their levels of implementation of management technologies applied to Industry 4.0 and lean manufacturing practices. The study simulates the model's application, based on a randomly generated sample. Results demonstrate the model's adherence and validation, enabling it to be applied to samples of micro and small companies, providing the capacity for an exploratory analysis of their clustering. This study is classified as qualitative, of basic descriptive nature, with experimentation by simulation.

Keywords: Industry 4.0. Lean Manufacturing. Competitiveness. Cluster.

Introdução

No Brasil, as micro e pequenas empresas (MPEs), cumprem com a função social de gerar emprego, renda, consumo e pagamento de impostos.

Por isso, constituem-se em atores indispensáveis para o crescimento econômico e o desenvolvimento social, na medida em que fazem o dinheiro circular, realizando gastos, contratando pessoas, fazendo investimentos, comprando insumos e muitos outros dispêndios para continuarem existindo, alimentando toda e qualquer cadeia produtiva (JUNIOR, 2017).

No ano de 2011, 27% do Produto Interno Bruto do país foi impactado pelas MPEs. No Estado de São Paulo, a participação dos pequenos negócios na economia é de 98,2% contra apenas 2% de médias e grandes empresas e foram responsáveis por 51,2% da remuneração paga aos empregados formais (SEBRAE, 2018).

É indispensável para as empresas a busca por ferramentas de gestão que as ajudem a obter vantagem competitiva, já que a competitividade no mercado vem se tornando cada vez maior. Esse diferencial competitivo é o modo como a empresa consegue reduzir os seus custos sem perder a qualidade do seu serviço/produto, garantindo a entrega no prazo certo e sem defeito (ROZA; DINIZ; VENANZI, 2019).

Levando isso em conta, as empresas recorrem a diferenças de gestão como a produção *lean manufacturing* (LM, Lean, Manufatura Lean ou ainda Manufatura Enxuta) e as tecnologias que suportam a Indústria 4.0, “[...] importantes preocupações para as companhias e para a sociedade” (VARELA *et al.*, 2019).

Lean manufacturing é um sistema de gestão que incorpora um conjunto de princípios, ferramentas e técnicas nos processos de negócio para otimizar tempo, ativos e produtividade, enquanto melhora o nível de qualidade de produtos e serviços para seus consumidores (RONALD, 2001).

O conceito de *lean manufacturing* se originou no Japão, quando manufaturas japonesas perceberam que não poderiam realizar os investimentos para reconstruir as instalações devastadas na guerra e passaram a produzir automóveis com menor inventário, menos esforço humano, investimento, defeitos e introduziu uma maior variedade de produtos (BHAMU; SANGWAN, 2014).

A vantagem competitiva se traduziu a partir de melhorias nas métricas da manufatura como: reduções no (i) *lead time* da produção; (ii) no tempo de processamento; (iii) no tempo do ciclo; (iv) no tempo de *set up*; (v) no inventário e (vi) nos defeitos e retrabalhos. Benefícios qualitativos foram incorporados à manufatura como: melhoria na moral dos empregados; comunicação efetiva; satisfação no trabalho; “*housekeeping*” padronizada; tomada de decisões em equipe, etc. (BHAMU; SANGWAN, 2014).

Já o conceito de Indústria 4.0 é uma iniciativa estratégica do governo alemão que dá forte apoio ao desenvolvimento do setor industrial (ROJKO, 2017). A ideia principal é explorar o potencial de novas tecnologias e conceitos tais como:

- Disponibilidade e uso da internet e internet das coisas (IOT – *Internet of Things*);
- Integração dos processos técnicos e processos de negócios nas companhias;
- Mapeamento digital e virtualização do mundo real;
- Fábrica “inteligente” incluindo meios “inteligentes” da produção industrial e produtos “inteligentes”.

Referencial Teórico

A competitividade é definida como uma atividade de indivíduos que buscam alcançar os benefícios que outros querem ganhar ao mesmo tempo e nas mesmas condições. Sua essência está baseada na eliminação de concorrentes que atuam no mesmo setor e na conquista de seus clientes (ZELGA, 2017).

Segundo Zelga (2017, p. 302), a definição mais precisa de competitividade é a proposta pelo Fórum Econômico Mundial de 1994, em Lausanne, que a definiu como "a capacidade de um país ou empresa de criar maior riqueza do que seus concorrentes no mercado mundial". A competição é, portanto, vista como um processo entre os rivais,

mas também como uma oportunidade de cooperação entre parceiros de negócios (ZELGA, 2017).

A busca pela vantagem competitiva nas empresas se tornou um dos principais focos no mercado, e a tecnologia se mostrou um importante diferencial nessa corrida (ABREU, 2018).

Slack, Chambers e Johnston (2002) propuseram cinco objetivos de desempenho da produção. Segundo eles, um dos papéis da produção é impulsionar a estratégia, dando-lhe vantagem competitiva a longo prazo. Os cinco objetivos de desempenho da produção propostos por Slack, Chambers e Johnston (2002) são:

Objetivo qualidade: Qualidade significa "fazer certo as coisas". Em alguns casos, a qualidade é a parte mais visível de uma operação, é algo fácil de julgar. Em função disso, ela exerce grande influência sobre a satisfação ou insatisfação do consumidor. Produtos e serviços de boa qualidade significam alta satisfação do consumidor e, ainda, a probabilidade de o consumidor retornar. Inversamente, a má qualidade reduz as chances de o consumidor retornar.

Objetivo rapidez: o principal benefício da rapidez de entrega dos bens e serviços para os consumidores (externos) é que ela enriquece a oferta. Isso porque para a maioria dos bens e serviços, quanto mais rápido estiverem disponíveis para o consumidor, mais provável é que este venha a comprá-los.

Objetivo confiabilidade: significa fazer as coisas em tempo para os consumidores receberem seus bens ou serviços. Os consumidores só podem julgar a confiabilidade de uma operação após o produto ou serviço ter sido entregue. Ao selecionar o serviço pela primeira vez, o consumidor não terá referência do passado quanto à confiabilidade. Mas pode se tornar importante no futuro.

Objetivo flexibilidade: Flexibilidade significa capacidade de mudar a operação. O desenvolvimento de uma operação flexível pode trazer vantagens aos clientes internos da operação. A flexibilidade interna também pode ajudar a manter a operação dentro do programado quando eventos imprevistos perturbam os planos.

Objetivo custo: Para as empresas que concorrem diretamente em preço, o custo será seu principal objetivo de produção. Quanto menor o custo de produzir, menor pode ser o preço a seus consumidores. Qualquer valor retirado do custo de uma operação é acrescido a seus lucros.

Quando se trata do tema de competitividade dentro do cenário brasileiro, segundo a Agenda Brasileira Para a Indústria 4.0, o Brasil caiu da 5ª posição em 2010, para a 69ª

posição em 2016, no Índice Global de Competitividade, com 46.2 pontos em uma escala de 0 a 100. O ranking apresentado na Tabela 1 abaixo (ABDI, 2017).

Tabela 1 - Ranking do Brasil no Índice Global de Competitividade

<i>Posição</i>	<i>País</i>	<i>Pontos</i>
1º	China	100 pts
2º	EUA	99,5 pts
3º	Alemanha	93,9 pts
4º	Japão	80,4 pts
5º	Coreia do Sul	76,7 pts
6º	Reino Unido	75,8 pts
69º	Brasil	46,2 pts

Fonte: Agenda Brasileira Para a Indústria 4.0, 2016.

Panorama das micro e pequenas empresas brasileiras

Historicamente, os primeiros pequenos empreendimentos surgiram por volta do século XII, onde era predominante a relação de trabalhadores independentes que vendiam os frutos de seus trabalhos e nos quais os artesãos eram donos de suas próprias oficinas, ferramentas e matérias-primas. E foi desses primitivos empreendimentos que se iniciou o surgimento das grandes massas industriais existentes no mundo atual (SOUZA, 2015).

Nesse cenário, as Micro e Pequenas Empresas vêm se mostrando como elementos de grande propulsão para a economia, sendo responsáveis pela maioria das empresas e postos de trabalho em todo o mundo. Com isso a competitividade empresarial cresce constantemente, pois o consumidor está mais exigente e com esse aumento as organizações se movem à procura de se manterem dentro do mercado (RIBEIRO; FRAGA; PACHECO, 2015).

No Brasil as micro e pequenas empresas desempenham papel importantíssimo, já que este segmento é um dos maiores geradores de postos de trabalho (SOUZA, 2015). As MPEs são um dos principais pilares de sustentação da economia brasileira pela capacidade de gerar empregos e pelo número de empresas (RIBEIRO; FRAGA; PACHECO, 2015).

Hoje as MPEs já respondem por 30% do valor adicionado ao PIB do país. Isso é o que aponta o estudo “Participação das MPE na economia nacional e regional”, elaborado pelo Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE) e

pela Fundação Getúlio Varga (FGV) (SEBRAE, 2020). Segundo o estudo, a força das MPEs é notada principalmente nas atividades de Comércio e Serviços (que juntas respondem por 23% dos 30% do PIB).

Segundo Slack, Chambers e Johnston (2002), é da perspectiva de mercado que os objetivos de desempenho, deveriam ter prioridade ao se tratar de competitividade nas empresas. A prioridade relativa dos objetivos de desempenho para uma operação é, geralmente, influenciada por dois fatores particulares: as necessidades específicas dos grupos de consumidores da empresa e/ou as atividades dos concorrentes da empresa.

Esses fatores que definem as exigências dos clientes são chamados fatores competitivos. A Figura 1 mostra a relação entre alguns fatores competitivos mais comuns e esses objetivos (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002).



Figura 1 - Objetivos de desempenho diferentes implicados por fatores competitivos diferentes

Fonte: Adaptado de Slack, Chambers e Johnston (2002)

Lean manufacturing

A base do *Lean Manufacturing* pode ser encontrada na companhia japonesa Toyota. Sendo o *Lean* um sucessor do *Toyota Production System* (TPS), ou Sistema Toyota de Produção (STP), em português (ABDELRAHMAN, 2019).

A metodologia do *Lean Manufacturing* se propagou rapidamente no mundo. Os fabricantes passaram a implementar este método para eliminar e minimizar o desperdício. Basicamente, os conceitos de *Lean Manufacturing* se voltam para a tentativa de eliminar os sete tipos de desperdícios. (DURAKOVIC *et al.*, 2018), são eles: superprodução, tempo de espera, transporte, processamento inadequado/excessivo, estoque excessivo, movimentos desnecessários e defeitos. A implementação do *Lean Manufacturing* não pode ser concluída até que todos os desperdícios sejam removidos (CHAHALA; NARWAL, 2017).

Ao adotar o *Lean Manufacturing* com foco em uma vantagem competitiva, a empresa ganha vantagens como confiabilidade, qualidade, velocidade, flexibilidade e redução de custos (ROZA; DINIZ; VENANZI, 2019).

Além disso, a customização em massa pode ser usada como uma vantagem competitiva e apesar de flexíveis e eficientes, os sistemas *Lean* tem uma capacidade de resposta lenta. Levando isso em consideração, as *smart factories* (fábricas inteligentes), e o ambiente da Indústria 4.0 possuem a resposta para a implementação da estratégia da customização em massa (YIN; STECKE; LI, 2018).

O sistema *Lean Manufacturing*, juntamente com a Indústria 4.0, proporcionam uma maior vantagem competitiva, pois o *Lean Manufacturing* pode ser utilizado como base para a implantação de uma fábrica inteligente, e além disso, a Indústria 4.0, pode alavancar a produção enxuta, no quesito de maior aproveitamento de suas ferramentas (ROZA; DINIZ; VENANZI, 2019).

Assim, o uso das mais recentes técnicas de produção e a tecnologia para fabricar produtos de alta qualidade com preços mais baixos e em menos tempo tornou-se crítico para a sobrevivência no mercado competitivo dos dias de hoje (BOLIPOMBO, 2019).

Indústria 4.0

O termo “Indústria 4.0” foi introduzido em 2011 “[...] para descrever a integração generalizada de informação e tecnologias de comunicação na produção industrial. O “4.0” faz alusão a como o impacto potencialmente revolucionário segue diretamente os passos das três revoluções industriais anteriores” (SCHUN *et al.*, 2017, p. 10). A quarta revolução industrial, que terá um impacto mais profundo e exponencial que as três primeiras, se caracteriza por um conjunto de tecnologias que permitem a fusão do mundo físico, digital e biológico (ABDI, 2017).

Indústria 4.0 no cenário mundial e no Brasil

A Indústria 4.0 vem ganhando a atenção do mundo desde o seu surgimento. Para Kosacka-Olejnik e Pitakaso (2019), a grande importância da Indústria 4.0 foi causada pelo interesse governamental. O governo federal alemão apoiou a ideia ao anunciar que a Indústria 4.0 seria parte integrante da “Estratégia de Alta Tecnologia para a Alemanha de 2020”, uma iniciativa que visa liderar a inovação tecnológica. Conseqüentemente, a Alemanha foi seguida de perto por outros países que decidiram por fazer uma revolução industrial, incluindo China, França, Japão, Coreia do Sul, Inglaterra e Estados Unidos.

Entre as vantagens vistas pelos países, destaca-se que nos sistemas de produção ciber-físicos, em inglês CPS (*Cyber-Physical Systems*), é possível produzir mais, a preços menores e de forma mais inteligente. Máquinas interconectadas conversam e trocam comandos entre si, armazenam dados na nuvem, identificam defeitos e fazem correções sem precisar de ajuda. Trazendo ao cenário doméstico, para estabelecer o Brasil como uma potência industrial neste novo momento, é preciso mudar o *mindset* de produção e transformar fábricas que já existem em fábricas inteligentes (ABDI, 2019).

O relatório "*Readiness for the Future of Production Report 2018*" mostra o Brasil na 41ª posição em termo de produção e na 47ª posição nos vetores de produção da indústria (ABDI, 2019).

A constante evolução industrial, trouxe as empresas à Indústria 4.0, a qual permite a conexão de máquinas, humanos e suas necessidades, usando a *internet*. Essa nova era proporciona uma grande vantagem competitiva, pois através das novas tecnologias que estão surgindo, o erro humano e o desperdício serão menores, a capacidade de utilizar todos seus recursos, com o mínimo de custo será maior (ROZA; DINIZ; VENANZI, 2019). Desta forma, o conceito da Indústria 4.0 pode ser interpretado como uma estratégia para aumento da competitividade no cenário futuro. Esta foca-se na otimização da cadeia de valor devido a uma produção dinâmica e autonomamente controlada. Isso facilita melhorias fundamentais nos processos industriais, na engenharia de manufatura, utilização de material, cadeia de fornecimento e gerenciamento do ciclo de vida. As fábricas inteligentes que já estão começando a surgir, empregam uma nova abordagem produtiva (LIMA, 2018).

A Indústria 4.0 está começando a revolucionar comunidades, requerendo uma significativa atualização não só em termos de tecnologia mas também de processos. Esses processos devem ser apoiados por infraestruturas adequadas, juntamente com *hardware*

de adaptação adicional e *softwares* para permitir uma integração totalmente vertical e horizontal de todas as funções das empresas, desde o nível administrativo até o chão de fábrica.

Espera-se que a manufatura aditiva e os robôs colaborativos, por exemplo, desempenhem um papel crucial nesta direção, mas também estruturas organizacionais e modelos (processos) de negócios adequados, juntamente com métodos de produção e decisão apropriados e ferramentas de apoio, serão necessários para permitir uma entrada bem-sucedida em I4.0.

Com o advento de tecnologias exponenciais e de altas velocidades e com capacidade de processamento de *big data*, se fazem necessários altos níveis de digitalização em todos os tipos de processos. Tais dados desempenham um papel crucial para possibilitar diferentes tipos de tomada de decisão, por exemplo, quanto à priorização de ordens de produção e otimização de tarefas, juntamente com outras necessidades, como a manutenção relacionada aos requisitos de cada um (VARELA *et al.*, 2019).

Automação avançada, virtualização e flexibilização são as fronteiras em relação à complexidade de implementação da Indústria 4.0. As empresas que dominam esses níveis mais elevados de maturidade podem obter maior vantagem competitiva. São estágios onde *big data* e *analytics* desempenham um papel fundamental, apoiando ferramentas como inteligência artificial para aspectos operacionais da fábrica e para aumentar a produtividade dos trabalhadores por meio de artifícios como realidade aumentada e realidade virtual. Estes são aspectos que devem ser refletidos também em busca do melhor *layout* de fabricação, para que não seja uma restrição na implantação da Indústria 4.0 (FRANK; DALENOGARE; AYALA, 2019).

Já do ponto de vista do capital humano, o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), julga como um dos quatro passos fundamentais para o protagonismo do Brasil quanto à Indústria 4.0 a requalificação de trabalhadores e gestores. Segundo eles, os profissionais da indústria brasileira precisam ser requalificados, pois serão eles responsáveis pela atualização tecnológica do setor. Para a instituição, é fundamental que os trabalhadores estejam aptos a introduzir práticas inovadoras e ágeis nas empresas. Para isso, é necessário que eles tenham conhecimento sobre as novas tecnologias digitais, sobre técnicas de programação e análise de dados, assim como sejam capazes de resolver problemas complexos, por meio das chamadas competências socioemocionais, as *soft skills*. Com isso é cada vez mais importante que os profissionais sejam criativos e empreendedores, com capacidade de liderança e de comunicação. Os outros três passos

citados são: a indústria deve enxugar seus processos produtivos; a inserção na indústria 4.0 deve ter seu início por tecnologias já disponíveis e de baixo custo e a indústria deve investir em pesquisa, desenvolvimento e inovação (SENAI, 2018).

Cabe também ressaltar que os níveis de adoção mais elevados de tecnologia da indústria 4.0 podem ser mais facilmente atingidos quando as práticas do *Lean Manufacturing* são juntamente implementadas (ROSSINI *et al.*, 2019). As empresas precisam adotar métodos consagrados como Manufatura Enxuta (no processo de implantação da Indústria 4.0), pois ao enxugar seus processos, passam a conhecer melhor suas deficiências e oportunidades de melhorias antes de implantar a digitalização. Digitalizar gargalos de produção potencializam os ganhos de produtividade que se deseja com a adoção das novas tecnologias (SENAI, 2018).

Modelo proposto para análise da implementação de práticas em indústria 4.0 e *lean manufacturing*

O modelo proposto neste estudo relaciona a adoção de práticas em *lean manufacturing* e tecnologias da indústria 4.0 para micro e pequenas empresas. O modelo estabelece o agrupamento das empresas em *clusters* a partir de dados de variáveis obtidos da aplicação de questionários, em cada uma das dimensões, para uma escala Likert variando de 1 a 5.

O modelo possibilita o agrupamento das empresas que tenham elevado grau de similaridade entre si e elevado grau de diferenciação entre os demais agrupamentos (ou *clusters*).

Quanto aos questionários, foram feitas adaptações para melhor se adequarem ao propósito do estudo. A primeira delas foi a tradução e adequação das perguntas no questionário referente à Indústria 4.0, visando o enquadramento na escala Likert de 1 a 5, já que a escala pertencente ao modelo original, de Akdil, Ustundag e Cevikcan (2018), não correspondia ao modelo proposto neste estudo. A Figura 6 ilustra um exemplo de alteração.

Questão Original
1. Which functions can your company's products fulfill the following options?
Communicating with other products/platforms, machines and external systems
Collecting data from environment and other systems
Keeping the data they collect on their system or in the cloud
Having a platform on which the product or cloud applications are working
Questão Adaptada
1. Das funcionalidades abaixo, quantas são parte do(s) produto(s) da empresa?
<ul style="list-style-type: none"> • Comunicação com outros produtos/plataformas, máquinas e sistemas externos; • Coleta de dados do ambiente e outros sistemas; • Armazenamento de dados coletados no sistema próprio ou na nuvem; • Plataforma na qual o produto ou a nuvem funcionam.
(1) - Nenhuma funcionalidade;
(2) - Apenas uma funcionalidade;
(3) - Duas funcionalidades;
(4) - Três funcionalidades;
(5) - Todas as funcionalidades.

Figura 6 - Exemplo de alteração da estrutura de questão
Fonte: Adaptado de Akdil, Ustundag e Cevikcan (2018)

Outra mudança diz respeito a quantidade de perguntas: Em ambos os questionários, foram feitas exclusões de perguntas consideradas menos pertinentes ao escopo do trabalho, com o objetivo de torná-lo mais enxuto, tendo em vista que os questionários originais possuem 62 questões no que se refere ao *Lean Manufacturing*, e 69 questões sobre a Indústria 4.0, totalizando 131 perguntas, o que poderia desestimular a população estudada, além de diminuir a precisão das respostas dadas pelos participantes. O Quadro 1 apresenta a comparação entre a quantidade original de questões e a quantidade presente no modelo adaptado.

Quadro 1 - Número de perguntas dos questionários

Questionários Originais	Questões	Modelo Adaptado	Questões
Lean Manufacturing	62	Lean Manufacturing	53
Indústria 4.0	69	Indústria 4.0	48
TOTAL	131	TOTAL	101

Fonte: Os autores

O que se pode observar é uma significativa redução na quantidade de questões em ambos os questionários. Uma redução de nove questões em *Lean Manufacturing* e vinte e uma em Indústria 4.0, totalizando trinta questões removidas, ou cento e uma questões restantes.

No que diz respeito às dimensões abordadas, as reduções apresentadas resultaram nos seguintes contornos de estudo em práticas *lean manufacturing* e tecnologia da Indústria 4.0:

- **Lean Manufacturing:** Apesar das reduções realizadas neste questionário, foram mantidas todas as quatro dimensões originais. Segundo Mandelli (2016), elas são definidas da seguinte maneira:
 - **Clientes** - A dimensão de Clientes mede o desenvolvimento da relação logística. Os esforços são voltados para a garantia de entregas confiáveis e rápidas, para desenvolver técnicas comerciais e de marketing que tornem as demandas mais previsíveis e estáveis e também para buscar melhoria na competência do pessoal envolvido no relacionamento com clientes;
 - **Fornecedores Externos** - também é uma dimensão que está ligada a gestão *lean manufacturing* (incluindo o fator de desenvolvimento do fornecedor). Neste, busca-se o aumento do grau de integração operacional entre comprador e fornecedor. O comprador e o fornecedor são integrados, com aspectos relativos ao fluxo de materiais entre ambos.
 - **Just In Time e Jidoka** - *Just In Time* e *Jidoka* (Autonomação) são conceitos englobados pela gestão *lean manufacturing*, que diz respeito aos processos de manufatura e os equipamentos envolvidos. Os processos de manufatura e os equipamentos visam garantir que os padrões de qualidade sejam respeitados. São feitos grandes esforços para redução do *lead time*, para assim obter um sistema de produção de fluxo contínuo, redesenho do processo de produção de acordo com manufatura celular (que visa o agrupamento de máquinas ligadas pela movimentação conjunta de materiais, controladas por uma célula centralizadora) e manutenção preventiva.
- **Indústria 4.0:** O item antes chamado de “campos associados”, é agora retirado do questionário se tornando os seus itens (dadas as devidas alterações), as subdimensões. Com isso as subdimensões anteriores deixam de existir. As três dimensões anteriores permanecem as mesmas e algumas subdimensões são agrupadas para simplificar ainda mais o modelo. A nova organização do questionário é a seguinte:

- **Produtos e Serviços Inteligentes** - A dimensão de produtos e serviços inteligentes mede se os produtos e/ou serviços das companhias possuem funcionalidades inteligentes (como interação com o ambiente, possibilidade de coleta e armazenamento de dados e realizar tarefas computacionais, por exemplo). Nela está inclusa a subdimensão:
 - Produtos e Serviços Inteligentes;

- **Processos de Negócio Inteligentes** - É uma dimensão que avalia as operações funcionais das empresas para qualificar seu nível de maturidade em relação aos princípios e tecnologias que possibilitam a Indústria 4.0. Suas subdimensões são:
 - Produção, Logística e Compras;
 - P&D - Desenvolvimento de Produto;
 - Serviços de Venda e Pós-venda;
 - Tecnologias da Informação;
 - Finanças Inteligentes.

- **Estratégia e Organização** - Pode ser definida como uma "entrada" para o processo de transformação da Indústria 4.0. O desenvolvimento de novos produtos inteligentes, serviços baseados em dados e operações inteligentes dependem da geração de modelos de negócios adequados para a Indústria 4.0 ou da transformação dos atuais para tal, investimentos em tecnologias que possibilitem a transição, além de colaboração com parceiros estratégicos. Tem como subdimensões:
 - Modelos de Negócio;
 - Parcerias Estratégicas;
 - Investimentos em Tecnologia;
 - Estrutura Organizacional, Recursos Humanos e Liderança.

O Quadro 2 apresenta, de forma resumida, a estrutura de subdivisões dos grupos de questões utilizados no estudo, adaptados de Rodrigues (2016) e Akdil, Ustundag e Cevikcan (2018).

Quadro 2 – Estrutura de questões do questionário

Questionários Originais				Modelo Adaptado		
Dimensões	Sub-dimensões	Campos Associados	Questões	Dimensões	Sub-dimensões	Questões
Lean Manufacturing				Dados Gerais da Empresa		Q1 - Q5
Lean Manufacturing				Lean Manufacturing		
Informações Contextuais	Informações Contextuais		Q1 - Q4	Gestão da Manufatura Enxuta	Just In Time	Q1 - Q28
	Utilização da capacidade		Q5		Fornecedores Externos	Q29 - Q38
	Fatores Críticos de Competitividade		Q6 - Q13		Clientes	Q39 - Q44
			Jidoka		Q45 - Q53	
Gestão da Manufatura Enxuta	Just In Time		Q14 - Q29	Indústria 4.0		
	Fornecedores Externos		Q30 - Q45	Produtos e Serviços Inteligentes	Produtos e Serviços Inteligentes	Q1 - Q4
	Clientes		Q46 - Q52		Produção, Logística e Compras	Q5 - Q14
	Automação		Q53 - Q62	Processos de Negócio Inteligentes	P&D - Desenvolvimento de Produto	Q15 - Q16
Indústria 4.0					Serviços de Venda e Pós-venda	Q17 - Q18
Produtos e Serviços Inteligentes		Produtos e Serviços Inteligentes	Q1 - Q4		Tecnologias da Informação	Q19 - Q28
Processos de Negócio Inteligentes	Produção e Operações Inteligentes	Produção, Logística e Compras	Q5 - Q14		Finanças Inteligentes	Q29 - Q31
		P&D - Desenvolvimento de Produto	Q15 - Q20		Estratégia e Organização	Modelos de Negócio
	Operações de Marketing e Vendas Inteligentes	Serviços de Pós-venda	Q21 - Q23	Parcerias Estratégicas		Q35 - Q36
		Precificação/Promoção	Q24 - Q28	Investimentos em Tecnologia		Q37 - Q41
		Canais de Venda e Distribuição	Q29 - Q35	Estrutura Organizacional, Recursos Humanos e Liderança		Q42 - Q48
	Estratégia e Organização	Operações de Suporte	Recursos Humanos	Q36 - Q38	Modelos de Negócio	Q48 - Q52
Tecnologias da Informação			Q39 - Q42	Parcerias Estratégicas	Q53 - Q55	
Finanças Inteligentes			Q43 - Q47	Investimentos em Tecnologia	Q56 - Q59	
				Estrutura Organizacional e Liderança	Q60 - Q69	

Fonte: Elaborado pelos autores. Adaptado de Rodrigues (2016) e Akdil, Ustundag e Cevikcan (2018)

É possível observar que foi realizada a junção das subdimensões “Serviços de Pós-venda” e “Vendas e Canais de Distribuição” em uma nova subdimensão chamada “Serviços de Venda e Pós-venda”, tendo em vista a afinidade dos temas.

A subdimensão “Recursos Humanos” foi atribuída a de “Estrutura Organizacional e Liderança”, pois para os autores faria mais sentido agrupar as questões de recursos

humanos como parte da estratégia da organização e da sua estrutura. A junção das subdimensões passou a ser chamada de “Estrutura Organizacional, Recursos Humanos e Liderança”.

Já a subdimensão “Precificação/Promoção” foi removida, por não condizer com o cenário da maioria das indústrias, com temas que tratavam de *analytics* para prever comportamento de clientes e realizar ações personalizadas, algo que corresponde muito mais a empresas que lidam diretamente com o consumidor final.

Modelo

O modelo inicialmente procura agrupar as empresas em clusters, sendo o critério para tal, práticas similares em Lean Manufacturing e Indústria 4.0. Para isso, as empresas foram designadas aos clusters através de uma análise de agrupamento, onde cada uma delas foi considerada como um objeto. Essa análise é exploratória e fornece um método empírico e objetivo para classificar e caracterizar os objetos em questão.

Dentro disso se busca a maior similaridade possível entre objetos, para que os que estejam situados no mesmo cluster sejam os mais parecidos e em clusters opostos, os mais diferentes. Para tal, as medidas de distância encontradas entre cada um dos pares de variáveis representam a similaridade (menores distâncias significam mais similaridade e vice-versa).

Depois de aplicados os questionários, a divisão das empresas em clusters é feita por meio da técnica de agrupamento não hierárquica. Rodrigues (2016) cita que a justificativa de adoção desta técnica é que métodos não hierárquicos podem ser aplicados a conjuntos de dados muito maiores do que em técnicas de agrupamentos hierárquicos (JOHNSON; WICHERN, 2007). Técnicas de agrupamentos não hierárquicas são projetadas para grupos de objetos em um conjunto de *k* clusters. O número de *cluster* (*k*), pode ser especificado antecipadamente ou determinado como parte do processo de constituição dos *clusters* (RODRIGUES, 2016).

Após a distribuição das empresas em *clusters*, as mesmas são combinadas em quatro quadrantes possíveis, definidos por duas dimensões: práticas em indústria 4.0 (eixo vertical) e práticas em manufatura enxuta ou *lean manufacturing* (eixo horizontal). A composição destes quadrantes é ilustrada na Figura 7.

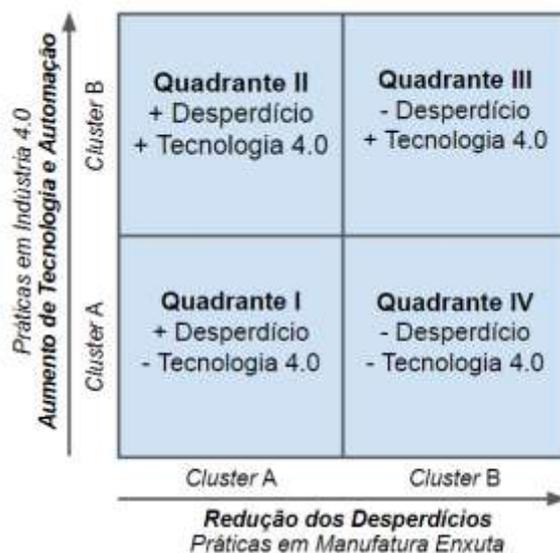


Figura 7 - Modelo: práticas de *lean manufacturing* e Indústria 4.0

Fonte: Adaptado de Rodrigues (2016)

No que tange ao eixo correspondente à Indústria 4.0, as empresas que se encontram classificadas no *cluster B* estão avançadas na implantação de tecnologia e automação quando confrontadas com as empresas do *cluster A*. Para classificação das empresas no *cluster A* ou *B*, das práticas em Indústria 4.0, serão utilizadas as variáveis que compõem as sub-dimensões do modelo adaptado: produtos e serviços inteligentes, processos de negócios inteligentes, estratégia e organização. Da mesma forma, para a classificação das empresas em *cluster A* ou *B*, das práticas em *lean manufacturing*, serão utilizadas as variáveis definidas nas sub-dimensões clientes, fornecedores externos, *just in time* e *jidoka*, da gestão da manufatura enxuta (Quadro 2). As empresas que se encontram no *cluster B* produzem menos desperdícios que as empresas do *cluster A*, apresentando um estágio mais avançado na implantação de práticas do *lean manufacturing* em seus processos.

Metodologia

Os modelos de maturidade incluem dimensões e níveis, de modo que cada dimensão representa capacidades específicas do domínio de interesse e os níveis são rótulos ordinais que significam estágios de maturidade (SANTOS, 2018). Foi realizada então uma busca tanto na literatura abordada no referencial teórico, quanto em diversos modelos já bem aceitos na comunidade científica, para assim selecionar um modelo fiel ao estado da arte aqui percorrido no que tange conhecimentos em Lean Manufacturing e

Indústria 4.0. Para a realização deste trabalho, foram realizadas adaptações de dois modelos pré-existentes, além de atentar ao levantamento realizado no estado da arte. Os modelos e suas respectivas adaptações são:

- Para um possível levantamento de dados do *Lean Manufacturing* e para sugestão de tratamento dos dados de modo geral, o modelo de maturidade adotado é suportado em tese intitulada “Proposta De Modelo Para Análise da Competitividade em Sustentabilidade Ambiental em Empresas do Segmento Automotivo” (RODRIGUES, 2016). A justificativa da escolha se deu principalmente pela disponibilidade de um questionário já validado *sobre Lean Manufacturing*, e pelo tratamento estatístico de dados através do agrupamento das empresas em clusters.

- Para o estudo referente à indústria 4.0, optou-se por utilizar o questionário pertencente ao modelo “*Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy*” presente no livro *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation* (AKDIL; USTUNDAG; CEVIKCAN, 2018).

A Figura 8 sintetiza a aplicação das etapas da pesquisa, divididas em três grupos. O primeiro grupo trata da elaboração do tema e na formulação dos objetivos de pesquisa. O grupo posterior consiste na definição e preparação das perguntas dos questionários, assim como na realização dos testes de funcionamento a fim de identificar possíveis falhas. O último grupo engloba a apuração dos resultados obtidos com a aplicação do modelo proposto e conclusão.



Figura 8 - Estrutura da pesquisa

Fonte: Os autores

A obtenção dos agrupamentos em *clusters* é feita da seguinte forma:

- Instalação e chamada dos pacotes necessários para a análise;
- Importação da base de dados (obtida da aplicação do questionário proposto);
- Utilização do algoritmo *K-means* para criação dos *clusters*, definindo $k = 2$;
- Obtenção do gráfico de *clusters* de cada uma das dimensões estudadas (indústria 4.0 e *lean manufacturing*).

A lógica de programação proposta para utilização no *software* estatístico R é apresentada na Figura 11. As Figuras 12 e 13 representam os resultados dos agrupamentos dos objetos em *clusters*, para a indústria 4.0 e o *lean manufacturing*, respectivamente. A partir dos dados obtidos, é possível gerar uma lista com a classificação de cada empresa (objeto) no respectivo *cluster*, informação adicionada à base de dados do Excel representada nas Figuras 9 e 10.

```
#Instalar os Pacotes
install.packages("FactoMineR")
install.packages("factoextra")
install.packages("cluster")
install.packages("readxl")

#Chamar os Pacotes
library(FactoMineR)
library(factoextra)
library(cluster)
library(readxl)

#Importar
dados_brutos <- read_excel() //ADICIONAR CAMINHO DA PLANILHA DE
DADOS

#Tirar a Primeira Coluna e Adicionar Como Rótulo de Linha
dados <- dados_brutos[,-1]

row.names(dados) <- dados_brutos[,1]

#Transformar em Escala
scale(dados)

#Gerar o Kmeans
dados_kmeans <- kmeans(dados, 2)

#Visualizar no Gráfico
fviz_cluster(dados_kmeans, data = dados, ellipse.type = "t")

#Gerar Lista Com as Classificações e Agrupar na Tabela
lista <- dados_kmeans$cluster

dados_gerais <- cbind(dados_brutos, lista)

#Salvar no Excel Para Extrair a Coluna de Cluster
write.csv(dados_gerais, file="teste2.csv")
```

Figura 11- Programação utilizada no software R

Fonte: Os autores

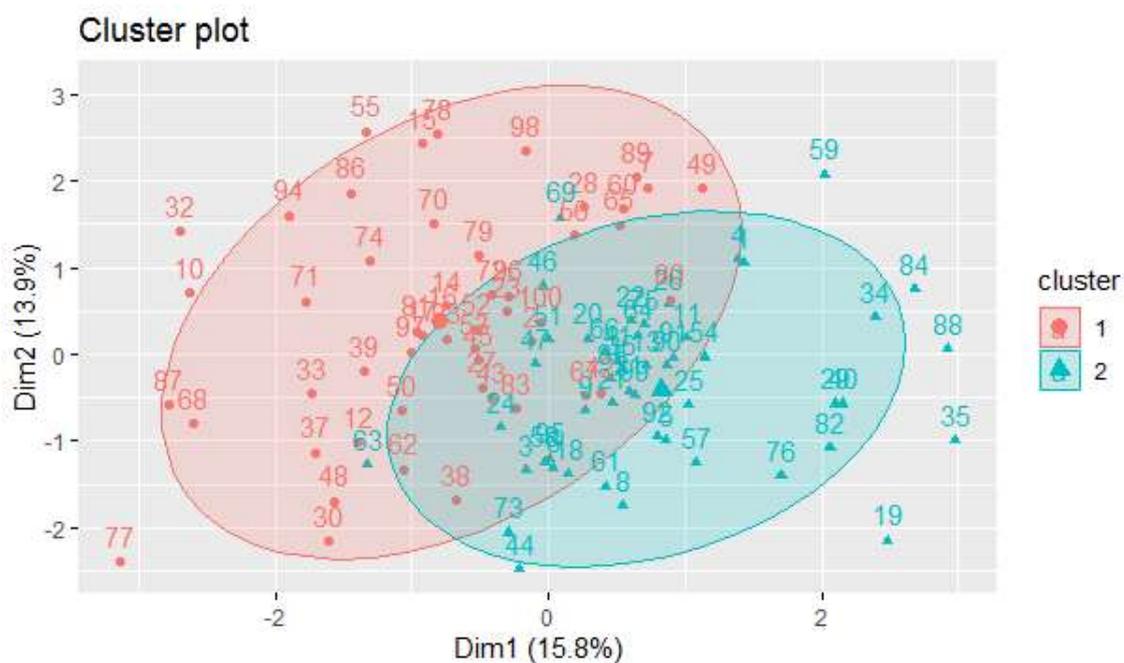


Figura 12 – Clusters obtidos para a Indústria 4.0
Fonte: Obtido pelos autores através do software R

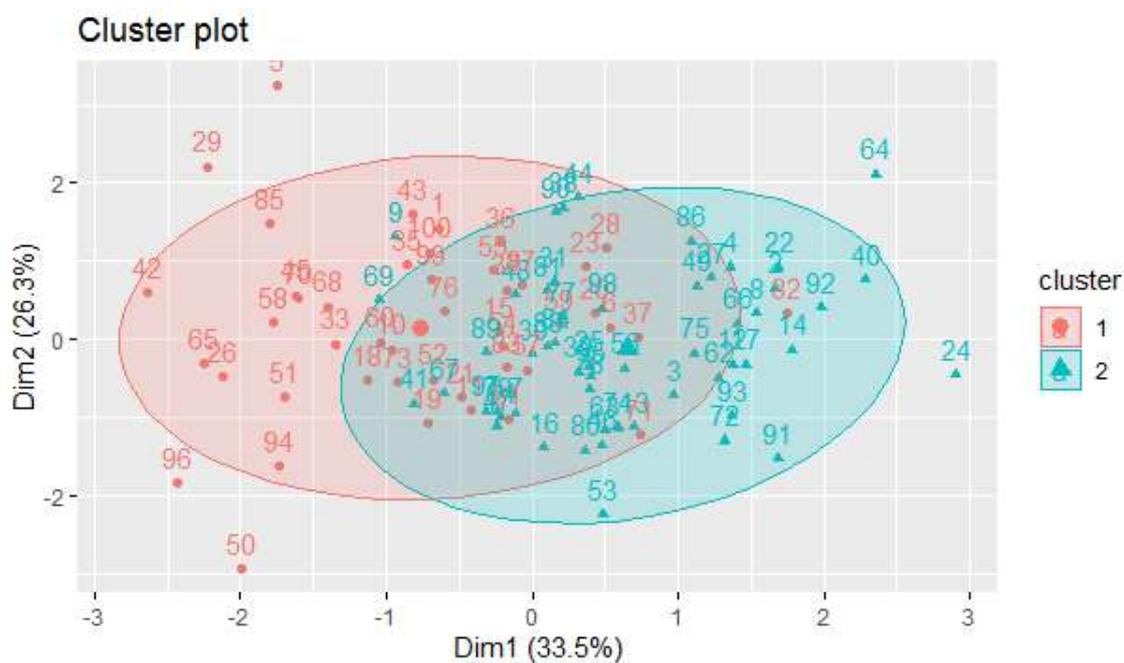


Figura 13 - Clusters obtidos para o Lean Manufacturing
Fonte: Obtido pelos autores através do software R

Classificação e caracterização

A partir daí pode ser realizada a análise exploratória dos objetos que se encontram em cada um dos *clusters*, alocando as variáveis em gráficos radares, que permitem a análise e classificação dos diferentes agrupamentos dos objetos, por meio de uma apresentação de todas as dimensões pertinentes a cada assunto em simultâneo, o que facilita a visualização e, por consequência, análise e comparação dos dados.

Com os *clusters* formados, deve-se classificar da seguinte forma:

- Primeiro quadrante: *cluster A - lean manufacturing* e *cluster A - indústria 4.0*;
- Segundo quadrante: *cluster A - lean manufacturing* e *cluster B - indústria 4.0*;
- Terceiro quadrante: *cluster B - lean manufacturing* e *cluster A - indústria 4.0*;
- Quarto quadrante: *cluster B - lean manufacturing* e *cluster B - indústria 4.0*.

A Figura 14 apresenta a formação dos quadrantes, de acordo com os agrupamentos dos objetos nos *clusters*.

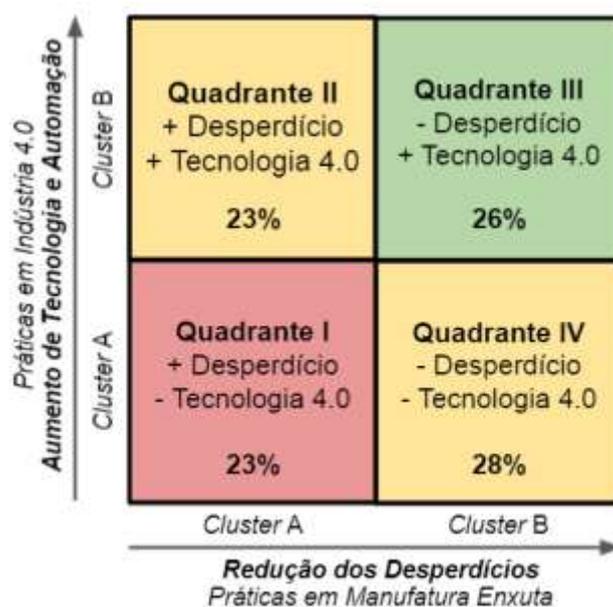


Figura 14 – Quadrantes em *clusters A e B* para práticas em indústria 4.0 e *lean manufacturing*

Fonte: Os autores

Na Figura 14 observa-se as porcentagens que correspondem a cada uma das classificações dos níveis de implantação para a indústria 4.0 e para o *lean manufacturing*. A partir dos dados devidamente classificados e das respostas obtidas através dos questionários de perfil das empresas, é possível levantar hipóteses e constatar

características que relacionem a competitividade das empresas ao nível de implantação das duas práticas.

A partir da alocação dos objetos (empresas) nos quadrantes faz-se a construção de gráficos radares das variáveis para cada um dos quadrantes, como exemplificados nas Figuras 15 e 16. Os gráficos radares têm a finalidade de facilitar a análise exploratória das práticas em tecnologias e automação da indústria 4.0 e redução de desperdícios em práticas *lean manufacturing*, em cada quadrante.

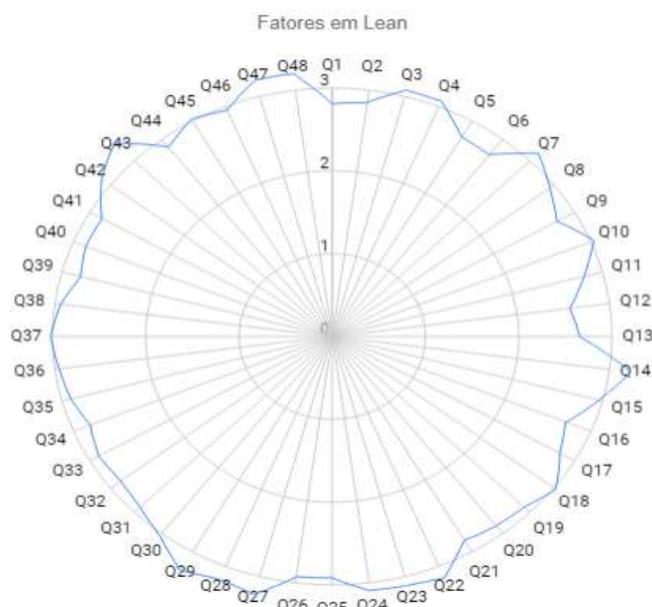


Figura 15 - Radar para as variáveis do *lean manufacturing*
Fonte: Os autores

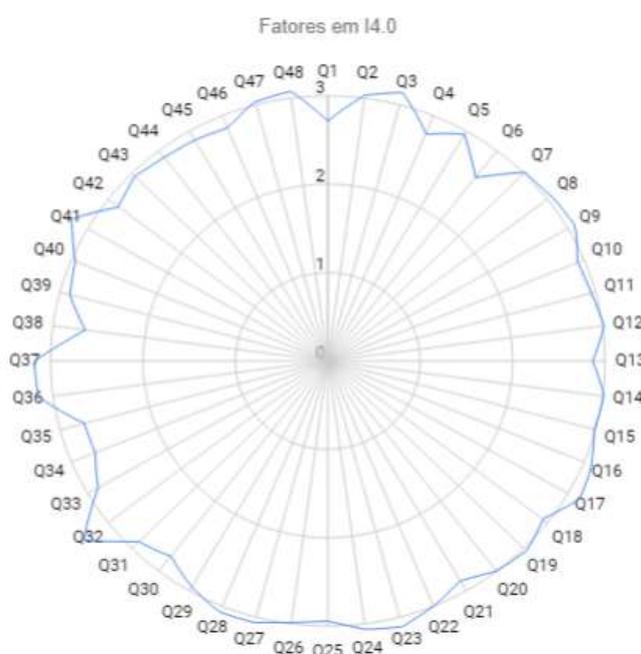


Figura 16 - Radar para as variáveis da indústria 4.0
Fonte: Os autores

A partir dos dados devidamente classificados e das respostas obtidas através dos questionários de perfil das empresas, é possível levantar hipóteses e constatar características que relacionem a competitividade das empresas ao nível de implantação das duas práticas.

A análise exploratória de cada quadrante não foi descrita neste artigo, devido ao fato deste estudo ser uma simulação de um modelo proposto. A sugestão de continuidade deste trabalho é aplicar este modelo em segmentos industriais de diferentes portes ou de um nicho específico, ou ainda focar em regiões ou empresas específicas, buscando maior assertividade ou realizando comparação entre elas.

Considerações Finais

Neste trabalho, foi proposto um modelo de clusterização que possibilita avaliar os níveis de implantação de práticas em *lean manufacturing* e indústria 4.0 nas empresas. Para tal foi realizada uma simulação, apoiada em uma base aleatória de dados, que caracteriza uma amostra de 100 objetos (empresas). Contando com um modelo de questionário para realizar a coleta dos dados frente às empresas onde se deseja investigar o nível de adoção de tecnologias da indústria 4.0, assim como práticas em *lean manufacturing*; com a programação no *software* estatístico R; com a clusterização dos objetos e a plotagem em gráficos que permitem a análise dos dados.

Esta proposta de agrupamento das empresas e a caracterização das mesmas permite a realização de análises exploratórias com diversas possibilidades, tornando viável e relativamente simples o estudo dos mais diversos fatores que se possam julgar como competitivos dentro das empresas. A simulação foi usada como validação do modelo, permitindo que, a partir dos resultados, se fizesse uma avaliação analítica das empresas em cada quadrante do modelo.

Referências

ABDELRAHMAN, G. **Industry 4.0 and Lean Manufacturing across diferente companies with Analysis of its implementation**. 2019. 68 f. Dissertation (Master of Science in Mechanical Engineering) - School of Industrial and Information Engineering of Politecnico di Milano, Milano, 2019.

ABREU, C. E. M. Indústria 4.0: Como as Empresas Estão Utilizando a Simulação para se Preparar para o Futuro. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, v. 12, n. 12, p. 49-53, 2018.

ABDI. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **A nova revolução industrial já começou**, 2019. Disponível em: <https://www.abdi.com.br/projetos/industria-4-0-1/>. Acesso em: 22 nov. 2020.

ABDI. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Agenda brasileira para a Indústria 4.0: O Brasil preparado para os desafios do futuro**, 2017. Disponível em: <http://www.industria40.gov.br/>. Acesso em: 22 nov. 2020.

AGÊNCIA SEBRAE DE NOTÍCIAS. **Pequenos negócios já representam 30% do Produto Interno Bruto do país**. Disponível em: <http://www.agenciasebrae.com.br/sites/asn/uf/NA/pequenos-negocios-ja-representam-30-do-produto-interno-bruto-do-pais,7b965c911da51710VgnVCM1000004c00210aRCRD>. Acesso em 30 dez. 2020.

AKDIL, K. Y.; USTUNDAG, A.; CEVIKCAN, E. **Industry 4.0: Managing The Digital Transformation**. Springer: Cham, 2018.

BHAMU, J.; SANGWAN, K. S. Lean manufacturing: literature review and research issues. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 34, n. 7, p. 876-940, 2014.

BOLIPOMBO, M. M. **Lean manufacturing as a tool for competitive advantage in South African snack industry**. Master Thesis, Johannesburg: Faculty of Engineering and Built Environment at the University of Johannesburg, 2019.

CHAHALA, V.; NARWALB, M. S. An empirical review of lean manufacturing and their strategies. **Management Science Letters**, v. 7, n. 7, p. 321-336, 2017.

DURAKOVIC, B. *et al.* **Lean Manufacturing: Trends and Implementation Issues**. **Periodicals of Engineering and Natural Sciences**, v. 8, n. 4, p. 130-143, 2018.

FRANK, A. G.; DALENOGARE, L.; AYALA, N. F. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. **International Journal of Production Economics**, v. 210, p. 15-26, 2019.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. 6. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2007.

EVERTON JUNIOR, A. **MPE: Avanços importantes para as micro e pequenas empresas**. Confederação Nacional do Comércio de Bens, Serviços e Turismo, 2017.

KOSACKA-OLEJNIK, M.; PITAKASO, R. Industry 4.0: state of the art and research implications. **Scientific Journal of Logistics**, v. 15, n. 4, p. 475-285, 2019.

LIMA, V. B. **Contribuição de Lean Thinking Para a Implementação da Indústria 4.0**. 2018. 56 f. Dissertação (Metrado em Engenharia Industrial) - Universidade do Minho, Braga, 2018.

RIBEIRO, M. H.; FRAGA, W. S.; PACHECO, A. J. Implicações da matriz de importância e desempenho na análise da competitividade de micro empresas. *Revista da Micro e Pequenas Empresas*, v. 9, n. 3, p. 82-92, 2015.

RODRIGUES, L. H. **Proposta de modelo para análise da competitividade em sustentabilidade ambiental em empresas do segmento automotivo**. 2016. 209 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

ROJKO, A. Industry 4.0 concept: Background and Overview. **International Journal of Interactive Mobile Technologies**, v. 11, n. 5, p. 77-90, 2017.

RONALD, M. B. *Automotive Manufacturing and Production*. **Cincinnati, OH : Gardner Publications**, v. 113, n. 7, 2001.

ROSSINI, M. et al. The Interrelation Between Industry 4.0 and Lean Production: An Empirical Study on European Manufacturers. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 102, p. 3963-3976, 2019.

ROZA, L. J.; DINIZ, M. A.; VENANZI, D. As vantagens do uso Lean na indústria automobilística com foco na indústria 4.0. In: FATECLOG, 10., **Anais[...]**, Guarulhos, 2019.

SANTOS, R. C. **Proposta de modelo de avaliação de maturidade da indústria 4.0**. 2018. Número total de páginas. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, 2018.

SCHUN, G. *et al.* Industrie 4.0 Maturity Index: Managing the Digital Transformation of Companies. **National Academy of Science and Engineering**, v. 1, p. 1-53, 2017.

SEBRAE) - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas de São Paulo. **Panorama dos pequenos negócios 2018**. Disponível em: https://m.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/SP/Pesquisas/Panorama_dos_Pequenos_Negocios_2018_AF.pdf. Acesso em: 29 out. 2020.

SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. **CARTA DA INDÚSTRIA 4.0**. Disponível em: <https://www.senai40.com.br/wp-content/themes/senai40/assets/CartaIndustria4.0.pdf>. Acesso em: 29 out. 2020.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**, 2. ed. São Paulo: Atlas S.A., 2002.

SOUZA, K. R. Micro e Pequenas Empresas: pequenas no tamanho, grandes na importância. **Administração Financeira e Orçamentária**, v. 1, n. 1, p. 1-15, 2015.

VARELA, L. *et al.* **Evaluation of the Relation between Lean Manufacturing, Industry 4.0, and Sustainability**, v. 11, p. 1-19, 2019.

WORLD Economic Forum. *Readiness for the Future of Production Report 2018*. Switzerland: Committed To Improving The State Of The World, 2018.

YIN, Y.; STECKE K. E.; LI, D. The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0. **International Journal of Production Research**, v. 56, p. 848-861, 2018.

ZELGA, K. The importance of competition and enterprise competitiveness. **World Scientific News**, v. 72, p. 301-306, 2017.