FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Avaliação do desenvolvimento e validação de escalas enquanto instrumento de apoio à Gestão de Operações

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Assessment of the scale development and validation as a support framework in operations management

Autor

Joana Sá

Orientador[es]

Professor Doutor Luís Miguel Ferreira

Júri

Presidente	**Professor Doutor Samuel de Oliveira Moniz** **Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra**
Vogal	**Professor Doutor Cristóvão Silva** **Professor Auxiliar c/ agregação da Universidade de Coimbra**
Orientador	**Professor Doutor Luís Miguel Ferreira** **Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra**

Coimbra, Setembro, 2018

«Se queres ver o mundo inteiro à tua altura
Tens de olhar para fora, sem esqueceres que dentro é que é o teu lugar.
E se às duas por três vires que perdeste o balanço
Não penses em descanso, está ao teu alcance, tens de o reencontrar!
Na terra dos sonhos, podes ser quem tu és, ninguém te leva a mal.
Na terra dos sonhos toda a gente trata a gente toda por igual.
Na terra dos sonhos não há pó nas entrelinhas, ninguém se pode enganar.
Abre bem os olhos, escuta bem o coração, se é que queres ir para lá morar!»

Jorge Palma

Agradecimentos

Ao Professor Doutor Luís Ferreira pela disponibilidade e apoio demonstrados ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

À minha família.

Aos amigos da saudade.

Aos amigos de tantas histórias, projetos e grandes desafios.

À pessoa que embarcou comigo na maior aventura de todas.

À música.

Obrigada.

Resumo

O trabalho descrito no presente documento teve por objetivo a avaliação do desenvolvimento e validação de escalas enquanto instrumento de apoio à decisão na gestão de operações (GO) e, para tal, foram delineados objetivos concretos e algumas etapas para os atingir. Esta é uma ferramenta cada vez mais aplicada à GO pelo que, houve a necessidade de definir procedimentos e ferramentas a utilizar que fossem transversais ao contexto da investigação. Para tal, foi apresentada uma proposta concreta e fundamentada da aplicação do método.

A primeira grande etapa focou-se no estudo da literatura existente de forma a sustentar os procedimentos e as ferramentas presentes na proposta apresentada. De seguida, e de modo a demonstrar a aplicabilidade da proposta, foi efetuada uma análise a uma aplicação prática do método adotando as etapas apresentadas anteriormente. Esta aplicação prática foi testada com sucesso o que permitiu verificar que a proposta é versátil e fiável para utilizar em diversos contextos. O teste à proposta apresentada foi efetuado com o auxílio dos *softwares* SPSS AMOS, SPSS STATISTICS e MS EXCEL.

Um aspeto crucial deste trabalho é demonstrar a possibilidade de criar e implementar novas estratégias de melhoria com base na extrapolação de informação resultante da análise dos dados recolhidos. Desta forma, esta ferramenta demonstra ser um elemento importante de trabalho no crescimento das organizações que caminham para atingir objetivos concretos e ambiciosos.

De modo a complementar os objetivos definidos inicialmente, serão analisadas oportunidades de melhoria do método, identificando: (i) as maiores dificuldades na implementação do mesmo, como por exemplo, a taxa de reposta à escala desenvolvida, e (ii) as potencialidades do mesmo, como por exemplo, a recolha de informação específica dos *respondentes* no questionário para ser possível trabalhar os dados de forma contextualizada.

Palavras-chave: Desenvolvimento e Validação de Escalas, Gestão de Operações

Abstract

The work described in this paper was aimed at evaluating the development and validation of scales as a tool to support decision making in operations management (OM), and for this purpose, concrete objectives and some steps to achieve them have been outlined. This method has been increasingly applied to OM, so there was a need to define usefull procedures and tools that were transversal to the context of each research. To this end, a specific and reasoned proposal for the application of this method was presented.

The first major step focused on the study of existing literature in order to support the procedures and tools presented in this proposal. Then, in order to demonstrate the applicability of the proposal, an analysis was made to a practical application of the method adopting the steps previously refered. This practical application was successfully tested, which allowed us to verify that this proposal is versatile and reliable for use in different contexts. The analysis mentioned above was accomplished with the use of the software SPSS AMOS, SPSS STATISTICS and MS EXCEL.

A crucial aspect of this work is to demonstrate the possibility of creating and implementing new improvement strategies based on the extrapolation of information resulting from the analysis of the collected data. In this way, this tool demonstrates to be an important element of work in the growth of organizations that aim to reach specific and ambitious goals.

In addition to the initially defined objectives, opportunities for improving of this method will also be analyzed, by identifying: (i) the greatest difficulties in the implementation of the method, such as the rate of response to the developed scale, and (ii) it's potentialities, such as the collection of specific information from the respondents in the questionnaire in order to be able to work the data in a contextualized way.

Keywords Scale development and validation, Operations management

Índice

Índice de Figuras xi
Índice de Tabelas xiii
Siglas xv
1. Introdução 1
2. Revisão de literatura 3
2.1. AEE e o desenvolvimento de escalas 3
2.2. O desenvolvimento de escalas na Gestão de Operações 4
3. Os procedimentos no desenvolvimento de escalas 7
3.1. Breve abordagem a algumas propostas e aplicações práticas 7
3.2. As investigações teóricas sobre o desenvolvimento de escalas 9
3.3. Comparação entre os diferentes procedimentos 11
3.3.1. Priorização das dimensões do construto 14
3.4. Proposta final: etapas e ferramentas 16
3.4.1. As ferramentas de cada etapa 16
4. Aplicação prática 21
4.1. A reconfigurabilidade: breve abordagem 21
4.2. Do desenvolvimento da escala à recolha de dados 22
4.2.1. Geração da *pool* inicial de itens e respetiva análise 22
4.2.2. Testes piloto e a recolha de dados 23
4.2.3. Validação da escala 23
4.3. Verificação e análise dos dados recolhidos 24
4.3.1. Análise da hipótese 1 24
4.3.2. Análise da hipótese 2 28
4.3.3. A priorização dos construtos 32
4.3.4. Análise das correlações entre as dimensões e algumas características das empresas 35
5. Conclusões 39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 41
ANEXO A 45
ANEXO B 49
ANEXO C 51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma representativo dos procedimentos necessários ao desenvolvimento e validação de escalas proposto por Ambulkar et al. Adaptado de Ambulkar et al. (2015) 7

Figura 2. Fluxograma representativo dos procedimentos necessários ao desenvolvimento e validação de escalas proposto por Punniyamoorthy et al.. Adaptado de Punniyamoorthy et al. (2013). 8

Figura 3. Procedimento proposto por Churchill para o desenvolvimento de escalas. Adaptado de Churchill (1979). 10

Figura 4. Representação do modelo de ordem inferior proposto por Punniyamoorthy et al.. Adaptado de Punniyamoorthy et al. (2013)..... 15

Figura 5 . Representação do modelo de ordem superior proposto por Punniyamoorthy et al.. Adaptado de Punniyamoorthy et al. (2013)..... 15

Figura 6 Imagem do modelo criado com o auxílio do SPSS, representativo da hipótese 125

Figura 7 Imagem do modelo criado com o auxílio do SPSS, representativo da hipótese 228

Figura 8 Imagem do modelo criado com o auxílio do SPSS, representativo do modelo de ordem inferior, segundo Punniyamoorthy et al. 32

Figura 9 Imagem do modelo criado com o auxílio do SPSS, representativo do modelo de ordem superior, segundo Punniyamoorthy et al. 33

Figura 10. Representação do comportamento dos fatores de correlação de Pearson consoante a distribuição dos dados analisados. Fonte: ("Pearson Product-Moment Correlation" n.d.). 34

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Comparação entre métodos, técnicas, *outputs* e outras características de diferentes trabalhos analisados. 6

Tabela 2. Tabela comparativa entre as diferentes ferramentas a utilizar em cada etapa do método 13

Tabela 3. Proposta final dos procedimentos e ferramentas a aplicar no desenvolvimento e validação de escalas. 16

Tabela 4 Valores de referência do CVR 18

Tabela 5 Tabela com valores de referência para os índices CFI, GFI e TLI 18

Tabela 6 Valores de referência para o índice RMSEA. 19

Tabela 7 Valores resultantes das CR, AVE e correlações com os valores de AVE^2 na diagonal quanto à hipótese 1 26

Tabela 8. Valor de α de Cronbach para a hipótese 1 26

Tabela 9 Valores das Comunalidades relativamente à hipótese 1 27

Tabela 10 Valores resultantes das CR, AVE e correlações com os valores de AVE^2 na diagonal quanto à hipótese 2 29

Tabela 11 Valor de α de Cronbach para a hipótese 2 29

Tabela 12 Valores das Comunalidades relativamente à hipótese 2 30

Tabela 13 Matriz padrão resultante da EFA que contem os *factor loading of items* e o número de variáveis latentes extraídas do modelo (5 fatores). 31

Tabela 14 Valores dos *Factor Score Weights* por cada dimensão 33

Tabela 15. Fatores de correlação de Pearson entre as 5 dimensões e algumas características das empresas 36

Tabela 16. Fatores de correlação de Pearson entre a reconfigurabilidade e algumas características das empresas 37

SIGLAS

AEE - Análise de Equações Estruturais

AVE - Average Variance Extracted

CFA - Confirmatory Factor Analysis

CFI - Comparative Fit Index

CR - Composite Reliabilities

CVR - Content Validity Ratio

EFA - Exploratory Factor Analysis

GFI - Goodness of Fit Index

GO - Gestão de Operações

OM - Operations Management

RMS - Reconfigurability of Manufacturing Systems

RMSEA - Root mean square error of approximation índex

TLI - Tucker–Lewis index

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e a validação de escalas tem sido uma ferramenta muito utilizada na investigação e desenvolvimento da área da gestão de operações (GO) pela necessidade de avaliar de forma objetiva e quantitativa alguns aspetos organizacionais. Esta ferramenta, tem sido principalmente aplicada na área da investigação das ciências sociais e humanas pela sua versatilidade e capacidade de se adaptar aos diferentes construtos a avaliar e pela fiabilidade dos seus resultados. Assim, a sua utilização na área da GO surge quando existe a necessidade de caracterizar alguns dos aspetos influenciadores do seu negócio, incluindo aqueles que não são mensuráveis de forma direta como, por exemplo, a qualidade percecionada pelo cliente, a flexibilidade da organização ou da cadeia de abastecimento, o nível de colaboração, o nível de sustentabilidade social, entre outros.

Desta forma e, uma vez que este método já foi aplicado por diversos investigadores em diversos contextos da GO, de diferentes formas e com diferentes procedimentos, há a necessidade de uniformizar o processo de aplicação desta ferramenta, sendo esse o objetivo do presente documento. De forma a testar a proposta apresentada, será analisado um conjunto de dados reais, resultantes de uma investigação acerca da avaliação da reconfigurabilidade de um sistema de manufatura.

A metodologia adotada passa por uma revisão de literatura focada no tema do desenvolvimento de escalas na GO. Após essa recolha de informação, esta será devidamente analisada de modo a apresentar uma proposta final com os procedimentos necessários à aplicação deste método. Para finalizar será efetuada um aplicação prática dos procedimentos propostos com o auxílio do software SPSS AMOS, onde será analisado um conjunto de dados recolhido para avaliar a reconfigurabilidade de um sistema de manufatura.

A presente dissertação está organizada em diversos capítulos e subcapítulos que, resumidamente, consistem numa revisão de literatura, numa pesquisa bibliográfica acerca das aplicações práticas deste método que conduziu e suportou a proposta apresentada e uma aplicação prática da proposta apresentada.

<r

2. REVISÃO DE LITERATURA

O desenvolvimento de escalas, através da análise de equações estruturais (AEE), é um método quantitativo muito utilizado na análise causal e na investigação das ciências sociais e humanas (Marôco, 2014). Este método foi, já, investigado por diversos autores que desenvolveram técnicas específicas de aplicação deste método a situações concretas, como por exemplo, Churchill (1979) ao marketing, Dunn et al. (1994) à logística, Hinkin (1998) ao comportamento organizacional, Hensley (1999) à gestão de operações e MacKenzie et al. (2011) aos sistemas de informação (Lavastre et al.; 2014). Além da sua forte e crescente presença na investigação relacionada com estas áreas, atualmente, este método começa a ganhar importância enquanto técnica de apoio à tomada de decisão "no terreno".

Em relação à AEE, esta começou a ser mencionada e estudada na primeira metade do séc. XX, através dos trabalhos de Sewall Wright e Spearman e, na segunda metade, foi estudada por autores como Jöreskog (1970), Keesling (1972) e Wiley (1973) de forma a ser, então, aplicada a diferentes áreas. Jöreskog contribuiu ainda com o desenvolvimento do *software* LISREL uniformizando e simplificando a utilização desta técnica (Marôco, 2014).

O desenvolvimento de escalas e índices que permitam medir, de forma quantitativa, variáveis complexas, não mensuráveis diretamente, é uma mais valia para a investigação associada às diversas áreas de gestão - na indústria e nos serviços. O estudo desta técnica e das suas capacidades de aplicação são essenciais para que ela se torne cada vez mais fiável e, consequentemente, cada vez mais utilizada em situações reais e concretas.

2.1. AEE e o desenvolvimento de escalas

Antes de perceber e justificar a importância desta técnica, é essencial perceber em que é que consiste e o que é que a torna tão fiável. A AEE permite avaliar modelos teóricos – que consistem em definir, hipoteticamente, relações causais entre diferentes variáveis – testando a validade dos mesmos. As relações entre as variáveis são baseadas em parâmetros que permitem avaliar a influência que as variáveis independentes exercem sobre as variáveis ditas dependentes (Marôco, 2014). Este modelo teórico assenta em factos

presentes na literatura e presentes no panorama real em estudo, depois de devidamente comprovados e suportados. Uma das características que mais beneficia esta técnica é o facto de considerar os erros associados à medição das variáveis em estudo.

O desenvolvimento de escalas, além da utilização da AEE, exige um conjunto de procedimentos necessários de modo a minimizar os erros e as falhas do instrumento de avaliação. Estes procedimentos levam à construção de um questionário adaptado a cada tema e devidamente sustentado qualitativa e quantitativamente. Para tal, existem já algumas propostas relativamente ao procedimento a implementar, mas, embora todas elas tenham a mesma estrutura e os mesmos objetivo, em cada etapa podem ser utilizadas diferentes ferramentas. Por consequente, é necessário analisar as diferentes possibilidades e os diferentes caminhos já utilizados para este fim, de forma a desenvolver uma *framework* atualizada e transversal aos diferentes temas incluídos na área da gestão de operações.

2.2. O desenvolvimento de escalas na Gestão de Operações

São diversas as situações em que é possível aplicar o desenvolvimento de índices agregadores para avaliar determinadas características não mensuráveis diretamente. Assim, serão abordados alguns exemplos, através de documentos com data de publicação posterior ou igual a 2008, de forma a considerar os últimos 10 anos de investigações. Esta análise tem por objetivo perceber a versatilidade desta ferramenta e a sua importância na investigação e no apoio à tomada de decisão na gestão de operações.

Há ainda muitas matérias por explorar, objetiva e quantitativamente, na gestão de operações devido à dificuldade em medir e avaliar as diferentes características que a definem e que a constituem. Este método veio colmatar essas falhas e já foi aplicado à avaliação de algumas características como: a performance de uma cadeia de abastecimento (Gawankar et al.; 2016), o nível de colaboração na cadeia orgânica e *fair trade* do algodão no Egito (Rota et al.; 2018), as estratégias de *postponement* (Saghiri, 2011), a flexibilidade da cadeia de abastecimento nas~~s~~ organizações da indústria têxtil e de vestuário (Moon et al.; 2012), o desenvolvimento da responsabilidade social dos fornecedores (Lu et al.; 2012), práticas inovadoras na cadeia de abastecimento (Lavastre et al.; 2014), a qualidade percecionada acerca dos *Remanufactured Products* (Hazen et al.; 2016), as capacidades dos processos na gestão da cadeia de abastecimento nos serviços (Boon-itt et al.; 2017), a

<r

qualidade de serviço dos fornecedores de pequenas e médias empresas de manufatura indianas (Gandhi et al.; 2018), entre outras. Apesar de todos estes trabalhos se basearem no mesmo método, os contextos e os recursos são diferentes para cada um. Estas diferenças refletem-se em parâmetros como o a dimensão da amostra, a dimensão dos construtos e as técnicas utilizadas, como está representado na Tabela 1.

Analisando a Tabela 1 é possível observar que a taxa de resposta é bastante reduzida na maioria dos casos. Esta constatação deve-se ao facto de ser difícil obter a cooperação das organizações contactadas. É também possível observar que a dimensão das amostras difere entre cada trabalho de investigação, o que leva à questão: qual a dimensão da amostra ideal de forma a garantir a validade da análise dos dados? Existem diferentes formas para definir a dimensão da amostra (Marôco, 2014) pelo que é difícil definir uma regra para todos os casos. Além desta questão, é de grande relevância perceber quem pode fazer parte da amostra de modo a selecionar os participantes de acordo com o contexto e com as limitações do estudo em causa.

Prosseguindo com a análise da Tabela 1, além das importantes contribuições para a gestão de operações, é também determinante conhecer as limitações de cada estudo, não só para encontrar novas oportunidades de investigação e desenvolvimento, como também para saber até que ponto é possível fazer uma extrapolação dos resultados de cada estudo para outras realidades. Este é um fator que deve ser tido em conta aquando da definição do construto e das diferentes características do contexto em que este vai ser avaliado ao contactar os participantes – dimensão da organização, dimensão da cadeia de abastecimento, área de negócio, localização geográfica, contexto social e económico, entre outras particularidades.

Em suma, observando os resultados dos estudos abordados verifica-se que as contribuições para a gestão de operações são significativas, pelo que, é importante continuar as investigações neste sentido. Para tal, o desenvolvimento e validação de escalas mostra-se um método fiável e com resultados visíveis no “terreno”.

Tabela 1. Comparação entre métodos, técnicas, *outputs* e outras características de diferentes trabalhos analisados.

Autor(es); Ano	Construto	Amostra (tx resposta)	Dimen-sões (nº itens)	Técnicas	Contribuições para a Gestão de Operações (O estudo permite:)
Saghiri, 2011	As estratégias de *postponement*	219/593 (36,9%)	4 (28 itens)	*Q-sort method*, CFA, PLS,	- Avaliar o impacto da implementação de uma estratégia de *postponement* nos fatores de performance de forma mais eficiente.
Moon et al.; 2012	A flexibilidade da CA (indústria têxtil e de vestuário)	192/1330 (14,4%)	4 (18 itens)	AEE, CFA, EFA	- Identificar áreas que necessitem de melhorias específicas e significativas - Identificar aspetos que necessitem de uma intervenção imediata - Fazer uma gestão focada nas 4 dimensões do construto de forma equilibrada.
Lu et al.; 2012	O desenvolvimento da responsabilidade social dos fornecedores	160/208 76,9%)	3 (40 itens)	CFA	- Desenvolver novas ideias a implementar com base nas diferentes dimensões para melhorar e desenvolver a responsabilidade social dos fornecedores
Lavastre et al.; 2014	Práticas inovadoras na cadeia de abastecimento	142	3	T-test, CFA	- Identificar os fatores chave para o sucesso (ou fracasso) de novas práticas inovadoras a projetar e a implementar
Gawankar et al.; 2016	A performance de uma CA (setor de retalho indiano)	213/500 (42,5%)	9	CFA	- Identificar os pontos fortes e fracos da CA, - Identificar *bottlenecks* (*servi~~cesse~~ delivery*, qualidade), - Monitorizar níveis de stock internos na CA.
Hazen et al.; 2016	A qualidade percecionada dos *Remanufactured Products*	340/619 (64,9%)	(39 itens)	CFA	- Providenciar novas intuições e perspetivas relativamente aos *remanufactured products*
Boon-itt et al.; 2017	A capacidade dos processos na gestão da CA (serviços)	104/660 (15,8%)	7 (28 itens)	CFA	- Planear recursos, desenvolver infraestruturas e estabelecer processos num CA de serviços - Perceber que as capacidades dos processos explicam significativamente a qualidade do serviço e o satisfação do cliente.
Rota et al.; 2018	O nível de colaboração de uma CA *(Egito)*	16/25 (50% dos agricultores)	3 (20 itens)	EFA	- Debater modelos inovadores e sustentáveis de produção e consumo para avaliar o sucesso e a performance do negócio de novas formas, - Apoiar uma gestão sustentável de uma CA no setor da alimentação e das fibras.
Gandhi et al.; 2018	A qualidade de serviço dos fornecedores (PME's indianas)	120/165 (72,2)	4(16 itens)	CFA, EFA	- Rastrear a qualidade interna de serviço - avaliar as relações existentes com os fornecedores e tomar ações necessárias para melhorar a comunicação e resolver os problemas relacionados com a entrega de encomendas interna.

3. OS PROCEDIMENTOS NO DESENVOLVIMENTO DE ESCALAS

Apesar do método em estudo ser o desenvolvimento de escalas, as diferentes etapas do processo podem ser executadas de forma diferente ou utilizando diferentes parâmetros, como mencionado anteriormente, dependendo do contexto concreto de aplicação. De seguida, seguem, então, algumas propostas resultantes de aplicações práticas desta ferramenta à área da gestão de operações.

3.1. Breve abordagem a algumas propostas e aplicações práticas

Ambulkar et al. (2015) apresentaram um fluxograma com uma proposta para o desenvolvimento de escalas que contém as principais etapas do processo (Figura 1). Nesta publicação, aplicaram o desenvolvimento de escalas à avaliação da resiliência de uma empresa à ocorrência de disrupções na cadeia de abastecimento.

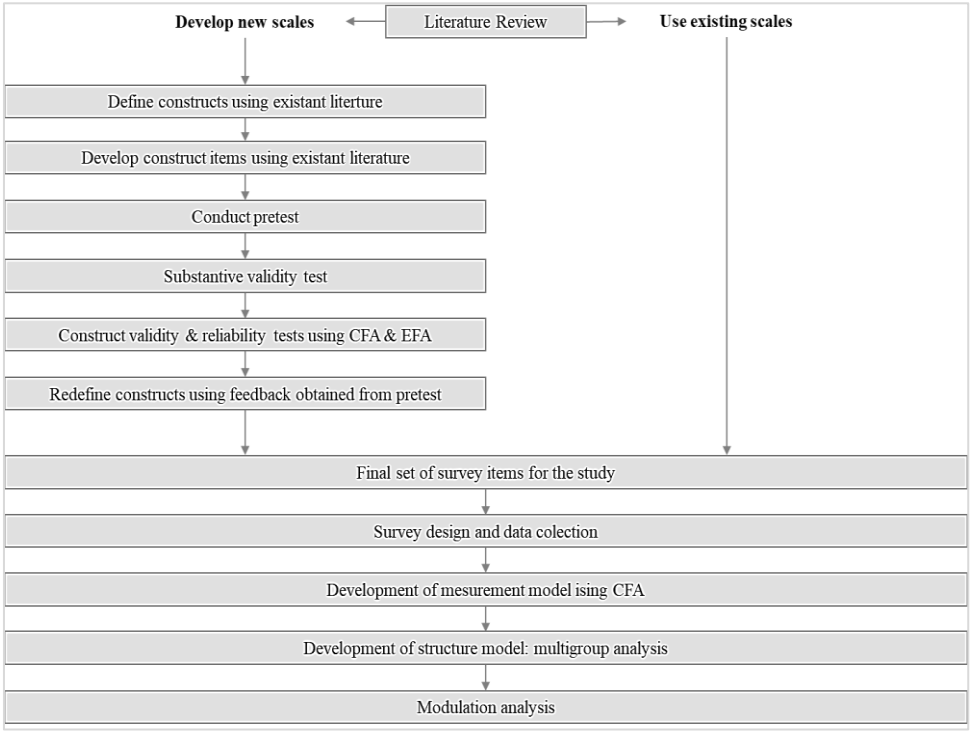

Figura 1. Fluxograma representativo dos procedimentos necessários ao desenvolvimento e validação de escalas proposto por Ambulkar et al. Adaptado de Ambulkar et al. (2015)

Punniyamoorthy et al. (2013) também utilizaram esta ferramenta para avaliar o risco na cadeia de abastecimento e propõem outro fluxograma para o desenvolvimento de uma escala e respetiva validação (Figura 2). Neste fluxograma verifica-se a presença das etapas chave com especial atenção às etapas de validação dos itens e dos construtos (quanto à unidimensionalidade, confiabilidade, validação convergente e divergente).

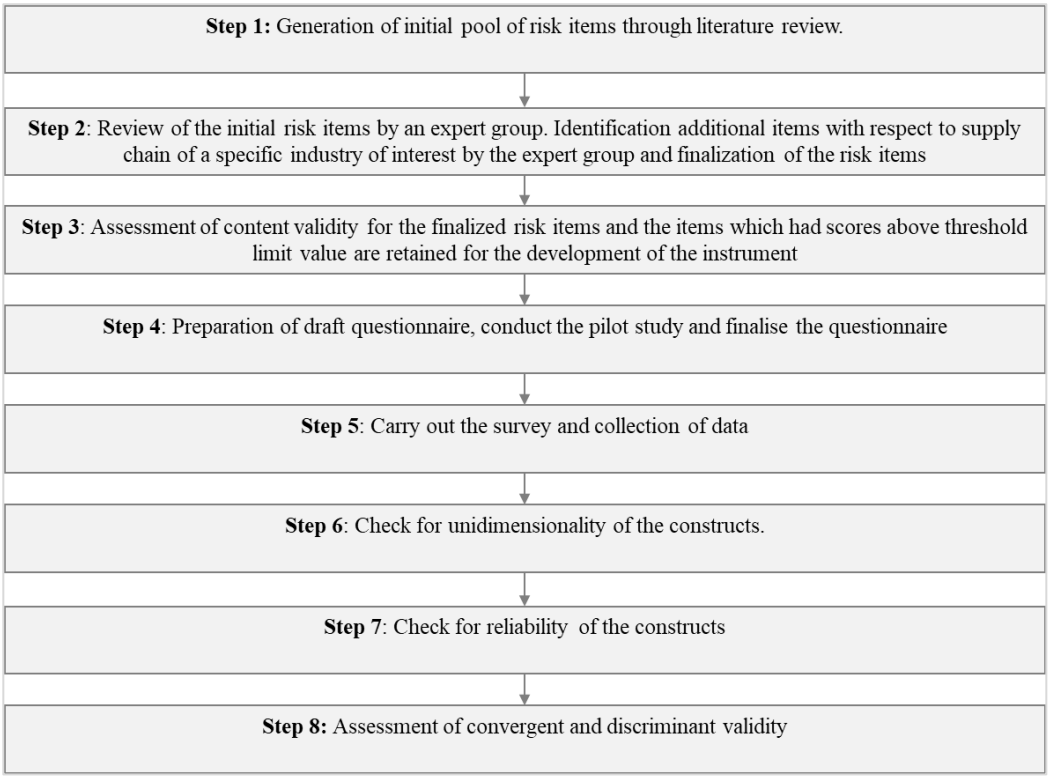

Figura 2. Fluxograma representativo dos procedimentos necessários ao desenvolvimento e validação de escalas proposto por Punniyamoorthy et al.. Adaptado de Punniyamoorthy et al. (2013).

Analisando os dois, são percetíveis algumas semelhanças, com a presença das etapas principais deste método, mas também são visíveis algumas diferenças na forma como cada um apresentou esta metodologia. Deste modo e efetuando uma comparação, é possível verificar que, por exemplo, Punniyamoorthy et al. (2013), quando apresentaram este fluxograma deram mais ênfase à fase da validação da escala após a construção do questionário e Ambulkar et al. (2015) investiram na explicação de cada fase do desenvolvimento do questionário, em si. Esta análise demonstra a versatilidade de adaptação deste método ao contexto, de acordo com as necessidades e com os recursos existentes, de modo a obter os melhores resultados possíveis a partir das escalas desenvolvidas.

De forma a melhor compreender outras hipóteses serão analisadas mais 2 sugestões de diferentes autores. Li et al. (2009) aplicaram o desenvolvimento de escalas para

avaliar a agilidade da cadeia de abastecimento e resumiram todo o processo em duas fases principais. Na primeira fase utilizaram um processo iterativo para: i) especificar o domínio e o dimensionamento dos construtos, ii) gerar uma amostra de itens e iii) avaliar a validade de conteúdo desses itens. Na segunda fase foi feita uma análise fatorial confirmatória, uma vez que os resultados da fase anterior foram sustentados com base na literatura, e assim é verificada e confirmada a validade e a fiabilidade do instrumento. Esta é outra forma de perceber e de desenvolver uma escala igualmente válida e devidamente justificada com base na literatura.

O processo que Kumar e Banerjee (2014) utilizaram para desenvolver uma escala que permitisse avaliar o índice de colaboração na cadeia de abastecimento vai de encontro às propostas que os autores anteriores apresentaram, apesar de não estar sistematizada por etapas. O facto de não ser apresentada uma sistematização do método não invalida a técnica utilizada.

3.2. As investigações teóricas sobre o desenvolvimento de escalas

De modo a ser elaborada uma tabela comparativa e objetiva entre estas quatro propostas, foram analisados, também, trabalhos de dois autores que se dedicaram ao estudo teórico do método. Esses dois autores são Churchill (1979), um autor muito citado, ainda hoje, por muitos investigadores que optam pela aplicação do desenvolvimento de escalas nas suas investigações e Hensley (1999) que estudou esta técnica aplicada, concretamente, à gestão de operações.

A proposta concreta de Churchil encontra-se na Figura 3. Churchil sugere um modelo clássico composto por oito etapas distintas: (i) especificar o domínio do construto – ou seja, o que está ou não incluído na sua definição, (ii) gerar uma amostra de itens, (iii) recolher dados, (iv) afinar o instrumento de medida – através do coeficiente alfa e da análise fatorial, (v) recolher os dados para os testes de validação finais, (vi) avaliar a confiabilidade da escala, (vii) avaliar a validade – convergente e divergente, (viii) desenvolver normas com base nos resultados. Para complementar estas oito etapas, Churchil propõe um caminho iterativo lógico de forma a melhorar os resultados das mesmas.

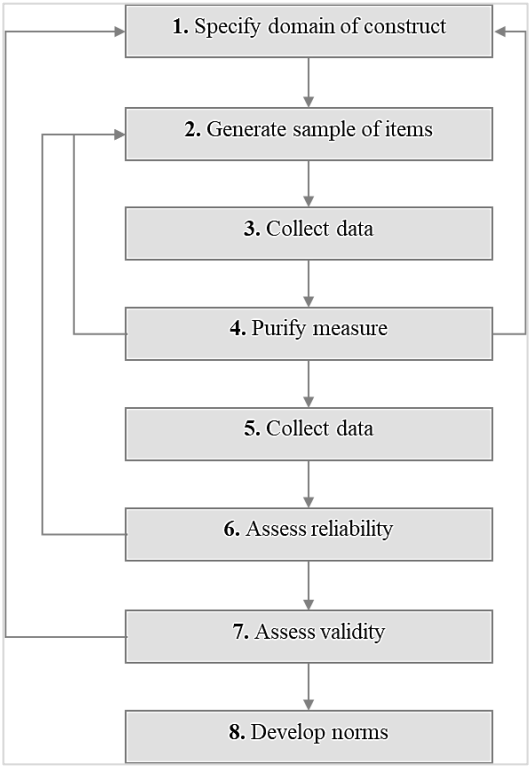

Figura 3. Procedimento proposto por Churchill para o desenvolvimento de escalas. Adaptado de Churchill (1979).

A proposta de Hensley (1999) é baseada em Schwab (1980) e é contrastante na medida em que o processo é dividido em 3 grandes etapas:

I. Geração de itens ("*Item Generation*")

Tem como resultado um esboço do questionário a ser utilizado e, além deste resultado, o objetivo desta etapa é garantir a validade do conteúdo de todos os itens.

II. Desenvolvimento da escala ("*Scale development*")

O resultado desta fase é o questionário final a ser utilizado para recolher os dados que serão utilizados no cálculo dos índices pretendidos. Para tal, a segunda fase é constituída por 3 etapas:

a) Planeamento do desenvolvimento do estudo ("*Design of the developmental study*") – que consiste em planear todos os passos de forma a obter resultados quantitativos de qualidade e que possam ser analisados estatisticamente (por exemplo, planear a dimensão do questionário, a dimensão da amostra, o tipo de escala a usar para as respostas a cada item, entre outras).

b) Construção da escala ("*Scale construction*") – após a recolha de dados é

necessário fazer algumas análises que confirmem a confiabilidade da escala ou do instrumento, por exemplo através da análise fatorial confirmatória ou exploratória.

c) Avaliação da confiabilidade da escala proposta ("*Reliability assessment*") – nesta etapa devem ser calculados alguns parâmetros que permitam perceber se a escala é fiável ou não.

III. Avaliação da escala ("*Scale evaluation*")

Assegurar a validade da escala é garantir que o instrumento desenvolvido avalia exatamente o que se propõe avaliar. Para tal é importante assegurar algumas características como:

a) Validade do conteúdo ("*Content validity*") – refere-se à capacidade dos itens representarem os construtos na sua essência.

b) Validade dos construtos ("*Construct validity*") – é uma das características mais difíceis de medir pelo que é necessário aplicar um método de avaliação indireto.

c) Validade preditiva ou externa ("*Criterion-related validity*") – mede a relação entre a escala e algumas medidas adotadas na realidade para medir "diretamente" os construtos no terreno. Por exemplo, uma forma de avaliar alguns aspetos da qualidade nas organizações é através da percentagem de produtos expedidos sem necessidade de retificações ou correções. Caso os resultados da escala desenvolvida vão de encontro às conclusões retiradas desses valores reais, essa escala poderá ser aplicada no terreno como instrumento de apoio à tomada de decisão ou de apoio ao planeamento e previsão da performance da empresa.

d) Validade convergente e divergente ("*Convergent and discriminant validity*") – pretende avaliar a relação entre os diferentes itens e dimensões dos construtos.

3.3. Comparação entre os diferentes procedimentos

Com base na análise dos trabalhos de Hensley e Churchil foi elaborada uma tabela comparativa de modo a perceber quais as etapas essenciais para aplicar este método e de forma a perceber quais as diferentes ferramentas que possíveis de utilizar em cada etapa do desenvolvimento de escalas (Tabela 2). Além de estarem presentes as etapas mencionadas

e propostas por esses dois autores, foram adicionadas outras abordadas nos trabalhos práticos em comparação nesta tabela.

A etapa da validação preditiva ou externa foi mencionada apenas por um dos quatro trabalhos tidos como base para a construção da tabela comparativa. Além do mais, foram mencionadas mais algumas etapas em alguns trabalhos que não constam nas propostas de Churchil e Hensley como a avaliação da unidimensionalidade dos construtos (Punniyamoorthy et al.; 2013) e a validação nomológica (Ambulkar et al.; 2015; Boon-itt et al.; 2017). Foi também observada a escala de resposta que cada investigador escolheu e os softwares utilizados por cada um. A etapa da priorização dos construtos, uma das mais importantes que permite a aplicação prática dos resultados obtidos, será abordada de forma mais aprofundada na secção seguinte.

Observando a Tabela 2 é percetível que nem todos os autores seguiram todas as etapas mas, as etapas comuns aos 4 autores estão presentes nas propostas de Hensley e Churchil:

- A identificação do domínio e dimensão dos construtos e a geração da pool inicial de itens – etapas a) e b)
- O desenvolvimento da escala, através da análise qualitativa e quantitativa da proposta inicial e através da afinação final do questionário – etapas c), d), e) e
- A validação da escala pela da confiabilidade, da validade divergente e convergente, entre outros fatores de validação – etapas g^2), g^3) e g^4).

Esta constatação ajuda a compreender e a comprovar que estas etapas comuns são efetivamente a estrutura base e essencial para um desenvolvimento adequado de uma escala. As restantes, embora possam ser facultativas, quando são realizadas acrescentam valor e credibilidade ao resultado final. Por exemplo, a etapa da priorização dos construtos é de grande importância na medida em que estabelece uma relação de "hierarquia" entre as diferentes dimensões do construto e atribui à escala desenvolvida mais informação para que esta possa ser utlizada no apoio à tomada de decisões no terreno.

Além das etapas realizadas por cada autor é importante identificar as ferramentas utilizadas em cada uma. As ferramentas ou as metodologias utilizadas são diversas, mas, a mais importante é a revisão e o estudo da literatura existente, quer em relação ao tema abordado quer em relação a esta metodologia e às evoluções que tem sofrido. Só assim é possível desenvolver um instrumento confiável e atualizado de raiz. .

Tabela 2. Tabela comparativa entre as diferentes ferramentas a utilizar em cada etapa do método

ETAPA\ARTIGO		Li et al., 2009	Punniyamoorthy et al., 2013	Kumar and Banerjee, 2014	Ambulkar et al., 2015
a) Especificar domínio e dimensões do(s) construto(s)		Literatura, Entrevistas pessoais semi-estruturadas	Literatura	Literatura	Literatura
b) Geração da pool inicial de itens		Método iterativo por investigadores	Literatura e conhecimento aprofundado da área	Literatura	Literatura,
c) Análise qualitativa e "apuramento" dos itens		*Expert group,*	*Expert groups, Focus groups*	Revisão do questionário	*Expert group*
d) Avaliação e Validação do conteúdo dos itens		*Q-sort methods,* Análise quantitativa por doutorandos	*Content Validity Ratio* (CVR)	Loading of itens	*Substantive Validity Coefficient*
e) Finalizar o instrumento de estudo		--	Testes piloto	--	--
f) (Seleção da escala de resposta)		*Likert scale* (1–5)	*Likert Scale* (1-5)	*Likert Scale* (1-7)	*Likert scale* (1-7)
g) Validação da escala	**[1] Unidimensionalidade**	--	*Goodness of Fit Índex* (GFI)	*Eigenvalues,* α de Cronbach, Dillon-Goldstein's ρ	--
	[2] Confiabilidade	α de Cronbach, *Composite Reliabilities* (CR) , AVE	α de Cronbach	*Loading of itens*; *Composite Reliabilities* (CR) e α de Cronbach	α de Cronbach, Comparative fit índex (CFI), Tucker–Lewis index (TLI), Root mean square error of approximation index (RMSEA)
	[3] Convergência	Loading of itens, Fatores de correlação	t-values	Loading of itens, CR, (average variance extracted) AVE	Factor loading, CR, AVE
	[4] Divergência	Fatores de Correlação, AVE, *X^2 differences*	*X^2 differences*	*Indicator level* e *Measurement model level*	AVE vs *X^2 differences*
	[5] Validade Preditiva e Nomológica	--	--	--	*"The predictive and nomological validity (...) were established using the scale as a part of a questionaire."*
h) Priorização das dimensões do construto		--	*Latent variable scores.* (AEE)	--	--
i) Software		--	LISREL 8.8	SmartPLS	SPSS

A adicionar às ferramentas mencionadas acima, é crucial o apoio dos modelos teóricos, através dos quais são calculados alguns parâmetros críticos para a validação da escala como a análise de equações estruturais (AEE), a análise fatorial confirmatória (*Confirmatory Factor Analysis*, CFA) e análise fatorial exploratória (*Exploratory Factor Analysis*, EFA). O apoio de softwares existentes é importante de forma a rentabilizar o tempo de investigação e de desenvolvimento, e, também, de forma a reduzir os erros e a variabilidade dos resultados.

3.3.1. Priorização das dimensões do construto

A priorização dos construtos consiste em atribuir pesos a cada uma das dimensões do construto em avaliação de forma a tornar a tomada de decisão mais assertiva para resultados mais eficazes. Desta forma é possível calcular um índice final relativamente ao construto em questão. Por exemplo, a priorização das diferentes dimensões do risco permite canalizar os recursos da gestão de risco para colmatar as mais importantes (Punniyamoorthy et al.; 2013). Esta é uma etapa que nem todos os autores executam pois apenas desenvolvem e validam uma escala e não calculam um índice final que permita avaliar quantitativamente o construto.

Há autores que optam pelo cálculo de um índice final através de uma média ponderada entre as diferentes dimensões dos construtos em avaliação, como Rota et al. (2018). A utilização desta opção não contempla a possibilidade de que cada dimensão possa ter um contributo diferente no valor final do construto, e este fator pode ser decisivo na utilização dos resultados na gestão de operações.

Kumar e Banerjee (2014) utilizaram uma fórmula proposta por Anderson e Fornell (2000) para calcular o índice de colaboração na cadeia de abastecimento. Para a aplicar foi necessário calcular os pesos de cada dimensão através do cálculo do índice de consistência.

Outros métodos aplicados frequentemente são o fuzzy AHP e o fuzzy TOPSIS utilizados, por exemplo, por Samvedi et al. (2013) para a quantificação de riscos numa cadeia de abastecimento. Outros autores utilizaram outras metodologias fuzzy para, por exemplo, avaliar o risco de um projeto de construção (Zeng et al.; 2007) ou para avaliar a performance de uma cadeia de abastecimento resiliente (Sahu et al.; 2017)

Ao avaliar o risco numa cadeia de abastecimento, Punniyamoorthy et al. (2013), utilizaram os *latent variable scores* para priorizar as variáveis latentes. Para tal, desenvolveram um modelo estrutural de ordem superior (Figura 5) que deriva dos modelos de medição de ordem inferior (Figura 4), sendo que, estes consistem nos itens gerados e validados na fase inicial do desenvolvimento da escala. Assim, o construto em avaliação é considerado a variável latente enquanto que as diferentes dimensões (constituídas pelos respetivos itens gerados na fase inicial) são consideradas as variáveis observadas. Os valores dos fatores latentes, calculados através dos modelos de ordem inferior (itens), são novamente introduzidos no modelo de ordem superior para obter os valores representativos da importância relativa de cada uma das dimensões do construto em avaliação (Punniyamoorthy et al.; 2013).

Desta forma, o método selecionado para apresentar na proposta final é o método das *latent variable scores*.

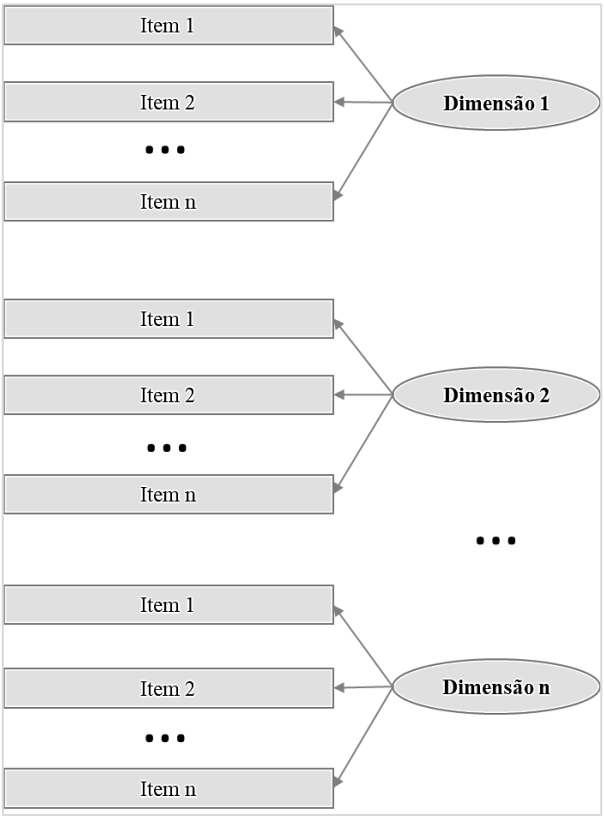

Figura 4. Representação do modelo de ordem inferior proposto por Punniyamoorthy et al.. Adaptado de Punniyamoorthy et al. (2013)

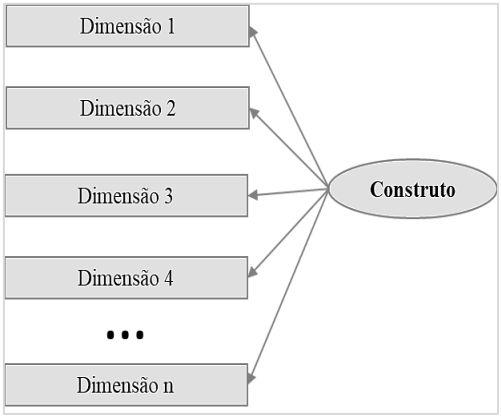

Figura 5 . Representação do modelo de ordem superior proposto por Punniyamoorthy et al.. Adaptado de Punniyamoorthy et al. (2013)

3.4. Proposta final: etapas e ferramentas

A proposta final está representada na Tabela 3 e foi baseada nas considerações anteriores, não só relativamente às etapas sugeridas, mas também em relação às técnicas e ferramentas a utilizar em cada uma.

Tabela 3. Proposta final dos procedimentos e ferramentas a aplicar no desenvolvimento e validação de escalas.

ETAPA		FERRAMENTA
1) Especificar domínio e dimensões do(s) construto(s)		Literatura
2) Geração da pool inicial de itens		Literatura
3) Análise qualitativa e "apuramento" dos itens		*Expert group*
4) Avaliação e Validação do conteúdo dos itens		*Content Validity Ratio (*CVR)
5) Finalizar o instrumento de estudo		Testes piloto
6) (Seleção da escala de resposta)		*Likert Scale*
7) Validação da escala	[1] Unidimen-sionalidade	α de Cronbach e *Goodness of Fit Índex* (GFI)
	[2] Confiabili-dade	α de Cronbach, Comparative fit índex (CFI), Tucker–Lewis index (TLI), root mean square error of approximation index (RMSEA)
	[3] Conver-gente	*Average Variance Extracted* (AVE), *Composite Reliabilities* (CR)
	[4] Discrimi-nante	Average Variance Extracted (AVE)
8) Priorização dos construtos		*Latent variable scores.*
9) Software		SPSS

3.4.1. As ferramentas de cada etapa

Além de propor uma ferramenta para cada etapa, com base na literatura já analisada, é importante perceber em que consistem, como é que cada uma se comporta e quais as conclusões a retirar dos resultados obtidos.

3.4.1.1. Expert Group e Content Validity Ratio (CVR)

Estas duas ferramentas atuam em conjunto uma vez que o resultado obtido aquando do cálculo do CVR é baseado nas conclusões das análises do *expert group*. Após a identificação e escolha dos elementos do *expert group*, cada um deve analisar cada item (resultante da fase da geração da pool inicial de itens) e classificá-lo enquanto "essencial/essencial mas não útil/não essencial" relativamente ao construto que se pretende avaliar. Após a recolha destes resultados aplica-se a Equação 1 para cada item (Punniyamoorthy et al.; 2013).

$$CRV = \left(\frac{n_e - N/2}{N/2}\right)$$

Equação 1 Fórmula a aplicar no cálculo do CVR

CRV = *content validity ratio*.

n_e = nº de *experts* que classificaram o item como essencial

N = nº de elementos do *expert group*

Uma vez que Punniyamoorthy et al.; (2013) se basearam em Lawshe (1975) para a utilização do método CRV, os valores de referência foram retirados do documento original e encontram-se na Tabela 4. Estes valores são variáveis consoante o nº de experts nomeados.

3.4.1.2. α de Cronbach e GFI

O valor do α de Cronbach é o método mais utilizado para medir a consistência interna de escalas multidimensionais. Assim, o valor mínimo para garantir a consistência da escala é 0,7 (Marôco, 2014).

O GFI é considerado um índice absoluto que avalia a qualidade de um modelo por si só, sem necessidade de comparação com outros (Marôco, 2014), estando os seus valores de referência representados na

Tabela 5.

Tabela 4 Valores de referência do CVR

Minimum values of CVR and CVR_t	
One tailed test, p=0,05	
Nº of Panelists	***Min. Value***
5	0.99
6	0.99
7	0.99
8	0.75
9	0.78
10	0.62
11	0.59
12	0.56
13	0.54
14	0.51
15	0.49
20	0.42
25	0.37
30	0.33
35	0.31
40	0.29

Tabela 5 Tabela com valores de referência para os índices CFI, GFI e TLI

Valores de referência para os índices CFI, GFI e TLI	
<0.8	Ajustamento mau
[0.8;0.9[	Ajustamento aceitável
[0.9;0.95[	Ajustamento bom
≥0.95	Ajustamento muito bom

3.4.1.3. CFI, TLI e RMSEA

O CFI (Comparative Fit Index) é considerado um índice relativo que avalia a qualidade de um modelo em relação aos modelos com pior e/ou melhor ajustamento possível. Este é um índice independente do número da amostra, ainda assim, amostras mais pequenas com um elevado número de variáveis com correlações pouco fortes tendem para a redução do valor do CFI (valores de referência na

Tabela 5) (Marôco, 2014).

O TLI (Tucker-Lewis Index), também um índice relativo, está geralmente correlacionado com o CFI, sendo, de forma geral, inferior a este. O TLI assume valores entre 0 e 1 mas não se limita a este intervalo. Os valores mais próximos de 1 demonstram um ajustamento do modelo muito bom (

Tabela 5) (Marôco, 2014).

O índice RMSEA (Root Mean Square Error of Approximation Index) é considerado um índice de discrepância populacional cujo objetivo é comparar o ajustamento da escala obtida através dos momentos amostrais com o ajustamento da escala que se obteria com os momentos populacionais (Marôco, 2014). Os valores de referência encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6 Valores de referência para o índice RMSEA.

Valores de referência para o índice RMSEA*	
>0,10	Ajustamento inaceitável
]0,05;0,10]	Ajustamento aceitável
≤0.05	Ajustamento muito bom
***IC 90% e *p-value* (H_0; *rmsea* ≤ 0.05)**	

3.4.1.4. AVE , CR e a Validade convergente

A validade convergente de um construto sucede quando os itens que o representam saturam fortemente nele. Uma forma de avaliar a validade convergente é através da AVE (*Average Variance Extracted*), ou seja, variância extraída média. Assim, quando o valor da AVE é superior ou igual a 0,5, considera-se que a escala tem validade convergente adequada.

Os valores de CR devem ser superiores a 0,7.

3.4.1.5. AVE e a validade discriminante

A validade discriminante demonstra se os itens que avaliam um construto não estão correlacionados com outro. Esta pode ser avaliada apenas através da verificação dos valores da AVE das diferentes dimensões dos construtos, ou seja, os valores da AVE de duas dimensões devem ser superiores ou iguais ao quadrado da correlação entre essas duas dimensões do construto a ser avaliado. Se esta condição não for verificada, a validade

discriminante pode, ainda, ser demonstrada através da verificação de outras duas condições baseadas no teste das diferenças de x^2 e no valor estimado de IC (Marôco, 2014).

Todas estas ferramentas serão calculadas com o apoio do software AMOS SPSS.

3.4.1.6. A CFA e a EFA

Estas serão as duas técnicas estatísticas utilizadas para a obtenção dos valores mencionados acima, de modo a avaliar a validade da escala. Para tal, é importante conhecer o objetivo de cada uma e os contextos em que devem ser aplicadas, concretamente, no desenvolvimento e validação de escalas (Suhr, 2006).

A CFA é aplicada quando é necessário verificar uma hipótese que contém previamente definidas as relações entre as variáveis latentes e os respetivos itens. Neste caso, o investigador fundamenta e sustenta estas relações pré-definidas através de ferramentas como uma revisão bibliográfica aprofundada. A EFA não contempla nenhuma estruturação pré-concebida dos itens da escala, pelo que explora a possibilidade de relacionar os diferentes itens da escala da forma que melhor se ajusta estatisticamente (Suhr, 2006).

Deste modo, e uma vez que este método começa por um desenvolvimento de uma escala devidamente sustentada através de uma revisão de literatura e de *expert groups*, o primeiro passo será confirmar a primeira proposta desenvolvida através da CFA. Se a estrutura fatorial não for confirmada deve proceder-se a uma EFA de modo a perceber quais as alterações a implementar de acordo com as respostas do questionário(Suhr, 2006).

4. APLICAÇÃO PRÁTICA

Neste capítulo será efetuada uma aplicação prática da proposta apresentada anteriormente através da análise de uma escala já desenvolvida e de dados já recolhidos para a avaliação da reconfigurabilidade de sistemas de manufatura (*Reconfigurability of Manufacturing Systems*, RMS).

4.1. A reconfigurabilidade: breve abordagem

O conceito de reconfigurabilidade surgiu nos anos noventa com o objetivo de conseguir criar sistemas com elevada capacidade de resposta, com capacidade para produzir produtos de alta qualidade a baixo custo através de uma estrutura ajustável, de funcionalidades adaptáveis e com capacidade e flexibilidade para uma produção expansível (Maganha et al; 2018). Em suma, a RMS é a capacidade do sistema se reajustar para se adaptar às novas exigências do mercado e às mudanças tecnológicas, o que implica uma grande agilidade no desenho e projeto dos sistemas de produção para o maior nível de customização possível (Maganha et al; 2018).

A RMS pode ser definida através de algumas características sento elas:

- *Modularity*, que significa que todos os elementos do sistema – hardware e software, são concebidos para serem modulares (Napoleone et al.; 2018) e a compartimentação das funções operacionais em unidades operacionais podem ser reajustadas entre para otimizar a configuração do sistema (Maganha et al., 2018).
- *Integrability*, que significa que todos os componentes são projetados para que seja possível integrar novas tecnologias (Napoleone et al.; 2018).
- *Diagnosability*, que permite a rápida identificação de problemas de qualidade e fiabilidade e permite a rápida correção de problemas operacionais (Napoleone et al.; 2018).
- *Scalability*, que permite mudanças incrementais de capacidade de forma rápida e económica (Napoleone et al.; 2018) através da adição ou remoção de recursos ou alterando os componentes do sistema (Maganha et al., 2018).

- *Convertability*, que permite a rápida mudança entre diferentes produtos já existentes e a rápida adaptação do sistema à produção de novos produtos (Napoleone et al.; 2018) e permite que o sistema tenha a capacidade de transformar as funcionalidades existentes dos diversos componentes do sistema a novos requisitos de produção (Maganha et al., 2018).
- *Customization*, que pode ser analisada de duas perspectivas: (1) *customized control*, obtida através da integração de módulos de controlo que facultam todas as funções de controlo necessárias e (2) *customized flexibility*, em que as máquinas utilizadas são projetadas com base nas diferentes partes da família de produtos de forma a haver flexibilidade na produção dessas partes específicas (Maganha et al., 2018).

A caracterização da RMS é um fator chave para a sua avaliação, de forma a desenvolver a escala mais indicada para tal. Esta necessidade nasce devido à elevada variedade de produtos, às grandes flutuações do mercado e à variabilidade da procura.

4.2. Do desenvolvimento da escala à recolha de dados

O conjunto de dados a ser analisado foi recolhido após o desenvolvimento de um questionário, de uma escala, que respeitou as diferentes etapas necessárias ao processo de desenvolvimento de escalas. Estas serão abordadas de seguida.

4.2.1. Geração da *pool* inicial de itens e respetiva análise

A geração dos primeiros itens foi baseada numa pesquisa bibliográfica aprofundada sobre o tema, o que levou à distinção de 6 características distintas da RMS (6 variáveis latentes ou dimensões) e ao desenvolvimento dos diferentes itens para cada. A partir desse momento seguiu-se para a análise qualitativa dos itens gerados através de *expert groups*.

Estes itens foram expostos a um painel de 2 membros, *academic experts*, com elevada experiencia em engenharia e gestão industrial e com elevado conhecimento acerca das empresas de manufatura portuguesas e a um comité científico especializado nesta matéria para rever o questionário de forma crítica de forma a fazerem sugestões de melhoria para a melhoria do questionário. Após esta recolha de comentários e possíveis melhorias a

implementar, o questionário resultante das etapas anteriores (ANEXO A) foi apresentado a um grupo de 8 académicos e gestores que contribuíram para a clareza das questões e também para a estratégia de abordagem na recolha de respostas ao questionário. A escala de resposta selecionada foi uma escala de Likert de sete pontos.

Embora não tivesse sido feita uma análise quantitativa através do CVR, as diferentes fases de consulta com *expert groups* tornam os resultados finais fiáveis.

4.2.2. Testes piloto e a recolha de dados

O objetivo deste questionário, relativamente ao número de entidades que iriam responder, eram 600 empresas selecionadas de uma lista inicial de 11000 organizações. Após a receção das respostas e da análise das mesmas obtiveram-se 112 completas e úteis para análise, ou seja, conseguiu-se uma taxa de resposta de 18,7%. O questionário incluía também perguntas de forma a caracterizar as empresas que responderam quando à dimensão, tipo de produção e layout e caracterização da cadeia de abastecimento onde se inseriam.

A caracterização das empresas é fundamental para retirar conclusões deste estudo de forma consciente e fundamentada para a gestão estratégica e operacional das empresas.

4.2.3. Validação da escala

De forma a chegar à versão final da escala, foi verificada a unidimensionalidade e a fiabilidade da escala através do cálculo do α de Cronbach. Apesar dos resultados serem favoráveis, foi efetuada uma análise fatorial exploratória para verificar a validade dos construtos que levou a uma alteração da escala final. Enquanto que na primeira versão foram consideradas seis variáveis latentes, na versão final da escala ficaram contempladas cinco, uma vez que as características *scalability* e *convertability* se uniram numa só – *adaptability*. Além destas alterações, houve itens eliminados devido aos maus resultados dos *factor loding of itens*.

Não foi verificada a validade convergente e divergente e a priorização dos construtos não foi contemplada neste estudo.

4.3. Verificação e análise dos dados recolhidos

De forma a aplicar a proposta efetuada a este caso, será feita uma nova análise, a título confirmatório e exploratório, dos dados, com o auxílio do software SPSS.

A forma de testar a validade dos dados recolhidos será calculando os diferentes parâmetros da proposta apresentada (Tabela 3) na etapa (7) validação da escala – unidimensionalidade (α de Cronbach, GFI), confiabilidade (α de Cronbach, CFI, TLI, RMSEA), validade convergente e discriminante (AVE). Além destes fatores, devem ser tidos em conta outros que influenciem diretamente o ajustamento do modelo como: (1) os valores das correlações entre as variáveis latentes, (2) os *factor loading scores*, (3) as comunalidades (*communalities*), entre outros. As comunalidades representam a intensidade com que um item se correlaciona com todos os outros itens e, quando esses valores são baixos, entre 0,00 e 0,40, significa que essa variável pode exercer uma elevada influência sobre outra variável específica, o que desequilibra o modelo.

É importante efetuar uma análise aos dados primeiramente, considerando a proposta inicial da escala (hipótese 1 - ANEXO B) contemplando as 6 variáveis latentes e todos os itens gerados inicialmente e, em de seguida, considerando a proposta final que contempla 5 dimensões e elimina alguns itens da escala anterior (hipótese 2- ANEXO C).

É também de salientar que, ao efetuar uma alteração na escala inicialmente proposta, a forma correta de a reavaliar é através de uma nova recolha de dados, procedendo de forma iterativa (Marôco, 2014). Uma vez que a recolha dos dados não fez parte deste trabalho, a hipótese 2 será analisada com base nos dados recolhidos segundo a escala inicial, ou seja, segundo a hipótese 1.

4.3.1. Análise da hipótese 1

A primeira fase da análise dos dados é efetuar uma análise fatorial confirmatória (*Confirmatory Factor Analysis*, CFA) com o auxílio do SPSS AMOS. Após desenhar o modelo da escala (Figura 6 Imagem do modelo criado com o auxílio do SPSS, representativo da hipótese 1Figura 6) e de obter os resultados da CFA é necessário proceder ao tratamento dos mesmos.

Observando as correlações entre as seis variáveis latentes, é possível verificar que as dimensões *Convertability* e *Scalability* são as que apresentam o valor mais elevado

(0,59) o que pode indicar a necessidade de uma alteração relativamente às dimensões pensadas e obtidas para a reconfigurabilidade, admitindo a possibilidade destas duas variáveis latentes constituírem apenas uma. Analisando também os índices CFI, GFI e TLI, estes encontram-se abaixo de 0,8, o que indica um ajustamento mau. O índice RMSEA deve

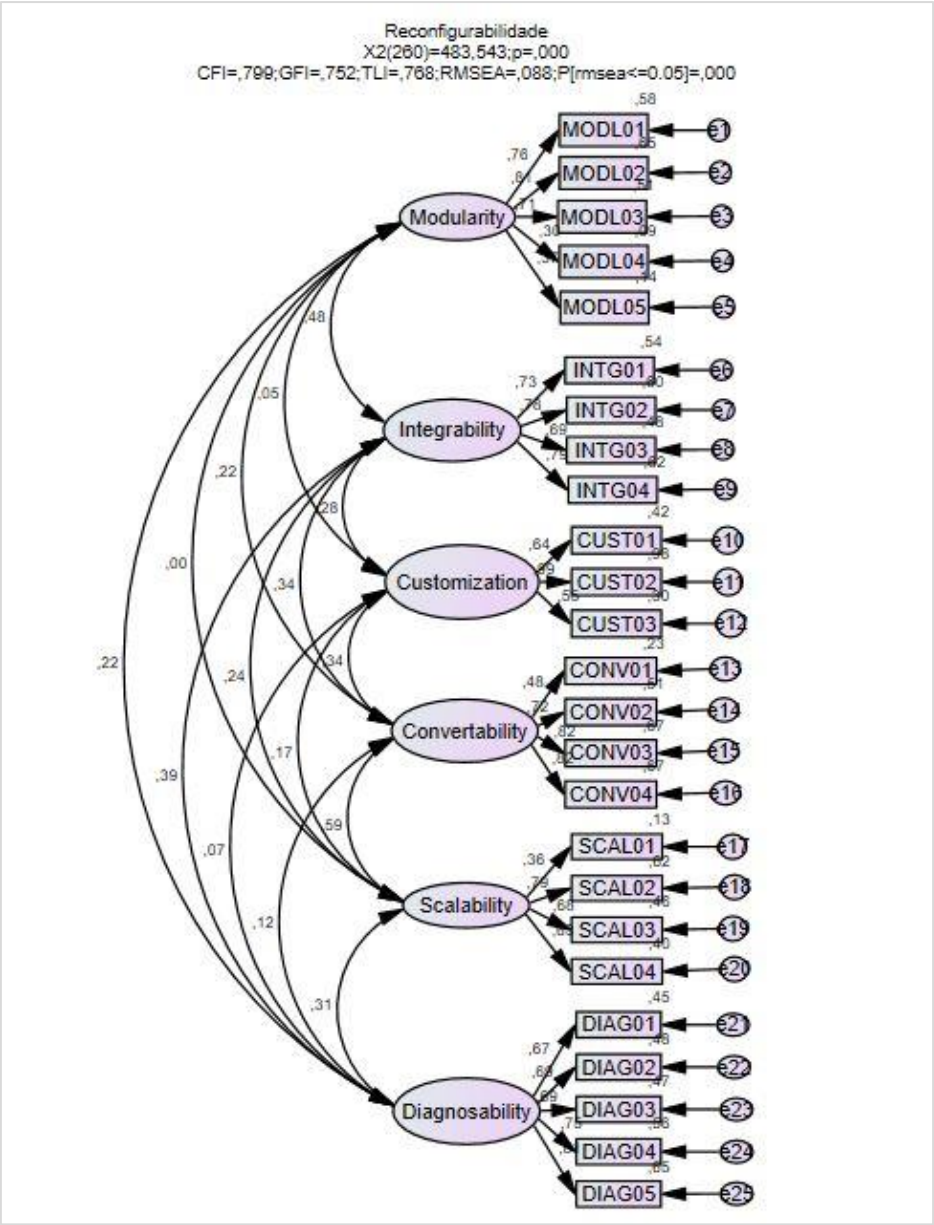

Figura 6 Imagem do modelo criado com o auxílio do SPSS, representativo da hipótese 1

assumir um valor máximo de 0.10, o que se verifica.

Calculando ainda os valores da AVE e das CR, obtidos através do tratamento dos dados em MS Excel resultantes da CFA (Tabela 7), confirma-se que este modelo tem algumas lacunas que prejudicam o seu ajustamento e que impedem a validação desta escala,

nomeadamente, o facto de existirem variáveis com valores da AVE inferior a 0,50 o que indica que não garante a validade convergente.

Tabela 7 Valores resultantes das CR, AVE e correlações com os valores de AVE^2 na diagonal quanto à hipótese 1

	CR	AVE	Fatores de correlação e valores de AVE^2 na diagonal					
			Convert	Modular	Integrab	Custom	Scalab	Diagnosab
Convertability	0,807	0,520	**0,721**					
Modularity	0,742	0,394	0,224	**0,627**				
Integrability	0,836	0,560	0,343	0,483	**0,749**			
Customization	0,783	0,563	0,343	0,045	0,284	**0,750**		
Scalability	0,718	0,404	0,585	-0,002	0,243	0,173	**0,635**	
Diagnosability	0,845	0,523	0,120	0,215	0,389	0,068	0,310	**0,723**

Uma vez que não se verifica a consistência e a validade do modelo através da CFA, o próximo passo é efetuar uma EFA, com o auxílio do software SPSS STATISTICS. Este passo tem por objetivo obter informações estatísticas que permitam implementar alterações à escala inicial para que possa ser validada.

Após a EFA concluída, um dos parâmetros a analisar é o α de Cronbach (Tabela 8), que assume um valor bom, superior a 0,7 o que não invalida a necessidade de implementar alterações, uma vez que os resultados da CFA indicam que a validade da escala não foi comprovada.

Tabela 8. Valor de α de Cronbach para a hipótese 1

Estatísticas de confiabilidade	
Alfa de Cronbach	N de itens
,853	25

Observando na Tabela 9 os valores das comunalidades resultantes da EFA segundo a hipótese 1, é visível que existem algumas variáveis com valores inferiores a 0,40 o que indica que estes itens deverão ser analisados numa perspetiva de os eliminar da escala após analisar a matriz padrão com os *factor loading of items*. As alterações reais implementadas na investigação consistiram em: (1) unir as variáveis *Convertability* e *Scalability*, transformando-as numa só (*Adaptability*) e (2) eliminar 3 dos 4 itens

identificados na Tabela 9, com os valores das comunalidades indesejados (MODL04, MODL05 e SCAL01).

Tabela 9 Valores das Comunalidades relativamente à hipótese 1

	Comunalidades	
	Inicial	Extração
MODL01	,633	,657
MODL02	,623	,617
MODL03	,568	,596
MODL04	,296	,295
MODL05	,419	,343
INTG01	,634	,612
INTG02	,667	,758
INTG03	,576	,511
INTG04	,653	,644
CUST01	,549	,469
CUST02	,656	,894
CUST03	,597	,512
CONV01	,439	,347
CONV02	,612	,580
CONV03	,647	,568
CONV04	,690	,594
SCAL01	,400	,366
SCAL02	,626	,467
SCAL03	,590	,465
SCAL04	,461	,495
DIAG01	,566	,501
DIAG02	,604	,677
DIAG03	,547	,494
DIAG04	,577	,561
DIAG05	,658	,712

Desta forma, após verificar que a escala proposta inicialmente (hipótese 1) necessitou de alguns ajustamentos devido aos maus resultados em cada etapa da validação, será analisada a hipótese 2. Esta já contém as alterações mencionadas e é a proposta final para a escala de medição da RMS, segundo a investigação.

4.3.2. Análise da hipótese 2

A hipótese 2 contém, como mencionado anteriormente, 5 variáveis latentes e 22 itens (ao contrário dos 25 iniciais). O modelo criado para a CFA (Figura 7) confirma que as alterações implementadas estão em conformidade, quando comparadas com os resultados da análise à hipótese 1.

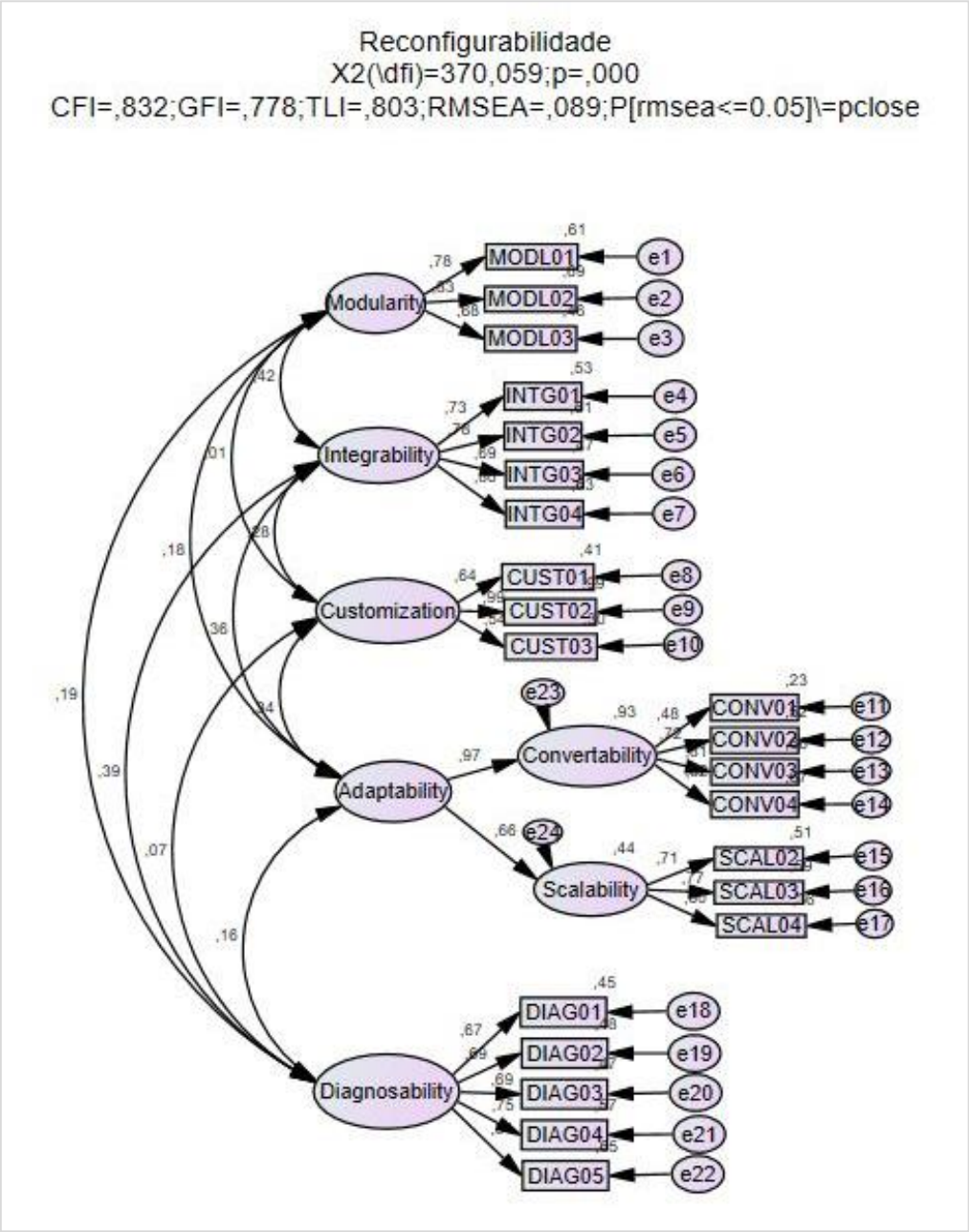

Figura 7 Imagem do modelo criado com o auxílio do SPSS, representativo da hipótese 2

No modelo da hipótese 2, pode observar-se que os fatores de correlação entre as 5 variáveis latentes não são substancialmente elevados, o que indica consistência no modelo estatístico. Os índices CFI, TLI e RMSEA indicam um bom ajustamento do modelo à

exceção do GFI que, por se encontrar abaixo de 0,80, pode indiciar que este é um modelo com mau ajustamento. Ainda assim, é necessário verificar os restantes fatores influenciadores dos resultados.

Os valores das AVE e das CR são também favoráveis, sendo verificada a validade convergente e a validade discriminante da escala. Os valores da tabela de correlações com o quadrado da AVE na diagonal também está em conformidade (Tabela 10), pelo que é verificada a validade convergente e discriminante da escala.

Tabela 10 Valores resultantes das CR, AVE e correlações com os valores de AVE^2 na diagonal quanto à hipótese 2

	CR	AVE	Fatores de correlação e valores de AVE^2 na diagonal				
			Adapt	Modular	Integr	Custom	Diagnos
Adaptability	0,808	0,685	**0,828**				
Modularity	0,811	0,591	0,184	**0,769**			
Integrability	0,835	0,560	0,361	0,421	**0,748**		
Customization	0,784	0,564	0,344	0,014	0,279	**0,751**	
Diagnosability	0,845	0,524	0,162	0,188	0,391	0,067	**0,724**

Apesar de ter sido encontrado apenas um parâmetro que indica mau ajustamento (o valor de GFI), é importante proceder à EFA, para perceber se haveria mais alguma alteração a implementar à escala no sentido de propor uma possível melhoria.

O valor do α de Cronbach é favorável (Tabela 11). Apesar deste valor ser favorável, os valores das comunalidades (Tabela 12) também devem ser analisados pois, existem ainda algumas variáveis com valores extraídos inferiores a 0,40 – CONV01 e a SCAL04. De forma a perceber o comportamento destas variáveis, deve analisar-se também a matriz padrão resultante da EFA (Tabela 13) que contem os *factor loading of items* e o número de variáveis latentes extraídas do modelo.

Tabela 11 Valor de α de Cronbach para a hipótese 2

Estatísticas de confiabilidade	
Alfa de Cronbach	N de itens
, 848	22

Tabela 12 Valores das Comunalidades relativamente à hipótese 2

Comunalidades		
	Inicial	Extração
MODL01	,580	,606
MODL02	,609	,665
MODL03	,564	,580
INTG01	,625	,577
INTG02	,625	,732
INTG03	,567	,517
INTG04	,647	,642
CUST01	,531	,402
CUST02	,654	,978
CUST03	,592	,508
CONV01	,420	,304
CONV02	,602	,578
CONV03	,636	,571
CONV04	,660	,582
SCAL02	,570	,422
SCAL03	,576	,466
SCAL04	,412	,328
DIAG01	,545	,466
DIAG02	,564	,584
DIAG03	,543	,472
DIAG04	,571	,550
DIAG05	,652	,675

Uma vez que as variáveis CONV01 e SCAL04 assumem *factor loading of items* superiores a 0,4 na matriz padrão, não é necessário eliminá-los da escala (Maganha et al., 2018) mas é importante observar a distribuição dos itens pelas variáveis latentes. Neste caso, a distribuição dos itens pelas variáveis latentes corresponde à proposta na hipótese 2 (Tabela 13), à exceção da variável CUST03. Embora esta variável assuma um *factor loading* superior a 0,4 para o fator 3 (*Integrability*), a proposta correspondente à hipótese 2 mantém-na associada ao fator 5 (*Customization*), juntamente com as variáveis CUST01 e CUST02. Esta pode ser uma oportunidade para efetuar mais uma alteração no sentido de obter uma melhoria no ajustamento estatístico do modelo.

Tabela 13 Matriz padrão resultante da EFA que contem os *factor loading of items* e o número de variáveis latentes extraídas do modelo (5 fatores).

Matriz de padrão[a]					
	Fator				
	1 Adapt	**2 Diagnos**	**3 Integr**	**4 Modul**	**5 Custom**
MODL01				,800	
MODL02				,837	
MODL03			,247	,649	
INTG01			,612	,270	
INTG02			,945		
INTG03			,553		
INTG04			,795		
CUST01					,627
CUST02					,994
CUST03			,470		,384
CONV01	,423		,218		
CONV02	,772				
CONV03	,695				
CONV04	,687				,217
SCAL02	,572			-,310	
SCAL03	,667				
SCAL04	,560				
DIAG01		,661			
DIAG02		,704			
DIAG03		,682			
DIAG04		,724			
DIAG05		,796			

Outra informação a confirmar pela matriz padrão, é o número de fatores (variáveis latentes) a serem extraídos através dos dados recolhidos. Neste caso são mencionados 5 fatores na tabela padrão, o que está em conformidade com a união da *Convertability* e da *Scalability*.

Em suma, relativamente a esta hipótese, há duas questões que não estão totalmente em conformidade sendo elas o valor do índice GFI e a alocação da variável CUST03 ao fator 5 (*Customization*), como mencionado anteriormente. Estas constatações podem estar relacionadas, pelo que poderia ser uma nova hipótese a testar de forma a melhorar o modelo.

4.3.3. A priorização dos construtos

Após os diferentes cálculos para verificar a validação da escala, é importante calcular os valores necessários para a priorização dos construtos. Para tal será utilizado o método de Punniyamoorthy et al. (2013) através do cálculo das *Latent Variable Scores*.

Numa primeira fase e, com o auxílio do software SPSS AMOS, foi desenhado um novo modelo, com as 5 variáveis latentes presentes na hipótese 2, mas sem fatores de segunda ordem, ou seja, mantendo apenas a variável latente *Adaptability* (Figura 8). A partir deste modelo, serão calculadas as pontuações (*factor scores*) correspondentes às 5 variáveis latentes, para cada conjunto de respostas (112).

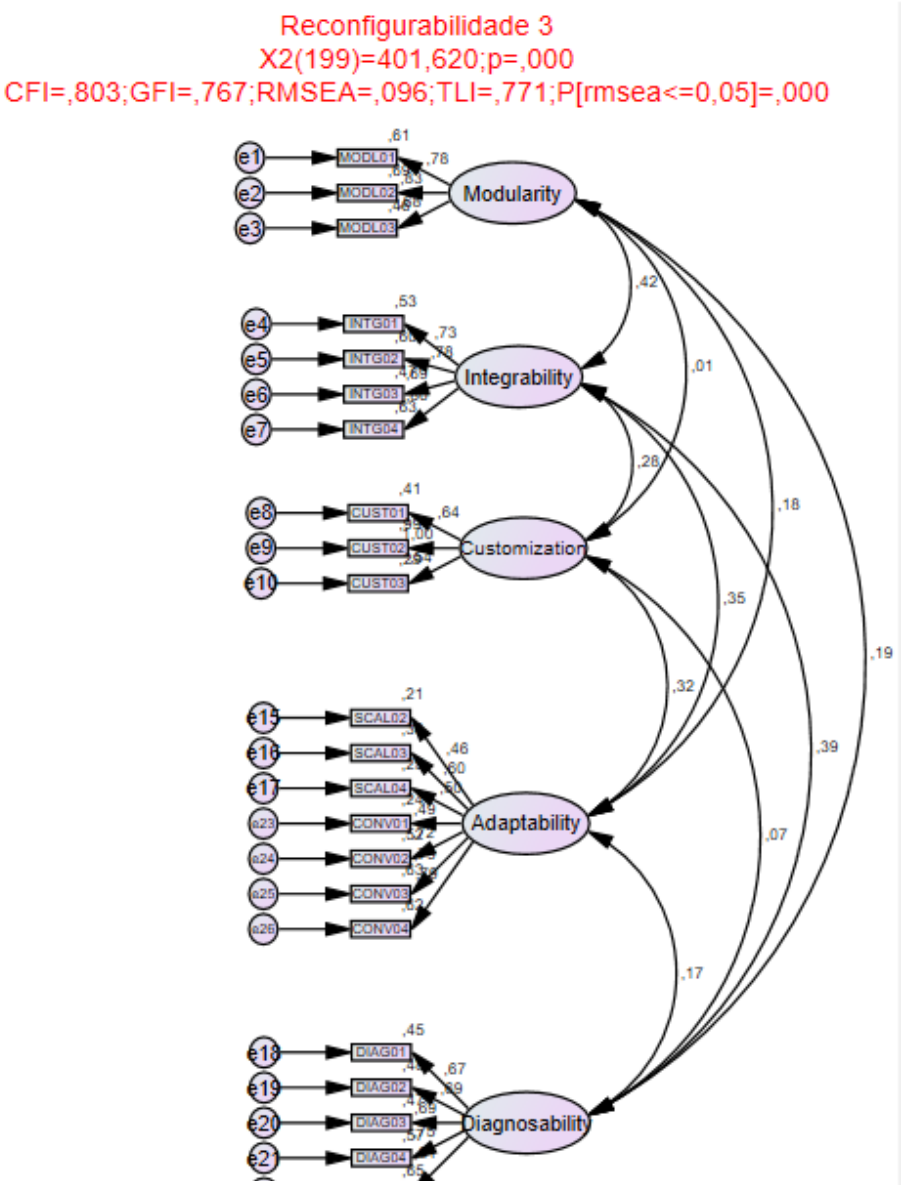

Figura 8 Imagem do modelo criado com o auxílio do SPSS, representativo do modelo de ordem inferior, segundo Punniyamoorthy et al.

Após o cálculo destes valores, foi criado outro modelo onde as variáveis latentes são tidas como as variáveis observadas e, o construto em avaliação (a reconfigurabilidade) é considerado a nova variável latente, não observada. (Figura 9). A partir deste modelo, aplicando a cada um dos 5 novos itens os respetivos factor scores obtidos anteriormente, é possível calcular, então, os *factor score weights* de cada dimensão (Tabela 14).

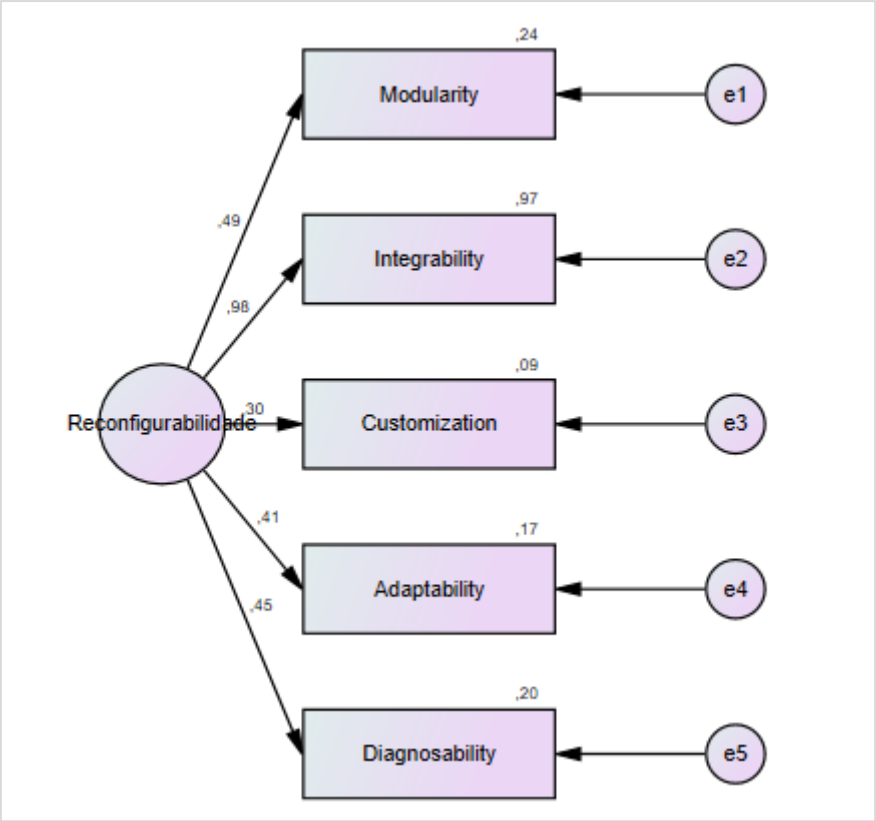

Figura 9 Imagem do modelo criado com o auxílio do SPSS, representativo do modelo de ordem superior, segundo Punniyamoorthy et al.

Tabela 14 Valores dos *Factor Score Weights* por cada dimensão

	Diagnosability	Adaptability	Customization	Integrability	Modularity
Reconfigurabilidade	,009	,016	,007	,565	,010

Embora estes valores (Tabela 14) não representem o peso relativo de cada fator para o cálculo do índice de reconfigurabilidade, eles demonstram a influência que cada dimensão tem sobre o construto. Por exemplo, quando o índice de reconfigurabilidade aumenta a sua pontuação em 1 valor, a dimensão *diagnosability* aumenta em 0,009 unidades.

Assim, é possível observar que a dimensão *Integrability* é a que mais influencia e é influenciada pela RMS, uma vez que apresenta o maior *factor score weight*.

Após estas constatações, de acordo com os dados recolhidos através da escala desenvolvida, a dimensão *Integrability* é a que necessita de maior atenção na gestão das operações e na tomada de decisão "no terreno".

Com o auxílio do software SPSS e após o desenvolvimento do modelo representado na Figura 9, foi possível efetuar o *input* das pontuações da reconfigurabilidade no ficheiro dos dados, onde estavam já representados os *scores* de cada uma das dimensões. Desta forma foi possível calcular e analisar os fatores de correlação de Pearson entre cada uma das dimensões e o construto em avaliação.

Os coeficientes de correlação de Pearson representam a "linha" que melhor acompanha o comportamento de duas variáveis. Este valor situa-se entre -1 e 1, estando representado o seu significado na Figura 10. Quando o coeficiente assume o valor zero, este indica que não existe associação entre as duas variáveis ("Pearson Product-Moment Correlation" n.d.).

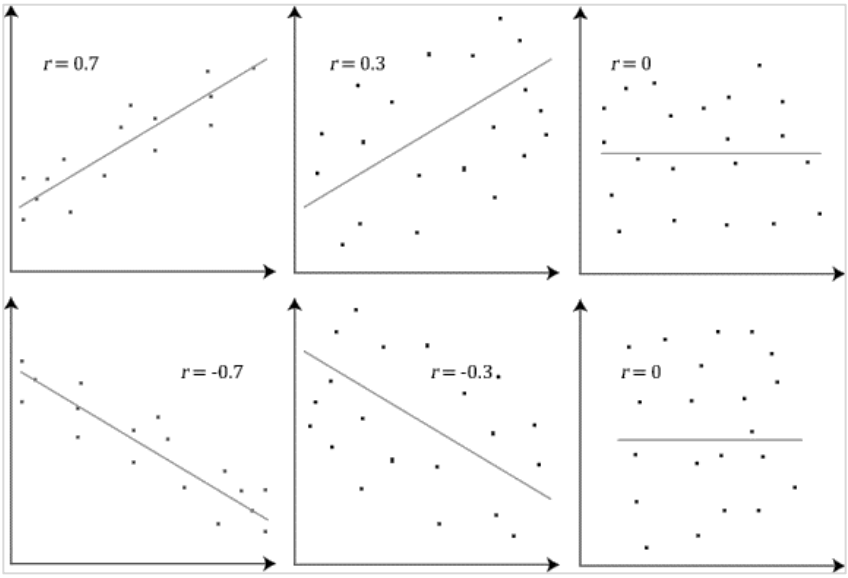

Figura 10. Representação do comportamento dos fatores de correlação de Pearson consoante a distribuição dos dados analisados. Fonte: ("Pearson Product-Moment Correlation" n.d.).

Estes resultados confirmam as conclusões acerca dos *factor score weights*, ou seja, a dimensão que mais se correlaciona significativamente com a reconfigurabilidade é a *integrability*, apesar de todas as dimensões se correlacionarem significativamente com a o construto sob avaliação

Uma vez que os dados recolhidos envolvem respostas de diferentes tipos de organizações, é importante tentar fazer um paralelismo entre os resultados obtidos e as diferentes características das organizações.

4.3.4. Análise das correlações entre as dimensões e algumas características das empresas

Entre as 112 respostas válidas analisadas, é necessário perceber que tipos de empresas estão presentes e que tipo de conclusões podem ser extrapoladas para o dia a dia da gestão de operações, a partir destas informações, em parceria com os valores da reconfigurabilidade. Para tal, é necessário perceber que informações presentes no questionário estão disponíveis acerca de cada organização (ANEXO A), sendo analisadas as correlações entre as diferentes dimensões da reconfigurabilidade e (1) o número de funcionários da empresa – "Nº Colaboradores", (2) os níveis de variabilidade na procura – "SPCM01", (3) a variabilidade no volume de manufatura – "SPCM02", (4) o momento da customização dos produtos – "PROD" e (4) as diferentes configurações de layout – "CONF". Para tal, foram calculados os coeficientes de correlação de Pearson, com o auxílio do software SPSS Statistics (Tabela 15).

Através da análise da Tabela 15, comparando as cinco variáveis latentes com as variáveis representativas das características das empresas, apenas há um valor de correlação significativo, sendo este entre a *Modularity* e a configuração de *layout* ("CONF"). Para analisar este resultado é necessário relembrar as respostas acerca da configuração de layout das empresas: (1) *Process layout*, (2) *Product layout* e (3) *Cellular layout*. Uma vez que a *modularity* representa o nível a que o sistema é modular, com as funções organizacionais estruturadas em unidades operacionais e, uma vez que o valor máximo de resposta quanto à configuração de *layout* corresponde a um layout celular, este fator de correlação faz sentido. Deste modo, uma forma de aumentar o índice da dimensão *modularity* é repensar a configuração de layout dos processos/operações produtivas, tendo em conta as diferentes funções operacionais

Correlações

		N° colaboradores	SPCM01	SPCM02	PROD	CONF	Diagnosability	Adaptability	Customization	Integrability	Modularity
N°colaboradores	Correlação de Pearson	1	,039	-,056	,026	,166	,068	-,030	,084	,149	,111
	Sig. (2 extremidades)		,681	,559	,786	,080	,473	,752	,381	,117	,242
	N	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112
SPCM01	Correlação de Pearson	,039	1	,728**	,005	,067	,077	-,031	-,072	,130	,091
	Sig. (2 extremidades)	,681		,000	,961	,482	,423	,742	,449	,171	,343
	N	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112
SPCM02	Correlação de Pearson	-,056	,728**	1	,035	,008	,114	,040	-,131	,069	,105
	Sig. (2 extremidades)	,559	,000		,716	,934	,233	,676	,169	,468	,273
	N	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112
PROD	Correlação de Pearson	,026	,005	,035	1	,162	-,041	,108	,041	,115	,105
	Sig. (2 extremidades)	,786	,961	,716		,087	,667	,257	,665	,226	,272
	N	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112
CONF	Correlação de Pearson	,166	,067	,008	,162	1	-,002	-,071	-,069	,085	,202*
	Sig. (2 extremidades)	,080	,482	,934	,087		,982	,455	,472	,375	,033
	N	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112
Diagnosability	Correlação de Pearson	,068	,077	,114	-,041	-,002	1	,201*	,071	,446**	,221*
	Sig. (2 extremidades)	,473	,423	,233	,667	,982		,034	,459	,000	,019
	N	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112
Adaptability	Correlação de Pearson	-,030	-,031	,040	,108	-,071	,201*	1	,349**	,405**	,206*
	Sig. (2 extremidades)	,752	,742	,676	,257	,455	,034		,000	,000	,029
	N	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112
Customization	Correlação de Pearson	,084	-,072	-,131	,041	-,069	,071	,349**	1	,300**	,015
	Sig. (2 extremidades)	,381	,449	,169	,665	,472	,459	,000		,001	,873
	N	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112
Integrability	Correlação de Pearson	,149	,130	,069	,115	,085	,446**	,405**	,300**	1	,485**
	Sig. (2 extremidades)	,117	,171	,468	,226	,375	,000	,000	,001		,000
	N	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112
Modularity	Correlação de Pearson	,111	,091	,105	,105	,202*	,221*	,206*	,015	,485**	1
	Sig. (2 extremidades)	,242	,343	,273	,272	,033	,019	,029	,873	,000	
	N	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112

**. A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).

*. A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades).

Tabela 15. Fatores de correlação de Pearson entre as 5 dimensões e algumas características das empresas

Analisando os fatores de correlação entre as características das empresas mencionadas acima e a reconfigurabilidade (Tabela 16), não é possível dizer que há correlação entre significativa entre estas, pelo que, é necessário estudar cada caso, de forma a criar estratégias a implementar no terreno.

Tabela 16. Fatores de correlação de Pearson entre a reconfigurabilidade e algumas características das empresas

		Reconfigu-rabilidade	**N°colabo-radores**	**SPCM01**	**SPCM02**	**PROD**	**CONF**
Reconfigu rabilidade	Correlação de Pearson	1	,149	,129	,071	,116	,085
	Sig. (2 extremidades)		,118	,176	,459	,225	,375
	N	112	112	112	112	112	112

****. A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).**

Todas estas análises têm por objetivo conseguir extrapolar o máximo de informação para a gestão de operações, neste caso, relativamente à reconfigurabilidade de uma organização. Uma vez que existem empresas muito distintas a responder a esta escala, torna-se difícil encontrar valores que sustentem afirmações generalizadas acerca da influência que alguns aspetos têm sobre o construto a avaliar. Deste modo, seria interessante selecionar um nicho de organizações com algumas características em comum para testar novamente esta escala com o objetivo de observar o comportamento das diferentes variáveis e das diferentes dimensões do construto em circunstâncias semelhantes.

5. CONCLUSÕES

O trabalho apresentado no presente documento permite concluir que o desenvolvimento e a validação de escalas é uma ferramenta em crescimento na área da gestão de operações e que pode, efetivamente, marcar presença no dia-a-dia, através da implementação de estratégias pertinentes de acordo com os resultados dos estudos. Recordando o objetivo com que se iniciou este trabalho, foi apresentada uma proposta com os procedimentos e ferramentas a utilizar e, a aplicação prática dessa mesma proposta na avaliação da reconfigurabilidade demonstrou a sua versatilidade perante o contexto da situação em estudo.

Relativamente a esta ferramenta, a grande dificuldade prende-se na necessidade de existir disponibilidade por parte dos inquiridos para responder à escala desenvolvida, para que esta possa ser validada e analisada. As taxas de resposta são muito baixas e esse fator pode influenciar os resultados pretendidos pelo facto de, por exemplo, não ser possível restringir os *respondents* a número reduzido de elementos para que se encontrem nas mesmas circunstâncias em relação ao construto em avaliação. Este pode ser um dos desafios da aplicação desta ferramenta à avaliação de um construto, num contexto concreto, de modo a ser possível extrapolar algumas conclusões e, consequentemente, algumas estratégias a aplicar no terreno da gestão de operações de uma forma devidamente fundamentada e sustentada.

A existência de softwares de apoio aos cálculos estatísticos são também uma mais valia na aplicação desta ferramenta. Desta forma, o processo torna-se mais célere e fiável pela redução do erro humano nos cálculos dos parâmetros necessários.

Este foi, portanto, um trabalho desenvolvido em ambiente teórico, de investigação, mas, os seus *outputs* podem ser aplicados em situações reais. Assim, o resultado final torna-se num contributo positivo para o conhecimento e exploração do método do desenvolvimento e validação de escalas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ambulkar, S., Blackhurst, J., & Grawe, S. (2015). Firm's resilience to supply chain disruptions: Scale development and empirical examination. *Journal of Operations Management*, *33–34*, 111–122.

Boon-itt, S., Wong, C. Y., & Wong, C. W. Y. (2017). Service supply chain management process capabilities: Measurement development. *International Journal of Production Economics*, *193*(May 2016), 1–11.

Churchill, G. A. (1979). A Paradim for Developing Better Measures of for Constructs. *Journal of Marketing Research*, *16*(1), 64–73.

Gandhi, S. K., Sachdeva, A., & Gupta, A. (2018). Developing a Scale to Assure Service Quality to Suppliers Working with Indian Small and Medium Manufacturing Enterprises. *IUP Journal of Operations Management*, *17*(1), 7–33.

Gawankar, S., Kamble, S., & Raut, R. (2016). Development, measurement and validation of supply chain performance measurement (SCPM) scale in Indian retail sector. *Benchmarking*.

Hazen, B. T., Boone, C. A., Wang, Y., & Khor, K. S. (2016). Perceived quality of remanufactured products: construct and measure development. *Journal of Cleaner Production*, *142*, 716–726.

Hensley, R. L. (1999). A review of operations management studies using scale development techniques. *Journal of Operations Management*, *17*(3), 343–358.

Kumar, G., & Banerjee, R. N. (2014). Supply chain collaboration index: An instrument to measure the depth of collaboration.

Lavastre, O., Ageron, B., Chaze-Magnan, L., & Spalanzani, A. (2014). Innovative Supply Chain Practices (ISCP) in Supply Chain Management: Development and Validation of a Measurement Scale. *M@n@gement*, *17*(4), 263–298.

Lawshe, C. H. (1975). A quantitative approach to content validity. *Personnel Psychology*, *28*(4), 563–575.

li, X., Goldsby, T. J., & Holsapple, C. W. (2009). Supply chain agility: Scale development. *The International Journal of Logistics Management*, *20*(3), 408–424.

Lu, R. X. A., Lee, P. K. C., & Cheng, T. C. E. (2012). Socially responsible supplier development: Construct development and measurement validation. *International Journal of Production Economics*, *140*(1), 160–167.

Maganha, I., Silva, C., & Ferreira, L. M. D. F. (2018). Understanding reconfigurability of manufacturing systems: An empirical analysis. *Journal of Manufacturing Systems*, *48*, 120–130.

Marôco, J. (2014). *Análise de equações estruturais* (2ª).

Moon, K. K. L., Yi, C. Y., & Ngai, E. W. T. (2012). An instrument for measuring supply chain flexibility for the textile and clothing companies. *European Journal of Operational Research*, *222*(2), 191–203.

Napoleone, A., Pozzetti, A., & Macchi, M. (2018). A framework to manage reconfigurability in manufacturing. *International Journal of Production Research*, *56*(11), 3815–3837.

Pearson Product-Moment Correlation. (n.d.). Retrieved August 22, 2018, from https://statistics.laerd.com/statistical-guides/pearson-correlation-coefficient-statistical-guide.php

Punniyamoorthy, M., Thamaraiselvan, N., & Manikandan, L. (2013). Assessment of supply chain risk: Scale development and validation. *Benchmarking*, *20*(1), 79–105.

Rota, C., Pugliese, P., Hashem, S., & Zanasi, C. (2018). Assessing the level of collaboration in the Egyptian organic and fair trade cotton chain. *Journal of Cleaner Production*, *170*, 1665–1676.

Saghiri, S. (2011). A structural approach to assessing postponement strategies: Construct development and validation. *International Journal of Production Research*, *49*(21), 6427–6450.

Sahu, A. K., Datta, S., & Mahapatra, S. S. (2017). Evaluation of performance index in resilient supply chain: a fuzzy-based approach. *Benchmarking*, *24*(1), 118–142.

Samvedi, A., Jain, V., & Chan, F. T. S. (2013). Quantifying risks in a supply chain through integration of fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS. *International Journal of Production Research*, *51*(8), 2433–2442.

Suhr, D. (2006). Exploratory or confirmatory factor analysis? *Statistics and Data Analysis*, 1–17.

Zeng, J., An, M., & Smith, N. J. (2007). Application of a fuzzy based decision making methodology to construction project risk assessment. *International Journal of Project Management*, *25*(6), 589–600.

ANEXO A

QUESTIONÁRIO RECONFIGURABILIDADE

Company's name:
Country:
Year of foundation:
Number of employees:
Your job title:
Select the industry type that best describes your company's activities:

Section A

From now on, please always refer to the dominant activity, i.e., which best represents your plant.

A1. How would you describe the complexity of the dominant activity?

Modular product design[1]	1	2	3	4	5	6	7	Integrated product design[2]
Very few parts/materials, one-line bill of material	1	2	3	4	5	6	7	Many parts/materials, complex bill of material
Very few steps/operations required	1	2	3	4	5	6	7	Many steps/operations required

[1]The modular design describes a product made up of standardized and independent components that can be combined in various ways to create different products.

[2]The integrated design describes a product composed of connected and dependent components, which must be adjusted to change the functionalities of this product.

A2. To what extent do you agree with the following statements?

	Strongly disagree	Disagree	Somewhat disagree	Neither agree or disagree	Somewhat agree	Agree	Strongly agree
Your demand fluctuates drastically from week to week	1	2	3	4	5	6	7
Your total manufacturing volume fluctuates drastically from week to week	1	2	3	4	5	6	7
The mix of products you produce changes considerably from week to week	1	2	3	4	5	6	7
Your supply requirements (volume and mix) vary drastically from week to week	1	2	3	4	5	6	7
Your products are characterized by a lot of technical modifications	1	2	3	4	5	6	7
Your suppliers frequently need to carry out modifications to the parts/components they deliver to your plant	1	2	3	4	5	6	7

A3. Select the statement that best fits your production system.

- ☐ The products are dispatched immediately after receiving the customer's order
- ☐ The assembly operations only take place after receiving the customer's order
- ☐ The manufacturing operations only start after receiving the customer's order
- ☐ Your products are designed and manufactured after receiving the customer's order

A4. To what extent do you agree with the following statements?

	Strongly disagree	Disagree	Somewhat disagree	Neither agree or disagree	Somewhat agree	Agree	Strongly agree
We can say that our layout configuration changes several times a year	1	2	3	4	5	6	7

A5. How important do you consider the following criteria when you change the layout configuration of your production system?

	Not at all important	Not very important	Somewhat important	Neither important or unimportant	Somewhat important	Very important	Extremely important
Work in process	1	2	3	4	5	6	7
Lead time	1	2	3	4	5	6	7
Throughput	1	2	3	4	5	6	7
Material handling costs	1	2	3	4	5	6	7

A6. How is the layout configuration of your dominant activity characterized?

- ☐ Process layout
- ☐ Product layout
- ☐ Cellular layout

Section B

Remember to answer considering the plant's dominant activity.

B1. To what extent do you agree with the following statements?

	Strongly disagree	Disagree	Somewhat disagree	Neither agree or disagree	Somewhat agree	Agree	Strongly agree
The major equipment of our manufacturing system can be easily added to, or removed from, the shop floor	1	2	3	4	5	6	7
Our equipment is made of several functional modules that can be easily added/removed	1	2	3	4	5	6	7
The major equipment of our manufacturing system can be easily reorganized to obtain an adapted configuration to manufacture new products	1	2	3	4	5	6	7
Our material handling system (between workstations) allows an easy rearrangement of the process flow, by adding/ignoring operations, according to the product to be manufactured*	1	2	3	4	5	6	7
Our manufacturing system is composed by hardware and software modules that can be integrated quickly and reliably*	1	2	3	4	5	6	7

B2. To what extent do you agree with the following statements?

	Strongly disagree	Disagree	Somewhat disagree	Neither agree or disagree	Somewhat agree	Agree	Strongly agree
We can integrate equipment rapidly and precisely by a set of mechanical, informational and control interfaces in our production system	1	2	3	4	5	6	7
Our equipment is operated/coordinated by an integrated control system exploited in an open-architecture environment	1	2	3	4	5	6	7
Our manufacturing system allows an easy integration of new equipment and new technologies	1	2	3	4	5	6	7
Our equipment and our control system were designed with interfaces that facilitate the integration of new components	1	2	3	4	5	6	7

B3. To what extent do you agree with the following statements?

	Strongly disagree	Disagree	Somewhat disagree	Neither agree or disagree	Somewhat agree	Agree	Strongly agree
The location of our equipment on the shop floor was chosen considering the need to produce an entire product family	1	2	3	4	5	6	7
Our manufacturing system's capacity and flexibility (hardware and control system) were designed to match the production needs of a product family	1	2	3	4	5	6	7
Our control system, supported by an open-architecture technology, can be customized to have the exact control functions needed	1	2	3	4	5	6	7

B4. To what extent do you agree with the following statements?

	Strongly disagree	Disagree	Somewhat disagree	Neither agree or disagree	Somewhat agree	Agree	Strongly agree
The capacities of our manufacturing system and of our equipment can be easily transformed to respond to changes in production requirements	1	2	3	4	5	6	7
We can easily stop equipment operation and reconfigure its functions to manufacture a new product type	1	2	3	4	5	6	7
We can change quickly from manufacturing/assembling one product to another, if they are from the same family	1	2	3	4	5	6	7
Our manufacturing system allows an easy switch between existing products and can adapt to new/future products	1	2	3	4	5	6	7

B5. To what extent do you agree with the following statements?

	Strongly disagree	Disagree	Somewhat disagree	Neither agree or disagree	Somewhat agree	Agree	Strongly agree
Our production capacity can be changed by adding/removing equipment or by changing the system's components*	1	2	3	4	5	6	7

	Strongly disagree	Disagree	Somewhat disagree	Neither agree or disagree	Somewhat agree	Agree	Strongly agree
Our manufacturing system can easily respond to unexpected equipment failures	1	2	3	4	5	6	7
We can easily add equipment, at any stage of the production process, without interrupting operations for long periods	1	2	3	4	5	6	7
Our throughput can be changed, in a relatively short time, to respond to demand changes	1	2	3	4	5	6	7

B6. To what extent do you agree with the following statements?

	Strongly disagree	Disagree	Somewhat disagree	Neither agree or disagree	Somewhat agree	Agree	Strongly agree
Our manufacturing system can automatically detect defective products, diagnose their root causes and reset its parameters to restore the initial situation	1	2	3	4	5	6	7
Our manufacturing system includes inspection resources that allow the detection of quality defects in real time	1	2	3	4	5	6	7
Our manufacturing system uses inspection equipment that can be easily reconfigured for use in different stages of the production process	1	2	3	4	5	6	7
In a start-up phase, we can adjust the manufacturing system's parameters, thus reducing the ramp-up time, because we have mechanisms for the quick diagnosis of problems with quality	1	2	3	4	5	6	7
Our manufacturing system can automatically identify the source/cause of failures or problems with quality	1	2	3	4	5	6	7

*Items discarded after the EFA, because the loaded factor not exceeded the generally recommended minimum value of 0,4.

[Remover se necessário para garantir que o próximo Capítulo inicia numa página ímpar]

ANEXO B

Itens – HIPÓTESE 1

Modularity

MODL01 - The major equipment in our manufacturing system can be easily added to, or removed from, the shop floor

MODL02 - Our equipment is made of several functional modules that can be easily added/removed

MODL03 - The major equipment in our manufacturing system can be easily reorganized to obtain an adapted configuration to manufacture new products

MODL04 - Our material handling system (between workstations) allows an easy rearrangement of the process flow, by adding/ignoring operations, according to the product to be manufactured

MODL05 - Our manufacturing system is composed by hardware and software modules that can be integrated quickly and reliably

Integrability

INTG01 - We can integrate equipment rapidly and precisely by a set of mechanical, informational and control interfaces in our production system

INTG02 - Our equipment is operated/coordinated by an integrated control system, exploited in an open-architecture environment

INTG03 - Our manufacturing system allows an easy integration of new equipment and new technologies

INTG04 - Our equipment and our control system were designed with interfaces that facilitate the integration of new components

Customization

CUST01 - The location of our equipment on the shop floor was chosen considering the need to produce an entire product family

CUST02 - Our manufacturing system's capacity and flexibility (hardware and control system) were designed to match the production needs of a product family

CUST03 - Our control system, supported by an open-architecture technology, can be customized to have the exact control functions needed

Convertibility

CONV01 - The capacities of our manufacturing system and of our equipment can be easily transformed to respond to changes in production requirements

CONV02 - We can easily stop an equipment operation and reconfigure its functions to manufacture a new product type

CONV03 - We can change quickly from the manufacturing/assembling one product to another, if they are from the same family

CONV04 - Our manufacturing system allows for an easy switch between existing products and can adapt to new/future products

Scalability

SCAL01 - Our production capacity can be changed by adding/removing equipment or by changing the system's components

SCAL02 - Our manufacturing system can easily respond to unexpected equipment failures

SCAL03 - We can easily add equipment, at any stage of the production process, without interrupting operations for long periods

SCAL04 - Our throughput can be changed to respond to changes in demand in a relatively short time

Diagnosability

DIAG01 - Our manufacturing system can automatically detect defective products, diagnose their root causes and reset its parameters to restore the initial situation

DIAG02 - Our manufacturing system includes inspection resources that allow the detection of quality defects in real time

DIAG03 - Our manufacturing system uses inspection equipment that can be easily reconfigured for use in different stages of the production process

DIAG04 - In a start-up phase, we can adjust the manufacturing system parameters, thus reducing the ramp-up time, because we have mechanisms that allow a quick diagnosis of problems with quality

DIAG05 - Our manufacturing system can automatically identify the source/cause of failures or problems with quality

ANEXO C

Itens – HIPÓTESE 2

Modularity

MODL01 - The major equipment in our manufacturing system can be easily added to, or removed from, the shop floor

MODL02 - Our equipment is made of several functional modules that can be easily added/removed

MODL03 - The major equipment in our manufacturing system can be easily reorganized to obtain an adapted configuration to manufacture new products

Integrability

INTG01 - We can integrate equipment rapidly and precisely by a set of mechanical, informational and control interfaces in our production system

INTG02 - Our equipment is operated/coordinated by an integrated control system, exploited in an open-architecture environment

INTG03 - Our manufacturing system allows an easy integration of new equipment and new technologies

INTG04 - Our equipment and our control system were designed with interfaces that facilitate the integration of new components

Customization

CUST01 - The location of our equipment on the shop floor was chosen considering the need to produce an entire product family

CUST02 - Our manufacturing system's capacity and flexibility (hardware and control system) were designed to match the production needs of a product family

CUST03 - Our control system, supported by an open-architecture technology, can be customized to have the exact control functions needed

Adaptability

CONV01 - The capacities of our manufacturing system and of our equipment can be easily transformed to respond to changes in production requirements

CONV02 - We can easily stop an equipment operation and reconfigure its functions to manufacture a new product type

CONV03 - We can change quickly from the manufacturing/assembling one product to another, if they are from the same family

CONV04 - Our manufacturing system allows for an easy switch between existing products and can adapt to new/future products

SCAL02 - Our manufacturing system can easily respond to unexpected equipment failures

SCAL03 - We can easily add equipment, at any stage of the production process, without interrupting operations for long periods

SCAL04 - Our throughput can be changed to respond to changes in demand in a relatively short time

Diagnosability

DIAG01 - Our manufacturing system can automatically detect defective products, diagnose their root causes and reset its parameters to restore the initial situation

DIAG02 - Our manufacturing system includes inspection resources that allow the detection of quality defects in real time

DIAG03 - Our manufacturing system uses inspection equipment that can be easily reconfigured for use in different stages of the production process

DIAG04 - In a start-up phase, we can adjust the manufacturing system parameters, thus reducing the ramp-up time, because we have mechanisms that allow a quick diagnosis of problems with quality

DIAG05 - Our manufacturing system can automatically identify the source/cause of failures or problems with quality