

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E  
SISTEMAS – PPGEPS**

**GABRIEL FEITEN**

**MODELO CONCEITUAL PARA DESENVOLVIMENTO COLABORATIVO  
DISTRIBUÍDO DE PRODUTOS ÚNICOS APLICADO A PMEs**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**PATO BRANCO**

**2022**

**GABRIEL FEITEN**

**MODELO CONCEITUAL PARA DESENVOLVIMENTO COLABORATIVO  
DISTRIBUÍDO DE PRODUTOS ÚNICOS APLICADO A PMEs**

***Conceptual model for distributed collaborative development of OKP applied to  
SMEs***

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção e Sistemas, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas — Área de concentração: Modelos e Métodos de Suporte à Tomada de Decisão.

Orientador: Prof. Dr. Dalmarino Setti

PATO BRANCO

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



GABRIEL FEITEN

**MODELO CONCEITUAL PARA DESENVOLVIMENTO COLABORATIVO DISTRIBUÍDO DE PRODUTOS  
ÚNICOS APLICADO A PMES**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Engenharia De Produção E Sistemas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Gestão Dos Sistemas Produtivos.

Data de aprovação: 05 de Agosto de 2022

Dr. Dalmarino Setti, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Marcelo Goncalves Trentin, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Marcia Elisa Echeveste, Doutorado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Ufrgs)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 05/08/2022.

Dedico este trabalho à minha esposa Queti e minha  
filha Melissa.

## **AGRADECIMENTOS**

Deixo aqui minha gratidão as pessoas que fizeram parte dessa importante jornada de minha vida. Todo apoio, orientações e motivação que recebi no desenvolvimento dessa fase, foram importantes para a conclusão deste trabalho.

Agradeço inicialmente a minha Família, a minha esposa Queti e minha filha Melissa, pelo apoio e incentivo do decorrer dessa jornada.

Agradeço especialmente ao meu orientador Prof. Dr. Dalmarino Setti, pela paciência e estratégia com que me guiou nesta trajetória.

Aos meus amigos e colegas pelas conversas que em muitos momentos a distância acalmaram e motivaram.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

## Resumo

O desenvolvimento de produtos únicos por pequenas e médias empresas de fabricação mecânica, na modalidade de Engenharia por encomenda, é uma prática comum à fabricação de equipamentos para aplicação industrial e aplicações personalizadas. A necessidade de repensar *design*, tecnologias de fabricação e recursos a cada projeto chama a atenção de pesquisadores em áreas de desenvolvimento de tecnologias disruptivas, como o advento da computação em nuvem, que permite a colaboração e distribuição de tarefas de maneira onipresente. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um modelo conceitual para plataforma de desenvolvimento colaborativo distribuído para produto único voltado a pequenas e médias empresas. Elaborou-se uma revisão sistemática da literatura, que reuniu 16 artigos, que buscaram responder questões relacionadas à existência e aplicabilidade de *frameworks* e plataformas de desenvolvimento de produtos colaborativos únicos para pequenas e médias empresas. Um modelo conceitual para auxiliar no desenvolvimento colaborativo de produtos personalizados de baixo volume de produção distribuída entre pequenas e médias empresas foi elaborado. O referido modelo foi desenvolvido com base em abordagens e metodologias dos artigos selecionados e outras literaturas afins. Buscou-se a proposição de um novo modelo capaz de atuar nas lacunas identificadas na literatura. A criação de parcerias em empresas virtuais com projetos com colaboração aberta em plataformas de serviço para fabricação sob encomenda de produto único é uma das aplicações da tecnologia de computação em nuvem. Um modelo de decisão, baseado no método *Fuzzy TOPSIS*, para seleção de pequenas e médias empresas e formação de empresa virtual baseada em projeto por encomenda foi desenvolvido e aplicado. Uma avaliação do modelo conceitual, realizada por meio de avaliação linguística 2-tuple, foi aplicada a especialistas para verificação de pontos críticos da proposta estabelecida do modelo conceitual. Tecnologias, como a virtualização e encapsulamento de tarefas e a virtualização de recursos de manufatura para fabricação distribuída, aparecem como tendências para manufatura digital. A avaliação dos especialistas ressaltou a dificuldade na extração de requisitos para virtualização de tarefas de manufatura e a quantidade de *feedbacks* de aprovação.

**Palavras-chave:** *design* e manufatura em nuvem; PMEs; produto único; OKP.

## **Abstract**

*Developing One-of-a-Kind Production (OKP) by small and medium-sized mechanical manufacturing companies in the engineering-to-order mode is common in manufacturing equipment for industrial applications and custom applications. The need to rethink design, manufacturing technologies and resources with each project draws researchers' attention to disruptive technology development, such as the advent of cloud computing, which enables ubiquitous collaboration and task distribution. This work aimed to develop a conceptual model for a distributed collaborative development platform for a single product aimed at small and medium-sized enterprises. A systematic literature review was conducted, gathering 16 papers that sought to answer questions related to the existence and applicability of single product collaborative development frameworks and platforms for small and medium enterprises. A conceptual model to assist in the collaborative development of low-volume distributed custom products among small and medium-sized enterprises was developed. This model was developed based on approaches and methodologies in the selected papers and related literature. The aim was to propose a new model capable of addressing the gaps identified in the literature. Creating partnerships in virtual companies with projects with open collaboration on service platforms for on-demand manufacturing of a single product is one of the applications of cloud computing technology. A decision model, based on the Fuzzy TOPSIS method, for selecting small and medium-sized companies and forming a virtual company based on design-to-order was developed and applied. An evaluation of the conceptual model, conducted through a 2-tuple linguistic evaluation, was applied to experts to verify critical points of the established proposal of the conceptual model. Technologies, such as task virtualization and encapsulation, and virtualization of manufacturing resources for distributed manufacturing, appear as trends for digital manufacturing. The specialists' evaluation highlighted the difficulty in extracting requirements for the virtualization of manufacturing tasks and the amount of approval feedback.*

**Keywords:** *cloud-based design and manufacturing; SMEs; one-of-a-kind production; OKP.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Desenho da pesquisa .....	20
Figura 2 - Arquitetura de processamento de visualização de modelos 3D.....	37
Figura 3 - Comunicação de design tradicional unidirecional .....	39
Figura 4 - Comunicação de design multidirecional.....	39
Figura 5 – Número Trapezoidal fuzzy ñ .....	53
Figura 6 - Identificação de critérios para seleção de artigos pelo título e resumo .....	60
Figura 7 – Desenho da metodologia da pesquisa .....	68
Figura 8 – Representação das Variáveis Linguísticas Definidas para Número Trapezoidal Fuzzy .....	75
Figura 9 - Atributos/critérios de qualidade por grupo de avaliadores .....	80
Figura 10 - Estrutura proposta para o Modelo Conceitual DPUCD .....	87
Figura 11 – Conjunto guia da articulação .....	102
Figura 12 - Representação gráfica da avaliação dos componentes do modelo conceitual DPUCD por especialistas .....	110
Figura 13 - Avaliação dos componentes em cada critério X avaliação do peso dos critérios - Programadores .....	111
Figura 14 - Avaliação dos componentes em cada critério X TOPSIS 2-Tuple-Programadores.....	111
Figura 15 - Avaliação dos componentes em cada critério X avaliação do peso dos critérios - Empresas OKP .....	112
Figura 16 - Avaliação dos componentes em cada critério X TOPSIS 2-Tuple - Empresas OKP.....	112
Figura 17 - Avaliação dos componentes em cada critério X avaliação do peso dos critérios - Empresas de Manufatura .....	113
Figura 18 - Avaliação dos componentes em cada critério X TOPSIS 2-Tuple - Empresas de Manufatura .....	113



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Atributos/critérios de qualidade de alto nível .....	50
Quadro 2 - Pontos de vistas e palavras-chave.....	58
Quadro 3 – Identificação de critérios para seleção de artigos pelo título e resumo ..	59
Quadro 4 – Enquadramento dos artigos do portfólio bibliográfico por temas .....	61
Quadro 5 - Frameworks CBDM - Design Colaborativo.....	64
Quadro 6 – Variáveis Linguísticas Definidas para Número Trapezoidal Fuzzy .....	74
Quadro 7 - Componentes e funções do produto .....	79
Quadro 8 - Variáveis linguísticas 2-Tuple para avaliação de importância dos critérios .....	80
Quadro 9 - Variáveis linguísticas 2-Tuple para avaliação dos componentes .....	81
Quadro 10 - Relação de partes, fases e agentes do modelo conceitual na literatura	88
Quadro 11 – Critérios para seleção de PMEs de manufatura .....	97
Quadro 12 – Descritivo dos componentes do conjunto guia da articulação .....	102
Quadro 13 – O coeficiente de proximidade (CCi) e ranqueamento das alternativas de PMEs disponíveis para Corte de Chapas em Jato D'água.....	105
Quadro 14 – O coeficiente de proximidade (CCi) e ranqueamento das alternativas de PMEs disponíveis para Mandrilamento Interno .....	106
Quadro 15 – O coeficiente de proximidade (CCi) e ranqueamento das alternativas de PMEs disponíveis para Mandrilamento Interno .....	107
Quadro 16 – Avaliação dos componentes do modelo conceitual DPUCD por especialistas.....	109

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

3D	Tridimensional
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
AM	<i>Additive Manufacturing</i>
ATO	<i>Assembly to Order</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
CBD	<i>Cloud Based Design</i>
CBDM	<i>Cloud Based Design and Manufacturing</i>
CBM	<i>Cloud Based Manufacturing</i>
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
CM	<i>Cloud Manufacturing</i>
CMfg	<i>Cloud Manufacturing</i>
CNC	Controle Numérico Computadorizado
Co-DMU	<i>Collaborative Digital Mockup</i>
CRs	<i>Customer Requeriments</i>
CTO	<i>Configure to Order</i>
DCPUD	Desenvolvimento Colaborativo de Produto Único Distribuído
DES	<i>Data Exchange and Sharing</i>
DFMA	<i>Design for Manufacture and Assembly</i>
DICE	<i>Distributed and Integrated Environment for Computer-Aided Engineering</i>
DMCloud	<i>Design Manufacturing Cloud</i>
DSM	<i>Design Struture Matrix</i>
DXF	<i>Drawing Exchange Format</i>
ELECTRE	<i>Elimination and Choice Translating Reality</i>
ETO	<i>Engineering to Order</i>
FCSCM	<i>Framework Capacity Sharing in Cloud Manufacturing</i>
FRs	<i>Functional Requeriments</i>
GPU	<i>Graphics Processing Units</i>
Haas	<i>Hardware-as-a-service</i>
HPC	<i>High Performance Computing</i>
laaS	<i>Infrastructure-as-a-Service</i>

IGES	<i>Initial Graphics Exchange Specification</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MCDA	<i>MultiCriteria Decision Aiding</i>
NTpF	<i>Número Trapezoidal positivo Fuzzy</i>
OKP	<i>One-of-a-Kindle-Production</i>
P $\alpha$	Problema de escolha
P $\beta$	Problema de separação
P $\gamma$	Problema de ordenação
P $\delta$	Problema de descrição
PaaS	<i>Plataform-as-a-Service</i>
PLM	<i>Product Lifecycle Management</i>
PMEs	Pequenas e Médias Empresas
PROMETHEE	<i>Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation</i>
QFD	<i>Quality Function Deployment</i>
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
SaaS	<i>Softwares-as-a-Service</i>
SMEs	<i>Small and Medium-sized Enterprises</i>
STEP	<i>Standard for the Exchange of Product model data</i>
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TICs	Tecnologias de Informação e Comunicação
TOPSIS	<i>Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution</i>
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VIKOR	<i>ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1 OBJETIVOS .....	16
1.1.1 Objetivo Geral .....	16
1.1.2 Objetivos Específicos .....	17
1.2 JUSTIFICATIVA .....	17
1.3 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO .....	18
1.4 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA .....	19
1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	19
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>22</b>
2.1 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO ÚNICO .....	22
2.2 <i>DESIGN</i> COLABORATIVO .....	25
2.2.1 <i>Design</i> Colaborativo com o Cliente .....	27
2.2.2 <i>Design</i> Aberto .....	28
2.2.3 Plataformas de <i>Design</i> .....	29
2.2.4 Modelagem Colaborativa .....	31
2.3 TECNOLOGIAS DE COMPUTAÇÃO EM NUVEM .....	32
2.4 <i>DESIGN</i> EM NUVEM .....	35
2.4.1 <i>Design</i> para Configuração .....	40
2.4.2 <i>Frameworks</i> de <i>Design</i> de Produtos Personalizados .....	41
2.5 MANUFATURA EM NUVEM .....	43
2.6 MODELOS CONCEITUAIS .....	48
2.7 MÉTODOS DE APOIO A DECISÃO MULTICRITÉRIOS .....	50
2.7.1 Conjunto <i>Fuzzy</i> e Número <i>Fuzzy</i> .....	52
2.7.2 Método <i>Fuzzy</i> TOPSIS .....	54
2.7.3 Modelo Variável Linguística <i>2-Tuple</i> .....	55
2.8 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA .....	57
2.8.1 <i>FRAMEWORKS</i> E PLATAFORMAS DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS COLABORATIVOS .....	64
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>68</b>
3.1 DESENVOLVIMENTO DO MODELO CONCEITUAL .....	69
3.2 MODELO DE SELEÇÃO DE PMES .....	71
3.2.1 Extração das Tarefas e Requisitos de Manufatura .....	72
3.2.2 Virtualização dos Recursos e Capacidades de Manufatura .....	73

3.2.3 Aplicação do Modelos de Seleção <i>Fuzzy</i> TOPSIS.....	73
3.3 AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA CONCEITUAL .....	78
3.3.1 Aplicação das Entrevistas de Avaliação do Modelo .....	83
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>86</b>
4.1 MODELO CONCEITUAL PARA DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO ÚNICO COLABORATIVO DISTRIBUÍDO APLICADOS A PMES .....	86
4.1.1 Escopo do Produto.....	89
4.1.2 Modelagem.....	91
4.1.3 Criação da Empresa Virtual.....	94
4.1.4 Manufatura .....	98
4.2 APLICAÇÃO DO MODELO DE SELEÇÃO DE PMES .....	102
4.3 AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO DAS FASES E COMPONENTES DO MODELO CONCEITUAL PARA DESENVOLVIMENTO COLABORATIVO DISTRIBUÍDO DE PRODUTOS ÚNICOS APLICADOS A PMES .....	108
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>117</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>120</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>130</b>
APÊNDICE A – QUESTÕES DO INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS UTILIZADO NA OBTENÇÃO DE OPINIÃO DE ESPECIALISTAS DE EMPRESAS DESENVOLVEDORAS DE PRODUTOS ÚNICOS. ....	130
APÊNDICE B – QUESTÕES DO INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS UTILIZADO NA OBTENÇÃO DE OPINIÃO DE ESPECIALISTAS DE EMPRESAS DE MANUFATURA NA ÁREA METAL MECÂNICA. ....	137
APÊNDICE C – QUESTÕES DO INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS UTILIZADO NA OBTENÇÃO DE OPINIÃO DE ESPECIALISTAS DE PROGRAMADORES DE SOFTWARES, APLICATIVOS OU PLATAFORMAS EM NUVEM. ....	141
APÊNDICE D – DETALHAMENTO DOS COMPONENTES DO CONJUNTO GUIA DA ARTICULAÇÃO.....	148
APÊNDICE E - FILTRO DE PMES DISPONÍVEIS PARA CORTE DE CHAPAS EM JATO D'ÁGUA.....	151
APÊNDICE F – FILTRO DE PMES DISPONÍVEIS PARA MANDRILAMENTO INTERNO .....	152
APÊNDICE G - FILTRO DE PMES DISPONÍVEIS PARA TORNEAMENTO CNC .	153
APÊNDICE H - AVALIAÇÃO DE PESOS E CRITÉRIOS DE PMES DISPONÍVEIS PARA CORTE DE CHAPAS EM JATO D'ÁGUA .....	154
APÊNDICE I - VALORES FUZZY PARA OS CRITÉRIOS AVALIADOS DAS PMES DISPONÍVEIS PARA CORTE DE CHAPAS EM JATO D'ÁGUA.....	155

APÊNDICE J - AGREGAÇÃO DO PESO AOS VALORES FUZZY DOS CRITÉRIOS AVALIADOS DAS PMES DISPONÍVEIS PARA CORTE DE CHAPAS EM JATO D'ÁGUA.....	156
APÊNDICE K - SOLUÇÕES IDEAIS POSITIVAS E DESFUZIFICAÇÃO DOS VALORES DE CRITÉRIOS AVALIADOS DAS PMES DISPONÍVEIS PARA CORTE DE CHAPAS EM JATO D'ÁGUA.....	157
APÊNDICE L - SOLUÇÕES IDEAIS NEGATIVAS E DESFUZIFICAÇÃO DOS VALORES DOS CRITÉRIOS AVALIADOS DAS PMES DISPONÍVEIS PARA CORTE DE CHAPAS EM JATO D'ÁGUA.....	158
APÊNDICE M - AVALIAÇÃO DE PESOS E CRITÉRIOS DE PMES DISPONÍVEIS PARA MANDRILAMENTO INTERNO.....	159
APÊNDICE N – AVALIAÇÃO DE PESOS E CRITÉRIOS DE PMES DISPONÍVEIS PARA TORNEAMENTO CNC.....	160

## 1 INTRODUÇÃO

Pequenas e médias empresas (PMEs) são parte importante da economia de um país, mantêm grande parte dos empregos, o que é vital para estimular o crescimento econômico (SAFAR *et al.*, 2018). A capacidade de desenvolver produtos personalizados individualmente de alto valor agregado por PMEs de manufatura é vista de forma positiva, pois há uma forte demanda com mercado de clientes que exigem qualidade em vez de quantidade e dispostos a pagar por isso (FISHER *et al.*, 2018). O *design* e fabricação de produtos em uma PME geralmente é baseada em uma variedade de produtos inovadores.

A produção de produto único ou *one-of-a-kind* (OKP) atende a princípios de desenvolvimento de produtos personalizados, oriundos da necessidade do cliente. Esta produção é geralmente focada em métodos e modelos de produção de peças únicas ou em pequenos lotes (ALEKSIC; JANKOVIC; RAJKOVIC, 2017). Pode assumir características de produção de configuração de produto sobre pedido - *Configure to Order* (CTO), montagem sobre pedido *Assembly to Order* (ATO) ou Engenharia baseada em pedido *Engineering to Order* (ETO), como modelos de negócio (LEVANDOWSKI; JIAO; JOHANNESON, 2015).

Empresas de produção OKP geralmente são PMEs com recursos de manufatura limitados (FISHER *et al.*, 2018; ZHENG *et al.*, 2017a). Os custos de produção de cada produto são geralmente mais altos, comparado às empresas de manufatura especializadas em produtos padronizados. Incertezas relacionadas à expectativa do cliente na personalização de projetos, dificuldade de comunicação precisa e disponibilidade de recursos de fabricação específicos geram a necessidade de reprojeto constantes (ZHENG *et al.*, 2017a). Neste tipo de projeto é necessária a utilização de ferramentas de comunicação e trabalho colaborativo para tradução dos requisitos do cliente (LI; XIE; SANG, 2013).

As PMEs normalmente não dispõem de recursos suficientes para apoiar todas as atividades ideais do ciclo de vida de um produto (KIM *et al.*, 2013). Observa-se que o desenvolvimento de um produto muitas vezes precisa de uma colaboração dinâmica de PMEs, na qual cada empresa com capacidades especiais coopera com outras. O conceito de “empresa virtual” de Rolstadås (1994), citado por Tu (1997), apresenta a colaboração entre unidades ou empresas dispersas geograficamente, administradas como uma unidade, embora possam estar sob gestão de empresas separadas.

A necessidade de alianças de empresas virtuais também deve ter vantagens competitivas gerais para responder rapidamente aos mercados em constante mudança (CARNEIRO *et al.*, 2013). As PMEs necessitam de mecanismos como plataformas que possam fornecer suporte para colaboração de *design* e manufatura de forma distribuída (ARGONETO; RENNA, 2016).

O *design* e manufatura baseados em nuvem ou *Cloud Based Design Manufacturing* (CBDM) surgiram como um novo paradigma na manufatura digital em rede e inovação de *design* (WU *et al.*, 2015). Recursos e habilidades de *design*, simulação, computação manufatura em serviços, como *design* e manufatura virtualizados em forma de uma nuvem que distribui aos usuários serviços sob demanda. O encapsulamento e virtualização de serviços são a tecnologia-chave dos modelos baseados em nuvem (TAO *et al.*, 2011).

O *design* colaborativo com a utilização de recursos em nuvem pode ser executado em plataformas específicas de colaboração de *design*, com organização de demandas e conexão de arquivos para nuvem (PaaS). Dados podem ser reproduzidos por *softwares* locais em uma conexão vertical, ou até mesmo com a utilização de *software* como serviço (SaaS), então a colaboração entre equipe multidisciplinar horizontalmente síncrona (CHOULIER; FOUGÈRES; OSTROSI, 2015; FUH; LI, 2005; LUIS SAORIN *et al.*, 2019).

A utilização de plataformas para *design* colaborativo é tendência para tecnologias de manufatura. A gestão do conhecimento passa a ser facilitada com o fluxo de informações necessárias para cada disciplina do projeto, bem como a divisão e planejamento do projeto voltado a cada atividade (LIAO; LUO, 2012). Tecnologias e infraestruturas como essa permitem que PMEs ou mesmo *designers* individuais com conhecimento de domínio específico possam alugar sistemas CAD de ponta *on-line*, para que possam participar e cooperar no processo de *design* colaborativo (FUH; LI, 2005). Com acesso a tecnologias escalonáveis, as PMEs poderão fornecer produtos e serviços que no passado apenas grandes empresas poderiam oferecer, nivelando competitividade (ALSHAMAILA; PAPAGIANNIDIS; LI, 2013).

Com a popularização dos conceitos e utilização da computação em nuvem, trabalhos com *softwares*, aplicativos e serviços em atividades rotineiras de comunicação nas empresas e indústrias, novos horizontes foram abertos para a possível utilização de *design* e manufatura baseados em nuvem (WU *et al.*, 2017). Estruturas de configuração produto OKP baseadas na *Web* são conhecidas pela



interação do cliente com a escolha de personalizações de produtos distintos, geralmente famílias modulares de configuração de alguns requisitos. Um exemplo clássico aplicado é a manufatura de janelas e portões personalizados (ALEKSIC; JANKOVIC; RAJKOVIC, 2017).

Plataformas de configuração baseadas em nuvem para configuração já foram propostas, como o *framework* de Zheng *et al.* (2017a), que utiliza a configuração de módulos CTO e extração de requisitos ETO para formação de novos módulos CTO. Desenvolvimento de projetos de produtos OKP baseados em ETO são complexos em relação ao atendimento de requisitos de cliente. Expectativas tecnológicas de recursos de fabricação específicos, aumentam os custos e retrabalhos de projeto no ciclo de vida do produto. Como a disposição de variados recursos de manufatura, conhecimento prático de processos de fabricação específicos não são de fácil acesso para PMEs, seria possível estabelecer um roteiro para colaboração no desenvolvimento e manufatura atendendo à demanda específica de produtos OKP?

A utilização de modelo de seleção de PMEs para formação de parcerias temporárias com a finalidade no desenvolvimento de um produto OKP específico, baseado no conceito de empresa virtual citado por Tu (1997), pode ser aplicado à manufatura em nuvem. O desenvolvimento de um modelo conceitual de estrutura para desenvolvimento e manufatura colaborativa distribuída de produtos OKP voltado a PMEs, pode auxiliar na competitividade destas empresas. A organização de um ambiente de colaboração entre PMEs com capacidades e tecnologias complementares selecionadas, possibilita a manufatura de produtos com características personalizadas e assertivas aos requisitos dos clientes.

## 1.1 OBJETIVOS

Nesta subseção são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos que serão desenvolvidos na pesquisa.

### 1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um modelo conceitual para plataforma de desenvolvimento colaborativo distribuído para produto único voltado a pequenas e médias empresas.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desta dissertação são: (i) identificar tecnologias utilizadas no *design* colaborativo voltado para o desenvolvimento de produto único; (ii) identificar *frameworks* de *design* colaborativo baseado em nuvem para produto único existentes; (iii) propor um modelo multicritério de seleção para formação de empresas virtuais OKP formada por pequenas e médias empresas.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A necessidade de reprojeto de produtos a cada novo pedido é uma das características de empresas OKP, relatadas por Mei, Ye e Zeng (2018). A maioria dos projetos de produtos OKP é produzida uma única vez e em baixo volume, não havendo previsão de repetição de lote. Sabendo disso, empresas OKP possuem maior necessidade de flexibilidade para se adaptar às mudanças do mercado em relação à empresa de produção em massa / lote e maior eficiência de produção do que uma loja de prestação de serviços (MEI; YE; ZENG, 2016; XIE; XU; TU, 2005). Um modelo conceitual de *design* colaborativo distribuído pode trazer soluções como a reutilização rápida e adequada do conhecimento de *design* e manufatura, baseado no histórico de produtos já desenvolvidos, encurtando o ciclo de vida do desenvolvimento do projeto.

O *design* de Engenharia para produtos acontece indiferentemente do tipo de produto personalizado. Em casos em que a personalização não é total, apenas parte do *design* do produto é orientado ao cliente e componentes padronizados podem trabalhar com produção para estoque (WORTMANN, 1991). Zennaro *et al.* (2019) identificaram em sua revisão pouco desenvolvimento de pesquisas na área de *design* de produto e processo para produtos de grande porte e altamente customizados. A identificação de ferramentas de comunicação, tomada de decisões e manufatura de produtos colaborativos, podem auxiliar no desenvolvimento de um modelo conceitual para *design* colaborativo distribuído de produtos únicos aplicados a PMEs.

Grande parte dos produtos OKP possui componentes com formatos ou processos complexos, com poucos produtos idênticos no mesmo lote. Então, o desenvolvimento de produtos únicos tem a natureza de produção multicritério que corresponde às diferentes tecnologias e métodos de fabricação. Um modelo de

seleção de PMEs com capacidade para atender aos critérios de manufatura de cada produto único pode auxiliar na formação das empresas virtuais.

Plataformas como serviço (PaaS) podem otimizar a demanda e aumentar a utilização de instalações de manufatura existentes distribuídas geograficamente, conectando-as com os desenvolvedores de produtos customizados de pequenos lotes com demanda de manufatura (BALTA *et al.*, 2017). Faz-se necessário uma estrutura para facilitar a classificação e escolha de parcerias entre PMEs em formato de empresas virtuais, para o desenvolvimento de produtos únicos de forma colaborativa.

Por meio de um modelo conceitual para desenvolvimento colaborativo distribuído de produtos únicos, o *design* de produtos provisórios entre PMEs, baseados no conhecimento e na capacidade de manufatura destas empresas selecionadas, poderá auxiliar na decomposição e no refinamento de etapas de produção já atribuídas no *design*, descomplicando operações de produção de produtos intermediários. A contribuição desse modelo está na possibilidade de fortalecer o potencial do atendimento de demandas de produtos inovadores, antes limitados a recursos de fabricação e conhecimento de manufatura de empresas com grande investimento ferramental e intelectual.

### 1.3 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

O modelo conceitual proposto nesta dissertação contempla o desenvolvimento colaborativo de produto mecânico personalizado para PMEs especializadas em produtos únicos. Esta delimitação está relacionada ao foco no desenvolvimento de produtos personalizados de baixo volume de produção ser prevalente entre PME com pouca variedade de processos de manufatura. Este modelo é destinado à produção de baixo volume, na modalidade de Engenharia sob encomenda (OKP) e foi elaborado a partir de outros modelos da literatura, identificados por meio de revisão sistemática de literatura.

A escolha de método de seleção para estruturação de empresas virtuais é baseada em métodos multicritério, os quais possibilitam análise de dados característicos de manufatura de segmento metalmeccânico de PMEs com recursos de fabricação específicos disponíveis à colaboração.

## 1.4 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa desenvolvida nesta dissertação se caracteriza quanto à sua natureza como aplicada (GIL, 2018), pois objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática específica, pois que propõe um modelo conceitual para desenvolvimento de produto único de maneira colaborativa. Quanto ao objetivo da pesquisa, está classificada como exploratória (JUNG, 2010), pois aprofunda conceitos e referências de trabalhos consolidados com o problema apresentado aprimorando conceitos e ressaltando aspectos para novas possibilidades, melhoria processos e produtos e inovação pela proposição de um novo modelo.

A abordagem da pesquisa pode ser classificada quanto à forma qualitativa, na análise subjetiva e síntese de estruturas dispostas na literatura em forma de descrição de aplicações e significados. Segundo Miguel (2012), uma abordagem teórico/conceitual, utiliza discussões conceituais a partir da literatura, revisões bibliográficas e modelagens conceituais.

Quanto a procedimentos de pesquisa, a pesquisa bibliográfica será utilizada para fundamentação do modelo conceitual. Para avaliação da estrutura proposta, entrevistas com especialistas de empresas de produção de produto único, especialistas de PMEs de manufatura e especialistas de desenvolvimento de plataformas e *softwares* é proposta, com uma avaliação subjetiva linguística.

## 1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

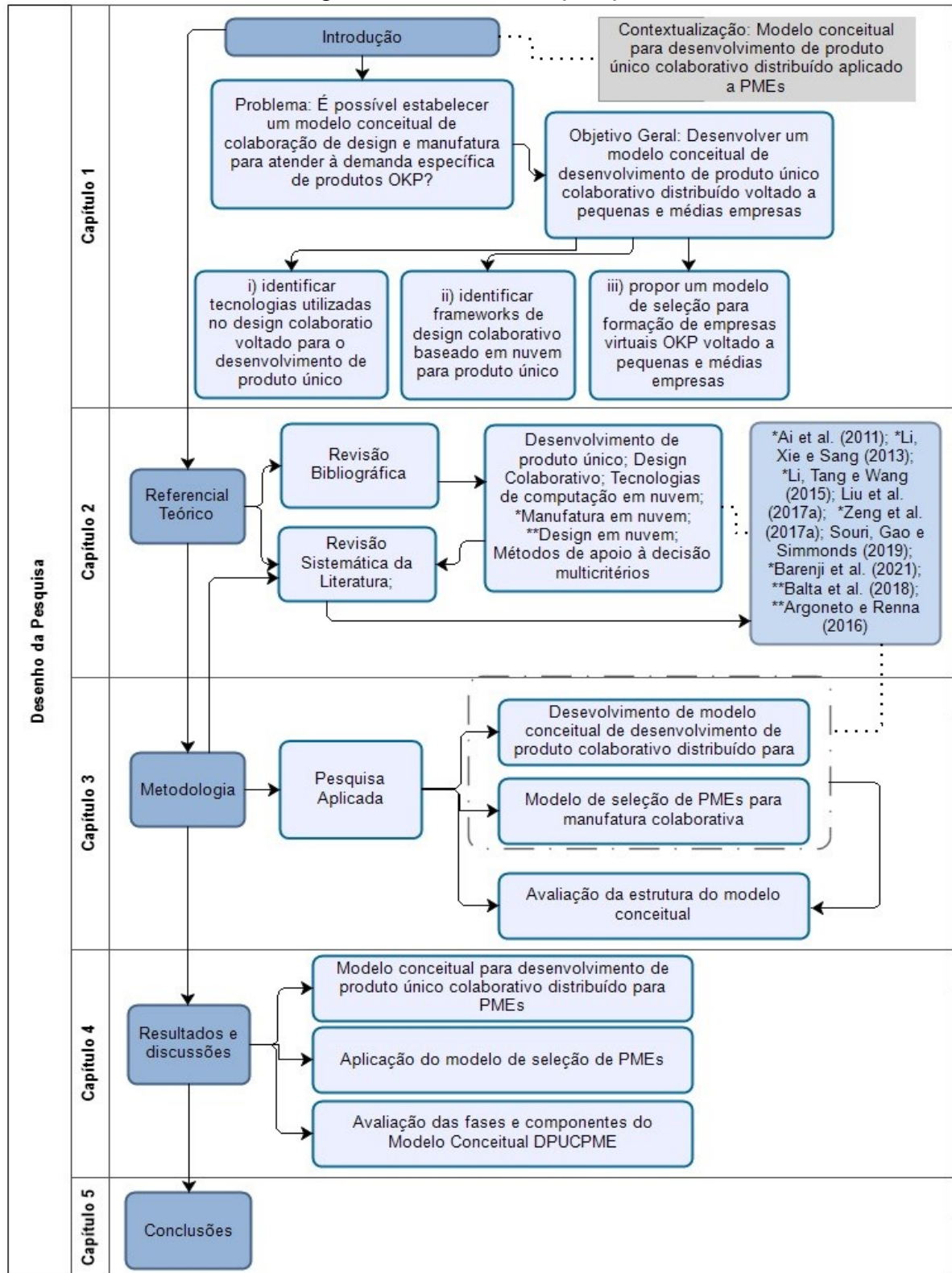
A forma de estruturação desta dissertação é apresentada a seguir. A Figura 1 apresenta o desenho da pesquisa.

O capítulo 1 é composto pela introdução ao tema, apresenta os objetivos, a justificativa, a delimitação do tema, a classificação da pesquisa e a estrutura da dissertação.

O capítulo 2 apresenta a revisão de literatura, na qual são abordados conceitos de produção de produto único, *design* colaborativo, plataformas de *design*, tecnologias habilitadoras para o *design* distribuído e *design* e manufatura baseada em nuvem (CBDM). É abordada uma caracterização de modelos conceituais e métodos de apoio à tomada de decisão baseada em multicritérios. Estes serão utilizados para a

elaboração do modelo de seleção de PMEs e para a avaliação da estrutura conceitual. O capítulo é finalizado com uma revisão sistemática de literatura entorno do tema.

Figura 1 - Desenho da pesquisa



Fonte: o autor (2022)

No capítulo 3 é apresentada a metodologia da pesquisa utilizada para desenvolvimento do modelo conceitual colaborativo de produtos OKP, metodologia para o modelo de seleção de PMEs e a metodologia de avaliação da estrutura proposta.

No capítulo 4 são apresentados resultados alcançados e discussões relacionadas ao tema. Inicialmente é apresentado o modelo conceitual propostos com seu referencial teórico. O modelo é explicado e discutido no decorrer do capítulo. Ainda é apresentado dentro do modelo conceitual o modelo de seleção de PMEs para composição da Empresa Virtual. Após a apresentação do modelo conceitual de desenvolvimento colaborativo de produto único distribuído em PMES (DCPUD), uma aplicação prática do modelo de seleção de PMEs é demonstrada. Ao final do capítulo, os resultados da avaliação multicritério aplicada ao modelo conceitual são apresentados e discutidos.

O capítulo 5 traz as conclusões do trabalho. Ao final do documento são apresentadas as referências bibliográficas e apêndices. Nos apêndices são apresentados os instrumentos de coleta de opinião de especialistas para avaliação do modelo conceitual e representação gráfica dos componentes utilizados na aplicação do modelo de seleção de PMEs.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é apresentada uma pesquisa bibliográfica com conceitos sobre desenvolvimento de produtos de produção única em PMEs, *design* colaborativo, *design* e manufatura em nuvem, modelos conceituais e métodos de apoio à tomada de decisões.

O final do capítulo contém os processos estratégicos e uma revisão sistemática da literatura com seus resultados. Trabalhos com estruturas de manufatura em nuvem, desenvolvimento de produto único e desenvolvimento de projetos colaborativos em nuvem são relatados.

### 2.1 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO ÚNICO

A produção de produto único (OKP – *one-of-a-kind*) é um modo extremo de personalização em massa (LI; XIE; XU, 2011; MEI; YE; ZENG, 2018). A produção OPK é bastante utilizada pela indústria pesada, como fabricação naval, geração hidráulica de energia e outros, baseada na produção por pedido com estoque zero. Os produtos para cada cliente podem variar, com projeto básico semelhante, mas produto final personalizado para a necessidade de cada cliente, baseado em requisitos específicos (TU, 1997).

A produção OKP pode possuir características de produção “puxada” (*just-in-time*) com fluxo de trabalho de uma peça, necessitando de controle de produção enxuta para suprimentos, processos e sequências produtivas. Um sistema de produção puxada em OKP significa produção sob encomenda, no qual produtos únicos são produzidos com base na demanda real dos clientes (MEI; YE; ZENG, 2018).

Tu (1997) trata o OKP como uma filosofia de produção, na qual o método de produção é a conversão de ideias ou requisitos de clientes em produtos com sucesso em apenas uma única vez com restrição de custo, qualidade e prazo de entrega. Algumas das características apresentadas pelo autor são: a alta personalização; abordagem de sucesso "uma vez" no produto; utilização racional de tecnologias e recursos; planejamento e controle adaptativo da produção; influência contínua do cliente no processo de produção; abordagem evolutiva baseada em protótipos de

desenvolvimento e produtos anteriores; controle distribuído e autonomia interorganizacional; possibilidade de estrutura de empresa virtual.

O alto nível de personalização é uma característica que relaciona o maior envolvimento do cliente no desenvolvimento das atividades de projeto e desenvolvimento do produto OKP. Requisitos e expectativas do cliente podem sofrer alterações durante o estágio de desenvolvimento (LI; XIE; XU, 2011).

Enquanto PMEs, empresas OKP são limitadas em recursos como mão de obra com qualificação específica, máquinas, ferramentas e processos. A colaboração com outras empresas é uma forma de compensar as limitações dos recursos da empresa OKP. Especialmente nas últimas décadas, com o desenvolvimento da comunicação global, a colaboração global auxilia no desenvolvimento de produtos OKP (CARNEIRO *et al.*, 2013; LI; XIE; XU, 2011).

Baseada nas incertezas relacionadas à demanda de produção, requisitos de engenharia e necessidade de recursos de fabricação empregados no desenvolvimento do produto, empresas OKP possuem um custo mais alto e maior tempo de desenvolvimento. Buscando atender algumas destas limitações, muitas empresas OKP adotam o conceito de empresa virtual. Esta pode ser entendida como um negócio de colaboração entre empresas com especialidades de fabricação específicas, por meio de subcontratação e transferência de tecnologia em forma de parceria (XIE; XU; TU, 2005).

Rolstadås (1994), citado por Tu (1997), apresenta o conceito de “empresa virtual” como várias unidades dispersas geograficamente, administradas como uma unidade, embora as subunidades podem estar sob gestão separada.

Uma empresa virtual OKP pode obter considerável agilidade e potencial competitividade. A empresa virtual pode executar atividades de desenvolvimento e gerenciamento em uma localidade e atividades de manufatura em outras regiões, onde condições de vantagens favoráveis podem ser alcançadas, como logística estratégica, isenções, parcerias, terceirizações e outras (XIE; XU; TU, 2005). Neste conceito, cada empresa envolvida é responsável pela produção completa ou parte de determinado componente ou conjunto do produto final.

Na produção OKP um estado intermediário de produção de um componente, conjunto ou equipamento único é composto de componentes chamados de produtos provisórios. Estes produtos provisórios são fases intermediárias nos processos de fabricação entre as matérias-primas e os produtos finais (MEI; YE; ZENG, 2016). O



estado intermediário provisório indica que este componente é parte de um conjunto maior a ser finalizado em outros processos de fabricação, com outros produtos provisórios (TU, 1997).

O desenvolvimento de produtos provisórios pode ser baseado na qualificação e especialização das unidades de produção da empresa virtual, apoiado nas suas especificidades e na decomposição de tarefas de fabricação para alcançar o produto final OKP, como partes de um casco de navio, segmentos de tubulações e outros (MEI; YE; ZENG, 2016).

O desenvolvimento dos produtos colaborativos em empresa virtual é realizado em etapas, iniciando pela seleção das empresas parceiras no projeto. Esta etapa deve ser formal e entre empresas que contribuam para a melhor proposta em processo de negociação em seu segmento. O conceito inicial do produto é apenas desenvolvido para fase de orçamento. Neste contexto, o *design* colaborativo do produto pode trazer conceitos baseados em competência e capacidades exclusivas dos parceiros na organização virtual. O gerenciamento do projeto em abordagem não hierárquica também pode ser utilizado (CARNEIRO *et al.*, 2013).

A maior parte das empresas OKP são Pequenas ou Médias Empresas (PMEs), suas estratégias variam de produção para estoque com montagem com configuração sob pedido *Configure-to-Order* (CTO) e produção ou engenharia sob pedido *Engineering-to-Order* (ETO) (LI; XIE; XU, 2011).

Projetos CTO basicamente são possibilidades de configuração de projetos por meio de uma base, matriz ou plataforma de configuração (família de produto em módulos), na qual a empresa ou o cliente aponta seus critérios de especificação para encontrar ou propor uma configuração com elementos de engenharia ou funcionalidades disponíveis para fabricação (ZHENG *et al.*, 2017b). Estes configuradores são ferramentas bem aceitas para representar as necessidades mais latentes dos clientes, baseadas nas possibilidades ofertadas pelos fabricantes.

Uma das principais funções do configurador é limitar as possibilidades inconsistentes ou impossíveis. A reutilização de *design* de componentes e até mesmo a possibilidade de estocagem de componentes pré-fabricados é uma característica predominante (ALEKSIC; JANKOVIC; RAJKOVIC, 2017). Com os configuradores de produto, o *design* é reduzido a uma série de seleções de valores de atributos disponíveis (WANG; TSENG, 2011). Os produtos configurados sob encomenda são compilados usando uma variedade de blocos de construção pré-desenvolvidos

geralmente já utilizados em projetos de ETO (LEVANDOWSKI; JIAO; JOHANNESSON, 2015).

Em projetos ETO os requisitos do cliente podem variar em mais dimensões em relação às configurações disponíveis. Aqui, os projetos são feitos sob medida para atender aos requisitos específicos do cliente. Os requisitos do cliente podem mudar com muito e com mais frequência que se disponibilizam configurações em plataformas CTO. Embora a reutilização de *design* também é relevante no ETO, geralmente a direciona os *designs* de forma adequada para atender aos requisitos do cliente (LEVANDOWSKI; JIAO; JOHANNESSON, 2015).

A necessidade entre utilização de CTO ou ETO basicamente vem da especificação dos requisitos do cliente (CRs) e o confronto com os requisitos funcionais (FRs) disponibilizados na plataforma de configuração. Quando não é possível recuperar uma variação de solução apropriada de configuração que atenda às funcionalidades do cliente, é necessário criar um novo *design* de solução colaborativa com o cliente por meio de ETO (ZHENG *et al.*, 2017b).

## 2.2 DESIGN COLABORATIVO

Os processos de *design* de componentes são reconhecidos desde os primeiros processos produtivos industriais. A representação de ideais de concepção de funcionalidades de conceitos mecânicos aplicados a resoluções de problemas cotidianos faz parte disso. Processos de *design*, então padronizados por normas técnicas, passaram à função de repensar conceitos funcionais baseados em conhecimento existentes de produtos já manufaturados (JONES, 1983).

A essência da atividade de desenvolvimento e evolução de conceitos inovadores, aplicados a novas ideias complexas ou utilidades, podem vir pelo reprojeto (CHOULIER; FOUGÈRES; OSTROSI, 2015). As elaborações de novos projetos derivados, com personalizações de ideais distintos, são baseadas em solicitações de requisitos de produto, como participação do cliente ou do mercado. Isto passa a exigir conhecimentos e capacidades multidisciplinares, envolvendo agentes distintos (AHMED; SRIRAM; LOGCHER, 1992).

No desenvolvimento de produtos com mais assertividade e aceitação pelo mercado, com menor tempo entre o ciclo de projeto e seu lançamento, pode ser necessário a aplicação da engenharia colaborativa e *design* colaborativo (WU *et al.*,

2013). Neste tipo de trabalho, as barreiras como: localização, setores, interação com cliente e consumidores e limitações de disciplinas são quebradas.

O *design* colaborativo pode ser apresentado como solução para trabalhos: (1) entre *designer* em um mesmo projeto de forma distante ou multidisciplinar; (2) entre *designers* e fornecedores de componentes ou materiais; (3) entre *designers* e clientes desenvolvendo soluções personalizadas; (4) parceiros comerciais multidisciplinares; (5) entre comunidades de desenvolvimento aberto de produtos (LIAO; LUO, 2012).

O *design* colaborativo pode ser a solução de problemas complexos de *design*, como ao utilizar o conhecimento de muitos participantes que podem estar em locais diferentes e atuarem em diferentes disciplinas de *design* (Al *et al.*, 2011; NGUYEN; SELMIN, 2006).

O perfil dos profissionais de *design*, entre engenheiros e projetistas, era muito individualista no final do século 20, dificultando tarefas de interoperabilidade (KOEHN, 2001). Esta visão de projeto foi criticada por Jones (1983), pois apresenta a interpretação de que o trabalho criativo não poderia vir de várias mentes, mas apenas de uma e especialmente talentosa, um gênio. Sob esta ótica, os “não gênios” devem trabalhar em tarefas secundárias, mantendo um fluxo de comunicação e planejamento.

No contexto atual, equipes multidisciplinares de desenvolvimento trabalham em suas tarefas divididas de forma simultânea e independente, melhorando o fluxo de trabalho. A integração destes trabalhos pode ser complexa, já que os processos são interdependentes em alguns conceitos, visões e informações (RED *et al.*, 2013). Buscar a solução que satisfaça todas as necessidades trabalhando de forma interdependente pode ser difícil (PRASAD; MORENC; RANGAN, 1993; YANG; JIANG, 2020).

A carência na comunicação e o trabalho individualista estão inevitavelmente relacionados ao fato de que no ensino de engenharia o método expositivo era a principal abordagem de ensino (RAJALA, 2012). A aplicação de sistemas de comunicação e gerenciamento funcionais de equipes e projeto aprimora o intercâmbio de informações e a cooperação, melhorando a eficiência do trabalho (LIAO; LUO, 2012). Atualmente, a colaboração humana e a interoperabilidade de sistemas de *softwares* são requisitos essenciais na indústria (SAORÍN *et al.*, 2019).

O desenvolvimento de *frameworks*, plataformas *web*, *design* baseado em inteligência artificial (WANG *et al.*, 2002), utilização de plataformas em nuvem e

*softwares* em nuvem, são introduzidos na evolução do *design* colaborativo cronologicamente. Trabalhos de desenvolvimento de produtos na área aeroespacial, nos quais muitas disciplinas interagem, justificam fortemente a utilização de ferramentas de *design* colaborativo (DESHPANDE *et al.*, 2015). Novas abordagens têm sido desenvolvidas com foco nos desafios do ciclo de vida do produto no paradigma de engenharia simultânea, focando em dimensões de comunicação e aprendizagem (SOURI; GAO; SIMMONDS, 2019).

Como característica da engenharia colaborativa, a atuação de um projetista geralmente está dividida em vários projetos ao mesmo tempo, dependendo de suas disciplinas atuantes. Algumas informações do projeto estão dispostas a todos os níveis de colaboradores para um entendimento geral do contexto do projeto. Outras informações são disponíveis apenas aos níveis da subtarefa em questão, em virtude da especificidade do dado e a atualizações resultantes de trabalhos de CAE (*Computer Aided Engineering*). Desta forma, o acesso à informação no mesmo nível de trabalho colaborativo é importante, bem como a nível inferior e superior para o trabalho cooperativo (AHMED; SRIRAM; LOGCHER, 1992).

### 2.2.1 *Design* Colaborativo com o Cliente

A participação do cliente em um *design* colaborativo pode ser bastante complexa. Considera-se que o cliente não é especialista no desenvolvimento de produtos, e sim, almeja resultados específicos, nem sempre compatíveis com o contexto do projeto (LIU *et al.*, 2017; ZHENG *et al.*, 2017a). A extração dos requisitos do cliente é parte fundamental do processo.

Um dos objetivos mais latentes no *design* colaborativo é atender aos requisitos do cliente para funções do produto, direcionando o fluxo do trabalho. A estrutura do produto, relações entre sistemas funcionais, sequências de tarefas em diversos níveis e delimitação de prazos partem do mapeamento de um modelo abstrato do produto (JINFEI *et al.*, 2014). A falta de precisão do verdadeiro entendimento dos requisitos de projeto de maneira clara pode causar retrabalhos e percepções distintas pelos projetistas. Um dos desafios é a extração de informações do usuário de forma imparcial e útil para o projeto (MCNEESE *et al.*, 1992).

Durante o processo de *design*, ideias e pontos de vista diferentes e frequentemente conflitantes de diferentes *designers* são integrados em um

entendimento compartilhado com novas percepções e novas soluções (ARIAS *et al.*, 2000). A alteração de requisitos iniciais do cliente durante o desenvolvimento do produto pode acarretar em problemas funcionais de eficiência ou funcionalidade. Segundo Liu *et al.* (2017), aproximadamente 50% dos projetos pouco funcionais ou com defeitos são baseados na mudança da intenção inicial de seus requisitos, causando um efeito dominó em subatividades de projeto já desenvolvidas e suas concepções.

O *design* é a primeira etapa da manufatura e é onde a maioria das decisões importantes que afetam diretamente o custo final de um produto são tomadas (BOOTHROYD, 1994; ZHENG *et al.*, 2017a). Então, a correta análise dos requisitos do cliente para conversão de funções, matérias e processos de fabricação são fundamentais para garantir o sucesso do produto, principalmente para PMEs.

Identificar quais requisitos de um produto interferem em quais componentes e funcionalidades é uma tarefa de mapeamento importante para projetos colaborativos. Esta atividade reduz o risco de erros, retrabalhos e resultados frustrados após alteração de um requisito ou funcionalidade por parte dos envolvidos no projeto (LIU *et al.*, 2017).

### 2.2.2 Design Aberto

Atividade de *design* aberto está na evolução em um processo de criação ou modificação de conceitos de produtos inspirados na utilização de tecnologias, geralmente *softwares* e bibliotecas permitem atualização de projeto. Este é um processo contínuo de reprojeto, buscando atender às necessidades, contextos e preferências (JONES, 1983). Estas necessidades são apontadas e abordadas por meio do *design* colaborativo.

No *design* aberto são apresentadas duas linhas principais. Uma das linhas está presente na disposição de projetos concebidos e disponibilização para reprodução ou reprojeto de maneira pública (BAKIRLIOĞLU; KOHTALA, 2019). Esta linha também pode ser produção por pares, muito comum no desenvolvimento de *softwares* de código aberto. Na outra linha, pessoas participam em atividades promovidas por grupos, empresas ou eventos para produzir produtos em um universo do qual se identificam (YANG; JIANG, 2020). O potencial das informações e conhecimentos

compartilhados nestes eventos pode apresentar uma grande evolução em conceitos de produtos por meio do *design* colaborativo (BAKIRLIOĞLU; KOHTALA, 2019).

Conforme Tan *et al.* (2020), no desenvolvimento de produtos o *design* aberto pode ser um habilitador chave na personalização, permite a integração de módulos de outras soluções para satisfazer às necessidades e requisitos do cliente em uma nova solução. A integração de módulos personalizados em uma concepção de produto é o desafio na busca por uma de montagem ideal considerando as expectativas do mercado e as restrições de fabricação.

A cocriação envolvendo o cliente é correspondente a um *design* aberto relacionado aos consumidores. No entanto, nem todas as atividades de cocriação realizadas com os clientes levam à inovação aberta, pois a inovação requer uma comercialização bem-sucedida. Então, sugestões e ideias de consumidores que não são atendidas ou um *design* colaborativo que não vai além do estágio de protótipo são exemplos de atividades de cocriação que não resultam em inovação (RAYNA; STRIUKOVA; DARLINGTON, 2015). No caso de ETO em projetos OKP é difícil relacionar a inovação já que os lotes são pequenos ou de único produto.

Na utilização de arquitetura aberta para concepção de produtos novos, bem como a personalização de itens ou inclusão módulos personalizados, novas possibilidades de inovação são lançadas. A decisão por adoção de inclusão de módulos personalizados por *design* aberto é complexa e deve seguir modelo de tomada decisão para avaliação dos riscos e lucros, levando em consideração as preferências dos clientes (TAN *et al.*, 2020).

### 2.2.3 Plataformas de *Design*

A utilização de TICs (Tecnologias de Informação e Comunicação) tem papel fundamental para prática do *design* colaborativo. Com a colaboração global, a interação entre projetistas e utilização da *web* para troca de arquivos, especificações, dados e modelos digitais passa ser inevitável. Um problema recorrente é a falta de interoperabilidade e compatibilidade entre dados de diferentes sistemas CAD/CAE (KVAN, 2000; LI; XIE; SANG, 2013).

Sriram *et al.* (1991) descrevem um sistema de gerenciamento de trabalho colaborativo baseado em computador, que visa abordar problemas de coordenação e comunicação em engenharia. Este sistema, denominado DICE (Ambiente Distribuído

e Integrado para Engenharia Auxiliada por Computador), tinha o foco em redução de erros de projeto, aumento de detalhes e facilidade de reconhecimento de problemas de fabricação, com a transação de modelos CAD/CAE em seu gerenciamento (AHMED; SRIRAM; LOGCHER, 1992).

A popularização da *Web* para combinar informações de projetos desde o projeto conceitual, detalhamento e simulações motivaram a adoção deste meio como alternativa à colaboração de *design* (WANG *et al.*, 2002).

Ambientes colaborativos virtuais síncronos para colaboração e visualização 3D com colaboração de sistemas CAD são abordados por Rosenman *et al.*(2007). Sua proposta de *framework* foi alternativa para o desenvolvimento de plataforma *web* colaborativa. Banco de dados compartilhados, colaboração multiusuário em locais distantes com representação de propriedades e objetos em 3D em estágios conceituais de projeto são relacionados. Notificações de alteração ou proposições poderiam ser feitas por meio de quadro digital de avisos com notificações por e-mail aos interessados de forma síncrona ou assíncrona.

Jong *et al.* (2009) relacionaram um sistema *web* de desenvolvimento de moldes de injeção para oferecer recursos colaborativos, com biblioteca de componentes já desenvolvidos, um sistema de tomada de decisão para melhoria de eficiência no desenvolvimento do trabalho em *software* CAD. O processo de acompanhamento de decisões e tarefas atribuídas, bem como a padronização de componentes de bibliotecas são relacionados como novidade.

Uma proposta de plataforma colaborativa *Web* para o desenvolvimento de produtos complexos baseada em modelagem e simulação unificada de múltiplos domínios foi proposta por Ai *et al.* (2011). Esta plataforma tem em seu princípio a realização de três tecnologias principais: modelagem, gestão do conhecimento e ferramentas colaborativas de múltiplos domínios.

A complexidade de *design* e fabricação de produtos relacionados à indústria aeroespacial tende a possuir especificações funcionais excepcionais, em relação a outros produtos de outras indústrias. As implicações da abordagem proposta pelos desafios de gerenciamento de alto valor, baixo volume e alto ciclo de vida do produto. Custos relacionados a processos de manufatura específicos e matéria-prima otimizada devem ser levados em conta na elaboração do *design* (SOURI; GAO; SIMMONDS, 2019).

Sistemas interdisciplinares complexos como os da indústria aeroespacial requerem trabalhos de colaboração multidisciplinar eficientes, devido aos avanços tecnológicos em todas as direções (BAALBERGEN *et al.*, 2017). A utilização de linguagens de marcação extensíveis *web* como a W3C foi aplicada para redução dos problemas de interoperabilidade em sistemas colaborativos. Nesta utilização de linguagem comum entre colaboradores, a eficiência foi representada em esquemas de baixo nível, muito expressivos e eficientes: dados brutos, objetos matemáticos e geometria básica (DESHPANDE *et al.*, 2015).

Projetos de desenvolvimento de aeronaves geralmente são desenvolvidos em parcerias entre empresas com especialidades multidisciplinares distintas. A organização de projeto deve contar com responsabilidade e sigilo. Colaboradores atuantes no projeto passam a enfrentar problemas com restrições de segurança, como *firewalls* e servidores *proxy*. As restrições organizam e protegem as informações, mas são um desafio na velocidade das informações (BAALBERGEN *et al.*, 2017).

Como limitações para plataformas de *design web* colaborativo de maneira geral, o desenvolvimento de sistemas de colaboração multiusuário é bem mais complexo do que apenas inserir ferramentas de comunicação em *softwares* CAD/CAE. Métodos de trabalho diferentes envolvem características colaborativas distintas personalizáveis, necessitando adequação para cada ramo de atividade ou produto, que podem ser facilitadas por plataformas em nuvem (ZISSIS *et al.*, 2017). Os recursos de *design* de ferramentas CAD/CAE continuam a evoluir a cada atualização de versão, aumentando a capacidade de parametrização, visualização e recursos de detalhamento, podendo ser atualizadas e personalizadas para os devidos usuários na plataforma em nuvem (WU *et al.*, 2015). Em geral, estas ferramentas eram de único usuário, isolando conhecimentos específicos no usuário (RED *et al.*, 2013).

#### 2.2.4 Modelagem Colaborativa

Para o desenvolvimento de grandes ou complexos projetos de engenharia, a comunicação é uma necessidade para interação entre projetistas de cada disciplina em um *design* colaborativo. Os objetivos, requisitos, planejamento, cronograma e acompanhamento da evolução dos resultados precisam ser compartilhados e acompanhados. Com a popularização da utilização de desenho assistido por computador (CAD), o compartilhamento de informações de geometrias espaciais entre



*softwares* distintos é possível, utilizando linguagens de intercâmbio como DXF e IGES, que possibilitam visualização em programas de modalidades ou desenvolvedores diferentes para trabalhos conjuntos (AHMED; SRIRAM; LOGCHER, 1992). Estes padrões de intercâmbio não recuperam totalmente recursos de evolução de modelagem paramétrica da estrutura do modelo 3D, apenas sua geometria, dificultando um trabalho de reprojeto, colaboração ou sucessão em um *software* CAD/CAE distinto ou de outra modalidade (MENON, 1997; WONG; SRIRAM, 1993). A necessidade de uma plataforma ou sistema para modelagem colaborativa considerando estas questões é apresentada (LI; TANG; WANG, 2015).

Os recursos paramétricos de modelagem evoluíram bastante nas últimas décadas. Sua grande aceitação pela indústria vem da facilidade de visualização dos recursos, que são apresentados em árvore de projeto, dispostos de maneira cronológica. O modelo geométrico é apresentado em forma de vértices, faces e arestas, enquanto seus recursos de modelagem como ranhuras, nervuras, cortes e extrusões são dispostos na árvore de projeto de maneira organizada, gerenciando o histórico da modelagem (PERNOT *et al.*, 2008).

A dependência de utilização de modelos em linguagens de intercâmbio está ligada à falta ou baixa capacidade colaborativa das ferramentas CAD/CAE. Com trabalhos multiusuário, superando as limitações de interoperabilidade, a produtividade poderia melhorar, principalmente em projetos grandes e complexos (RED *et al.*, 2013).

### 2.3 TECNOLOGIAS DE COMPUTAÇÃO EM NUVEM

A evolução dos sistemas de comunicação e tecnologia da informação, resultantes dos últimos anos, já pode garantir que a computação será considerada como a quinta utilidade básica, após água, eletricidade, gás e telefonia (BUY YA *et al.*, 2009). Estas utilidades fazem parte das necessidades básicas da população, praticamente indispensáveis de utilização cotidiana. Para chegar a esse nível, alguns paradigmas foram propostos e incluem a evolução da *Web 2.0*, comunicação ponto a ponto e a computação em nuvem (BUY YA *et al.*, 2009; PANKAJ *et al.*, 2009; WU *et al.*, 2018).

A computação em nuvem está relacionada tanto aos aplicativos dispostos como serviços pela Internet, quanto aos *hardwares* e *softwares* de sistemas em *data centers*

que fornecem esses serviços sob demanda de usuários contratantes (LEE, 2013). Estes recursos podem ser configuráveis como: redes, servidores de armazenamento, aplicativos e serviços, que podem ser disponibilizados rapidamente e compartilhados com o mínimo esforço de gerenciamento ou interação do provedor de serviços (GARRISON; KIM; WAKEFIELD, 2012; PANKAJ *et al.*, 2009).

A utilização de recursos de computação em nuvem pode trazer economia no consumo energia. Provedores de serviços centralizados com grande quantidade de recursos podem trazer otimização de recursos compartilhados com preços acessíveis (MAUCH; KUNZE; HILLENBRAND, 2013).

Na computação em nuvem, tudo é tratado como um serviço, ou seja, XaaS (XU, 2012). Algumas das disposições para recursos em nuvem são classificadas como *software* como serviço (SaaS), plataforma como serviço (PaaS), infraestrutura como serviço (IaaS) e *hardware-as-a-Service* (HaaS) (FISHER *et al.*, 2018; GARRISON; KIM; WAKEFIELD, 2012; WU *et al.*, 2013; WU; TERPENNY; GENTZSCH, 2015; ZHANG, 2018; ZISSIS *et al.*, 2017):

- a) Infraestrutura como serviço (IaaS): Disponibiliza ao consumidor recursos de rede, máquinas virtuais, armazenamento, processamento e outros recursos necessários para que seja possível a instalação e utilização de *softwares*, aplicações, plataformas, desenvolvimento de soluções em rede e internet.
- b) Plataforma como serviços (PaaS): Fornece ao consumidor a possibilidade de utilização de infraestrutura em nuvem para alocação e ou criação de aplicações, permitindo seu compartilhamento com suporte de um provedor. Nesta modalidade, o consumidor não controla os recursos de armazenamento, rede e infraestrutura em geral. Plataformas podem ser utilizadas como hospedagem para *download* ou execução de aplicações compartilhadas.
- c) *Software* como serviço (SaaS): Fornece ao usuário do serviço acesso a um ou mais *softwares* desejados, através de uma plataforma ou navegador *web*, utilizando a infraestrutura da nuvem para execução, processamento e armazenamento dos arquivos de documentos trabalhados.
- d) *Hardware* como Serviço (HaaS): Oferece ao usuário serviços de compartilhamento de *hardwares* de infraestrutura física com objetivo de realizar trabalhos remotos com o compartilhamento de recursos, como: máquinas ferramentas, manufatura aditiva, *scanners* tridimensionais e processos de

manufatura. Geralmente a iteração com plataformas como serviços para contratação, alocação e agendamento dos recursos de HaaS.

A computação em nuvem se apresenta como uma alternativa de baixo custo, trazendo soluções favoráveis para PME, como computação de alto desempenho sob demanda (TAYLOR *et al.*, 2018).

Sistemas de computação em nuvem também são utilizados para hospedar aplicativos que contêm tarefas de processamento de curta ou longa duração. Os aplicativos que fornecem serviços de Internet geralmente têm tarefas de curta duração e são projetados para servir milhões de usuários simultaneamente, como buscadores e e-mails (BUYA *et al.*, 2009). Muitas aplicações de trabalho técnico como execução de cálculos, simulações em *softwares*, análises de previsão, análise de risco e outras, geralmente contêm tarefas que consomem muitos recursos de processamento e têm longa duração, estes são executados em sistemas de nuvem chamado de Computação de Alto Desempenho (HPC) (ANDREADIS; FOURTOUNIS; BOUZAKIS, 2015; HE; XU, 2015; WU *et al.*, 2017).

Sistemas HPC são um amplo conjunto de arquiteturas normalmente baseadas em configurações de multiprocessadores com técnicas de processamento paralelo, como um meio de melhorar o desempenho, muitas vezes utiliza supercomputadores servidores e *clusters* de computador para lidar com várias tarefas em uma alta velocidade, como resolver problemas complexos de engenharia. A utilização de nuvem HPC possibilita a capacidade de popularizar a engenharia auxiliada por computador, facilitando o acesso a plataformas, infraestrutura e *softwares* (HE; XU, 2015; TAYLOR *et al.*, 2018; WU *et al.*, 2017).

A aceitação da computação em nuvem é relativamente alta nos meios das tecnologias de comunicação (TICs), porém as comunidades de *design* auxiliado por computador (CAD), análise de engenharia (CAE) e manufatura (CAM) recentemente chamaram a atenção para a computação em nuvem. O desenvolvimento e adaptação de *softwares* específicos nesta área é bastante tímido (WU *et al.*, 2017).

Alguns dos benefícios apontados por Wu *et al.* (2017) para a aplicação de HPC baseado em nuvem em aplicativos CAD / CAE / CAM são os seguintes:

- a) Acesso onipresente - acesso a qualquer pacote de *software* CAD / CAE / CAM e *hardware* de computação HPC com vários núcleos de CPU, GPUs, por meio de aplicativos a qualquer hora, em qualquer lugar.

- b) Custos otimizados - modelo de pagamento *pay-per-use* (pague por quanto utilize) sem grandes investimentos de capital.
- c) Escalabilidade - pode aumentar ou diminuir recursos sob demanda.
- d) Produtividade - pode aumentar significativamente a utilização de recursos de computação, permitindo que equipes de engenharia globalmente dispersas executem análises e simulações de engenharia simultaneamente e de forma colaborativa.

## 2.4 DESIGN EM NUVEM

Conciliando os recursos de computação em nuvem a área de aplicação de desenvolvimento de produtos mecânicos (*design* e fabricação), temos o *design* e fabricação baseados em nuvem, também chamado de *Cloud Based Design and Manufacture* (CBDM). Neste modelo, consumidores de serviço podem selecionar e configurar serviços personalizados dentro de uma variedade de recursos disponíveis, como ferramentas CAD, CAE, plataformas de comunicação e gerenciamento de atividades, reconfigurando quando houver necessidade ou por especificidade do projeto. A configuração dos recursos é realizada através da integração de modelos de serviços de computação em nuvem: Infraestrutura como serviço (IaaS), Plataforma como serviço (PaaS), *hardware* como serviço (HaaS) e *software* como serviço (SaaS) (WU *et al.*, 2015).

Como visto anteriormente, derivados do CBDM são apresentados o CBD (*Cloud Based Design*) e o CM (*Cloud Manufacturing*) (WU *et al.*, 2013).

No *design* baseado em nuvem (CBD), com acessos a redes sociais e ambientes colaborativos, aumentam as possibilidades de interação e coleta de informações entre consumidores e projetistas (WU *et al.*, 2015). Engenheiros tratados como individualistas se adequam a um novo paradigma de projeto e engenharia colaborativa e interativa (LUIS SAORIN *et al.*, 2019).

Entre os requisitos importantes para o CBD, estão a compatibilidade com a computação em nuvem, possuir acesso remoto por dispositivos distintos, geograficamente dispersos e capacidade de gerenciar o fluxo de informações (WU *et al.*, 2015). A colaboração entre indivíduos e a interoperabilidade dos sistemas de *software* são requisitos essenciais na indústria 4.0 (LUIS SAORIN *et al.*, 2019). A

virtualização de aplicações como aceleração gráfica (GPU), acessos a *softwares* distintos em nuvem, são propostas de arquiteturas necessárias para atender aos usuários CAD (ANDREADIS; FOURTOUNIS; BOUZAKIS, 2015).

Dentre as ferramentas essenciais para o desenvolvimento de produtos estão os *softwares* CAD/CAE, que até então não eram desenvolvidos pensando em atender requisitos de mecanismos simples de colaboração (ZISSIS *et al.*, 2017). Desenvolvedores de *softwares* CAD 3D para engenharia, como *Pro-Engineer*, *Autodesk* ou *Solidworks*, já dispõem de plataformas para trabalhos colaborativos. Estas, destinadas geralmente a empresas que combinam tarefas de planejamento de ciclo de vida (PLM) e modelagem 3D. Porém, a complexidade nas distintas plataformas pode tornar sua implantação um pouco complexa (LUIS SAORIN *et al.*, 2019).

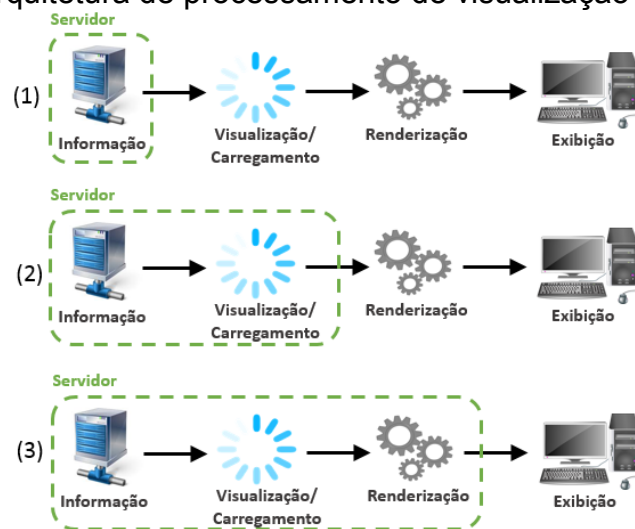
A necessidade por soluções CAD/CAE colaborativas estão cada vez mais alinhadas com a disponibilidade de arquitetura de rede para virtualização de aplicações em nuvem para sistemas multiusuários e menor exigência de *hardware* de alto desempenho (OSTROSI; FOUJÈRES, 2018; ZISSIS *et al.*, 2017).

Com a utilização de *SaaS*, a visualização para alguns desafios de *design* podem ser superados, como a necessidade de atualização de *softwares* com frequência, aquisição de licenças de *softwares* de pouca utilização, substituição de estações de trabalhos por falta de poder de computação, compartilhamento de bibliotecas, recuperação de dados perdidos, mobilidade e segurança (ANDREADIS; FOURTOUNIS; BOUZAKIS, 2015).

Algumas arquiteturas para visualização de modelos 3D dividem as tarefas de processamento entre os provedores de um recurso ou serviço (o servidor) e os solicitantes do serviço (os clientes). Três padrões distintos foram identificados (Figura 2). No primeiro chamado de *Fat Client* (1), o processamento de carregamento de visualização e renderização é executado no *hardware* do cliente, necessitando um grande poder de computação do usuário, quanto a largura da banda pode ser um gargalo. No segundo modelo, chamado de *Balanced Client-Server* (2), o armazenamento e processamento de carregamento de visualização são efetuados no servidor, bastando apenas o processamento de renderização para o *hardware* do cliente, necessita menor largura de banda. O terceiro modelo *Thin Client* (3), todo processamento é realizado no servidor, bastando ao *hardware* do cliente a comunicação e exibição. Neste último caso, geralmente é restrito a visualização do

modelo 3D (ZISSIS *et al.*, 2017). O acesso *Thin Client* serve apenas como entrada (teclado, mouse ou outros dispositivos de entrada) e saída (monitor, etc.) de dados. Os únicos dados de tráfego de rede consistem em toques no teclado, cliques do mouse e alterações de pixel (ANDREADIS; FOURTOUNIS; BOUZAKIS, 2015).

Figura 2 - Arquitetura de processamento de visualização de modelos 3D



Fonte: Adaptado de Zissis *et al.* (2017).

Um dos principais problemas relacionados ao uso da nuvem para aplicativos CAD é a interação suave com o usuário. Três fatores principais são: (1) a velocidade de conexão, (2) *thin-clients* especiais (navegadores tradicionais não são suficientes) e (3) infraestrutura de servidor especial (ANDREADIS; FOURTOUNIS; BOUZAKIS, 2015).

As arquiteturas para *design* em nuvem podem variar em nuvens públicas e nuvens privadas. Para nuvens privadas uma estrutura de nuvem com mais de um servidor é proposta por Andreadis, Fourtonis e Bouzakis (2015):

- a) Servidor *web*: É a entrada inicial no sistema, consiste em vários subsistemas aos quais os usuários têm acesso, dependendo de seus direitos.
- b) Servidores de aplicativos: CAD / CAM / CAE. Executam fisicamente os aplicativos.
- c) Servidores coordenadores: Encaminham a solicitação de um usuário para executar um aplicativo para o servidor de aplicativos mais adequado e equalizam as cargas.
- d) Servidores de banco de dados / armazenamento: São servidores para armazenamento e transferência de dados em alta velocidade e alta segurança.

- e) Servidores GPU: Servidores com *hardware* gráfico de alto padrão (placas de vídeo) que realizam o cálculo de imagens gráficas técnicas complexas (por exemplo, renderização).
- f) Cálculo / servidores de módulos externos: São servidores com *hardware* de alto padrão para aplicações de cálculos matemáticos (principalmente em relação a aplicativos CAE).

Entre os benefícios da utilização da computação em nuvem está a utilização de computação de alto desempenho (HPC) baseada em nuvem. Wu *et al.* (2017) avaliaram o desempenho da solução de um problema de engenharia de grande escala, testando análise de elementos finitos em várias nuvens HPC públicas através de um conjunto de experimentos. Chegaram à conclusão que as nuvens públicas HPC ainda não substituem totalmente supercomputadores, mas são uma alternativa viável a PMEs. A razão é que aplicações HPC frequentemente requerem alta largura de banda e rede de baixa latência.

Em modalidade *Software* como Serviço (SaaS), os consumidores de serviços em nuvem podem executar *software* de aplicativo de computação intensiva, como o AutoCAD e outros, remotamente, sem instalar e executar o *software* em seus computadores locais. Exemplos de provedores de SaaS incluem ANSYS, Autodesk, Dassault Systemes, Sabalcore, Nimbix e UberCloud (WU; TERPENNY; GENTZSCH, 2015).

O desenvolvimento de *softwares* e aplicações CAD/ CAE/ CAM específicos para utilização em nuvem ainda é recente e não está totalmente consolidado em seus moldes. Empresas independentes oferecem serviços baseados em nuvem e licenças mais flexíveis para implantação (WU *et al.*, 2017).

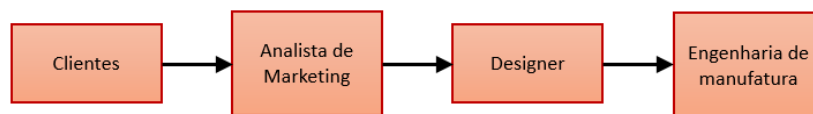
Um dos paradigmas do *design* de engenharia é o processo social de envolvimento de pessoas e equipes torno de um projeto de uma ou mais empresas. Muitos estudos já apresentam modelos descritivos que abstraem o processo de projeto de engenharia. Entre esses modelos, um dos mais conhecidos talvez seja o proposto por Pahl e Beitz (1996). Abordagens sistemáticas de projeto divididas em fases ou etapas, neste caso: planejamento do produto e esclarecimento da tarefa, projeto conceitual, projeto da incorporação e projeto detalhado (LIAO; LUO, 2012; WU *et al.*, 2015).

Além do modelo de Pahl e Beitz, outros modelos conceituais também são bastante utilizados e contam com variações à aplicação de ferramentas já conhecidas

de outros sistemas de planejamento, como matriz QFD (AKAO; MAZUR, 2003) e engenharia *Kansei*. Modelos estruturados para a gestão do processo de desenvolvimento de produtos como o de Rozenfeld *et al.* (2006) também são utilizados como referência. O trabalho de *design* colaborativo aprimora o intercâmbio e a cooperação entre departamentos e empresas (WU *et al.*, 2013). Parceiros de colaboração no ciclo de vida de um novo produto, como fornecedor de componentes e cliente, envolvidos no processo de *design* do produto, papel importante na manufatura (LIAO; LUO, 2012).

O *design* de qualquer produto é um processo técnico e inerentemente social, melhorando a comunicação é possível melhorar o projeto. A compreensão do complexo processo de *design* e suas tarefas em uma assertividade cronológica envolvendo indivíduos é fundamental para evitar informações distorcidas e requisitos mal compreendidos. No *design* tradicional, geralmente a comunicação acontece de forma unidirecional (Figura 3) como uma sequência linear nas fases de projeto (WU *et al.*, 2015).

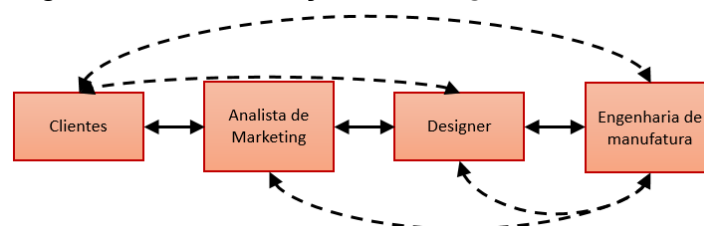
Figura 3 - Comunicação de *design* tradicional unidirecional



Fonte: adaptado de Wu *et al.* (2015).

Com a utilização de arquiteturas de nuvem em estruturas orientadas a serviço, a comunicação do *design* pode ser aprimorada e o fluxo de informações pode ocorrer em várias direções (Figura 4). Exemplo claro pode ser a utilização de mídias sociais, que permitem aos engenheiros de *design* colaborar com os clientes simultaneamente, recebendo *feedback* instantâneo dos clientes, ou pesquisas em mídias sociais abertas a comunidades de interesse no tema do projeto, como por exemplo a *Local Motors* (BAKIRLIOĞLU; KOHTALA, 2019; WU; TERPENNY; GENTZSCH, 2015; YANG; JIANG, 2020).

Figura 4 - Comunicação de *design* multidirecional



Fonte: adaptado de Wu *et al.* (2015).



A colaboração e comunicação entre *designer* e cliente durante o processo de concepção do projeto pode ser tão interessante quanto a colaboração entre *designer* e o setor de manufatura. A utilização de gestão de conhecimento de manufatura no desenvolvimento de novos produtos pode impactar no tempo e métodos de fabricação dos itens de produtos projetados (SOURI; GAO; SIMMONDS, 2019). A virtualização de recursos de simulação permite a simultaneidade de *design* e análise de engenharia pelos projetistas, juntamente com o auxílio e avaliação da engenharia de fabricação, com *feedback* ao cliente em períodos menores de resposta. Equipes de trabalho interdisciplinares podem ter a capacidade de trabalhar simultaneamente recursos de um mesmo projeto, com redução de tempo alocado em comunicação burocrática de registros de alteração, tornando o andamento do projeto mais contínuo (SOURI; GAO; SIMMONDS, 2019; WU *et al.*, 2015).

O reaproveitamento de características de projetos que apresentaram êxito, reutilização de um modelo CAD, juntamente com o *design* colaborativo agregam qualidade e reduzem tempo de trabalho, além de apresentar características e informações já testadas. Neste caso, a compreensão dos usuários, projetistas e clientes sobre o produto pode ser fundamental para a melhoria no produto (CHENG *et al.*, 2019). Os requisitos de projeto são estabelecidos nas fases iniciais do projeto. A experiência dos engenheiros e projetistas desempenha um papel vital na minimização das alterações de projeto, mas muitas vezes é baseado em suposições de tentativa e erro (SARAVANAN; JERALD; DELPHIN, 2020).

A tecnologia chave para virtualização dos recursos de *design* colaborativo está no encapsulamento de serviços para a nuvem (OSTROSI; FOUGÈRES, 2018). Habilidades de *design*, simulação e conhecimentos de manufatura compartilhados com acesso onipresente e interação colaborativa de equipe multidisciplinar, fizeram com que o *design* e manufatura baseados em nuvem fossem apresentados como um novo paradigma de produção (WU *et al.*, 2015).

#### 2.4.1 *Design* para Configuração

Uma outra modalidade de *design* baseado em nuvem é o *design* baseado em nuvem para configurações (ISSA *et al.*, 2017), caracterizado pela intensa interação entre clientes e agentes distribuídos (CHOULIER; FOUGÈRES; OSTROSI, 2015). Um

conjunto de configurações do produto pode ser projetado e fabricado com base neste modelo de configuração. Projetos por configuração são muito aplicados a sistemas nos quais a padronização de módulos para fabricação e ou montagem são possíveis, como fabricação de itens como janelas, portas, móveis e outros itens que dispunham de padrão modular para montagem (ALEKSIC; JANKOVIC; RAJKOVIC, 2017).

O *design* baseado em nuvem para configuração pode ser visto como o resultado da evolução e adoção do *design* existente para paradigmas de configurações, considerando maiores incertezas em projetos de configuração pelo pedido do cliente ou configuração para montagem baseado no pedido do cliente. A teoria dos conjuntos difusos de Zadeh (1965) é adequada para lidar com informações incertas. Diferentes modelos de um projeto de engenharia se aplicam à configuração de um produto, e podem ser construídos dentro e entre diferentes domínios: requisitos, funções, soluções e processos de manufatura. Esses modelos podem ser expressos na forma de relações difusa para valoração na seleção da configuração (ISSA *et al.*, 2017).

A seleção de componentes baseados em configurações, como as de recursos de manufatura, pode agrupar componentes em um sistema em nuvem, visando a geração de lotes para utilização ou criação de células de manufatura baseadas em recursos geométricos, geralmente característicos de alguma tecnologia de manufatura (OSTROSI; FOUGÈRES, 2018).

A utilização de inteligência artificial nem sempre está ao alcance de PMEs, mesmo assim sistemas de configurações são atraentes para modularização de soluções de personalização ou customização de produtos para produção única.

Neste trabalho a inteligência artificial não foi integrada ao modelo proposto, pois aumenta a complexidade inicial da proposta, porém a sua utilização eliminaria etapas nas quais habilidades de especialistas são necessárias.

#### 2.4.2 *Frameworks de Design* de Produtos Personalizados

Demandas de clientes por personalização de produtos têm aumentado, podendo levar a fabricação da produção em massa para a personalização em massa. Capacidade de respostas com menor ciclo de vida a mudanças de produto para atender o mercado, como *frameworks* para *design* baseado no cliente e melhoria rápida, são essenciais para empresas de manufatura modernas (BARENJI *et al.*,

2021). Cabe aqui uma observação sobre um produto personalizado ou customizado, este pode ser fabricado em massa ou como produto único (OKP).

A produção OKP tem como foco um único cliente e geralmente assume o tipo de engenharia por pedido como modelo de negócios (FISHER *et al.*, 2018; ZHENG *et al.*, 2017a). Projetos personalizados geralmente apresentam algumas incertezas e dificuldade de comunicação precisa. Neste processo, o *feedback* do cliente é vital e necessidades de reprojeção são comuns. O custo do produto é normalmente mais alto do que o das empresas de manufatura com foco no produto (ZHENG *et al.*, 2017a).

Algumas das características principais no sistema de planejamento de produtos únicos são: alta personalização, alta variedade de produtos e recursos limitados (ZHENG *et al.*, 2017a). Muitas indústrias pequenas são especialistas em seus ramos de desenvolvimento de produtos, por disporem de recursos específicos e limitados a sua atuação. Koren *et al.* (2013) falam de conceito de produto aberto ou arquitetura aberta, para incorporar módulos inovadores de PMEs especialistas na personalização de produtos únicos em produtos modulares de grandes corporações. Este conceito também é abordado por Tan *et al.* (2020) para modularização de inovação proposta por clientes.

Estruturas de trabalho colaborativo devem levar em consideração a opinião dos clientes na personalização de um produto. A necessidade por sistemas de colaboração eficiente com métodos que possam captar as visões do cliente são dificuldades enfrentadas neste tipo de tarefa. Conhecimentos profissionais de manufatura, *design* e visão do cliente geralmente estão em seções ou ambientes distintos. Então, a resposta para estes problemas de concepção deve ser abordada em várias seções, com *feedback* do cliente (BARENJI *et al.*, 2021; WU *et al.*, 2015).

Com a tendência de colaboração global, há uma necessidade de *design* colaborativo entre equipes e empresas distribuídas geograficamente. Essa necessidade é inevitável nas empresas que fazem seus negócios com base na produção única (LI; XIE; SANG, 2013).

*Frameworks* para *design* de produtos personalizados utilizando computação em nuvem já foram propostos e fazem parte do novo paradigma de *design* e fabricação em nuvem (CBDM).

Zennaro *et al.* (2019) abordam em sua revisão sistemática diversos trabalhos na área de produção de produtos customizados de grande porte. Em sua pesquisa identificaram como promissora e pouco explorada a utilização de servitização

(encapsulamento de tarefas) em nuvem baseada nos princípios da indústria 4.0 para projetos de engenharia por encomenda (ETO).

Em uma estrutura para desenvolvimento de um produto único personalizado, as necessidades de um cliente em específico são levadas em conta para a personalização do produto. Os requisitos do cliente (CR) devem ser capturados na essência para representação do projeto. Algumas ferramentas habilitadoras da manufatura 4.0 como IoT, a análise de *big data*, *Machine Learn*, podem ser importantes para auxiliar na maturidade do projeto, levando em consideração as necessidades específicas do cliente.

## 2.5 MANUFATURA EM NUVEM

A manufatura e *design* baseados em nuvem, também tratada como CBDM (*Manufacturing-Based Design Manufacturing*), pode ser vista como um modelo de desenvolvimento de produto em rede orientado a serviços, em que os consumidores de serviços podem configurar, selecionar e utilizar recursos e serviços personalizados de realização de produtos, que variam de *software* de engenharia auxiliado por computador a sistemas de fabricação reconfiguráveis (WU *et al.*, 2015). Este princípio parte da utilização de poder de computação, armazenamento de dados e serviços são terceirizados e disponibilizados como commodities para empresas e clientes (XU, 2012).

Derivados do CBDM são apresentados o CBD (*Cloud Based Design*) e o CBM (*Cloud Based Manufacturing*). O CBM é um modelo de negócios orientado a serviços para compartilhar capacidades e recursos de manufatura em uma plataforma de nuvem (FISHER *et al.*, 2018; WU *et al.*, 2013).

Wu *et al.* (2013) abordaram *DMCloud* (nuvem de *design* e manufatura) como movimento colaborativo entre *design* e manufatura, não dependendo de interligação direta entre o mesmo fabricante e *designer*, e sim de um ambiente em nuvem onde o desenvolvimento colaborativo do produto possa acontecer de forma síncrona com interligação de ferramentas (CAD/CAM) e conhecimento de projeto e manufatura.

Uma diversidade de recursos de manufatura compartilhados de forma distribuída para atender demandas variadas e diversificadas, como linha de produção temporárias e reconfiguráveis, buscando redução do custo de ciclo de vida baseado

em atividades geradas por clientes de demanda variável, é o foco do modelo de manufatura em nuvem (ARGONETO; RENNA, 2016; GOLIGHTLY *et al.*, 2016; WU *et al.*, 2015). Maximizar a capacidade e a ocupação de recursos de manufatura de forma segura e com baixo custo, o compartilhamento de demandas de fabricação distribuídas é um dos objetivos da manufatura em nuvem (GOLIGHTLY *et al.*, 2016; ZHENG *et al.*, 2017a).

Segundo Fisher *et al.* (2018), a manufatura em nuvem pode aumentar a sustentabilidade da indústria de manufatura baseada em: *design* colaborativo de produtos, facilidade de automação de manufatura, maior resiliência de processos e maior reutilização, redução e recuperação de resíduos.

A primeira definição de manufatura em nuvem foi proposta por Li *et al.* (2010), como um sistema de manufatura inteligente baseado em conhecimento e orientado para serviços com alta eficiência e baixo consumo de energia, permitindo que recursos e capacidades de manufatura possam ser virtualizados e transformados em serviços sob demanda disponíveis para os usuários através do ciclo de vida de um produto (HE; XU, 2015; OSTROSI; FOUGÈRES, 2018; REN *et al.*, 2015). Nestas primeiras definições era denominado nuvem manufatura (CMfg), como baseada na combinação de tecnologias emergentes de computação em nuvem, IoT, virtualização e outras.

O modelo de manufatura CMfg inicial foi proposto a fim de aumentar a utilização de recursos, reduzir o consumo de recursos e energia, realizar o compartilhamento e cooperação com uso sob demanda de recursos e capacidade de manufatura. Outros objetivos eram acelerar a transformação da manufatura orientada para a produção a manufatura orientada para os serviços e promover os serviços de poder competitivo e inovação com base no conhecimento da empresa manufatureira (TAO *et al.*, 2011).

Na evolução de conceitos, um ambiente de manufatura em nuvem passa a conectar os clientes com suas necessidades a provedores de recursos, que podem atender a essas necessidades enquanto atendem aos objetivos de custo, cronograma e qualidade dos clientes (ARGONETO; RENNA, 2016).

A principal desvantagem dos processos tradicionais de *design* e manufatura é a falta de interação entre as partes interessadas (cliente, fornecedores, especialistas, entusiastas). A computação em nuvem na manufatura se apresenta como um tecnologia poderosa e meio para o conhecimento de inovação distribuída e integrada (ZHOU *et al.*, 2016).

Tecnologias de fabricação mais recentes como a manufatura aditiva (AM), geralmente utilizada na fabricação de produtos personalizados com baixo volume de produção, apresentam um grande potencial para a utilização em modelo de fabricação em nuvem (FISHER *et al.*, 2018; HE; XU, 2015).

Tao *et al.* (2011) relataram algumas vantagens principais que a manufatura em nuvem pode oferecer: (i) reduzir a capacidade ociosa dos recursos de manufatura e aumentar a utilização; (ii) reduzir os investimentos para PMEs se beneficiar de recursos de fabricação de alto valor e habilidades de fabricação específicas; (iii) reduzir custos com infraestrutura, administração, energia, atualizações de equipamentos de manufatura; (iv) facilidade de escalabilidade de produção e negócios de acordo com a demanda do cliente; (v) novos tipos e classes de manufatura / modelo de negócio ou processo e fornecer serviços de manufatura que antes não eram possíveis.

Plataformas de fabricação em nuvem podem fornecer composição de serviços de forma inteligente, distribuindo as demandas de clientes para otimizar as capacidades de fabricação dos fornecedores, otimizando a colaboração e a personalização do serviço (REN *et al.*, 2015).

Um exemplo de plataforma fornecimento de serviços de fabricação em nuvem é a *3D Systems On Demand* (2021). Nesta plataforma, consumidores de serviços de prototipagem rápida, produção de baixo volume podem utilizar mecanismo de cotação em tempo real e automático. É possível carregar diversos tipos de arquivos CAD de *softwares* comerciais 3D (WU *et al.*, 2015). Outro exemplo é a plataforma *mfg.com* (2021), a partir da qual clientes e fornecedores de serviços de fabricação em nuvem podem se cadastrar para solicitar e fornecer cotações de propostas de serviços de manufatura aditiva, usinagem e outros como manufatura orientada a serviço.

Abaixo são apresentadas algumas definições fundamentais na fabricação em nuvem, conforme Ren *et al.* (2015):

- a) **Recurso de Fabricação** - entidade que dá suporte a uma atividade. Existem dois tipos básicos de recursos de manufatura: recursos físicos e recursos flexíveis.
- b) **Capacidade de Fabricação** - competitividade profissional, recursos de fabricação em sua capacidade, para realizar um trabalho no ciclo de vida de um produto, que representa a competência.
- c) **Cloud Manufacturing Platform** - entidade que gerencia um agrupamento compartilhado de recursos e capacidades de manufatura em uma rede.

- d) Serviço de Fabricação em Nuvem - função baseada em uma capacidade de fabricação.
- e) Usuário da Nuvem - ator que participa da fabricação da nuvem. Há três tipos: provedor de nuvem, consumidor de nuvem e operador de nuvem.
- f) Virtualização de Recursos - processo de mapeamento de um recurso de manufatura real para um recurso lógico disponível na nuvem.
- g) Servitização de Capacidade - processo de encapsulamento de uma descrição abstrata de uma capacidade de fabricação para um serviço de nuvem padrão.

Manufatura em nuvem é um grupo de modelo de manufatura baseado em inovação colaborativa (TAO *et al.*, 2011; ZHANG *et al.*, 2014). Alguns desafios precisam ser enfrentados para que a manufatura em nuvem possa ser aceita de maneira geral como uma escolha viável na manufatura. Padronização, critérios e regulamentação oficial em nível pessoal, empresarial, local, nacional e internacional são necessários, bem como proteção e segurança na transação de dados (HE; XU, 2015; TAO *et al.*, 2011).

Conforme He e XU (2015), os trabalhos de manufatura em nuvem são gerenciados em seis requisitos, podendo variar dependendo da arquitetura adotada. Dentre as premissas citadas:

- a) Publicação e descoberta de serviços: Solicitantes publicam informações dos serviços disponíveis para a plataforma de fabricação em nuvem; operadoras gerenciam vários serviços e fornecem serviços aos demandantes. Utilização de algoritmos de busca e correspondência para encontrar serviços adequados para atender às solicitações. Avaliação de distâncias, tamanho de lote, precisão, acabamento, tempo de resposta e outros (BALTA *et al.*, 2018; HE; XU, 2015).
- b) Alocação de recursos e programação de serviços: A alocação de recursos deve ser implementada pela virtualização dos processos de fabricação com agendamento para atender à demanda flutuante de solicitações de serviços. Tarefa desafiadora, mas crítica para o desempenho do gerenciamento de serviços de recursos e satisfação do usuário (ZHANG *et al.*, 2014).
- c) Gerenciamento de qualidade de serviço de alocação: Deve haver uma forte demanda para desenvolver e comparar algoritmos de otimização e estratégias para melhor apoiar o gerenciamento de qualidade, abrangente com o objetivo de alcançar alta qualidade e eficiência na proposição de demandas entre cliente e manufatura (HE; XU, 2015).

- d) Composição do serviço: Baseia-se na montagem dos serviços de fabricação de acordo com os requisitos da tarefa. A composição do serviço é crítica para a seleção e integração de serviços com atividades que envolvem mais de uma empresa de maneira heterogêneas no ambiente de manufatura em nuvem (BALTA *et al.*, 2018; LEE; BANERJEE, 2011; WU *et al.*, 2013).
- e) Gerenciamento de segurança e confiabilidade: Como a possibilidade de que plataformas de fabricação em nuvem possam ser hackeadas é necessário incorporar autenticação e mecanismo de autorização, mecanismo de avaliação e medição de confiança (BAALBERGEN *et al.*, 2017; WU *et al.*, 2020).
- f) Avaliação da execução do serviço: Após a realização dos serviços, é recomendado que os demandantes avaliem se o resultado da execução satisfaz o requisito de tarefa predefinida. Essa avaliação é importante porque determina se a transação do serviço de nuvem deve ser marcada como 'concluída' ou não (BALTA *et al.*, 2018; HE; XU, 2015).

Alguns desafios precisam ser enfrentados na manufatura em nuvem, dentre eles: (1) Falta de padrões, critérios e regulamentação oficial em nível pessoal, empresarial, local; e (2) problemas de segurança e proteção na transação de dados (HE; XU, 2015; TAO *et al.*, 2011).

Em relação a segurança, em uma nuvem privada são dispostos dados e informações de um único locatário, que fornece serviços específicos dentro dessa empresa. A localização do servidor é geralmente dentro da empresa e permite a segurança dos dados, com exceção de *hackers* (FISHER *et al.*, 2018). Os aplicativos essenciais e de negócios essenciais das empresas são frequentemente mantidos em uma nuvem privada (XU, 2012).

Projetos de desenvolvimento de grande complexidade geralmente são desenvolvidos em parcerias entre empresas com especialidades multidisciplinares distintas, muitas vezes envolvendo empresas colaboradoras de países distantes. A organização entre parceiros de projeto com tamanha responsabilidade, sigilo e assertividade passa a ser um fator muito controlado. Colaboradores atuantes no projeto passam a enfrentar problemas com restrições de segurança, como *firewalls* e servidores *proxy*. As restrições organizam e protegem as informações, mas são um desafio na velocidade das informações (BAALBERGEN *et al.*, 2017).



Segundo He e XU (2015), os trabalhos de manufatura em nuvem necessitam ser gerenciados no requisito segurança e confiabilidade. Como existe a possibilidade de plataformas de fabricação em nuvem serem hackeadas, é necessário incorporar autenticação e mecanismo de autorização, mecanismo de avaliação e medição de confiança (BAALBERGEN *et al.*, 2017; WU *et al.*, 2020).

É fundamental em toda estrutura a gestão do conhecimento compartilhado e a segurança dos dados em um sistema robusto (FISHER *et al.*, 2018).

Na arquitetura de plataformas de design e manufatura em nuvem, camadas conceituais focadas na segurança dos dados e sistema, detecção de falhas no armazenamento e transferência de dados são propostas no trabalhos de Zheng *et al.* (2017a), Ai *et al.* (2011), Ren *et al.* (2015) e Andreadis, Fourtonis e Bouzakis (2015).

Barenji *et al.* (2021) propõe a utilização de tecnologia *blockchain* para melhorar a integridade dos dados e o problema de segurança de dados comerciais e *de design*. As outras três partes da plataforma são conectadas ao repositório por meio de nós computação em névoa e criptografia de segurança *bockchain*.

## 2.6 MODELOS CONCEITUAIS

Modelos conceituais são maneiras de representar de forma clara e formal um domínio, com propósito de compreensão e comunicação entre partes envolvidas. Podem ser peças centrais na análise e projetos de desenvolvimento de processos e tecnologias, fluxos de informação, análise de requisitos, aquisição de conhecimento, adaptação, padronização e integração de processos (MOODY, 2005; SIMSION; WITT, 2005).

Conforme Moody (2005), modelos conceituais podem ser utilizados para definir requisitos em vários níveis diferentes:

- a) Aplicação: define requisitos para um sistema de informação específico e fornece a base para desenvolver ou adquirir um sistema para atender a esses requisitos.
- b) Empresarial: define os requisitos de informação para uma organização inteira e fornece a base para o gerenciamento de dados ou processos.
- c) Industrial: define os requisitos de informação para indústrias e processos e fornece a base para a padronização em toda a indústria e o desenvolvimento de soluções.

A elaboração de modelos conceituais faz parte da engenharia de requisitos e atualmente é muito utilizado na engenharia de *software*. Modelos conceituais devem ser avaliados como representações do mundo real (WAND; WEBER, 2002) e utilizados para construir alternativas, em vez de simplesmente descrevê-lo (MAASS; STOREY, 2021). A qualidade do modelo conceitual pode afetar a eficiência (tempo, custo, esforço) e eficácia (qualidade dos resultados) do desenvolvimento da atividade (SIMSION; WITT, 2005).

Um estudo sobre questões teóricas e práticas na avaliação da qualidade dos modelos conceituais foi apresentado por Moody (2005). A sua pesquisa apresentou que não existe um padrão equivalente para avaliar a qualidade dos modelos conceituais. Diversas estruturas de qualidade foram propostas na literatura, nenhuma delas é amplamente aceita na prática. Então, os modelos continuam a ser avaliados na prática como *ad hoc* (para a finalidade), com base em opiniões subjetivas e experiência de especialistas.

Um modelo conceitual existe apenas como uma construção da mente e, portanto, a qualidade não pode ser avaliada tão facilmente. Um produto acabado (conjunto sistema, plataforma) pode ser avaliado em relação à sua especificação, um modelo conceitual só pode ser avaliado em relação às necessidades, desejos e expectativas (tácitas) dos indivíduos (LINDLAND; SINDRE; SOLVBERG, 1994).

Dromey (1996) definiu uma metodologia simples para construir modelos de qualidade de produto, que complementa sua abordagem para estruturar modelos de qualidade. Essa metodologia consiste em cinco etapas: (i) identificação de um conjunto de atributos de qualidade de alto nível (Quadro 1) para o produto (atributos de qualidade externos); (ii) identificação dos componentes do produto (partes/funções); (iii) identificação das propriedades tangíveis, mensuráveis e de qualidade para cada componente (atributos de qualidade internos); (iv) proposição de relações entre propriedades do produto e atributos de qualidade; (v) avaliação do modelo.

Quadro 1 - Atributos/critérios de qualidade de alto nível

Atributos	Sub atributos
Funcionalidade	Adequação, precisão, interoperabilidade, segurança de conformidade
Confiabilidade	Maturidade, tolerância a falhas, capacidade de ser recuperado
Eficiência	Comportamento do tempo, comportamento do recurso
Usabilidade	Compreensibilidade, capacidade de aprendizagem, operacionalidade
Capacidade de Manutenção	Capacidade de análise, mutabilidade, estabilidade, capacidade de teste
Portabilidade	Adaptabilidade, capacidade de ser instalado, conformidade, capacidade de ser substituído
Reutilização	Independente da máquina, separável, configurável
Maturidade do Processo	Orientado para o cliente, bem definido, seguro, eficaz

Fonte: Adaptado de Dromey (1996).

Um trabalho semelhante com apenas avaliação do modelo usando a metodologia de Dromey (1996) já foi desenvolvido por Bansiya e Davis (2002). Nesta aplicação os atributos foram revisados individualmente, para ver se contribuíram na definição de qualidade do modelo e se o conjunto era suficientemente amplo para incluir todos os aspectos da qualidade. O que resultou na exclusão de alguns atributos e na redefinição e inclusão de outros.

## 2.7 MÉTODOS DE APOIO A DECISÃO MULTICRITÉRIOS

Métodos de apoio à decisão multicritérios ou *MultiCriteria Decision Aiding* (MCDA) são abordagens formais de diversos critérios, com objetivo de auxiliar um indivíduo ou grupo em decisões importantes (MENDOZA; MARTINS, 2006). Nesta abordagem a seleção de PMEs para composição da empresa virtual responsável pelo desenvolvimento de um produto único. Uma abordagem multicritério também foi utilizada para computação de dados da avaliação do modelo conceitual ao final do trabalho.

Os problemas para aplicação de MCDA geralmente são apresentados em um ambiente com: tomador de decisão, analista, alternativas, critérios, pesos e normalização (BELTON; STEWART, 2002).

O modelo MCDA a ser utilizado deve ordenar entre alternativas apresentadas em forma de ranqueamento de preferências, possibilitando ao decisor visualizar entre as alternativas subsequentes a melhor colocada para decisão pareada.

Para escolha do método de MCDA são necessárias informações importantes:

1. Identificar o tipo da *Problématique* envolvida na decisão;
2. Critérios com interação ou não;
3. Critérios compensatórios ou não compensatórios;
4. Conhecer a natureza do tipo de informação.

A *Problématique* é usada para descrever a percepção do analista sobre como ele visualiza o auxílio que fornecerá no problema em questão com base nas respostas a essas perguntas. Dentre as possibilidades descritas por Roy (1996): Problema de escolha ( $P \alpha$ ), problema de separação ( $P \beta$ ), problema de ordenação ( $P \gamma$ ) e problema de descrição ( $P \delta$ ). Abaixo são apresentadas características da escolha destas *Problématiques*:

- a)  $P \alpha$  - tem como finalidade facilitar a decisão pela melhor alternativa de um subconjunto mais restrito possível, para a escolha de uma única alternativa como solução.
- b)  $P \beta$  - auxilia na realização de ações de classificação baseado em normas ou procedimentos de indicação, para a alocação das alternativas em classes ou categorias.
- c)  $P \gamma$  - auxilia na ordenação *ranking* decrescente de preferência, ou de procedimentos de ordenação.
- d)  $P \delta$  - auxilia na descrição das ações das alternativas e de suas consequências de uma maneira sistemática e formalizada.

No modelo de seleção de PMEs para formação da empresa virtual vários critérios são utilizados, como citados anteriormente. Resultados de pequenas variações entre um ou mais critérios podem ser considerados na forma de preferência do decisor. Então é considerado a ordenação do maior para o menor como  $P \gamma$ .

Os métodos podem ser aplicados a problemas com critérios que podem ser ortogonais (independentes) ou com interação. A maior parte dos métodos é desenvolvida para trabalhar com critérios independentes, geralmente com unidades distintas, como os métodos AHP (SAATY, 1977), TOPSIS (HWANG; YOON, 1981) e VIKOR (OPRICOVIC; TZENG, 2004).

O desempenho das alternativas em relação aos critérios pode ser considerado compensatório ou não compensatório. Em modelos compensatórios, o resultado de um critério bom pode compensar um resultado ruim. Já em modelos não

compensatórios são considerados os melhores valores como superação. Os métodos citados anteriormente, AHP, TOPSIS e VIKOR, são compensatórios.

Os critérios podem ser avaliados em relação uns aos outros utilizando natureza de informação diferentes em relação ao seu desempenho. Esta natureza da informação pode estar relacionada a informações quantitativas sem incerteza (*Crisp*), informações quantitativas com incerteza (*Fuzzy*)(ZADEH, 1965) ou informações qualitativas (variáveis linguísticas)(ZADEH, 1975).

Na informação quantitativa sem incerteza (*Crisp*), a informação quantitativa é apresentada na forma de números reais. Métodos tradicionais como os citados anteriormente trabalham com estas informações.

Para trabalhar com informações quantitativas com incerteza, a informação é apresentada na forma de intervalos de números *fuzzy*, triangular ou trapezoidal (ZADEH, 1965). Métodos *fuzzy* baseados nos tradicionais são utilizados: *Fuzzy* AHP, *Fuzzy* TOPSIS, *Fuzzy* VIKOR, *Fuzzy* ELECTRE e *Fuzzy* PROMETHEE.

No caso de utilização de informação qualitativa, esta é apresentada na forma de variável linguística (ex: ótimo, bom, rasurável, ruim, péssimo). O processamento da informação pode ser desenvolvido por números *fuzzy* (triangular ou trapezoidal) ou *fuzzy* tipo 2 (*2 Tuple*). Os mesmos métodos citados anteriormente são utilizados: *Fuzzy* AHP, *Fuzzy* TOPSIS, *Fuzzy* VIKOR, *Fuzzy* ELECTRE e *Fuzzy* PROMETHEE e também TOPSIS *2 Tuple*, VIKOR *2 Tuple*.

### 2.7.1 Conjunto *Fuzzy* e Número *Fuzzy*

Definição 1 - Um conjunto *fuzzy*  $\tilde{A}$  em um universo de discurso  $X$  é caracterizado por uma função de pertinência  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  que associa a cada elemento  $x$  em  $X$  um número real no intervalo  $[0,1]$ . O valor da função  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  é denominado o grau de pertinência de  $x$  em  $\tilde{A}$  (KAUFMANN; GUPTA, 1991).

Definição 2 - Um número trapezoidal positivo *fuzzy* (NTpF)  $\tilde{n}$  pode ser definido como  $(n1, n2, n3, n4)$  mostrado na Figura 5. A função de pertinência  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  é definida como ((KAUFMANN; GUPTA, 1991): Para um número nebuloso trapezoidal  $\tilde{n} = (n1, n2, n3, n4)$ , se  $n2 = n3$ , então  $\tilde{n}$  é chamado de número triangular *fuzzy*. Um número não *fuzzy*  $r$  pode ser expresso como  $(r, r, r, r)$ .

Pelo princípio de extensão de Dubois e Prade (1980), a soma difusa  $\oplus$  e a subtração difusa  $\ominus$  de quaisquer dois números difusos trapezoidais também são números difusos trapezoidais; mas a multiplicação  $\otimes$  de quaisquer dois números difusos trapezoidais é apenas um número difuso trapezoidal aproximado. Dados quaisquer dois números nebulosos trapezoidais positivos,  $\tilde{m} = (m_1, m_2, m_3, m_4)$  e  $\tilde{n} = (n_1, n_2, n_3, n_4)$  e um número real positivo  $r$ , algumas operações principais de números nebulosos  $\tilde{m}$  e  $\tilde{n}$  podem ser expressas do seguinte modo (equações 1 a 4):

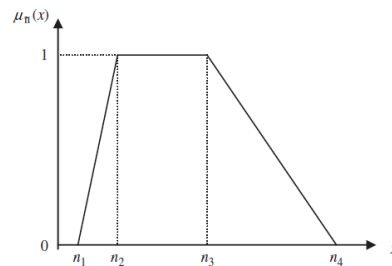
$$\tilde{m} \oplus \tilde{n} = [m_1 + n_1, m_2 + n_2, m_3 + n_3, m_4 + n_4] \quad (1)$$

$$\tilde{m} \ominus \tilde{n} = [m_1 - n_4, m_2 - n_3, m_3 - n_2, m_4 - n_1] \quad (2)$$

$$\tilde{m} \otimes r = [m_1r, m_2r, m_3r, m_4r], r \geq 0 \quad (3)$$

$$\tilde{m} \otimes \tilde{n} \cong [m_1n_1, m_2n_2, m_3n_3, m_4n_4] \quad (4)$$

Figura 5 – Número Trapezoidal *fuzzy*  $\tilde{n}$



Fonte: adaptado de Zimmermann (2001).

Definição 3 - Uma variável linguística é uma variável cujos valores são expressos em termos linguísticos. O conceito de variável linguística é muito útil para lidar com situações que são muito complexas ou não bem definidas para serem razoavelmente descritas em expressões quantitativas convencionais (ZIMMERMANN, 2001). Por exemplo, **peso** é uma variável linguística cujos valores são muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto, etc. Os números difusos também podem representar esses valores linguísticos.

Definição 4 - Se  $\tilde{m} = (m_1, m_2, m_3, m_4)$  e  $\tilde{n} = (n_1, n_2, n_3, n_4)$  são dois números difusos trapezoidais, a distância entre eles pode ser calculada usando o método do vértice como (CHEN, 2000) (equação 5):

$$d_v(\tilde{m}, \tilde{n}) = \sqrt{\frac{1}{4} [(m_1 - n_1)^2 + (m_2 - n_2)^2 + (m_3 - n_3)^2 + (m_4 - n_4)^2]} \quad (5)$$

O método do vértice é um método eficaz e simples para calcular a distância entre dois números difusos trapezoidais ou triangulares. De acordo com o método dos vértices, dois números difusos trapezoidais  $\tilde{m}$  e  $\tilde{n}$  são idênticos se e somente se  $dv(\tilde{m}, \tilde{n}) = 0$ . Se  $\tilde{m}$ ,  $\tilde{n}$  e  $\tilde{p}$  são três números difusos, o número *fuzzy*  $\tilde{n}$  está mais próximo do número *fuzzy*  $\tilde{m}$  do que o outro número *fuzzy*  $\tilde{p}$ , somente se  $dv(\tilde{m}, \tilde{n}) < dv(\tilde{m}, \tilde{p})$  (CHEN, 2000).

### 2.7.2 Método *Fuzzy* TOPSIS

O método TOPSIS (*Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution*) é um método para auxiliar na tomada de decisões baseada em multicritérios. Utilizado para classificar critérios baseado melhor opção em um processo de hierarquização de forma compensatória. Este método é de natureza hierárquica de problema de ordenação (P.  $\gamma$ ) com objetivo de auxiliar na ordenação de lista de alternativas por método compensatório. Não basta ser a opção mais próxima do objetivo, mas também a mais afastada do fator de insucesso. Este método foi proposto por Hwang e Yoon (1981), em uma publicação chamada: *Multiple Attribute Decision Making - Methods and Applications - A State-of-the-Art Survey*.

O método proposto por Hwang e Yoon (1981) considera critérios de benefício e critérios de custo em suas classificações, considerando sinais opostos para compensações necessárias no seu processo de classificação. Este método é muito utilizado nas mais diversas aplicações, principalmente por ser compensatório classifica as alternativas que estão mais próximas da melhor situação e mais longe da pior alternativa em seu *ranking*. Outros pesquisadores também trabalharam neste tema, alguns exemplos de estudos usando a teoria dos conjuntos difusos (lógica *fuzzy*) para TOPSIS introduzido inicialmente por Chen e Hwang (1992). Podem ser vistos outros modelos em Cables; Garcia-Cascales e Lamata (2012), Dymova; Sevastjanov e Tinkhonenko (2013) e Salih *et al.* (2019).

A não definição de pesos pelo método TOPSIS, permite definições de pesos para critérios por especialistas, históricos ou utilização de outros métodos multicritérios, como o método AHP de Satty (1977).

Um problema de multicritério pode ser expresso de forma concisa em um formato de matriz. Matriz de decisão para o método TOSIS apresenta os critérios de avaliação  $X_{ij}$  representados por critérios  $x_{j1}, x_{j2} \dots x_{jn}$  nas colunas e  $A_{i1}, A_{i2} \dots A_{in}$  alternativas em relação ao atributo nas linhas.

Para aplicação do método devemos criar uma matriz de avaliação que consiste de  $m$  alternativas a serem classificadas (linhas) e  $n$  critérios (colunas). Com a intersecção de cada alternativa com cada critério. Para aplicações com número trapezoidais *fuzzy*, os valores são apresentados por três algarismos representando um único número trapezoidal positivo *fuzzy* (NTpF). É necessário estabelecer uma escala de conversão da variável linguística em número *fuzzy*. As operações aritméticas de números *fuzzy* utilizam diferentes operadores e normas, estas foram definidas inicialmente conforme apresentado na definição 02 do capítulo 2.7.1

### 2.7.3 Modelo Variável Linguística 2-Tuple

O modelo de variável linguística *2-Tuple* foi introduzido por Herrera-Martínez em 2000, como um meio de melhorar a precisão da computação linguística. A informação é capturada de forma linguística, transformada em valor *2-Tuple* com finalidade de computação de dados e novamente transformada em valor linguístico para apresentação de resultados com menor incerteza (MARTÍNEZ; HERRERA, 2012).

O *2-Tuple Linguistic Computational Model* (HERRERA; MARTÍNEZ, 2000, 2001) é um modelo simbólico que estende o uso de índices que modificam a representação de aproximação linguística *fuzzy*, adicionando um parâmetro à representação linguística básica, a fim de melhorar a exatidão das computações linguísticas.

O conceito de tradução simbólica é um valor numérico avaliado em  $(-0,5; +0,5)$  que suporta a diferença de informação entre uma contagem de informação  $\beta$  avaliada no intervalo de escala  $[0, g]$  do conjunto  $S$  e o valor mais próximo em  $\{0, \dots, g\}$  que indica o índice do termo linguístico mais próximo em  $S$ .



Este modelo de representação definiu um conjunto de funções de transformação entre valores numéricos e a variável linguística *2-Tuple* para facilitar os processos computacionais linguísticos.

Seja  $S = \{S_0, \dots, S_g\}$  um conjunto linguístico definido e  $\beta \in [0, g]$  um valor que apoia o resultado de uma operação de agregação simbólica. Uma variável linguística *2-Tuple* expressa a informação equivalente a  $\beta$  é obtida da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \Delta: [0, g] &\rightarrow \dot{S} \\ \Delta(\beta) &= (Si, \alpha), \text{ com } Si, i = \text{arredondamento inteiro}(\beta) \text{ e} \\ &\alpha = \beta - i, \alpha \in (-0,5, 0,5) \end{aligned}$$

$$\Delta^{-1}(Si, \alpha) = i + \alpha \quad (6)$$

**Operador para comparação de 2-tuple** - As variáveis linguísticas representadas por *2-tuples* podem ser comparadas com a seguinte abordagem:

Se  $k < l$ , então  $(s_k, \alpha_1)$  é menor que  $(s_l, \alpha_2)$ , por exemplo,  $(s_k, \alpha_1) < (s_l, \alpha_2)$ ;

Se  $k = l$ , então:

(a) Se  $\alpha_1 = \alpha_2$ , então  $(s_k, \alpha_1)$  e  $(s_l, \alpha_2)$  representam a mesma informação, por exemplo,  $(s_k, \alpha_1) = (s_l, \alpha_2)$ ;

(b) Se  $\alpha_1 < \alpha_2$ , então  $(s_k, \alpha_1) < (s_l, \alpha_2)$ ;

(c) Se  $\alpha_1 > \alpha_2$ , então  $(s_k, \alpha_1) > (s_l, \alpha_2)$ .

O operador de negação sobre uma *2-tuple* pode ser definido como:

$$\text{neg}(si, \alpha) = \Delta(g - (\Delta^{-1}(si, \alpha))) \quad (7)$$

Em que:

$g$  = variável linguística de maior índice do conjunto linguístico.

**Peso Linguístico 2-Tuple** – Conforme Setti *et al.* (2019), para se obter o peso dos critérios a partir de pesos linguísticos na forma de variáveis *2-Tuple* as equações 8 e 9 são muito utilizadas.

$$(w_{ij}, a_{ij}) = \Delta \left( \frac{1}{k} \sum_l^k \Delta^{-1} (w_{kj}, a_{ij}) \right) \quad (8)$$

$$w_j = \frac{\Delta^{-1} (w_j, a_{wj})}{\sum_j^n = \Delta^{-1} (W_j, a_{wj})} \quad (9)$$

**Agregação 2-Tuple** - Conforme Setti *et al.* (2019), para agregar resultados de variáveis 2-Tuple o operador linguístico mais utilizado na agregação é a Média Aritmética representada na equação 10.

$$(r_{ij}, a_{ij}) = \Delta \left( \frac{1}{k} \sum_{k=1}^t \Delta^{-1} (r_{ij}^{(k)}, a_{ij}) \right) \quad (10)$$

$$i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

## 2.8 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

A revisão sistemática da literatura foi baseada no manual de Kitchenham e Charters (2007), que orienta seu método na formulação de questões de pesquisa norteadoras. As questões elaboradas adotadas nesta revisão estão baseadas em uma revisão bibliográfica realizada anteriormente pelo autor, que tinha como objetivo a identificação de adoção de *design* colaborativo baseado em nuvem.

Para realização das questões de pesquisa, Kitchenham e Charters (2007) apontam a necessidade relacionar alguns pontos de vista a serem abordados na pesquisa, como: população, intervenção, comparação, resultado e contexto. Não há necessidade de contemplar todos os pontos de vista na estruturação das questões de pesquisa, relacionado apenas os pontos mais bem alinhados com o tema. As questões devem ser bem avaliadas dentro do contexto e delimitação da pesquisa antes de serem consideradas norteadoras.

Questões de pesquisa formuladas para a revisão sistemática de literatura (RSL):

- *Frameworks* de desenvolvimento de produtos colaborativos em nuvem conseguem atender especificidades de *desenvolvimento* de produtos colaborativos OKP distribuídos em PMEs?
- Quais modelos e *frameworks* são propostos na literatura para desenvolver plataformas colaborativas de desenvolvimento num contexto de OKP e PMEs?

Norteadas pelas questões de pesquisa e seus pontos de vista (população, intervenção, comparação, resultado e contexto), palavras-chave foram atribuídas para formulação de chaves de buscas em bases de dados de buscas de acervo bibliográfico científico conforme Quadro 2.

Quadro 2 - Pontos de vistas e palavras-chave

Pontos de vista (Eixos)	Palavras	Tradução
População	PME mecânica	<i>SME mechanical</i>
	PME manufatura	<i>SME manufacturing</i>
Intervenção	Desenho OKP	<i>Design OKP</i>
	Desenho de produto customizado	<i>Design customized products</i>
Comparação	Estrutura	<i>Framework</i>
	Plataforma	<i>Platform</i>
Resultado	--	--
	--	--
Contexto	Nuvem	<i>Cloud</i>
	Colaborativo	<i>Collaborative</i>

Fonte: O autor (2021).

Após determinar os eixos e as palavras-chave, estruturou-se as combinações com a utilização de operadores booleanos em configurações específicas de busca de cada base. Totalizaram-se 16 combinações utilizando quatro dos cinco eixos disponíveis para cada base. As buscas foram realizadas em março de 2021, considerando trabalhos publicados até a data da pesquisa.

O primeiro passo foi a busca no banco de dados *Scopus*, *Web of Science* e *Science Direct* foram: “Títulos” e “resumos”. Na sequência, foi realizado *download* das referências encontradas nas buscas de cada uma das combinações, utilizando o

formato BibTex para importação posterior no *software* livre *Mendeley Desktop*. O registro de informações foi realizado em paralelo utilizando tabelas do *software Excel*. Alguns critérios de busca que fornecem os limites desta revisão sistemática foram definidos da seguinte forma:

- a) Critérios de inclusão: 1) trabalhos que relacionam tecnologias de *design* colaborativo, *design* e manufatura baseados em nuvem, *design* ou desenvolvimento de novos produtos personalizados ou únicos.
- b) Critérios de exclusão: 1) Artigos não científicos; 2) obras publicadas em idioma diferente do inglês e português; 3) dissertações; 4) livros ou capítulos de livros.

No segundo passo, após a o *download* das referências dos artigos, bem como títulos e resumos, o *software Mendeley Desktop* faz o reconhecimento de artigos duplicados, que possam ter sido encontrados em bases diferentes, possibilitando a exclusão. A seleção dos estudos contou com etapas inicial de leitura de todos os títulos, eliminando artigos que tratassem de assuntos não alinhados com o foco da pesquisa (Quadro 3).

Quadro 3 – Identificação de critérios para seleção de artigos pelo título e resumo

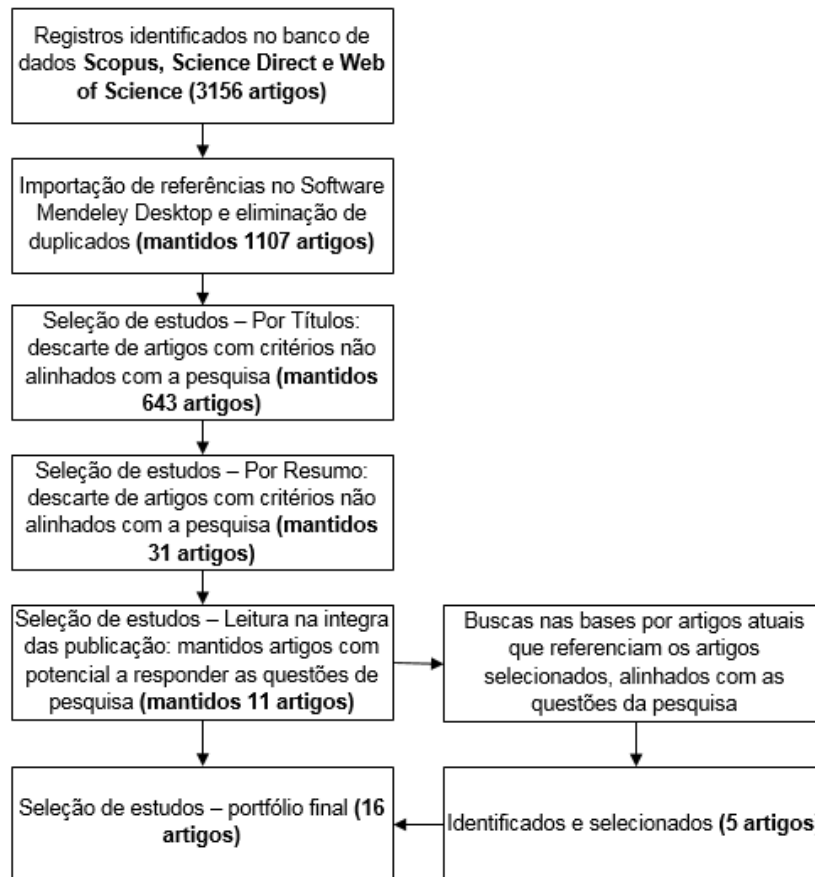
<b>Critérios para manter</b>	<b>Critérios para excluir</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manufatura em nuvem;</li> <li>• Manufatura aditiva;</li> <li>• Tendências de projetos em nuvem;</li> <li>• Modelos de manufatura colaborativa;</li> <li>• Modelos de projeto OKP (único);</li> <li>• Conflitos de projeto;</li> <li>• CAD colaborativo;</li> <li>• PLM novos produtos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BIM;</li> <li>• Moda;</li> <li>• Vestuário;</li> <li>• Odontologia;</li> <li>• Urbanismo;</li> <li>• Projeto arquitetura</li> <li>• Têxtil;</li> <li>• Química</li> <li>• Nuvem de pontos;</li> <li>• Robôs;</li> <li>• Medicina.</li> </ul>

Fonte: O autor (2021).

Após o descarte de artigos não relacionados ao assunto pela leitura de títulos foi realizada a leitura dos resumos, buscando potenciais artigos alinhados com as questões de pesquisa. Os artigos selecionados foram recuperados das bases na íntegra para leitura completa e processo de elegibilidade.

A leitura completa dos artigos buscou identificar bibliografia alinhada com o tema e potencial para responder às questões de pesquisa. Coube nesta fase ainda a seleção final dos artigos pesquisados para composição do portfólio, identificação de autores relevantes, número de citações, periódicos e fator de impacto.

Figura 6 - Identificação de critérios para seleção de artigos pelo título e resumo



Fonte: O autor (2021).

A inclusão de outros artigos foi realizada analisando os artigos já selecionados e buscando nas bases de pesquisa artigos que os utilizaram como fonte de citação. Nesta etapa, foram observados apenas os artigos disponíveis, relevantes e realmente alinhados com as questões de pesquisa. A seleção dos artigos e composição final do portfólio bibliográfico foi estabelecida conforme o diagrama da Figura 6.

A inclusão de artigos baseados nas citações mais atuais dos artigos identificados e classificados, foi uma estratégia para identificação de publicações de artigos e autores atuais relacionados ao tema, com possível inclusão de termos atualizados e não contemplados na primeira busca. No Quadro 4 é apresentado um enquadramento dos artigos relacionados no portfólio bibliográfico por temas abordados.

Quadro 4 – Enquadramento dos artigos do portfólio bibliográfico por temas

Autores	Desenvolvimento de produto de produção única (OKP)	Desenvolvimento de produto de personalizado / colaborativo	Design e manufatura em nuvem	PME
Barenji <i>et al.</i> (2021)		X	X	
Tan <i>et al.</i> (2020)		X	X	
Zennaro <i>et al.</i> (2019)	X		X	X
Aleksic, Jankovic e Rajkovic (2017)	X		X	X
Lyu, Chu e Xue (2017)		X	X	
Zheng <i>et al.</i> (2017b)	X	X		
Zheng <i>et al.</i> (2017a)	X	X	X	X
Liu <i>et al.</i> (2017)		X		
Mei, Ye e Zeng (2016)	X	X		X
Wu <i>et al.</i> (2015)		X	X	
Li; Xie e Sang (2013)	X	X	X	
Carneiro <i>et al.</i> (2013)	X	X		X
Germani; Menegoni e Peruzzini (2012)		X		X
Li, Xie e Xu (2011)	X	X		X
Xie, Xu e Tu (2005)	X	X		
Tu (1997)	X	X		

Fonte: O autor (2021).

O desenvolvimento de produtos de produção única, desde o *design* às linhas de manufatura, pode ser observado de distintas formas, desde a customização de máquinas e equipamentos de produção bem específicos, bem como grandes obras como a fabricação de navios, aeronaves e outros. Zennaro *et al.* (2019) abordaram em uma revisão sistemática da literatura, trabalhos relacionados ao desenvolvimento de produtos de grande porte por ETO para produtos únicos. Identificou-se tendências de maior preocupação com o envolvimento do cliente no projeto e possibilidade de utilização de ferramentas de planejamento e comunicação em nuvem, relacionando à Indústria 4.0. Também foi identificada a necessidade de diversidade de recursos humanos distribuídos para atender projetos de grande porte. Ainda sobre produtos de grande porte, Mei, Ye e Zeng (2016) propuseram um método de rede analítica (ANP), para determinar de forma razoável e eficaz os esquemas de produção em grupo / lote de produtos provisórios, considerando uma avaliação difusa.

Aleksic, Jankovic e Rajkovic (2017) trabalharam com conceitos de configuração para montagem CTO de produtos modulares como janelas e aberturas elaborados por PME. O trabalho trata das limitações, dificuldade de interação de configuradores *web*

para produtos personalizados OKP. Zheng *et al.* (2017b) propõem uma estrutura conceitual de configuração de produto personalizado, baseado em arquitetura de produto aberta e adaptável. O configurador como CTO busca um *design* modular de configuração aberta e depois utiliza *design* escalável, adaptando uma variedade de produtos, enquanto o configurador de vendas é estabelecido, considerando as preferências de cada cliente e conduzindo o processo de configuração de uma maneira ETO.

Liu *et al.* (2017) propõem um método em duas fases para obter um projeto de produto colaborativo com o cliente. Na primeira fase, o desdobramento da função de qualidade (matriz QFD), baseada em decisões multicritério e restrições orçamentárias dos fornecedores. Em uma segunda fase, a definição de sequência é elegida observando atividades acopladas com o tempo mínimo de *feedback* final.

Lyu, Chu e Xue (2017) abordaram a utilização de conceitos de *design* não apenas baseados em modelagem 3D, mas pelo conhecimento do produto na representação do produto, computação distribuída na tecnologia da informação e ciclo de vida do produto no processo de desenvolvimento do produto. Li, Xie e Sang (2013) propuseram uma estrutura de desenvolvimento de produto OKP colaborativo baseada em 4 modelos de conhecimento (cliente, conceito do produto, manufatura, recursos disponíveis), paralelos com uma conexão e integração em modelo final. Sistemas baseados em gestão de conhecimento e linguagem STEP como esse, também foram estudados por Li, Xie e Xu (2011). Eles estudaram métodos de desenvolvimento rápido de produtos OKP baseados em conhecimento. Ainda sobre desenvolvimento rápido de produtos, Xie, Xu e Tu (2005), propuseram uma plataforma de apoio ao desenvolvimento de produtos mecânicos de forma aberta, podendo ser reconfigurada para outras empresas e produtos, disponibilizando dados históricos de processos, métodos, custos e materiais.

Germani, Menegoni e Peruzzini (2012) descrevem um método estruturado para apoiar redes de PMEs na identificação e avaliação de sistemas de *design* colaborativo eficazes e fáceis de usar. O trabalho apresenta correlação dos requisitos de colaboração das PMEs com o desempenho da ferramenta e pela formalização dos critérios de avaliação para verificação da plataforma *Web*.

Tu (1997) relata as lacunas no controle de produção, formação e dissolução de empresas virtuais, geograficamente distribuídas e apresenta uma estrutura de controle e uma arquitetura de empresa de referência para lidar com os problemas

específicos de planejamento e controle da produção em uma empresa virtual OKP. Carneiro *et al.* (2013) relatam a especificidade de gerenciamento de organizações virtuais, provindas da união de PMEs em empresas virtuais, com suas competências e recursos para aproveitar oportunidades de negócios lucrativas em redes não hierárquicas. Apresentam uma estrutura e processos mais específicos, incluindo: gerenciamento de capacidade, planejamento de operações colaborativas, gerenciamento de riscos e eventos e gerenciamento de desempenho.

Wu *et al.* (2015) questionam se a adoção de sistemas de *design* e manufatura em nuvem podem ser uma tendência para o desenvolvimento e planejamento de atividades e colaboração entre clientes, empresas e fornecedores de forma distribuída em um novo paradigma de manufatura.

Tan *et al.* (2020) ressaltam que a arquitetura aberta é uma forma de atender às necessidades dos clientes de forma eficaz, mas questiona se os custos para fornecer uma gama enorme de módulos de personalização é sustentável. Um método de otimização é proposto para determinar os módulos e *design* de produtos que incorporam as preferências individuais do cliente relacionando com custos aceitáveis. Barenji *et al.* (2021) propõem o desenvolvimento de uma plataforma de fabricação e projeto colaborativo com base em computação de névoa habilitada para *blockchain*, que pode alcançar comunicação e cooperação entre a seção de manufatura, a seção de *design* e os clientes. Zheng *et al.* (2017a) propuseram uma estrutura de sistema para o planejamento de produtos OKP em um ambiente de *design* baseado em nuvem para PMEs antes. Eles descrevem a arquitetura do sistema proposto, o processo de interação de negócios e a comunicação de informações entre clientes, *designers* e analistas de *marketing* na fase de planejamento do produto.

Como identificado, estruturas de desenvolvimento de projetos colaborativos para produtos OKP vêm sendo desenvolvidas, utilizadas e atualizadas para atender necessidades específicas das indústrias. Hoje atendem de forma específica e parcial as necessidades pesquisadas. O advento da computação em nuvem vem aparecendo com tecnologias que permitem a colaboração e distribuição de tarefas de maneira onipresente apresentando novas possibilidades.

A criação empresas virtuais não hierárquicas com projetos de arquitetura aberta em plataformas de serviço para fabricação sob encomenda de produto OKP é uma das aplicações da tecnologia de computação em nuvem. Um método de avaliação para decisão de seleção de PMEs e formação de empresa virtual baseada em projeto



por encomenda cabe ser desenvolvido. Utilizando como base os trabalhos da RSL outros *frameworks* e plataformas puderam ser identificados e estão relatados no próximo capítulo.

### 2.8.1 FRAMEWORKS E PLATAFORMAS DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS COLABORATIVOS

A partir da literatura dos artigos do portfólio bibliográfico e identificação de outros artigos correlacionados, foi realizado um levantamento de informações sobre *frameworks* e plataformas de desenvolvimento de produtos colaborativos utilizando CBDM. Foram encontrados alguns modelos apresentados no Quadro 5:

Quadro 5 - *Frameworks* CBDM - *Design* Colaborativo

<b>Autor</b>	<b>Framework / método</b>	<b>Tema</b>
(Al <i>et al.</i> , 2011)	Plataforma colaborativa para o desenvolvimento de produtos complexos - 5 camadas	<i>Design</i> Colaborativo de produtos complexos múltiplos domínios
(LI; XIE; SANG, 2013)	DES - compartilhamento de dados de produto (método em 4 etapas)	<i>Design</i> colaborativo de produtos OKP - padrão STEP
(LI; TANG; WANG, 2015)	<i>Collaborative Digital Mockup</i> (Co-DMU) – Estrutura conceitual	<i>Design</i> Colaborativo - Interoperabilidade de <i>softwares</i> - integração de recursos CAD heterogêneos
(LIU <i>et al.</i> , 2017)	<i>Process Optimization of Customer Collaborative Design Based on Fuzzy-QFD and DSM</i> – métodos em duas fases.	<i>Design</i> Colaborativo com o cliente
(ZHENG <i>et al.</i> , 2017a)	<i>MyProduct</i> – Plataforma com 3 camadas	<i>Design</i> colaborativo de produtos OKP em nuvem
(SOURI; GAO; SIMMONDS, 2019).	<i>Design</i> Colaborativo com a cadeia de suprimentos – Estrutura conceitual.	Gestão de conhecimento de manufatura, <i>design</i> e suprimentos
(BARENJI <i>et al.</i> , 2021)	Projeto colaborativo baseado em computação de névoa habilitado para <i>blockchain</i> – plataforma em 5 camadas	<i>Design</i> colaborativo de produtos OKP em névoa

Fonte: O autor (2021).

Como delimitação para o levantamento de *frameworks*, foi utilizado o espaço tempo 2010 até 2020. Este critério é justificado pelo surgimento do termo manufatura em nuvem em 2010 por Li *et al.* 2010, conforme citado por Ren *et al.* (2015), Argoneto e Renna (2016), He e Xu (2015) e Kim *et al.* (2013).

Ai *et al.* (2011) propuseram uma plataforma colaborativa de forma conceitual, para o desenvolvimento de produtos complexos, baseada em modelagem e simulação unificada de múltiplos domínios. A ideia e a utilização de três tecnologias principais: (1) modelagem e simulação de múltiplos domínios, (2) gestão do conhecimento para design e simulação de produtos, (3) mecanismo colaborativo de múltiplos domínios.

Li, Xie e Sang (2013) propuseram uma estrutura de troca e compartilhamento de dados de produto (DES). O objetivo foi habilitar o desenvolvimento colaborativo no ambiente de fabricação em nuvem para produtos OKP. A estrutura de troca e compartilhamento de dados de produto (DES) utiliza modelo de dados baseado em STEP. Este modelo se aplica em 4 etapas com seleção de modelo, descrição de restrições, recursos e geração de arquivo CAD.

Na área da interoperabilidade de modelos de componentes desenvolvidos por CAD, um *co-proxy* foi proposto por Li, Tang e Wang (2015) como um conjunto de dados leve, funcionando como um agente replicado para visualização rápida e manipulação direta em ambiente colaborativo. O *co-proxy* mantém um *link* externo para seu modelo CAD original para recuperar informações topológicas ou semânticas avançadas.

Liu *et al.* (2017) propõem um método em duas fases para ajudar uma empresa a obter um projeto de produto colaborativo com o cliente. Este método sistemático traduz as funções e requisitos do cliente focados nas necessidades em um produto final, buscando a satisfação do cliente. É utilizada a metodologia QFD *fuzzy* para converter informações de requisitos qualitativos em parâmetros quantitativos. Na sequência, os dados tratados são integrados com outros dados quantitativos para parametrizar um modelo de programação matemática multi-objetivo para propor o melhor conjunto de tarefas de *design* colaborativo.

Zheng *et al.* (2017a) propõem um *framework* para apoio ao processo de planejamento de produto OKP em um ambiente de *design* baseado em nuvem (CBD). Constituída em uma arquitetura de três camadas, gerencia serviços de planejamento de produtos em ambiente de nuvem.

Souri, Gao e Simmonds (2019) propõe um *framework* para introdução de alguns princípios de gestão do conhecimento de manufatura no *design* de produtos personalizados, com a integração de conhecimentos entre *design*, cadeia de suprimentos e manufatura de maneira aberta. A ativação de fluxos de trabalho colaborativos por meio de uma ferramenta *Open Source*, que pode ser usada por

engenheiros de manufatura, equipes da cadeia de suprimentos relacionadas e engenheiros de *design* dentro do processo de *design* para introdução de novo produto.

Uma plataforma para projeto colaborativo baseado em computação de névoa habilitado para *blockchain* e uma plataforma de manufatura foram propostas por Barenji *et al.* (2021), com intuito de desenvolver comunicação e cooperação tripla entre a seção de manufatura, a seção de *design* e os clientes em um ambiente confiável.

Na fabricação em nuvem CBM, dois *frameworks* foram identificados alinhados ao foco do trabalho.

Balta *et al.* (2018) propuseram um *framework* para uma plataforma como serviço de manufatura em nuvem. O objetivo é otimização de requisitos de fabricação de produtos dos clientes com necessidades de fabricação de pequenos lotes personalizados, utilizando a disponibilidade de fabricantes que possuem recursos subutilizados. Estes requisitos podem ser: tamanho de lote, tipo de manufatura, distância, disponibilidade, tolerâncias e outros.

Argoneto e Renna (2016) propuseram um *Framework Capacity Sharing in Cloud Manufacturing* (FCSCM) para dar suporte ao problema de compartilhamento de capacidade entre empresas independentes. Este *framework* proposto é baseado em duas ferramentas distintas: um algoritmo de jogo cooperativo e uma lógica *fuzzy*. A alocação de demanda leva em consideração as características de processos de fabricação das empresas envolvidas.

Os *frameworks* e plataformas abordadas trazem formas de trabalhar com *design* e manufatura de produto colaborativo com abordagens distintas. Algumas focam mais a aplicação a ferramentas tecnológicas, outras a aplicação de conceitos de desenvolvimento em produto único.

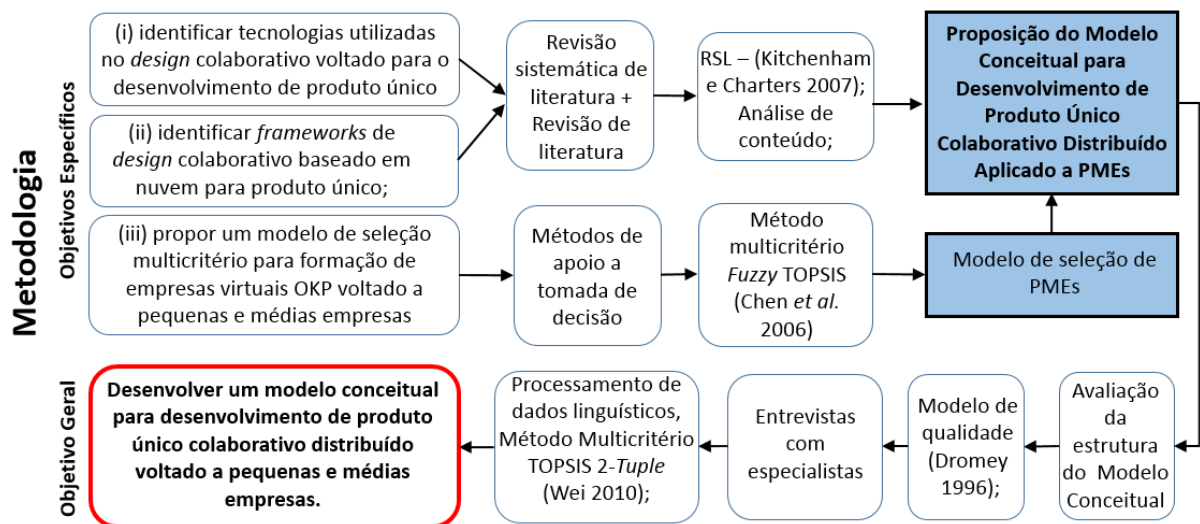
O desenvolvimento de produtos únicos focando na colaboração entre PMEs e clientes ainda não está apresentado com todas as potencialidades vistas no aspecto da fabricação em nuvem. A participação no *design* em nuvem com cliente já é abordada em diversas plataformas de *design*, porém o desenvolvimento de produto único (OKP) passa da fase de *design* chegando até a manufatura, sem produção de grandes lotes ou protótipos, o produto único deve ser assertivo em uma única tentativa. A opinião e participação no *design* do produto por parte de PMEs especialistas selecionadas, pode colaborar com o desenvolvimento de conhecimento específico de manufatura.

Os elementos conceituais encontrados na revisão sistemática da literatura ajudaram a formação de alguns elementos dos capítulos anteriores, como na identificação de modelos e estruturas de *design* e manufatura apresentadas.

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo é descrita a metodologia da pesquisa aplicada no desenvolvimento do modelo conceitual e seus mecanismos para desenvolvimento de produto único colaborativo em PMEs (Figura 7).

Figura 7 – Desenho da metodologia da pesquisa



Fonte: o autor (2022)

Esta pesquisa foi introduzida com uma revisão sistemática da literatura conforme manual de Kitchenham e Charters (2007), apresentada no capítulo 2.8. A revisão sistemática da literatura foi elaborada para buscar responder questões relacionadas à existência e aplicabilidade de *Frameworks* de desenvolvimento de produtos colaborativos únicos aplicáveis a pequenas e médias empresas, bem como plataformas de serviços em nuvem para trabalhos de *design* e manufatura colaborativa. A revisão contou com um portfólio de 16 artigos, que foram enquadrados entre os temas: desenvolvimento de produto de produção única, *design* e manufatura em nuvem, produto personalizado colaborativo e pequenas e médias empresas.

Entre os trabalhos relacionados no portfólio da revisão sistemática de literatura e suas referências, foram relacionados *frameworks* de desenvolvimento de produto único, desenvolvimento de produto colaborativo e produto personalizado. Estes *frameworks* estão relacionados no capítulo 2.8.1 da revisão da literatura.

Para orientar o desenvolvimento de produtos únicos em ambiente colaborativo entre clientes, empresas OKP e PMEs de manufatura, foi proposto o desenvolvimento

de um modelo conceitual. Os conceitos utilizados proposição de estrutura foram baseados na pesquisa bibliográfica de *frameworks* e plataformas de *design* colaborativo, manufatura em nuvem e desenvolvimento de produtos OKP abordados no final da revisão sistemática da literatura.

Com o desenvolvimento do modelo conceitual, outras etapas posteriores foram desenvolvidas em complementação. Inicialmente o Modelo de Seleção de PMEs utilizando método multicritério. Na sequência, um método de avaliação da estrutura conceitual proposta utilizando especialistas foi aplicada para validar os componentes do modelo conceitual ou diagnosticar possíveis fraquezas do modelo apresentado.

Dois métodos multicritério foram utilizados neste trabalho em fases distintas. O método *Fuzzy-TOPSIS* é utilizado como base aplicada no modelo de seleção de PMEs para composição das empresas virtuais, sendo utilizado novamente a cada nova seleção de empresas baseada em novos produtos. Já o método *2-Tuple-TOPSIS* foi utilizado para a avaliação do modelo conceitual, objeto deste trabalho, a fim de processar analiticamente valores qualitativos expressos pelos especialistas em entrevista.

### 3.1 DESENVOLVIMENTO DO MODELO CONCEITUAL

O modelo conceitual proposto nesta dissertação necessita de um ambiente em nuvem para colaboração entre clientes OKP e empresa OKP, bem como para seleção e colaboração entre PMEs no conhecimento de *design* e processos de manufatura a nível de aplicação e indústria.

O ambiente em nuvem é base para estruturação e comunicação do projeto colaborativo. Diferentes camadas de interação são necessárias neste ambiente para estruturação das necessidades do cliente, *feedbacks* entre cliente e desenvolvedor, acesso a *softwares* de modelagem, virtualização de etapas de fabricação, seleção de PMEs e registos de manufatura.

Nomenclatura utilizada no modelo conceitual proposto:

- Cliente OKP – Cliente que solicita um produto de produção única;
- Empresa OKP – Empresa PME especialista e responsável na manufatura de um tipo ou família de produtos específicos;

- Empresa virtual – parceria entre PMEs de manufatura após processo de seleção, formada para atender requisitos de desenvolvimento de um produto único.

Este modelo conceitual proposto poderá servir de base para estruturação de uma plataforma (PaaS) de desenvolvimento de produto único colaborativo distribuído para PMEs.

A estrutura de desenvolvimento de produto único inicia no escopo do produto, com a configuração de especificação de produto acontece a escolha de módulos de funções para o produto único. Conforme Zheng *et al.* (2017b), esta seleção deve transcrever os requisitos do cliente por meio de configuração, utilizando módulos de funções já desenvolvidas anteriormente pelo fabricante em outros projetos ou solicitando desenvolvimento de novo módulo de função na forma descritiva.

Em um ambiente de modelagem, módulos e componentes desenvolvidos anteriormente são localizados na biblioteca de componentes e reconfigurados conforme novos requisitos de engenharia propostos, para atender os requisitos do cliente. Novos módulos são esboçados/modelados, baseados em novas funções de engenharia apontadas nos requisitos do cliente. Conjuntos e componentes modelados são simulados quanto aos requisitos de engenharia, em ambiente colaborativo em nuvem com *software* CAE equivalente. A empresa OKP deve ser a principal especialista na área de desenvolvimento do produto, compartilhando trabalhos de demandas excedentes ou de recursos de manufatura não disponíveis em seu portfólio (CARNEIRO *et al.*, 2013).

A disponibilidade de uma plataforma em nuvem, com a virtualização de recursos, capacidades e disponibilidades de manufatura de PMEs é fundamental para a seleção de empresas participantes da empresa virtual. Conforme Tao *et al.* (2011) a plataforma deve compartilhar informação de demandas de fabricação e capacidade de fabricação ociosas. Baseada em informações disponíveis na plataforma de manufatura e nos requisitos de fabricação dos componentes propostos na parte de modelagem. A utilização de um modelo de seleção multicritério de PMEs é necessária para formação de parcerias em uma empresa virtual.

A criação de empresa virtual é gerada pela necessidade de colaboração de conhecimento e capacidade de manufatura específicas no desenvolvimento de produto único ou de lote pequeno. Ainda em ambiente em nuvem, requisitos de

fabricação são extraídos do planejamento inicial de produção dos componentes projetados. Estes requisitos, junto com outros critérios devem servir de base para seleção de empresas (PMEs) para formar a empresa virtual deste produto. Dentre os requisitos podemos relacionar: tipo de processo de fabricação (usinagem, conformação, soldagem e outros), materiais de fabricação (polímeros, metais ferrosos, metais leves e outros) e qualidade de acabamento (rugosidades, tolerâncias dimensionais e geométricas). Outros critérios são relacionados à PME fornecedora de serviço, como: localização, custos, prazo de entrega (baseado na capacidade) e histórico de trabalhos anteriores.

A criação da empresa virtual tem a função de compartilhar recursos e capacidades de fabricação entre PMEs para projetos temporários. Nesta proposta acrescentou-se a colaboração no desenvolvimento de um produto único de arquitetura aberta, dispondo as PMEs envolvidas na manufatura a possibilidade de colaboração no *design* de componentes visando otimizar processos e produto. A interação das PMEs com cliente e outras PMEs da empresa virtual tem objetivo de compartilhar conhecimento de requisitos do cliente, requisitos de engenharia e capturar conhecimento de manufatura, compartilhando e otimizando processos e informações técnicas e históricos de produção (XIE; XU; TU, 2005). As PMEs selecionadas para a empresa virtual têm acesso ao ambiente de modelagem e simulação colaborativa em nuvem. O objetivo é aprimorar, otimizar e validar os componentes de sua responsabilidade de fabricação, quanto à geometria e método construtivo, respeitando requisitos do cliente e os requisitos de engenharia.

Com a validação dos modelos e orçamentos por parte da empresa OKP e cliente, a manufatura deve ser iniciada conforme planejamento revisado, até a fase de montagem final do produto. Dados históricos de projeto, desenvolvimento e manufatura de cada módulo do produto são realimentados na parte de configuração do produto, dispondo de informações atualizadas dos módulos produzidos e histórico de PMEs envolvidas, para possível reutilização em produto futuro.

### 3.2 MODELO DE SELEÇÃO DE PMES

Um modelo de seleção de PMEs foi utilizado para formação da empresa virtual. O objetivo é atender as necessidades de produção, a disposição e disponibilidade



destas empresas a atenderem às tarefas de manufatura encapsuladas. Cada produto OKP possui diversos critérios de fabricação específicos. A utilização de um modelo capaz de fazer a seleção de empresas baseada em critérios e em pesos elegidos pela empresa OKP e cliente deve propor um ranqueamento de possibilidades de candidatos à elegibilidade da empresa virtual.

Alguns trabalhos pesquisados como Argoneto e Renna (2016) e Balta *et al.* (2018) buscam a seleção de empresas para compartilhamento de demandas de fabricação, porém priorizam a manufatura de produtos desenvolvidos explosivamente pelos clientes ou círculos fechados entre empresas de uma determinada região.

O problema de seleção de PMEs para formação de empresa virtual para o modelo conceitual que se necessita utiliza critérios quantitativos, como prazo, distância, custo e outros citados anteriormente. Para trabalhar com este tipo de informação considerando incertezas de variáveis linguísticas dos respondentes uma teoria bem aceita é a de Zadeh(1975). Esta teoria o objetivo de fornecer um método matemático para o tratamento de informações de caráter impreciso ou vago. Um dos métodos de seleção que utiliza o tratamento de informações imprecisas e classifica opções baseadas em multicritérios é o *fuzzy* TOPSIS, originado do método TOPSIS de Hwang e Yoon (1981).

### 3.2.1 Extração das Tarefas e Requisitos de Manufatura

A seleção das empresas para formação de parceria é iniciada pela extração dos requisitos de manufatura de componentes e módulos. Estas atividades de manufatura são baseadas na modelagem dos componentes dos produtos desenvolvidos e devem ser elencadas baseadas nas sequências lógicas de fabricação, considerando cronologias e dependência entre etapas de fabricação. Para atividade de extração de requisitos de fabricação é necessário que um especialista em manufatura avalie e elenque as atividades com as suas dependências.

As atividades de manufatura extraídas dos requisitos do módulos e componentes são virtualizadas como demandas de manufatura na plataforma em nuvem, com objetivos de localizar fornecedor mais adequado.

### 3.2.2 Virtualização dos Recursos e Capacidades de Manufatura

As PMEs de manufatura interessadas em participar em atividades de fabricação colaborativas devem aderir à plataforma proposta e virtualizar suas capacidades de manufatura.

A virtualização deve abordar de forma técnica as capacidades de cada processo ou recurso de manufatura disponível para colaboração, relacionando: 1 – tipo de processo de fabricação (usinagem, conformação, soldagem...), com capacidades dimensionais e volumétricas; 2 – capacidade de produção do processo (Volume/hora); 3 – custos referente aos processo (por hora/máquina, por volume, por massa ou por unidade/lote); 4 – qualidade de acabamento (rugosidades, tolerâncias dimensionais e geométricas); 5 – materiais de fabricação (polímeros, metais ferrosos, metais leves...); 6 – prazo para início da atividade; 7 – localização (distância em relação à empresa desenvolvedora) e 8 - histórico de trabalhos realizados anteriormente.

Após a virtualização dos processos disponíveis de cada PME interessada no compartilhamento de manufatura, estes dados estarão disponíveis na plataforma com acesso somente da empresa OKP. Estes dados em nuvem podem ser atualizados a qualquer tempo.

### 3.2.3 Aplicação do Modelos de Seleção *Fuzzy* TOPSIS

No modelo de seleção de PMEs para formação de empresa virtual o MCDA está apresentado como:

- Tomador de decisão – empresa OKP;
- Analista – empresa OKP;
- Alternativas – PMEs de manufatura;
- Critérios – tecnologia do processo de fabricação, materiais de fabricação, qualidade de acabamento, localização, custos, prazo de entrega e histórico de trabalhos anteriores;
- Pesos – são a importância relativa atribuída a cada critério, atribuída por preferência do decisor;

- Normalização – operação matemática para abstrair valoração de forma comparável em mesma base, entre critérios com unidades distintas;

O método *Fuzzy* TOPSIS adotado se baseia na escolha das melhores alternativas quanto à sua abordagem com a solução ideal positiva e maior distância da solução ideal negativa. A estrutura do problema é baseada na melhor escolha de fornecedor de serviço de manufatura para o componente ou conjunto de componentes modelados. Como alternativas válidas são elencados fornecedores de processos de manufatura com características de processos aptos à manufatura dos itens. Como os critérios são padronizados, as características dos processos citados na virtualização das capacidades de manufatura servirão de base para um filtro inicial, considerando apenas soluções válidas.

As soluções válidas de PMEs de manufatura que atendem às características dos processos de fabricação dos itens serão aplicadas ao *Fuzzy* TOPSIS como alternativas. Inicialmente, o decisor elenca o peso dos critérios a serem avaliados. Posteriormente, atribui um valor linguístico baseado nos valores dos critérios de cada alternativa. Números trapezoidais *fuzzy* são condicionados à escala de valores linguísticos, responsáveis pela computação das incertezas das expressões linguísticas.

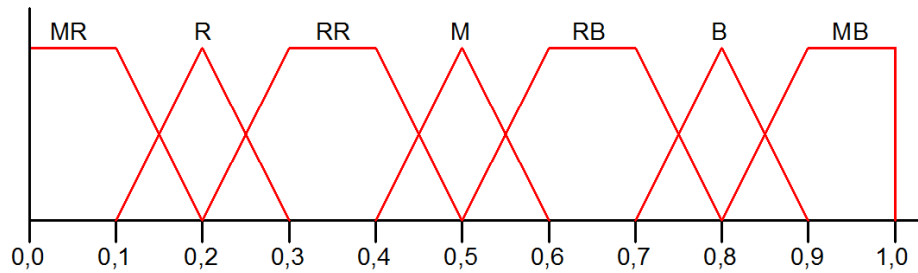
A avaliação é realizada através de variáveis linguísticas, visando uma melhor interpretação das preferências do especialista. Estas variáveis linguísticas são associadas a Números Trapezoidais positivos *Fuzzy* (NTpF) (Quadro 6, Figura 8).

Quadro 6 – Variáveis Linguísticas Definidas para Número Trapezoidal *Fuzzy*

Variável linguística	NTpF			
Muito Ruim (MR)	0	0	0,1	0,2
Ruim (R)	0,1	0,2	0,2	0,3
Razoavelmente Ruim (RR)	0,2	0,3	0,4	0,5
Médio (M)	0,4	0,5	0,5	0,6
Razoavelmente Bom (RB)	0,5	0,6	0,7	0,8
Bom (B)	0,7	0,8	0,8	0,9
Muito Bom (MB)	0,8	0,9	1	1

Fonte: O autor (2022).

Figura 8 – Representação das Variáveis Linguísticas Definidas para Número Trapezoidal *Fuzzy*



Fonte: O autor (2022).

Após a avaliação dos critérios de cada alternativa de PMEs selecionadas, as variáveis linguísticas são transformadas em Números Trapezoidal *Fuzzy* e é executado o método *Fuzzy* TOPSIS na versão de Chen *et al.* (2006).

As operações aritméticas de números *fuzzy* utilizam diferentes operadores e normas, estas foram definidas inicialmente conforme apresentado na definição 02 do capítulo 2.8.1

É apresentada a classificação difusa e o peso da importância do tomador de decisão  $\tilde{x}_{ijk} = (a_{ijk}, b_{ijk}, c_{ijk}, d_{ijk})$  e  $\tilde{w} = (w_{ij1}, w_{ij2}, w_{ij3}, w_{ij4})$ ;  $i = 1, 2, \dots, m$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ , respectivamente. Portanto, as classificações *fuzzy* agregadas ( $\tilde{x}_{ij}$ ) de alternativas com relação a cada critério podem ser calculadas como:

$$\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, d_{ij}) \quad (11)$$

Onde:

$$a_{ij} = \min_k \{a_{ijk}\}, \quad b_{ij} = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k b_{ijk}, \quad c_{ij} = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k c_{ijk}, \quad d_{ij} = \max_k \{d_{ijk}\}$$

Os pesos *fuzzy* agregados ( $\tilde{w}_j$ ) de cada critério podem ser calculados como:

$$\tilde{w}_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3}, w_{j4}) \quad (12)$$

Onde:

$$w_{j1} = \min_k \{w_{jkl}\}, \quad w_{j2} = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k w_{jk2}, \quad w_{j3} = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k w_{jk3}, \quad w_{j4} = \max_k \{w_{jk4}\}$$

Conforme afirmado acima, o problema de decisão pode ser expresso de forma concisa em formato de matriz da seguinte forma:

$$\tilde{D} = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix}$$

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2 \dots \tilde{w}_n]$$

Onde  $\tilde{x}_{ij}=(a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, d_{ij})$  e  $\tilde{w}_j=(w_{j1}, w_{j2}, w_{j3}, w_{j4})$   $i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$  podem ser aproximados por números trapezoidais positivos *fuzzy*.

Se considerarmos o algoritmo TOPSIS, o passo seguinte seria a normalização da matriz. Com a utilização de termos linguísticos em associação com números *fuzzy* trapezoidais normalizados. Para a avaliação das alternativas para todos os critérios, esta etapa é desnecessária.

Considerando a importância diferente de cada critério, a matriz de decisão difusa normalizada ponderada é construída como:

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}, i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

Onde:

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{x}_{ij} \otimes \tilde{w}_j.$$

De acordo com a matriz de decisão difusa normalizada ponderada, os números difusos trapezoidais positivos normalizados também podem aproximar os elementos  $\tilde{v}_{ij}, \forall i, j$ . Então, a solução ideal positiva difusa ( $A^*$ ) e solução ideal negativa difusa ( $A^-$ ) pode ser definido como:

$$A^* = (\tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^*, \dots, \tilde{v}_n^*) \quad (14)$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-) \quad (15)$$

Onde:

$$\tilde{v}_j^* = \max_i \{v_{ij4}\} \text{ and } \tilde{v}_j^- = \min_i \{v_{ij1}\}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n$$

A distância de cada alternativa de  $A^*$  e  $A^-$  pode ser calculada como:

$$d_i^* = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^*), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (16)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (17)$$

Onde  $d_v$  é a medida da distância entre dois números difusos.

$$d_v(\tilde{m}, \tilde{n}) = \sqrt{\frac{1}{4}[(m_1 - n_1)^2 + (m_2 - n_2)^2 + (m_3 - n_3)^2 + (m_4 - n_4)^2]} \quad (18)$$

Um coeficiente de proximidade é definido para determinar a ordem de classificação de todas as alternativas,  $d_i^*$  e  $d_i^-$  de cada alternativa  $A_i (i = 1, 2, \dots, m)$  é calculado. O coeficiente de proximidade representa as distâncias para a solução ideal positiva difusa ( $A^*$ ) e a solução ideal negativa difusa ( $A^-$ ) simultaneamente, levando a proximidade relativa à solução ideal positiva difusa. O coeficiente de proximidade ( $CC_i$ ) de cada alternativa é calculado como:

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^*}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (19)$$

Finalmente, as alternativas são classificadas em ordem decrescente pelo  $CC_i$ , obtenção sequencial dos fatores mais importantes para seleção da decisão. A seleção da alternativa de PME de manufatura com o  $CC_i$  mais alto parece ser a solução ideal para o problema de seleção.

### 3.3 AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA CONCEITUAL

No presente caso, buscou-se apenas a avaliação do modelo conceitual para *design* colaborativo distribuído de produtos únicos aplicado a PMEs proposto. Então, será utilizado o método de Dromey (1996) para estrutura do modelo. A relação de produto e atributo e a avaliação na etapa final que segundo Moody (2005) podem ser baseadas em opiniões subjetivas e experiência de especialistas *ad hoc*, utilizarão um método linguístico *2-tuple* (HERRERA; MARTÍNEZ, 2000, 2001) com agregação de valores de decisões e aplicação de método de decisão multicritério TOPSIS *2-tuple* baseado no modelo de Hwang e Yoon (1981).

O modelo conceitual para *design* colaborativo distribuído de produtos únicos aplicado a PMEs precisa ser avaliado por especialistas em dimensões distintas, pois engloba: cliente, empresa desenvolvedora de produto único e empresas de manufatura. Enquanto modelo conceitual, sua evolução para plataforma de negócios envolverá a configuração e programação de ambientes, plataformas e *softwares* em um ambiente funcional. Diferente do modelo original de Dromey (1996), a avaliação teve conceito multigrupo. Cada grupo avaliou pesos de critérios e critérios aplicados a produtos e funções ligadas a seu grupo. Cada grupo foi composto por três especialistas da área em questão, sendo elas: Empresas desenvolvedoras de produto único; PMEs de manufatura; Programadores de *softwares* e plataformas.

A primeira fase foi a identificação dos critérios/atributos aplicados a cada grupo: Os atributos/critérios indicados por Dromey (1996) são baseados na norma ISO 9126, que é aplicada a qualidade de *softwares*, então serão adaptados à realidade do modelo. Na Figura 9 são apresentados os critérios para cada grupo.

A segunda fase foi a identificação dos componentes do produto (partes/funções). Estes componentes estão apresentados na Quadro 7, e foram extraídas do modelo conceitual proposto e serão avaliadas pelos especialistas envolvidos em função dos critérios estabelecidos. Alguns componentes não foram avaliados por todos os especialistas.

Quadro 7 - Componentes e funções do produto

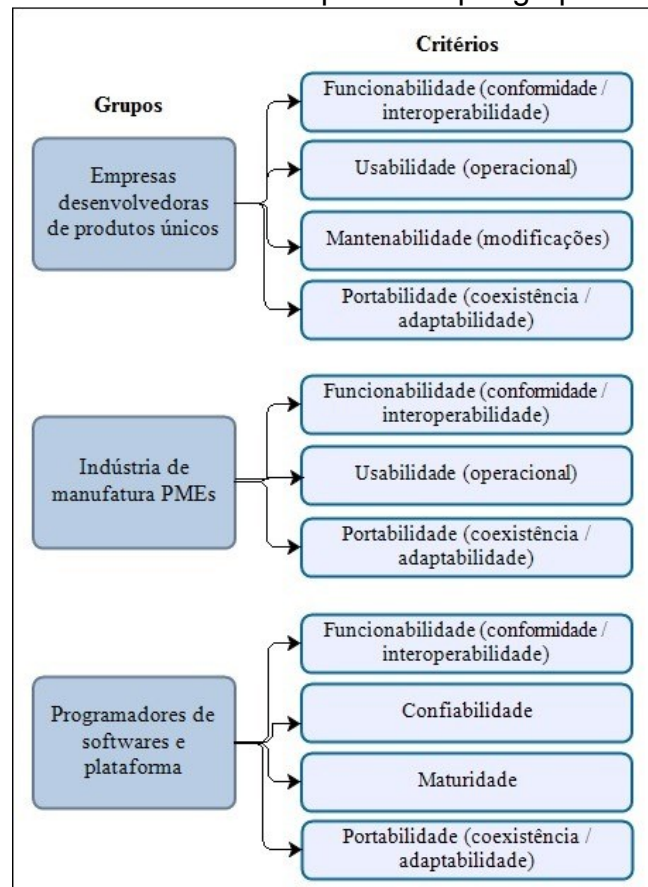
Parte - Função - Produto	
P1	Escopo do Produto - Seleção de Módulos de funções já desenvolvidos - Configurador de especificação de requisitos do cliente.
P2	Escopo do Produto - Descrição de novos módulos de funções - Configurador de especificação de requisitos do cliente.
P3	Escopo do Produto - Verificação de lacunas - Configurador de especificação de requisitos do cliente.
P4	Modelagem - Seleção de Componentes já modelados - Biblioteca de componentes desenvolvidos.
P5	Modelagem - Modelagem e adequação de novos componentes - Ambiente de modelagem em nuvem.
P6	Modelagem - Modelagem e adequação de componentes da biblioteca - Ambiente de modelagem em nuvem.
P7	Modelagem - Visualização do produto pelo cliente - Ambiente de feedback em nuvem.
P8	Modelagem - Feedback do produto pelo cliente - Ambiente de feedback em nuvem.
P9	Empresa virtual - Encapsulamento de tarefas de manufatura do produto - Plataforma de manufatura em nuvem.
P10	Empresa virtual - Virtualização de serviços de manufatura disponíveis nas PME - Plataforma de manufatura em nuvem.
P11	Empresa virtual - Seleção de PMEs para empresa virtual - Modelo de seleção de PMEs.
P12	Empresa virtual - Estimativa de custos e prazos - Ambiente da empresa virtual.
P13	Empresa virtual - Feedback do produto pelo cliente - Ambiente de feedback em nuvem.
P14	Manufatura - Modelagem, ajustes e simulações dos produtos por cada PME - Ambiente de modelagem em nuvem.
P15	Manufatura - Atualização do produto e orçamento final - Ambiente da empresa virtual.
P16	Manufatura - Feedback aprovação do produto e orçamento pelo cliente - Ambiente de feedback em nuvem.
P17	Manufatura - Registro histórico dos componentes desenvolvidos - Banco de dados do configurador de especificação de requisitos do cliente.

Fonte: o autor (2021)

Os especialistas das empresas desenvolvedoras de produto único avaliaram componentes de P1 a P17. Os especialistas em programação de *softwares* e plataformas em nuvem avaliaram de P1 a P17. Os especialistas de PMEs de manufatura avaliaram apenas de P9 a P17, visto que não participam colaborativamente e não desenvolvem etapas anteriores. Não há a dimensão com o “grupo cliente”, pois seria difícil caracterizar um cliente de produto único como especialista.



Figura 9 - Atributos/critérios de qualidade por grupo de avaliadores



Fonte: Adaptado de Dromey (1996).

A terceira fase foi a identificação das propriedades tangíveis, mensuráveis e de qualidade para cada componente. Esta fase foi estabelecida pela determinação das variáveis linguísticas de determinação de peso dos atributos/critérios (Quadro 8) e variáveis linguísticas de avaliação dos componentes (Quadro 9). Como foi avaliado um modelo conceitual antes da execução de uma plataforma para testes e extração de dados quantitativos, a utilização de variáveis linguísticas do método linguístico *2-Tuple* foi utilizada.

Quadro 8 - Variáveis linguísticas *2-Tuple* para avaliação de importância dos critérios

Variável linguística	<i>2-Tuple</i>
Muito Baixa (MB)	(S <sub>0</sub> , 0)
Baixa (B)	(S <sub>1</sub> , 0)
Razoavelmente Baixa (RB)	(S <sub>2</sub> , 0)
Razoável (R)	(S <sub>3</sub> , 0)
Razoavelmente Alta (RA)	(S <sub>4</sub> , 0)
Alta (A)	(S <sub>5</sub> , 0)
Muito Alta (MA)	(S <sub>6</sub> , 0)

Fonte: O autor (2022).

Quadro 9 - Variáveis linguísticas *2-Tuple* para avaliação dos componentes

Variável linguística	<i>2-Tuple</i>
Muito Ruim (MR)	(S <sub>0</sub> , 0)
Ruim (R)	(S <sub>1</sub> , 0)
Razoavelmente Ruim (RR)	(S <sub>2</sub> , 0)
Moderado (M)	(S <sub>3</sub> , 0)
Razoavelmente Bom (RB)	(S <sub>4</sub> , 0)
Bom (B)	(S <sub>5</sub> , 0)
Muito Bom (MB)	(S <sub>6</sub> , 0)

Fonte: O autor (2022).

A granularidade  $g$  das escalas adotadas foi 6.

Na quarta fase, a proposição de relações entre propriedades do produto e atributos de qualidade é definida pelo peso dos critérios. O peso dos critérios foi definido pelo método linguístico *2-Tuple* (HERRERA; MARTÍNEZ, 2000, 2001) com agregação de valores apontados pelos três especialistas de cada grupo e utilização de equação de obtenção de peso linguístico *2-Tuple*.

Na quinta fase, a avaliação do modelo foi executada. Os especialistas de cada grupo avaliaram os componentes de responsabilidade de seu grupo. As avaliações da segunda fase são apresentadas em relação aos critérios de cada grupo, em forma de matriz. Os valores de avaliação das matrizes de cada avaliador foram agregados em uma nova matriz de valores agregados. Os pesos definidos na quarta fase foram aplicados à matriz com valores agregados.

A partir desta etapa foi utilizado o método TOPSIS *2-Tuple* de Wei (2010) adaptado por Setti (2020), descrito abaixo:

1º Passo: Estabelecer um conjunto de termos linguísticos, utilizado no processamento das informações.  $S=\{S_0, \dots, S_g\}$

$$\Delta(\beta) = (S_i, \alpha), \text{ com } \alpha = \beta - i, \alpha \in (-0,5, 0,5)$$

$$\Delta - 1(S_i, \alpha) = i + \alpha = \beta \quad (20)$$

2º Passo: Converter as variáveis linguísticas *2-Tuple* no seu equivalente de informação ( $\beta$ ).

$$\Delta - 1(S_i, \alpha) = \beta_{ij} \quad (21)$$

3º Passo: Identificar as soluções Positivas (A\*) e Negativas (A-) Ideais.

$$A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\} = \left\{ \left( \frac{\max v_{ij} \mid j \in J1}{i} \right), \mid i = 1, 2, \dots, m \right\} \quad (22)$$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} = \left\{ \left( \frac{\min v_{ij} \mid j \in J1}{i} \right), \mid i = 1, 2, \dots, m \right\} \quad (23)$$

J1 = Conjunto de Critérios de Benefício

Os critérios devem estar organizados como Critérios de Benefício.

4º Passo: Calcular as distâncias  $S_i^*$  e  $S_i^-$  entre as alternativas e as soluções Positivas (A\*) e Negativas (A-) Ideais.

$$S_i^* = \sum_{j=1}^n \mid \beta_{ij} - \beta_j^* \mid * w \quad (24)$$

$$S_i^- = \sum_{j=1}^n \mid \beta_{ij} - \beta_j^- \mid * w \quad (25)$$

5º Passo: Calcular a semelhança com solução Positiva Ideal.

$$C_i^* = S_i^- / (S_i^* + S_i^-) \quad (26)$$

6º Passo: Calcular a variável linguística correspondente ao  $C_i^*$  calculado na etapa anterior.

$$\Delta(C_i^* \times g) = (S_j, a) \quad (27)$$

7º Passo: Classificar em ordem das variáveis linguísticas

A avaliação apresenta valores qualitativos por grupos classificando cada componente do modelo conceitual em variáveis linguísticas: Muito Ruim (MR), Ruim (R), Razoavelmente Ruim (RR), Moderado (M), Razoavelmente Bom (RB), Bom (B) ou Muito Bom (MB).

A avaliação dos componentes é discutida e sugestões de alteração e validações são propostas para adequação do modelo conceitual.

### 3.3.1 Aplicação das Entrevistas de Avaliação do Modelo

A avaliação do modelo conceitual foi multigrupo, cada grupo avaliou pesos de critérios e critérios aplicados a produtos e funções referentes a seu grupo. Cada grupo foi composto por três especialistas da área em questão.

O recrutamento de especialistas para os três grupos de avaliadores nas áreas de (1) empresas desenvolvedoras de produto único, (2) PMEs de manufatura e (3) Programadores de *softwares* e plataformas, foi realizado com base no mapeamento de empresas e instituições afins na região Sudoeste do Paraná e Oeste de Santa Catarina, considerando um tempo de cinco anos de experiência mínima do especialista na área de atuação. A facilidade de acesso dos pesquisadores aos especialistas e o alinhamento com o foco da pesquisa também foram fatores levados em consideração para o recrutamento.

Como critérios de inclusão de respondentes, foram selecionados especialistas em desenvolvimento de produtos únicos de Pequenas e Médias Empresas, isto é, indivíduos que conhecem e tem exercido atividades ligadas ao *design* e ou manufatura de produtos de engenharia sob encomenda para o primeiro grupo. Também foram selecionados especialistas que desenvolvem atividades na área de manufatura de produtos e componentes mecânicos para o segundo grupo e especialistas, que atuam no desenvolvimento de aplicações e ou plataformas de serviços em nuvem para o terceiro grupo. Dentre as atividades desenvolvidas pelos especialistas foram consideradas atividades profissionais e ou acadêmicas.

Dentre os respondentes da pesquisa participaram: (i) empresários com experiência prática de mais de vinte anos na área de manufatura e projeto de

equipamentos; (ii) projetistas de equipamentos; (iii) professores universitários na área de manufatura e tecnologia da informação; (iv) empresários da área de programação.

O convite foi formalizado por e-mail, com envio prévio do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). A pesquisa foi realizada após a assinatura do TCLE pelo participante. Estimou-se o período máximo de uma hora e meia para as respostas no questionário *on-line*.

A apresentação do modelo conceitual aos especialistas foi realizada pela exposição de um vídeo explicativo elaborado pelo pesquisador e apresentado anteriormente, juntamente com um diagrama do modelo. A participação nesta pesquisa se deu por meio de questionários (formulários *on-line*) individuais para cada especialista (Apêndice A, B e C). Na primeira etapa, o entrevistado avaliou a importância de cada critério do modelo conceitual, em relação ao conjunto de critérios apresentados (indicadores selecionados na literatura). Na sequência, foi solicitado ao entrevistado a avaliar cada componente em relação aos critérios apresentados. Esta avaliação foi realizada por meio de formulário individual *on-line Google Forms* e para apoio aos entrevistados foi utilizada a plataforma virtual *Google Meet*. A plataforma é gratuita, portanto não implicou em prejuízos financeiros ao participante. Os dados serão excluídos da rede após a utilização nesta pesquisa.

É importante frisar que os dados e informações coletadas dizem respeito somente ao conhecimento enquanto indivíduo, e em nenhum momento foram solicitadas informações sobre os cargos e instituições as quais o respondente está ou esteve vinculado. Os critérios de avaliação e os componentes avaliados foram predeterminados pelo pesquisador e o respondente fez somente as análises e julgamentos desses dados pré-estabelecidos. O intuito foi coletar informações relacionadas ao conhecimento do indivíduo sobre o modelo conceitual para *design* colaborativo distribuído, seus julgamentos de importância dos dados, e não sobre as instituições relacionadas ao seu cargo. Em qualquer etapa da pesquisa o entrevistado teve o direito de não responder às perguntas, podendo, ainda, se retirar da pesquisa a qualquer momento.

Não houve risco físico, o entrevistado apenas poderia sentir constrangimento em relação às perguntas do questionário. Se houvesse constrangimento, a participação na pesquisa poderia ser interrompida.

Os participantes da pesquisa não obtiveram nenhum benefício direto. Contudo, o resultado deste estudo contribuirá para a avaliação e o desenvolvimento de um

modelo conceitual para *design* colaborativo distribuído de produtos únicos aplicado a pequenas e médias empresas (PMEs). O modelo poderá auxiliar no conceito de desenvolvimento de produtos com a maior eficiência no aproveitamento de capacidades e demandas de produção em PMEs.

A pesquisa com os especialistas foi realizada após aprovação do questionário pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UTFPR. Os encaminhamentos da análise dos questionamentos da pesquisa foram tramitados pela Plataforma Brasil e encaminhados ao CEP da UTFPR em 15 de outubro de 2021, com retorno para correção do endereço do CEP e reenvio no dia 12 de novembro de 2021. A aprovação foi comunicada pelo parecer consubstanciado N° 5.156.853 em 09 de dezembro de 2021 na versão N°2 da proposta. Esta data dificultou o contato com os respondentes previamente convidados, pois conflitou com férias coletivas de empresas e instituições.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados resultados da pesquisa. Alguns destes resultados, como a estrutura do modelo conceitual, foram apresentados anteriormente na qualificação do trabalho, por serem necessários para o desenvolvimento das etapas seguintes.

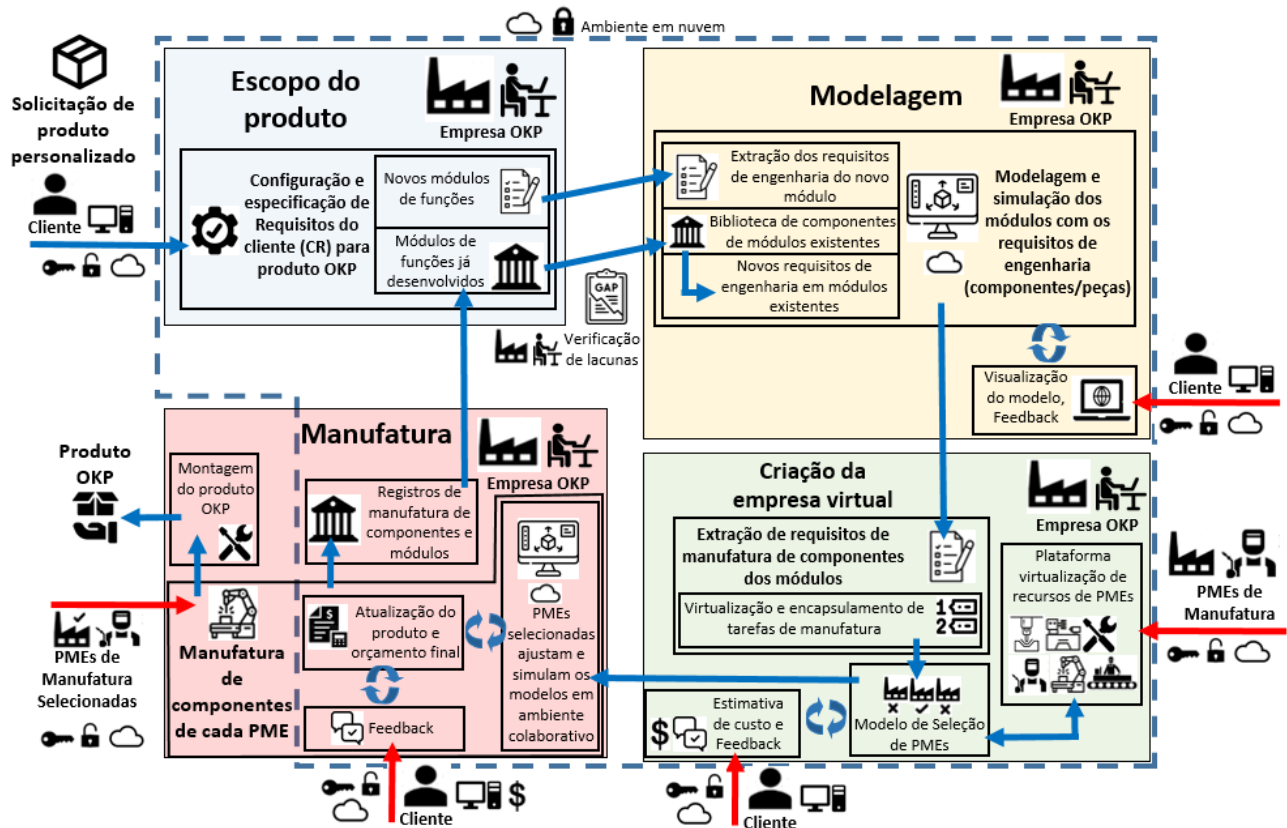
### 4.1 MODELO CONCEITUAL PARA DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO ÚNICO COLABORATIVO DISTRIBUÍDO APLICADOS A PMES

O modelo conceitual Desenvolvimento de Produto Único Colaborativo Distribuído entre PMEs (DPUCD) proposto é pensado para desenvolvimento de uma plataforma de serviços em nuvem. Nesta plataforma clientes encontram desenvolvedores de produtos personalizados específicos para sua necessidade (Empresas OKP). Já as Empresas OKP encontram na plataforma recursos e conhecimento de manufatura necessários em forma de parceria temporária, com empresas de manufatura para o desenvolvimento de um produto único. Um mecanismo de seleção de empresas de manufatura com recursos disponíveis para projetos distintos está disposto na plataforma para escolha da melhor parceria possível.

A proposta de uma plataforma em nuvem é baseada na utilização de infraestrutura em nuvem para alocação e ou criação de produtos, permitindo trabalho colaborativo. A alocação de recursos de infraestrutura e *softwares* conforme demanda, possibilidade de visualização e *feedback* compartilhado e utilização de nuvem de computação de alto desempenho (HPC) buscam a interoperabilidade de ações de projeto coordenados e colaboração entre organizações.

O modelo conceitual DPUCD, proposto neste trabalho e representado na Figura 10, é composto por quatro partes principais. Estas seções foram consideradas fundamentais para o desenvolvimento de produto único colaborativo por uma empresa OKP. Dentre elas: (1) escopo do produto, (2) modelagem, (3) criação de empresa virtual e (4) manufatura.

Figura 10 - Estrutura proposta para o Modelo Conceitual DPUCD



Fonte: O autor (2022).

O Quadro 10 apresenta um referencial teórico das partes e componentes da estrutura do modelo conceitual proposto. Esta proposição está embasada em estudos relacionados na revisão sistemática de literatura e outros trabalhos e teorias identificadas durante a revisão destes artigos, alinhados ao objetivo proposto.

As partes do modelo foram divididas baseadas nas principais etapas do desenvolvimento do produto e agentes envolvidos nas etapas (cliente, empresa OKP, empresa de manufatura e empresa virtual). Cada parte é composta por componentes, com funções específicas no desenvolvimento da etapa do produto. Estes componentes das partes do modelo estão identificados de P1 a P17. Após a apresentação do Quadro, as partes e componentes do modelo são discutidas e aprofundadas.



Quadro 10 - Relação de partes, fases e agentes do modelo conceitual na literatura

Partes	Fases / Componentes		Agente	Trabalhos
Escopo do Produto	Configuração de especificação de requisitos do cliente	P1 - Módulos de funções desenvolvidos	Cliente	(ZHENG <i>et al.</i> , 2017b); (ALEKSIC; JANKOVIC; RAJKOVIC, 2017) (GU; HASHEMIAN; NEE, 2004); (XIE; XU; TU, 2005)
		P2 - Novos módulos de funções	Cliente	(LIU <i>et al.</i> , 2017); (ZHENG <i>et al.</i> , 2017b); (ZHENG <i>et al.</i> , 2017a); (AKAO; MAZUR, 2003); (PAHL <i>et al.</i> , 1996); (ROZENFELD <i>et al.</i> , 2006).
	P3 - Verificação de lacunas		Empresa OKP	Este trabalho
Modelagem	Modelagem e simulação dos módulos com os requisitos de engenharia (componente s/peças) (LYU; CHU; XUE, 2017)	P4 - Biblioteca de componentes de módulos já desenvolvidos	Empresa OKP	(ZHENG <i>et al.</i> , 2017b); (WU <i>et al.</i> , 2015); (PAHL <i>et al.</i> , 1996); (ROZENFELD <i>et al.</i> , 2006);
		P6 - Modelagem requisitos de engenharia em módulos existentes	Empresa OKP	(ZHENG <i>et al.</i> , 2017b); (ZHENG <i>et al.</i> , 2017a) (PAHL <i>et al.</i> , 1996); (ROZENFELD <i>et al.</i> , 2006) (GU; HASHEMIAN; NEE, 2004); (LI; XIE; SANG, 2013); (WU <i>et al.</i> , 2015).
		P5 - Extração e modelagem dos requisitos de engenharia do novo módulo	Empresa OKP	(LIU <i>et al.</i> , 2017); (ZHENG <i>et al.</i> , 2017b); (ZHENG <i>et al.</i> , 2017a); (PAHL <i>et al.</i> , 1996); (ROZENFELD <i>et al.</i> , 2006) (LI; XIE; SANG, 2013); (WU <i>et al.</i> , 2015).
	P7 - Visualização do modelo inicial		Cliente	Este trabalho
	P8 - <i>Feedback</i> / aprovação		Cliente	Este trabalho
Criação de empresa virtual (TU, 1997) (CARNEIRO <i>et al.</i> , 2013) (MEI; YE; ZENG, 2016)	Extração de requisitos de manufatura de componentes dos módulos (virtualização das tarefas de manufatura)	P9 - Virtualização e encapsulamento de tarefas de manufatura	Empresa OKP	(BALTA <i>et al.</i> , 2018); (LI; XIE; SANG, 2013); (WU <i>et al.</i> , 2015).
		P10 - Plataforma com virtualização de recursos de manufatura de PMEs	Possíveis participantes da empresa virtual	(HE; XU, 2015); (ARGONETO; RENNA, 2016); (BALTA <i>et al.</i> , 2018).
		P11 - Modelo de seleção de PMEs	Empresa OKP	(ARGONETO; RENNA, 2016); (BALTA <i>et al.</i> , 2018); (MENDOZA; MARTINS, 2006). Este trabalho
	P12 - Estimativa de custo		Empresa OKP	Este trabalho
	P13 - <i>Feedback</i> aprovação		Cliente	Este trabalho
Manufatura	Manufatura de componentes por PME da empresa virtual	P14 - PMEs selecionadas ajustam e simulam os modelos em ambiente colaborativo (otimização)	Empresa virtual	(LYU; CHU; XUE, 2017); (LI; XIE; SANG, 2013); (ZISSIS <i>et al.</i> , 2017); (WU <i>et al.</i> , 2013); (WU <i>et al.</i> , 2015)
		P15 - Atualização do produto e orçamento final	Empresa OKP	(BARENJI <i>et al.</i> , 2021); (ZHENG <i>et al.</i> , 2017a).
		P16 - <i>Feedback</i> aprovação	Cliente	
		P17 - Registros de histórico de manufatura - componentes e módulos	Empresa virtual	(XIE; XU; TU, 2005).
		Montagem do produto OKP	Empresa virtual/Empresa OKP	--

Fonte: o autor (2022).

#### 4.1.1 Escopo do Produto

O escopo do produto deve ser formulado após manifesto de intenção de necessidade de desenvolvimento de um produto OKP por parte do cliente. Esta intenção deve ser cadastrada como demanda na plataforma em nuvem (ZHENG *et al.*, 2017a). Informações básicas de cadastro do cliente na plataforma, referentes à identificação, localização, contato e outros, serão necessárias para o acesso ao ambiente de configuração.

Na plataforma o cliente escolhe o tipo de produto OKP que está buscando (equipamentos para agroindústria, processamento de grãos, agricultura, pecuária, construção civil, fabricação mecânica, geração de energia, hidromecânicos, entre outros, até mesmo peças ou elementos de processos de fabricação avulsos). Por sua vez, as empresas OKP devem cadastrar suas especialidades de fabricação na plataforma, de modo a disponibilizar modelos básicos dos seus produtos para personalizar. Este cadastro dos produtos, deve disponibilizar características técnicas e funcionais de seus módulos ou conjuntos.

Após a seleção do tipo de produto OKP disponível na plataforma, o cliente OKP inicia a configuração dos requisitos do cliente. Esta configuração de requisitos envolve requisitos específicos funcionais e não funcionais do produto OKP a ser desenvolvido. O tipo de configuração de produto pode variar pela necessidade dos requisitos funcionais, CTO (*configure-to-order*) para utilização de módulos ou conjuntos já desenvolvidos anteriormente ou ETO (*engineering to order*) para configuração de um módulo ou conjunto com funcionalidades novos.

**P1 - Módulos de funções já desenvolvidas:** Em uma configuração de módulos CTO há como benefício o conhecimento de histórico de desenvolvimento do produto e manufatura, facilitando o planejamento de recursos e tempo. Mesmo nesta modalidade, requisitos podem possuir personalização de dimensões, capacidades, potências e outros critérios dentro das limitações estabelecidas pela plataforma. Outra atividade possível é a adaptação do módulo para desenvolver mais funções. O *design* adaptativo é o fundamento da configuração (GU; HASHEMIAN; NEE, 2004). A busca por soluções adaptáveis dentro de um módulo configurável e soluções já utilizadas anteriormente é a cocriação entre cliente e empresa (ZHENG *et al.*, 2017b).

A alimentação das características funcionais dos requisitos do cliente como dimensão, capacidade, função e outras está disposta na plataforma pela empresa

OKP por seleção de opções pré-determinadas. Para adaptação de funções é necessário a interação por caixa de texto e uma ferramenta para inclusão de arquivo de imagem ou descritivo técnico.

**P2 - Novos módulos de funções:** A configuração de módulos novos, com requisitos e funcionalidades diferentes dos módulos já disponíveis na plataforma, surge com a engenharia sob encomenda (ETO) como necessária.

Para definição de novos módulos a dificuldade de extração de requisitos de maneira objetiva e não conflitante é um fator a ser considerado (ALEKSIC; JANKOVIC; RAJKOVIC, 2017). A interface de extração dos requisitos deve ser aberta o bastante para extração dos requisitos de funcionalidade apresentadas pelo cliente, porém com restrição a especificações contraditórias.

Um sistema aberto para descrição de requisitos em forma de texto apenas não basta. Os requisitos devem atender questionamentos que contornem as possibilidades do desenvolvedor, com limitações impostas e tratadas com seu grau de incerteza. Um sistema de peso atribuído em variável linguística para preferências entre os requisitos atribuídos é uma alternativa (LIU *et al.*, 2017; ZHENG *et al.*, 2017b). Limitações de características com valores definidos como limite superior ou inferior podem ser propenso.

O desenvolvimento de um módulo novo, sempre estará sujeito a falta de informações precisas. Na sequência do desenvolvimento, a verificação de lacunas deve perceber contradições e falta de especificações por parte do cliente. Cabe então uma nova rodada de especificações de requisitos para afinamento da definição do módulo.

**P3 - Verificação de lacunas:** A revisão dos requisitos do cliente deve possibilitar montar uma configuração executável de projeto de produto OKP, buscando o menor conflito de informações possíveis. Requisitos funcionais e não funcionais são extraídos dos da plataforma de configuração. Requisitos funcionais são aqueles que desdobram uma função específica no desenvolvimento de alguma atividade pelo produto (ex: velocidade, capacidade). Os requisitos não funcionais atribuem qualidades como aparência, custo e outros.

A utilização de ferramentas conceituadas, como desdobramento da função qualidade (QFD), pode auxiliar na definição de possibilidades de *design* baseado nos requisitos do cliente (AKAO; MAZUR, 2003). A utilização e escolha de métodos e ferramentas de qualidade é opção da empresa OKP. Durante a fase de modelagem

dos requisitos, características não apresentadas ficam em aberto e poderão ser verificadas pelo cliente na fase de *feedback*. É importante identificar quais requisitos de um produto interferem em quais componentes e funcionalidades para reduzir o risco de erros, retrabalhos e resultados frustrados após alteração de um requisito ou funcionalidade (LIU *et al.*, 2017).

#### 4.1.2 Modelagem

A modelagem do produto OKP ou dos módulos requisitados do produto é iniciada unicamente pela empresa OKP. Posteriormente, os conceitos serão aprovados ou não pelo cliente em um *feedback* inicial e repensados de maneira colaborativa pela empresa virtual após sua formação, visando maior conhecimento de manufatura e processos aplicados ao desenvolvimento do produto como *design* aberto.

Para possibilidade de um processo de *design* compartilhado e distribuído é necessária utilização de tecnologias de *design* em nuvem (WU *et al.*, 2015; ZHENG *et al.*, 2017a). Diversos recursos de computação em nuvem para *design* são disponíveis no mercado, desde *software* como serviço (SaaS), podendo executar aplicações que exigem grande poder de computação sem necessitar de grandes computadores. Outra opção, são plataformas (PaaS) de compartilhamento de trabalhos de desenho baseados em *softwares* instalados e processados em computadores locais. A grande diferença está relacionada à banda de comunicação disponível, que pode ser o gargalo em uma interação de *design* em SaaS (LYU; CHU; XUE, 2017). O benefício da utilização de SaaS é disponibilidade de variedade de *softwares* CAD distintos disponíveis para locação por demanda (WU *et al.*, 2015).

A ideia para este modelo proposto é a utilização de plataforma para modelagem e simulação com SaaS e HaaS com contratação de serviço HPC (*High Performance Computing*), por locação baseado na demanda. Uma opção de HaaS para poder de computação em simulação é o acesso à *UberCloud* para execução de simulações. Haverá a necessidade de armazenamento em nuvem de arquivos de desenhos em uma biblioteca de modelos. Estes modelos podem ser acessados inicialmente apenas pela empresa OKP desenvolvedora. Os conjuntos de desenhos ajustados poderão ser visualizados e compartilhados com o cliente e as PMEs da empresa virtual.

Quanto aos *softwares* de modelagem SaaS, diversos nomes aparecem na bibliografia pesquisada, sendo mais comuns nas PMEs de manufatura o *SolidWorks Cloud Offer (Experience)* e o *Autodesk Fusion 360*.

No modelo proposto há possibilidade das empresas OKP escolherem o *software* de modelagem mais adequado ao seu produto ou necessidade sob demanda. Este tipo de opção possibilita ainda ao cliente e empresas de manufatura o acesso aos projetos. Este tipo de tecnologia evita problemas de conversão de dados de projeto e interoperabilidade de *softwares* de *design* distintos.

**P4 - Biblioteca de modelos:** A biblioteca de desenhos de componentes é formada por modelos de projetos reutilizados de módulos já desenvolvidos anteriormente. É utilizada para adequação dos modelos de componentes conhecidos aos requisitos atuais do novo cliente. A disposição do armazenamento dos modelos em nuvem habilita o compartilhamento de informações e possibilita visualização e *feedback* do cliente no espaço colaborativo do projeto.

A retroalimentação da biblioteca de modelos é feita com a inclusão de novos produtos desenvolvidos e novos módulos personalizados ao final do ciclo de desenvolvimento com registro de manufatura dos módulos e componentes manufaturados.

**P5 - Extração e modelagem dos requisitos de engenharia do novo módulo:** O desdobramento de funções de um novo módulo deve ser planejado baseado em seus requisitos funcionais, estes convertidos em funções de engenharia, como: mover, aquecer, girar, contar, sustentar e outras. Estas funções de engenharia são desenvolvidas por conjuntos de componentes. O *design* destes componentes e conjuntos pode possuir características de dependência de informações e funcionalidade de outros módulos ou não (ZHENG *et al.*, 2017b). Como o projeto nesta fase ainda será revisado pelo *feedback* inicial do cliente e ajustes pela empresa virtual, é muito importante a identificação de dependências de informação entre requisitos sejam mapeadas e apontadas, pois a alteração de um componente afeta diretamente no desempenho ou funcionalidade de outro (LIU *et al.*, 2017).

Inicialmente, o modelo geométrico dos componentes e conjuntos dos módulos são desenvolvidos pela extração de requisitos funcionais para funções de engenharia. Métodos de proposição de soluções baseadas em ferramentas de referência em engenharia como desenvolvimento de funções de projeto como de Pahl e Beitz (1996)

e matriz morfológica de desenvolvimento de produtos de Rozenfeld *et al.* (2006) são bem aceitos. A utilização de análise de *design* existentes, estudo de dependências de funções de *design* entre módulos já projetados são necessárias para evitar desvios funcionais. A utilização de conceitos de DFMA na concepção final das peças modeladas auxiliará na facilidade de descrição de processos de manufatura na composição da empresa virtual.

**P6 - Modelagem requisitos de engenharia em módulos existentes:** A modelagem de componentes dos módulos já desenvolvidos é uma adaptação das características do requisitos originais a uma nova solicitação do cliente como *design* adaptável (GU; HASHEMIAN; NEE, 2004) e modular (ZHENG *et al.*, 2017b).

Os modelos são buscados da biblioteca de componentes e reutilizados de forma adaptada para otimizar o processo de modelagem. Históricos de modelagem e origem de modelos devem ser mantidos com objetivo de compreensão de histórico de projeto e futuras análises necessárias.

Como prioridade, módulos reaproveitados integralmente ou adaptados devem ser definidos antes de módulos ou conjuntos novos, reduzindo retrabalhos de reajustes posteriores.

A pré-disposição de características nos modelos que facilitem a personalização de comprimentos, diâmetros, curso, alturas e outras, focando em DFMA (*Design for Manufacture and Assembly*)(BOOTHROYD; DEWHURST; KNIGHT, 2011) sem alteração de características construtivas é importante para manter históricos para aplicação nos processos de manufatura. O foco deve ser mantido nas características dos processos e materiais comerciais disponíveis já conhecidos.

**P7 e P8 - Visualização, *feedback* e aprovação do modelo inicial:** A montagem e simulação de funcionamento dos conjuntos em aplicações CAD/CAE em nuvem são propostas para visualização e posterior *feedback* do cliente OKP em ambiente de interação colaborativo (WU *et al.*, 2015; ZHENG *et al.*, 2017a). O *feedback*/aprovação do cliente nesta fase é necessário para a formação da empresa virtual apropriada.

A visão de projeto pode ser vista de quatro modelos distintos, (1) baseada na visão do cliente, (2) na visão ideal do produto, (3) na visão da manufatura e (4) na visão da disposição de recursos (LI; XIE; SANG, 2013). A junção dos quatro modelos traz benefícios ao planejamento do produto OKP. Até esta etapa do planejamento já

é possível observar a visão do cliente e do produto. Com a formação da empresa virtual se tem visão de manufatura e recursos físicos e humanos.

A interação do cliente é feita na plataforma, inicialmente com o acesso de visualização ao *software* de modelagem (SaaS) adequado. Este acesso permite a visualização da modelagem das partes do produto, em formato de conjuntos funcionais ou produto como um todo. A visualização de características técnicas também é disponibilizada de forma descritiva. O *feedback* do cliente é repassado de maneira descritiva em um campo dedicado para este fim, também podendo inserir arquivos de imagem, vídeo e texto. O *feedback* pode ser parcial, referente a cada conjunto ou total, se tratando do produto como um todo.

Após o *feedback* do cliente ser finalizado, é disponibilizado para empresa OKP. Em caso de aprovação o produto passa para próxima fase, caso contrário, a visão ideal do produto e a visão do cliente devem ser alinhadas por novos requisitos ou verificação de requisitos não atendidos em uma nova modelagem e um novo *feedback* de maneira cíclica, até a aprovação. A criação da empresa virtual é a parte que apresenta a sequência do modelo.

#### 4.1.3 Criação da Empresa Virtual

Uma empresa virtual é criada para atender a um projeto de um produto OKP específico, com o compartilhamento de capacidade de manufatura, como demanda de produção planejada, conhecimento de processo de manufatura, logística e processos em produtos provisórios (CARNEIRO *et al.*, 2013; MEI; YE; ZENG, 2016; TU, 1997). Após a finalização do desenvolvimento do produto OKP, a empresa virtual é dissolvida ou deixa de existir. É importante mencionar que tarefas que caracterizam os produtos OKP devem ser concentradas na empresa OKP.

Para formação de uma empresa virtual é necessário conhecer as demandas de manufatura de cada projeto OKP, para seleção das empresas mais adequadas. Como o *design* dos módulos do produto OKP, até então foi baseado nos requisitos do cliente e funções de engenharia, requisitos de fabricação como processos específicos ainda não foram relacionados. Uma das grandes colaborações com a formação de uma empresa virtual, é a disposição de processo de fabricação e recurso até então não disponíveis para qualquer PME. Então, é necessário avaliar o projeto OKP e extrair

os requisitos de fabricação necessários para manufatura dos componentes. Esta etapa é chamada de virtualização e encapsulamento de tarefas de manufatura (TAO *et al.*, 2011).

A efetivação da parceria para manufatura deve ser formalizada por meio de intenção de serviço de manufatura pela plataforma após a seleção das PMEs de manufatura. Registros de atividades, acessos aos modelos dos componentes, conjuntos e informações do projeto são disponibilizados e controlados pela plataforma com a efetivação da parceria.

**P9 - Virtualização e encapsulamento de tarefas de manufatura:** A virtualização das tarefas de manufatura aponta o processo de planejamento de fabricação de uma determinada peça, conjunto ou módulo em suas etapas de manufatura, mesmo enquanto produto provisório. O encapsulamento das tarefas deve atribuir requisitos como: tipo de processo de fabricação (corte laser, torneamento, fresamento, fundição, manufatura aditiva, etc), materiais, tolerâncias, acabamentos, prazos disponíveis, sequências e dependências de processos, previsão de desenhos e logística. Componentes que dependem de mais de um processo de fabricação, enquanto não finalizados, são chamados de produtos provisórios.

O encapsulamento das tarefas é executado como uma abstração das atividades de manufatura de peça do produto. Cada peça modelada anteriormente é analisada e um roteiro de fabricação é elaborado, considerando matéria-prima e processos de fabricação, é estabelecido em uma sequência de manufatura para o item.

Roteiros de fabricação com sequências de manufatura de itens de geometrias semelhantes já desenvolvidos anteriormente, podem ser reaproveitados e modificados para especificação atual. Como exemplo, é apontada a fabricação de eixos, mancais, dobras de chapas e outros. A composição dos roteiros de fabricação deve ser elaborada por um especialista em manufatura da empresa OKP.

A utilização de tecnologia de agente em ontologia dos processos de fabricação e geometrias componentes com inteligência artificial pode ser um futuro para esta atividade, que depende hoje exclusivamente de especialista (OSTROSI; FOUGÈRES, 2018).

**P10 - Virtualização de recursos de manufatura de PMEs:** Em uma plataforma de manufatura em nuvem, PMEs cadastram informações de identidade,



localização, capacidade de produção e virtualizam seus recursos de manufatura disponíveis.

As empresas de manufatura interessadas em compartilhar demanda de fabricação participando de projetos com a prestação de serviços de manufatura necessitam virtualizar seus recursos disponíveis, para esta ao alcance das empresas OKP. A virtualização dos recursos deve iniciar com um cadastro da empresa na plataforma. Cada recurso de manufatura, como usinagem em torno CNC, corte de peças em jato d'água, manufatura aditiva e outros é habilitado conforme a disponibilidade do recurso de cada empresa de manufatura.

Os recursos de fabricação são cadastrados na plataforma pelas empresas de manufatura, que são responsáveis por realimentar e garantir os dados cadastrados. Os dados de cadastro de cada recurso são baseados nas limitações dos recursos disponíveis do processo habilitado. Como exemplo, pode-se citar a manufatura de eixos em torno CNC. Neste caso, as limitações do processo estão baseadas no diâmetro máximo, comprimento máximo e acabamento mínimo da peça.

A virtualização dos recursos é disposta na plataforma como um banco de dados em nuvem, na qual as informações podem ser atualizadas constantemente. Informações como localização, prazo para disponibilidade e valores por hora, processo, ou unidade devem ser realimentadas constantemente. Uma tendência com a evolução e conectividade dos equipamentos de manufatura é a utilização de IoT para atualização de dados de produção e disponibilidade de recursos no tempo.

A virtualização de recursos de manufatura orienta o planejamento de produção distribuída com recursos compartilháveis, até então caros para aquisição por uma PME com pouca demanda (ARGONETO; RENNA, 2016; BALTA *et al.*, 2018; HE; XU, 2015; WU *et al.*, 2015) .

**P11 - Modelo de seleção de PMEs:** O modelo de seleção de PMEs de manufatura para compor a empresa virtual consiste em cruzar as informações de virtualização e encapsulamento de tarefas de manufatura do projeto OKP, com as disponibilidades de recursos de manufatura disponíveis habilitadas na plataforma pelas PMEs de manufatura. Este modelo se aplica como forma de apoio à tomada de decisão para empresa OKP determinar a estratégia de manufatura, prazos e custos pré-determinados e posteriormente aprimoramento no desenvolvimento do produto com conhecimento de manufatura.

As tarefas de manufatura extraídas da virtualização na fase P10 são agrupadas em processos com características de manufatura semelhantes, como por exemplo peças cilíndricas de pequenas dimensões, peças de caldeiraria de baixa espessura, peças fundidas ou até mesmo peças impressas em manufatura aditiva. Baseado na composição destes lotes de peças com características semelhantes, os limites para manufatura das peças são estabelecidos, como: processo, dimensões máximas e mínimas, materiais e tolerâncias. Com a definição das características das peças a serem manufaturadas, a definição do processo de manufatura mais adequado pode ser feita.

No banco de dados da plataforma são buscadas PMEs de manufatura com disponibilidade de fornecimento de manufatura no processo de fabricação definido. Como limitante são utilizadas as características de manufatura dos processos de virtualizados pelas PMEs, como comprimento, diâmetros ou espessuras máximas ou mínimas da capacidade do processo.

Em uma classificação inicial com filtros de seleção, as PMEs de manufatura com processos de fabricação apropriados a geometria das peças e capacidades da manufatura condizentes com as limitações dimensionais das peças, são selecionadas para uma avaliação de critérios e classificação quanto a preferências da empresa OKP utilizando o modelo de seleção multicritério.

Inicialmente, o especialista em manufatura da empresa OKP elenca os pesos para os critérios (Quadro 11) a serem avaliados no processo de manufatura. Para este modelo de seleção de PMEs de manufatura os critérios são:

Quadro 11 – Critérios para seleção de PMEs de manufatura

	<b>Critérios</b>	<b>Padrão</b>
C1 -	Volume de produção	Hora, processo, ciclo ou unidade
C2 -	Valor	Hora, processo, ciclo ou unidade
C3 -	Acabamento	Rugosidade Superficial
C4 -	Material	Tipo de material
C5 -	Prazo para início da atividade	Dias
C6 -	Localização	Km
C7 -	Histórico	Positivo, neutro ou não existente, negativo

Fonte: O autor (2022).

Caso um dos critérios não seja adotado para o processo em questão, o valor atribuído ao critério tem peso igual a zero. A não adoção de um ou outro critério é baseada na virtualização dos processos, que pode não utilizar tantos dados.

A próxima etapa é a avaliação das PMEs como alternativa em relação aos critérios utilizados. A utilização do método *Fuzzy-TOPSIS* foi representada no capítulo 3.2.3 (equações 11 a 19).

Após a computação dos valores dos números trapezoidais *fuzzy*, com os pesos dos critérios avaliados via método *Fuzzy-TOPSIS*, as alternativas de PMEs de manufatura são ranqueadas pelo coeficiente de proximidade ( $CC_i$ ) mais alto, sendo a primeira alternativa para seleção.

Como se trata de um modelo de apoio à tomada de decisão, a escolha do fornecedor ainda cabe ao especialista em manufatura da empresa OKP, tendo o modelo de seleção de PMEs e seu ranqueamento apresentado como base de análise para seleção. Um exemplo de aplicação do método de seleção de PMEs será apresentado no capítulo 4.2.

**P12 e P13 - Estimativa de custo e *feedback*:** Após a seleção das PMEs para a formação da empresa virtual já é possível visualizar uma estimativa de custo aproximado para manufatura do produto. Um cronograma mais próximo ao real da produção já pode ser estabelecido pela empresa OKP.

Uma nova fase de *feedback* de aprovação em relação à estimativa de valores e prazos acontece pelo cliente OKP. Esta fase habilita a formação da empresa virtual e a otimização do projeto baseado nos recursos e conhecimento de manufatura.

#### 4.1.4 Manufatura

A parte de manufatura é desenvolvida somente após a formação da empresa virtual, sendo gerenciada pela empresa OKP. Todo o compartilhamento e gerenciamento de informações de projeto deve ser organizado pela empresa OKP e acompanhada pelo cliente e PMEs de manufatura da empresa virtual. Esta fase é iniciada pela otimização de componentes específicos do produto, anteriormente desenvolvidos pela empresa OKP em conjunto com o cliente. Agora estes componentes modelados passam por otimização de *design* pelas PMEs participantes da empresa virtual, focados em atribuição de conhecimento de manufatura. Esta

otimização deve passar por *feedback* de aprovação do cliente e empresa OKP. A manufatura e registro de manufatura de módulos desenvolvidos.

**P14 - Otimização de *design*:** Cada PME de manufatura da empresa virtual tem acesso ao ambiente em nuvem com os modelos, desenho e informações construtivas dos componentes e ou módulos em que foi selecionado como responsáveis pela manufatura. Nesta fase, o conhecimento de manufatura pode contribuir bastante na otimização de material, geometrias e processos relacionados à preparação da manufatura. Conceitos de DFMA (*design for manufacture and assembly*) (BOOTHROYD; DEWHURST; KNIGHT, 2011) conseguem ser melhor propostos, aplicados e avaliados por especialistas em manufatura.

A colaboração da integração do conhecimento de manufatura e processos aplicados ao *design* do produto pode aprimorar especificações requisitos funcionais de engenharia, qualidade de fabricação e redução de defeitos (SOURI; GAO; SIMMONDS, 2019).

Cada PME de manufatura tem acesso via SaaS com *softwares* CAD aos modelos tridimensionais e registro de especificações funcionais dos componentes, componentes provisórios e ou conjuntos no qual são responsáveis pelo processo de manufatura. Esse acesso é realizado no ambiente colaborativo em nuvem, cabendo à PME de manufatura a proposição de revisão nos modelos disponibilizados, se for necessário. Este processo de revisão dos modelos, busca otimização do processo de manufatura, visando avaliação de: tipo de equipamento ou processo de manufatura, dispositivos e métodos de fixação para manufatura, materiais mais adequados, ferramental disponível e logística dos componentes.

As proposições sugeridas e observadas na revisão de manufatura pelo *design* colaborativo, devem ser modeladas em *software* CAD como alternativas, e simuladas em *software* CAE no ambiente em nuvem. A interoperabilidade dos *softwares* deve ser contornada com adoção e utilização de SaaS para os integrantes da empresa virtual, podendo ser utilizado como plataforma de interação pela empresa OKP, que determina o modelo do *software*. Como exemplo é possível citar *softwares* de *design* com plataformas na nuvem como *SolidWorks 3D Experience* e *Autodesk Fusion 360*, entre outros. Para ambiente de simulação CAE a plataforma de simulação para engenharia *Ubercloud* também é observada como alternativa de utilização na condição de pagamento por uso (*on-demand*).

**P15 - Atualização do produto e orçamento final / *feedback*:** A aprovação das sugestões de colaboração da empresa virtual no *design* de componentes e módulos inicialmente é da empresa OKP. O registro dos modelos e simulações deve ser revisado por especialistas do produto OKP. Após aprovação, é possível a estimativa real de custo e prévia de programação de produção para aprovação do cliente OKP.

Toda a comunicação e interação deve ser realizada e registrada pela plataforma na nuvem. A interação comercial iniciada no processo de escopo de produto como intenção e estabelecida na aprovação da fase de modelagem, agora passa a ser firmada de forma mais consolidada (ZHENG *et al.*, 2017a).

Utilização de mecanismo de contrato inteligente na nuvem, considerando fases de aprovação em um sistema de configuração de módulos é aplicável. Este tipo de mecanismo é funcional em sistemas de configuração de produtos OKP (CTO), mas complexo de aplicar aos módulos que envolvem engenharia de produto (ETO), devido à dificuldade de estimativa de modelos, custos e prazos. Barenji *et al.* (2021) propuseram um sistema aplicado a CTO, afunilando orçamentos, contrato e pagamentos com as etapas de configuração e manufatura.

**P16 - Manufatura e Montagem:** A manufatura dos componentes e módulos dos produtos OKP deve ser realizada conforme planejamento e somente após *feedback* de aprovação do cliente e empresa OKP. A manufatura de componentes característicos do produto OKP, onde o conhecimento focado no desenvolvimento do produto não deve ser compartilhado pois é propriedade intelectual, deve ser manufaturado especificamente pela empresa OKP.

A manufatura em geral de peças e componentes é realizada de forma distribuída pelas PMEs da empresa virtual. Embora não se esteja falando de manufatura em nuvem propriamente dita, pois os equipamentos de manufatura não estão conectados diretamente na nuvem, dados de início de processo, tempo de manufatura e prazos devem ser alimentados na plataforma, possibilitando a verificação do estado atual dos componentes. É importante salientar que a distância entre a localização das unidades fabris e logística devem ser consideradas na seleção da empresa virtual, bem como agrupamento de componentes com características e dimensões semelhantes. Custos com aquisição de matérias-primas ou logística de matérias-primas devem ser confrontados e ajustados conforme viabilidade.

A montagem final e fornecimento de componentes mecânicos padronizados como elementos de máquinas é de responsabilidade da empresa OKP, que é a especialista no tipo de produto OKP. De acordo com o tipo e tamanho de produto OKP, é possível que necessite de montagem “*in loco*”. Então neste caso, esta atividade pode fazer parte do processo de seleção da empresa virtual.

**P17 - Registros de histórico de manufatura** - componentes e módulos: Após a manufatura dos componentes pela empresa virtual e empresa OKP, os registros de conhecimento, da concepção, requisitos, configuração, *feedbacks*, evolução do processo de desenvolvimento dos módulos e componentes, tempo, custos de manufatura e matéria-prima, devem ser registrados como histórico do produto. A preservação do conhecimento de desenvolvimento do produto deve ser apoiado (Al *et al.*, 2011).

Os registros de manufatura, processos, planejamento, materiais e logística do desenvolvimento do produto devem ser realimentados na plataforma. Estas informações servirão para empresa OKP disponibilizar novos módulos configuráveis e possibilitar estimativas de prazos e custos mais precisas para módulos já desenvolvidos. O conhecimento de desenvolvimento de produto deve ser gerenciado de forma unificada pela empresa OKP na plataforma.

O modelo componente ou módulo desenvolvido na plataforma reconfigurável, pode ser reutilizado pelos integrantes da empresa virtual (XIE; XU; TU, 2005). A proposição de *design* aberto para os componentes ou módulos desenvolvidos pelas PMEs envolvidas na empresa virtual pode viabilizar conhecimento de manufatura e auxílio no desenvolvimento de produtos OKP similares com maior assertividade.

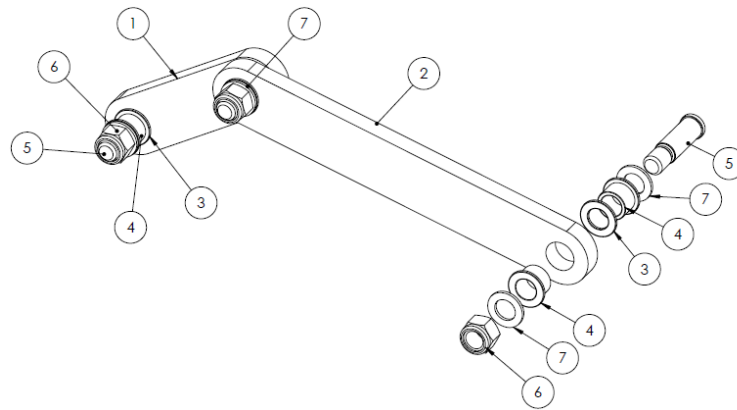
O compartilhamento de informações de *design* e fabricação com integrantes da empresa virtual é restrito aos componentes de fabricação compartilhada. As empresas participantes da empresa virtual possuem acesso apenas às informações e conhecimentos sobre a manufatura dos componentes em que fizeram parte do desenvolvimento, assegurando a propriedade intelectual do desenvolvimento do produto à empresa OKP.

## 4.2 APLICAÇÃO DO MODELO DE SELEÇÃO DE PMES

Nesta seção foi utilizado um conjunto mecânico como estudo de caso para ilustrar a utilização do modelo de seleção de PMEs na composição da empresa virtual. O conjunto apresentado é denominado como guia da articulação e faz parte de um equipamento OKP conhecido como limpa-grades, utilizado em sistemas hidromecânicos de pequenas centrais hidrelétricas e geralmente desenvolvido sobre demanda, adaptando às necessidades de cada cliente.

O projeto do conjunto apresentado (Figura 11) é uma adaptação utilizando geometrias e componentes semelhantes a um projeto já desenvolvido por uma empresa OKP. Dimensões, materiais e tolerâncias foram modificadas para manter a propriedade intelectual do produto utilizado como ilustração. O Quadro 12 apresenta a descrição dos componentes do conjunto. Desenhos de detalhamento construtivo técnicos e dimensionais são apresentados no Apêndice D.

Figura 11 – Conjunto guia da articulação



Fonte: O autor (2022).

Quadro 12 – Descritivo dos componentes do conjunto guia da articulação

Item	Descrição	Material	Quantidade
1	Braço 01	ASTM A-36	1
2	Braço 02	ASTM A-37	1
3	Arruela deslizante	Bronze TM23	3
4	Bucha deslizante	Bronze TM23	6
5	Eixo da articulação	SAE 1045	6
6	Porca sextavada M20x1,5mm - Cl.8 - DIN985	-	3
7	Arruela externa	SAE 1045	6

Fonte: O autor (2022).

1º fase – Agrupamento e virtualização das tarefas de manufatura: Um agrupamento de componentes com geometrias semelhantes possíveis de mesmo processo de fabricação é feito baseado no detalhamento dos componentes apresentados. Itens comerciais normatizados não manufaturados também são separados.

Os componentes 1 e 2 possuem geometrias e materiais de fabricação semelhantes compondo o primeiro grupo (Lote A). Os componentes 3, 4, 5 e 7 são componentes com geometrias cilíndricas, que mesmo não possuindo mesmo material, apresentam as mesmas características de manufatura (Lote B). O componente 6 é padronizado de forma comercial e não necessita manufatura.

2º fase – Composição dos lotes com limites de dimensões e tolerâncias:

Lote A:

1ª - Corte de chapas em jato d'água CNC - formato oblongo com espessura  $\frac{3}{4}$ " (19,05mm);

2ª – Broqueamento/mandrilamento – furos ajustados com diâmetro 30mm;

Limitações:

- Comprimento máximo 410 mm;
- Largura máxima 60 mm;
- Espessura de corte máxima 19,05 mm;
- Mandrilamento interno mínimo 30mm.

Lote B:

1ª – Usinagem cilíndrica externa ajustada;

2ª – Usinagem cilíndrica interna ajustada;

3ª – Usinagem de canais;

4ª – Usinagem de rosca externa.

Limitações:

- Comprimento máximo 86 mm;
- Diâmetro máximo externo 38mm.

3º fase - Busca por PMEs de manufatura na plataforma: No banco de dados da plataforma são buscadas PMEs de manufatura com disponibilidade de fornecimento de manufatura nos processos de fabricação definidos. As limitações de cada grupo de



componentes são utilizadas como filtro para classificação dos fornecedores de manufatura condizentes com os componentes.

Como a plataforma em nuvem, objeto do estudo não foi desenvolvida ainda, neste estudo de caso simulado foi utilizado um banco de dados composto por planilhas utilizando o *software Microsoft Excel*. Cada PME de manufatura virtualiza suas capacidades produtivas alimentando uma planilha previamente estruturada com recursos disponíveis na plataforma. Uma planilha geral é utilizada para buscar e filtrar dados dos fornecedores de manufatura nas planilhas de cada fornecedor, atualizando limites e condições em tempo real.

A simulação de buscas de fornecedores para os trabalhos de manufatura do conjunto OKP proposto é apresentada nos quadros abaixo. As limitações apresentadas anteriormente de cada grupo de componentes foram utilizadas como base para filtrar a empresas de manufatura capazes de atender as especificações de manufatura.

O grupo A necessita de dois processos de manufatura distintos, corte de chapas em jato d'água e mandrilamento interno. Estes processos são buscados na plataforma com suas limitações para encontrar PMEs para cada processo (Apêndice E e Apêndice F).

O grupo B necessita apenas do processo de usinagem em torno CNC. Suas limitações são informadas e a busca por PMEs disponíveis é executada na plataforma (Apêndice G).

Os quadros representam as buscas por PMEs de manufatura na plataforma de virtualização de demandas de manufatura. Esta fase faz uma triagem entre as empresas cadastradas para atendimento das condições mínimas estabelecidas ou limitações relacionadas a tamanho ou capacidade do processo disponível pela empresa. Nos quadros abaixo, estão representadas empresas que atendem a estas limitações de processo levantadas anteriormente. As colunas representadas na cor verde são os critérios que posteriormente serão avaliados pelo modelo de seleção.

4º Fase - Avaliação dos critérios de seleção de cada alternativa de PMEs: Os critérios de seleção das empresas com características de processos dentro das limitações estabelecidas encontradas na plataforma são lançados no modelo de seleção de PMEs para avaliação multicritério linguísticas. A avaliação das PMEs alternativas de seleção para Corte de Chapas em Jato d'água é executada por um especialista em manufatura da empresa OKP – (Apêndice H, linhas destacadas em

amarelo). Inicialmente, são avaliados e adotados pesos para os critérios que serão normalizados posteriormente pelo modelo. Caso um critério não seja utilizado o valor zero é lançado. A avaliação dos critérios das alternativas é feita com base nas variáveis linguísticas definidas para número trapezoidal *Fuzzy*, dispostas no Quadro 11.

A conversão dos valores linguísticos avaliados de cada critério, em cada alternativa do modelo de seleção, para número trapezoidal *Fuzzy* é apresentada no Apêndice I.

A agregação do peso normalizados adotados para os critérios aos números trapezoidais *Fuzzy* é apresentada no Apêndice J. As soluções ideais positivas para as alternativas são apresentadas no Apêndice K. Ao lado dos Números Trapezoidais *Fuzzy* de cada critério é apresentado o valor desfuzificado. A somatória dos valores desfuzificados é apresentada como solução ideal positiva para cada alternativa.

As soluções ideais negativas para as alternativas são apresentadas no Apêndice L. Ao lado dos Números Trapezoidais *Fuzzy* de cada critério é apresentado o valor desfuzificado. A somatória dos valores desfuzificados é apresentada como solução ideal negativa para cada alternativa.

O Quadro 13 apresenta os coeficientes de proximidade entre a solução ideal positiva e a solução ideal negativa de cada alternativa, este valor é utilizado para ranquear as soluções baseado na escolha da melhor solução mais afastada na pior solução. No caso da seleção PMEs disponíveis para Corte de Chapas em Jato D'água do lote A, a solução com o  $CC_i$  mais alto é a alternativa 4 (Fabrica 15). Seu coeficiente de proximidade é bem superior ao segundo colocado, alternativa 6, justificando a escolha da Fábrica 15 como a melhor escolha.

Quadro 13 – O coeficiente de proximidade ( $CC_i$ ) e ranqueamento das alternativas de PMEs disponíveis para Corte de Chapas em Jato D'água

$CC_i$	Ranking	Alternativas
0,126	4	<b>A1</b> Fabrica 2
0,126	4	<b>A2</b> Fabrica 6
0,121	6	<b>A3</b> Fabrica 8
<b>0,162</b>	<b>1</b>	<b>A4</b> <b>Fabrica 15</b>
0,137	3	<b>A5</b> Fabrica 17
0,149	2	<b>A6</b> Fabrica 19

Fonte: O autor (2022).

A aplicação simulada do modelo de seleção de PMEs representada acima, na escolha de fornecedor para Corte de Chapas em Jato d'água do lote de peças A, apresentou todas as etapas do funcionamento do modelo. Na utilização do modelo, a interação do especialista em manufatura da empresa OKP apenas consiste na adoção de pesos para os critérios existentes no processo de manufatura e a avaliação linguística dos critérios de cada alternativa. Todo o processamento da informação é executado pelo modelo.

A interação final do especialista com o modelo é a escolha da alternativa de PME de manufatura baseada no coeficiente de proximidade (CCi). O modelo fornece um ranqueamento das alternativas como melhor escolha, mas a decisão final é do especialista, já que os valores CCi podem ser muito próximos.

Para a seleção de PMEs para as atividades de Mandrilamento Interno do lote A e Torneamento CNC do lote B, será apresentada apenas a interação do especialista com a plataforma, não mostrando todo processo interno do modelo de seleção como apresentado na seleção de PMEs para Corte de Chapas em Jato D'água.

De maneira breve a interação do especialista da empresa OKP é apresentada no Apêndice M (linhas em amarelo) na escolha dos pesos e avaliação linguística dos critérios das alternativas para seleção de PME para Mandrilamento Interno de componentes do lote A.

O Quadro 14 apresenta os coeficientes de proximidade CCi para seleção de PMEs disponíveis para Mandrilamento Interno. A solução com o CCi mais alto é a alternativa 3 (Fabrica 11). Seu coeficiente de proximidade é bem superior ao segundo colocado, alternativa 4, justificando a escolha da Fábrica 11 como a melhor escolha.

Quadro 14 – O coeficiente de proximidade (CCi) e ranqueamento das alternativas de PMEs disponíveis para Mandrilamento Interno

CC <sub>i</sub>	Ranking	Alternativas
0,127	3	A1 Fabrica 1
0,127	4	A2 Fabrica 2
0,134	1	A3 Fabrica 11
0,129	2	A4 Fabrica 12
0,106	5	A5 Fabrica 14

Fonte: O autor (2022).

A interação do especialista da empresa OKP na escolha dos pesos e avaliação linguística dos critérios das alternativas para seleção de PME para Torneamento CNC de componentes do lote B é apresentada no Apêndice N (linhas em amarelo).

O Quadro 15 apresenta os coeficientes de proximidade  $CC_i$  para seleção de PMEs Torneamento CNC. A solução com o  $CC_i$  mais alto é a alternativa 9 (Fábrica 20). Seu coeficiente de proximidade é bem superior ao segundo colocado, alternativa 7, justificando a escolha da Fábrica 20 como a melhor escolha.

Quadro 15 – O coeficiente de proximidade ( $CC_i$ ) e ranqueamento das alternativas de PMEs disponíveis para Mandrilamento Interno

$CC_i$	Ranking	Alternativas
0,102	9	A1 Fabrica 2
0,104	7	A2 Fabrica 3
0,103	8	A3 Fabrica 9
0,116	3	A4 Fabrica 12
0,106	6	A5 Fabrica 13
0,111	5	A6 Fabrica 14
0,124	2	A7 Fabrica 18
0,115	4	A8 Fabrica 19
0,132	1	A9 Fabrica 20

Fonte: O autor (2022).

Após a aplicação do Modelos de seleção de PMEs para manufatura do conjunto guia da articulação, do equipamento OKP conhecido como limpa-grades, a composição do Lote A fica com uma etapa inicial a ser desenvolvida na Fábrica 15, com Corte de Chapas em Jato D'água e finalização dos componentes na Fábrica 11, com etapa de Mandrilamento Interno. O Lote B será executado inteiramente na Fábrica 20, com diversas fases de Torneamento CNC.

Esta simulação contou apenas com a exposição de manufatura de um conjunto com um pequeno número de componentes, resultando em dois lotes de peças. A composição da empresa virtual para desenvolvimento de equipamentos inteiros geralmente contará com mais processos de fabricação e lotes maiores, envolvendo mais de um conjunto mecânico. A seleção do especialista (tomador de decisão) ainda pode considerar uma PME que não tenha o melhor resultado para processos de pequenos lotes, focando em otimização logística se esta PME tiver um bom resultado em outros processos com lotes maiores. A decisão final é do especialista em

manufatura da empresa OKP, sendo o modelo de seleção de PMEs para composição de empresa virtual uma ferramenta para auxílio na tomada de decisão.

#### 4.3 AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO DAS FASES E COMPONENTES DO MODELO CONCEITUAL PARA DESENVOLVIMENTO COLABORATIVO DISTRIBUÍDO DE PRODUTOS ÚNICOS APLICADOS A PMES

A avaliação dos componentes do modelo conceitual foi realizada com especialistas de três grupos, nas áreas de (1) Programadores de *softwares* e plataformas, (2) empresas desenvolvedoras de produto único e (3) PMEs de manufatura. Cada área foi avaliada por pelo menos três especialistas. A avaliação foi linguística, utilizando escala definida no capítulo 3.3 da metodologia.

A avaliação foi conduzida por entrevista utilizando a ferramenta *GoogleMeet* e registrada por meio de formulário eletrônico *GoogleForms* entre os dias 20 de dezembro de 2021 e 04 de fevereiro de 2022. A utilização de ferramentas em nuvem para entrevistas se justifica pela pandemia de COVID19 durante a realização da pesquisa. A data de liberação da pesquisa para aplicação após análise do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) coincidiu com período de férias de empresas de manufatura e empresas OKP, dificultando contato com os especialistas convidados anteriormente, resultando no recrutamento de outros especialistas.

As avaliações foram contabilizadas, posteriormente processadas e aplicadas ao método TOPSIS *2-Tuple* apresentado no capítulo 3.3 da metodologia. Os resultados são apresentados no Quadro 16, seguidos por elementos gráficos que facilitam a compreensão. Na sequência, os resultados são discutidos.

Quadro 16 – Avaliação dos componentes do modelo conceitual DPUCD por especialistas

Comp. e funções	Avaliação dos Especialistas					
	Programadores	2-Tuple	Empresas OKP	2-Tuple	Empresas de Manufatura	2-Tuple
P1	Ruim	(S <sub>1</sub> , -0,340)	Razoavelmente Bom	(S <sub>4</sub> , -0,026)		
P2	Razoavelmente Ruim	(S <sub>2</sub> , -0,082)	Moderado	(S <sub>3</sub> , -0,443)		
P3	Razoavelmente Ruim	(S <sub>2</sub> , 0,351)	Moderado	(S <sub>3</sub> , 0,108)		
P4	Moderado	(S <sub>3</sub> , -0,113)	Bom	(S <sub>5</sub> , 0,134)		
P5	Ruim	(S <sub>1</sub> , 0,229)	Razoavelmente Bom	(S <sub>4</sub> , -0,302)		
P6	Moderado	(S <sub>3</sub> , 0,443)	Moderado	(S <sub>3</sub> , 0,325)		
P7	Moderado	(S <sub>3</sub> , 0,052)	Ruim	(S <sub>1</sub> , 0,456)		
P8	Bom	(S <sub>5</sub> , 0,216)	Razoavelmente Ruim	(S <sub>2</sub> , 0,322)		
P9	Razoavelmente Ruim	(S <sub>2</sub> , 0,247)	Ruim	(S <sub>1</sub> , 0,180)	Ruim	(S <sub>1</sub> , 0,44)
P10	Muito Bom	(S <sub>6</sub> , 0)	Razoavelmente Ruim	(S <sub>2</sub> , -0,485)	Moderado	(S <sub>3</sub> , -0,36)
P11	Razoavelmente Bom	(S <sub>4</sub> , -0,433)	Moderado	(S <sub>3</sub> , 0,167)	Moderado	(S <sub>3</sub> , 0,24)
P12	Bom	(S <sub>5</sub> , -0,237)	Razoavelmente Bom	(S <sub>4</sub> , -0,321)	Muito Bom	(S <sub>6</sub> , -0,24)
P13	Muito Bom	(S <sub>6</sub> , 0)	Ruim	(S <sub>1</sub> , 0,357)	Ruim	(S <sub>1</sub> , 0,44)
P14	Moderado	(S <sub>3</sub> , 0,052)	Moderado	(S <sub>3</sub> , -0,089)	Ruim	(S <sub>1</sub> , -0,04)
P15	Bom	(S <sub>5</sub> , -0,134)	Moderado	(S <sub>3</sub> , 0,344)	Moderado	(S <sub>3</sub> , -0,24)
P16	Razoavelmente Bom	(S <sub>4</sub> , 0)	Razoavelmente Ruim	(S <sub>2</sub> , 0,262)	Bom	(S <sub>5</sub> , -0,20)
P17	Bom	(S <sub>5</sub> , 0,093)	Muito Bom	(S <sub>6</sub> , 0)	Razoavelmente Bom	(S <sub>4</sub> , -0,40)

Fonte: O autor (2022).

O Figura 12 apresenta uma representação visual da avaliação dos componentes do modelo conceitual DPUCD por especialistas facilitando a compreensão e interpretação por comparação dos resultados. Todos os gráficos desta avaliação apresentam uma escala de S<sub>0</sub>, 0 a S<sub>6</sub>, 0, que representam os valores

linguísticos: S<sub>0</sub>, 0 – Muito Ruim; S<sub>1</sub>, 0 – Ruim; S<sub>2</sub>, 0 – Razoavelmente Ruim; S<sub>3</sub>, 0 – Moderado; S<sub>4</sub>, 0 – Razoavelmente Bom; S<sub>5</sub>, 0 – Bom e S<sub>6</sub>, 0 – Muito Bom.

Figura 12 - Representação gráfica da avaliação dos componentes do modelo conceitual DPUCD por especialistas



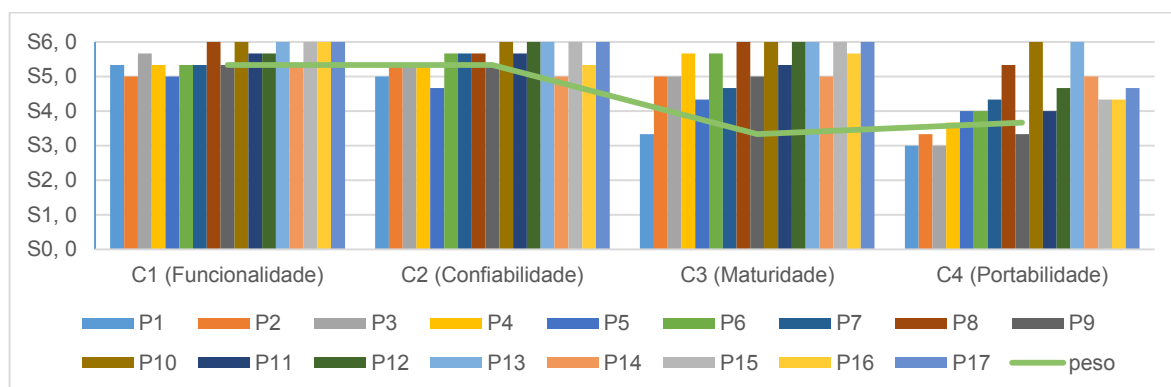
Fonte: O autor (2022).

Os Gráficos 2 a 7 apresentam a “Avaliação dos Componentes em Cada Critério X Avaliação do Peso dos Critérios” e a “Avaliação dos Componentes em Cada Critério X Avaliação TOPSIS 2-Tuple” apresentada no Quadro 26 para cada grupo de avaliadores. Nestes gráficos é possível visualizar a avaliação média dos componentes P1 a P17 dos especialistas em cada critério, relacionando aos pesos elegidos pelos próprios especialistas para os critérios avaliados. Os relacionamentos das avaliações dos critérios dos componentes à avaliação TOPSIS 2-Tuple mostram que os

resultados da avaliação dos componentes expressos como “Ruim” ou “Razoavelmente Ruim”, não significam avaliação negativa dos componentes, mas uma avaliação não tão alta dos critérios com maior peso.

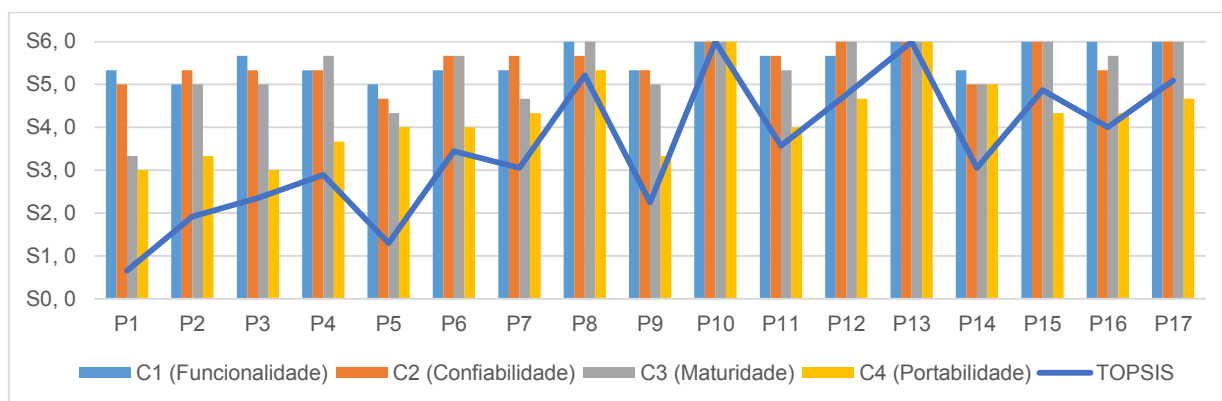
As Figuras 13 e 14 apresentam os dados da avaliação dos especialistas em Programação.

Figura 13 - Avaliação dos componentes em cada critério X avaliação do peso dos critérios - Programadores



Fonte: O autor (2022).

Figura 14 - Avaliação dos componentes em cada critério X TOPSIS 2-Tuple-Programadores

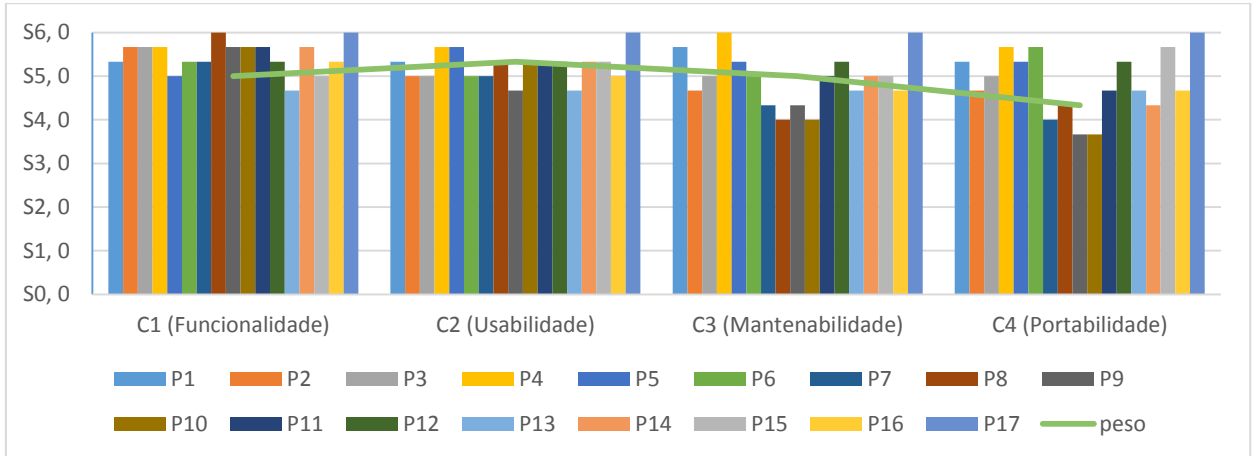


Fonte: O autor (2022).

As Figuras 15 e 16 apresentam os dados da avaliação das empresas desenvolvedoras de produto OKP.

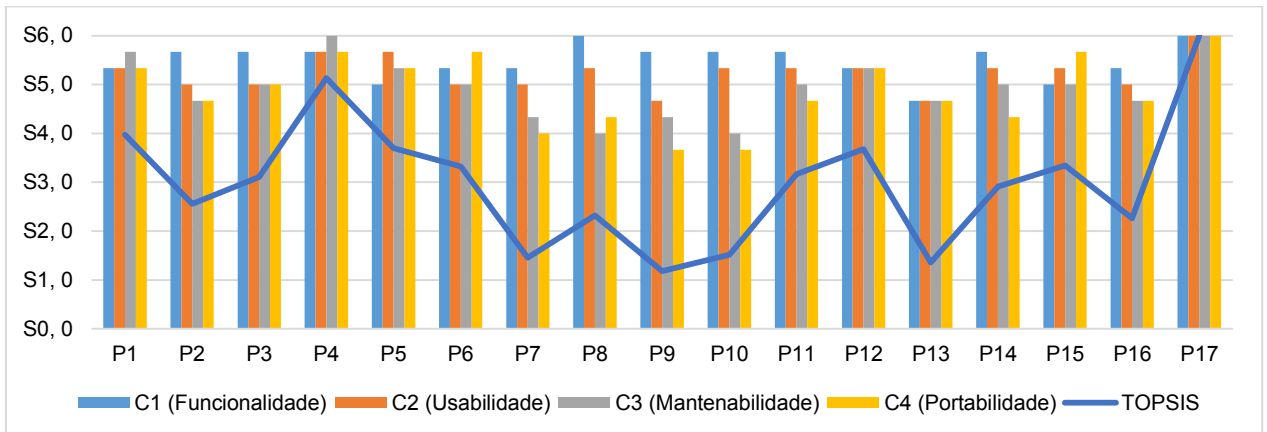


Figura 15 - Avaliação dos componentes em cada critério X avaliação do peso dos critérios - Empresas OKP



Fonte: O autor (2022).

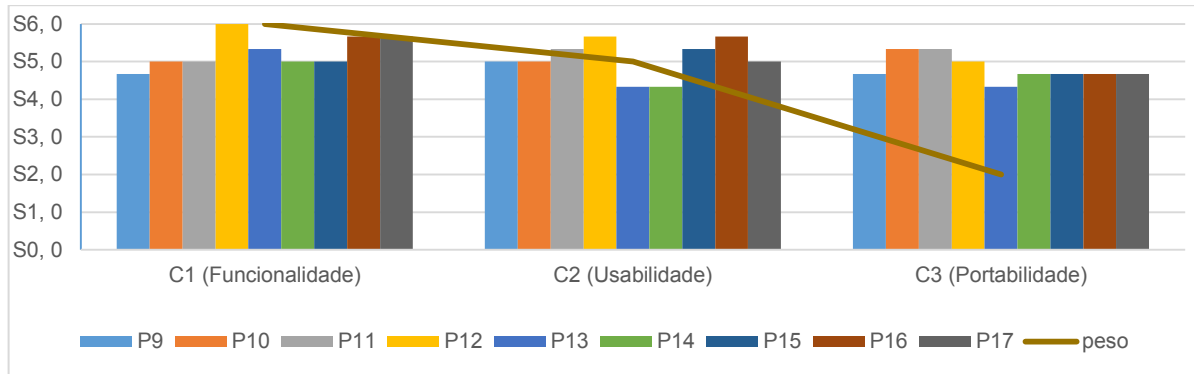
Figura 16 - Avaliação dos componentes em cada critério X TOPSIS 2-Tuple - Empresas OKP



Fonte: O autor (2022).

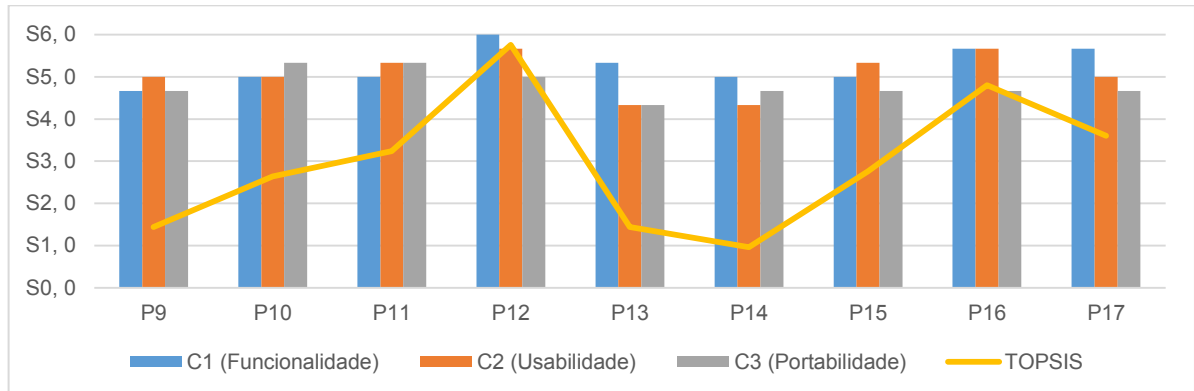
Figuras 17 e 18 apresentam os dados da avaliação das empresas de manufatura. Estas utilizaram apenas três critérios e avaliaram os componentes do modelo de P9 a P17.

Figura 17 - Avaliação dos componentes em cada critério X avaliação do peso dos critérios - Empresas de Manufatura



Fonte: O autor (2022).

Figura 18 - Avaliação dos componentes em cada critério X TOPSIS 2-Tuple - Empresas de Manufatura



Fonte: O autor (2022).

Na parte inicial do modelo **escopo do produto**, a avaliação dos componentes como P1 - Módulos de funções já desenvolvidas, P2 - Novos módulos de funções, P3 - Verificação de lacunas, na visão dos programadores, apresentaram resultados Ruim ou Razoavelmente Ruim, porém a média das avaliações para os critérios de funcionalidade e confiabilidade ficaram como Bom. Estes critérios têm maior peso segundo a opinião destes especialistas. Os critérios maturidade e portabilidade, com menor peso, tiveram avaliação Moderada, exceto a maturidade para P2 e P3 que foi avaliada como Bom. O desenvolvimento funcional de um configurador de funções baseado em produtos existentes foi visto como funcional e confiável, porém ainda com pouca maturidade no desenvolvimento de sistema semelhante, bem como o configurador de novos módulos, que foi considerado mais simples e semelhante a sistemas já conhecidos.

Na avaliação dos especialistas das empresas OKP, o componente P1 teve resultado Razoavelmente Bom. P2 e P3 se apresentaram na avaliação como Moderados, já que os julgamentos de pesos de critérios consideraram usabilidade como maior importância e apenas funcionalidade teve avaliação como acima de Bom.

Na parte **modelagem** do modelo, a avaliação pelos programadores dos componentes P4 – Biblioteca de modelos, P6 – Modelagem de requisitos de módulos existentes e P7 – Visualização do modelo, apresentaram resultados como Moderado. O componente P8 – *Feedback* do modelo inicial foi avaliado como Bom. O componente P5 – Extração e modelagem dos requisitos do novo módulo teve resultado como Ruim, todos os critérios deste componente ficaram entre Bom e Razoavelmente Bom. As piores avaliações estão relacionadas aos critérios Portabilidade e Maturidade, relacionando à dificuldade de programar uma solução adaptável à previsão de produtos e soluções diferentes.

Na avaliação dos especialistas das empresas OKP na parte modelagem, P7 apresentou resultado Ruim, relacionando os critérios manutenibilidade e portabilidade como influenciadores negativos desta avaliação. O componente P8 apresentou resultado Razoavelmente ruim, considerando avaliação Muito bom para funcionalidade, apresenta resultados mais baixos em manutenibilidade e portabilidade. A preocupação com atualização constante de desenhos e modelos 3D e a dificuldade de atender *feedbacks* de clientes preocupa os desenvolvedores de produto.

A terceira parte do modelo conceitual denominada **criação da empresa virtual**, foi avaliada por além de especialistas em programação e empresas de desenvolvimento de produto OKP, por especialistas de empresas de manufatura. A avaliação dos componentes P10 – Virtualização de recursos de manufatura e P13 – *Feedback* tiveram resultado Muito Bom na avaliação dos especialistas em programação. P12 – Estimativa de custo teve resultado Bom e P11 – Modelo de seleção de PMEs teve resultado Razoavelmente Bom. Já o componente P9 – Virtualização e encapsulamento de tarefas de manufatura apresentou resultado Razoavelmente Ruim. O critério portabilidade foi o principal influenciador desta avaliação do componente P9.

No resultado da avaliação dos especialistas das empresas OKP, os componentes P9 e P13 apresentaram resultado Ruim e P10 como Razoavelmente Ruim. P9 teve o critério portabilidade como mais baixo, também sendo influenciada pelos critérios usabilidade e manutenibilidade. O componente P13 apresentou todos

os quatro critérios entre Razoavelmente Bom e Bom, não destacando a funcionalidade do componente como critério relevante para estes especialistas. O componente P10 teve os critérios manutenibilidade e portabilidade entre Razoavelmente Bom e Moderado. A dificuldade na especificação de recursos de manufatura disponíveis para compatibilização com as tarefas de manufatura necessita de grande número de informações e verificações de limitações de processos.

Na avaliação das empresas de manufatura, ainda na parte criação da empresa virtual, apresentou resultados para os componentes P9 e P13 como Ruim. O componente P9 teve o critério usabilidade avaliado como Bom e funcionalidade e portabilidade entre Bom e Razoavelmente Bom, considerando que funcionalidade tem o maior peso na avaliação. O componente P13 apresentou avaliação mais baixa nos critérios usabilidade e portabilidade.

A quarta parte do modelo conceitual, denominada **manufatura**, também foi avaliada pelos três tipos de especialistas. Na avaliação dos especialistas em programação os componentes P15 – Atualização do produto/orçamento e P17 – Registro de histórico de manufatura de componentes e módulos obtiveram avaliação como Bom. O componente P16 – Manufatura e Montagem final foi avaliado como Razoavelmente Bom e P14 – Otimização de *design* como Moderado.

No resultado da avaliação efetuada pelos especialistas nas empresas OKP, o componente P16 teve como resultado Razoavelmente Ruim. O critério funcionalidade ficou acima de Bom, usabilidade como Bom e os critérios manutenibilidade e portabilidade como Razoavelmente Bom. Este resultado pode representar a desconfiança na coleta de informações em empresas de manufatura diversas.

Para a avaliação das Empresas de manufatura o resultado da avaliação do componente P14 apresenta resultado Ruim. Todos os critérios avaliados ficaram entre Bom e Razoavelmente Bom. O critério com maior peso é a funcionalidade, porém o pior avaliado é a usabilidade. Este resultado pode representar a difícil aceitação de utilização de tecnologias disruptivas como o *design* em nuvem por PMEs.

Este relato das avaliações dos critérios dos componentes avaliados com resultados abaixo de “moderado”, reafirma que avaliação TOPSIS *2-Tuple* mostra resultados da avaliação dos componentes expressos como “Ruim” ou “Razoavelmente Ruim”. Estas avaliações não significam avaliação negativa dos componentes, mas uma avaliação não tão alta dos critérios com maior peso destes componentes.

A avaliação do modelo conceitual proposto utilizou critérios práticos descritos por Dromey (1996) e baseados na norma ISO 9126 sobre qualidade de *softwares*. Citando isso, a avaliação pode levar um viés mais teórico, pois o modelo é conceitual e pode servir de base para uma proposta de plataforma, a qual pode ser implementada de diferentes maneiras.

Os resultados apresentados aqui neste capítulo são qualitativos e unicamente baseados na metodologia proposta de avaliação. Porém, é importante observar questões percebidas que acabam fugindo da análise metodológica proposta, como a interação dos entrevistados com o tema do trabalho. Inicialmente os avaliadores participaram como convidados especialistas, dispostos a ceder seu tempo para participar de uma pesquisa de avaliação de opinião. No decorrer da apresentação do modelo conceitual e avaliação dos componentes, grande interesse foi apresentado. Diversas dúvidas sobre tecnologias disruptivas propostas no modelo e sugestões foram apresentadas pelos entrevistados. Em geral, o tempo proposto para as entrevistas ultrapassou o tempo inicialmente previsto, por interesse de alguns dos entrevistados.

## 5 CONCLUSÃO

Com o objetivo de desenvolver um modelo conceitual para plataforma de desenvolvimento colaborativo distribuído para produto único voltado a pequenas e médias empresas, destacam-se as conclusões apresentadas a seguir.

O desenvolvimento de projetos com recursos de *design*, simulações e manufatura de maneira colaborativa foram abordados. Tecnologias de colaboração para desenvolvimento de trabalhos distribuídos utilizando recurso de computação em nuvem foram analisadas. A locação de *software* como serviço e *hardware* como serviço foram identificadas como oportunidades para fornecer poder de processamento de computação e *softwares* específicos para cada linha de trabalho no desenvolvimento dos produtos únicos com compartilhamento de informações e *feedbacks*.

A utilização de plataforma como serviço pode gerenciar a alocação de recursos e demandas entre cliente, desenvolvedor e manufatura. Dentre as tecnologias, a virtualização e encapsulamento de tarefas de manufatura em um ambiente em nuvem, e a virtualização de recursos de manufatura para fabricação distribuída são tendências observadas na era da manufatura digital.

A revisão sistemática de literatura (RSL) elaborada neste trabalho identificou artigos acadêmicos com *frameworks* e plataformas de desenvolvimento de produtos colaborativos. Inicialmente, dezesseis artigos foram selecionados e relacionados aos temas pertinentes ao trabalho. Após a contextualização dos trabalhos da base do portfólio desta revisão, outros trabalhos foram identificados nas referências e apresentados como resposta à busca inicial.

A partir da análise do portfólio da RSL, se desenvolveu o modelo conceitual Desenvolvimento de Produto Único Colaborativo Distribuído entre PMEs (DPUCD), composto por quatro seções fundamentais para o desenvolvimento de produto único colaborativo por uma empresa OKP, ao quais são: (i) escopo do produto, (ii) modelagem, (iii) criação de empresa virtual e (iv) manufatura.

Um modelo de seleção de PMEs para formação de parceria em forma de empresa virtual foi elaborado. Este modelo é baseado na utilização de tecnologia de virtualização de recursos de manufatura de PMEs em uma plataforma e encapsulamento de tarefas de manufatura dos produtos desenvolvidos. O modelo apresenta as seguintes etapas como contribuições exclusivas: (i) verificação de

lacunas (P3); (ii) visualização do modelo inicial (P7); (iii) *feedback* /aprovação (P8); (iv) estimativa de custo (P12); e (v) *feedback* /aprovação (P13).

Este modelo utiliza recursos de sistemas de auxílio à tomada de decisão multicritério, com o método *Fuzzy-TOPSIS*, que considera a avaliação de um especialista para validação das escolhas.

Uma aplicação simulada do modelo de seleção de PMEs proposto foi apresentada. Esta aplicação utilizou um conjunto mecânico com características mecânicas similares a um produto único cedido por um desenvolvedor OKP. Como resultados, foi apresentada a alternativa de seleção de três empresas para manufatura de três lotes de componentes.

O modelo DPUCD foi avaliado em cada um dos seus componentes por especialistas nas áreas de manufatura, desenvolvimento de produto único e desenvolvedores de sistemas e plataformas em nuvem. A aceitação inicial em participar da avaliação foi mais receptiva entre os especialistas em desenvolvimento de sistemas. Após a apresentação do modelo, o interesse entre os desenvolvedores de produtos únicos e especialistas em manufatura aumentou.

Entre os pontos-chave da avaliação pode-se citar a baixa receptividade das empresas desenvolvedoras de produtos únicos e empresas manufatureiras pela quantidade de *feedbacks* existentes no modelo. Na proposta de modelo, a cada nova fase há uma etapa de *feedback* de aprovação por parte do cliente e empresa OKP. Na avaliação os *feedbacks* finais obtiveram menor avaliação.

Outro ponto crítico percebido na avaliação é a fase de virtualização das tarefas de manufatura. A avaliação obteve um dos piores resultados. Esta etapa por ser basicamente manual e depender de conhecimento específico de um especialista acaba se tornando um gargalo. A utilização de inteligência artificial com aprendizado de máquina poderia ser uma opção para solucionar esta questão. Cabe uma pesquisa mais aprofundada nesta área de aplicação.

Como trabalhos futuros se destacam: o desenvolvimento dos recursos dos componentes do modelo conceitual em uma plataforma em nuvem é fundamental para uma aplicação prática do modelo DPUCD. Estas etapas de programação exigem conhecimentos de profissionais de programação, com a coordenação de especialistas em desenvolvimento de produtos OKP e manufatura. Novos trabalhos abordando tecnologias e processos para aperfeiçoar os componentes com baixa avaliação são oportunos, como a utilização de inteligência artificial para virtualização de tarefas. Até

o momento a estrutura do modelo apresentado aborda soluções para problemas de seleção de empresas parceiras, sistemas de colaboração distribuída para desenvolvimento de produto, locação de recursos de computação e gestão de conhecimento de produto.



## REFERÊNCIAS

AHMED, S.; SRIRAM, D.; LOGCHER, R. Transaction-management issues in collaborative engineering. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 6, n. 1, p. 85–105, 1992.

AI, H. et al. A Collaborative Platform for Complex product Development Based on Multi-Domain Unified Modeling and Simulation. **Wuhan University Journal of Natural Sciences**, v. 16, n. 3, p. 206–212, 2011.

AKAO, Y.; MAZUR, G. H. The leading edge in QFD: Past, present and future. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 20, n. 1, p. 20–35, 2003.

ALEKSIC, D. S.; JANKOVIC, D. S.; RAJKOVIC, P. Product configurators in SME one-of-a-kind production with the dominant variation of the topology in a hybrid manufacturing cloud. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 92, n. 5–8, p. 2145–2167, 2017.

ALSHAMAILA, Y.; PAPAGIANNIDIS, S.; LI, F. Cloud computing adoption by SMEs in the north east of England. **Journal of Enterprise Information Management**, v. 26, n. 3, p. 250–275, 1 jan. 2013.

ANDREADIS, G.; FOURTOUNIS, G.; BOUZAKIS, K.-D. Collaborative design in the era of cloud computing. **Advances in Engineering Software**, v. 81, n. C, p. 66–72, 2015.

ARGONETO, P.; RENNA, P. Supporting capacity sharing in the cloud manufacturing environment based on game theory and fuzzy logic. **Enterprise Information Systems**, v. 10, n. 2, p. 193–210, 2016.

ARIAS, E. et al. Transcending the Individual Human Mind—Creating Shared Understanding through Collaborative Design. **ACM Transactions on Computer-Human Interaction**, v. 7, n. 1, p. 84–113, 2000.

BAALBERGEN, E. et al. Streamlining cross-organisation product design in aeronautics. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering**, v. 231, n. 12, p. 2192–2202, 2017.

BAKIRLIOĞLU, Y.; KOHTALA, C. Framing Open Design through Theoretical Concepts and Practical Applications: A Systematic Literature Review. **Human-Computer Interaction**, v. 34, n. 5–6, p. 389–432, 2019.

BALTA, E. C. et al. **Production as a service: A centralized framework for small batch manufacturing**. IEEE International Conference on Automation Science and Engineering. **Anais...IEEE Computer Society**, 2017Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85044947592&doi=10.1109%2FCOASE.2017.8256133&partnerID=40&md5=fc09a83df3483a99eec0c6119d69d770>>

BALTA, E. C. et al. Production as a Service: A Digital Manufacturing Framework for

Optimizing Utilization. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, v. 15, n. 4, p. 1483–1493, 2018.

BANSIYA, J.; DAVIS, C. G. A Hierarchical Model for Object-Oriented Design Quality Assessment. **IEEE Transactions on Software Engineering**, v. 28, n. 1, p. 4–17, 2002.

BARENJI, A. V. et al. Toward blockchain and fog computing collaborative design and manufacturing platform: Support customer view. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 67, p. 102043, 2021.

BELTON, V.; STEWART, T. **Multiple Criteria Decision Analysis - An Integrated Approach**. 1. ed. Boston: Springer, 2002.

BOOTHROYD, G. Product design for manufacture and assembly. **Computer-Aided Design**, v. 26, n. 7, p. 505–520, 1994.

BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; KNIGHT, W. A. **Product Design for Manufacture and Assembly**. 3<sup>a</sup> ed. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2011.

BUYYA, R. et al. Cloud computing and emerging IT platforms: Vision, hype, and reality for delivering computing as the 5th utility. **Future Generation Computer Systems**, v. 25, n. 6, p. 599–616, 2009.

CABLES, E.; GARCÍA-CASCALES, M. S.; LAMATA, M. T. The LTOPSIS: An alternative to TOPSIS decision-making approach for linguistic variables. **Expert Systems with Applications**, v. 39, n. 2, p. 2119–2126, 2012.

CARNEIRO, L. M. et al. Conceptual Framework for Non-hierarchical Business Networks for Complex Products Design and Manufacturing. **Procedia CIRP**, v. 7, p. 61–66, 2013.

CHEN, C.-T. Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 114, n. 1, p. 1–9, 2000.

CHEN, C.-T.; LIN, C.-T.; HUANG, S.-F. A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. **International Journal of Production Economics**, v. 102, n. 2, p. 289–301, 2006.

CHEN, S. J.; HWANG, C. L. **Fuzzy multi attribute decision making (lecture notes in economics and mathematical system series)**. Vol. 375 ed. New York: Springer-Verlag, 1992.

CHENG, Y. et al. On the role of generating textual description for design intent communication in feature-based 3D collaborative design. **Advanced Engineering Informatics**, v. 39, p. 331–346, 2019.

CHOULIER, D.; FOUGÈRES, A.-J.; OSTROSI, E. Developing multiagent systems for design activity analysis. **Computer-Aided Design**, v. 59, p. 201–213, 2015.

DESHPANDE, S. et al. Aircraft design markup language for multidisciplinary aircraft design and analysis. **Journal of Aerospace Information Systems**, v. 12, n. 2, p. 267–

283, 2015.

DROMEY, G. Cornering the Chimera. **IEEE Software**, v. 13, n. 1, p. 33–43, 1996.

DUBOIS, D.; PRADE, H. **Fuzzy sets and systems: theory and applications**. Mathematics in science and engineering. **Anais...**1980

DYMOVA, L.; SEVASTJANOV, P.; TIKHONENKO, A. An approach to generalization of fuzzy TOPSIS method. **Information Sciences**, v. 238, p. 149–162, 2013.

FISHER, O. et al. Cloud manufacturing as a sustainable process manufacturing route. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 47, p. 53–68, 2018.

FUH, J. Y. H.; LI, W. D. Advances in collaborative CAD: the-state-of-the art. **Computer-Aided Design**, v. 37, n. 5, p. 571–581, 2005.

GARRISON, B. G.; KIM, S.; WAKEFIELD, R. L. Success Cloud Deploying Factors for Computing. **Communications of the ACM**, v. 55, n. 9, p. 62–68, 2012.

GERMANI, M.; MENGONI, M.; PERUZZINI, M. A QFD-based method to support SMEs in benchmarking co-design tools. **Computers in Industry**, v. 63, n. 1, p. 12–29, 2012.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6ª ed. São Paulo: Editora Atlas, 2018.

GOLIGHTLY, D. et al. Manufacturing in the cloud: A human factors perspective. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 55, p. 12–21, 2016.

GU, P.; HASHEMIAN, M.; NEE, A. Y. C. Adaptable Design. **CIRP Annals**, v. 53, n. 2, p. 539–557, 2004.

HE, W.; XU, L. A state-of-the-art survey of cloud manufacturing. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 28, n. 3, p. 239–250, 2015.

HERRERA, F.; MARTÍNEZ, L. A 2-Tuple Fuzzy Linguistic Representation Model for Computing with Words. **IEEE Transactions on Fuzzy Systems**, v. 8, n. 6, p. 746–752, 2000.

HERRERA, F.; MARTÍNEZ, L. A model based on linguistic 2-tuples for dealing with multigranular hierarchical linguistic contexts in multi-expert decision-making. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part B: Cybernetics**, v. 31, n. 2, p. 227–234, 2001.

HWANG, C.-L.; YOON, K. **Multiple Attribute Decision Making - Methods and Applications A State-of-the-Art Survey**. 1. ed. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 1981.

ISSA, H. et al. Fuzzy holons for intelligent multi-scale design in cloud-based design for configurations. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 28, n. 5, p. 1219–1247, 2017.

JINFEI, L. et al. A Task-oriented Modular and Agent-based Collaborative Design Mechanism for Distributed Product Development. **Chinese Journal of Mechanical**

**Engineering**, v. 27, n. 3, p. 641–654, 2014.

JONES, J. C. Continuous design and redesign. **Design Studies**, v. 4, n. 1, p. 53–60, 1983.

JONG, W.-R. et al. A collaborative navigation system for concurrent mold design. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 40, n. 3–4, p. 215–225, 2009.

JUNG, C. F. **Elaboração de Projetos de Pesquisa Aplicados a Engenharia de Produção**. Taquara: FACCAT, 2010Disponível em: <<http://www.metodologia.net.br>>

KAUFMANN, A.; GUPTA, M. M. **Introduction to Fuzzy Arithmetic: Theory and Applications**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.

KIM, C. et al. A collaborative design framework for the Korean automotive parts industry. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 26, n. 1–2, p. 3–18, 2013.

KITCHENHAM, B.; CHARTERS, S. **Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering**Keele & Durham UKKitchenham, , 2007.

KOEHN, E. E. Assessment of communications and collaborative learning in civil engineering education. **Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice**, v. 127, n. 4, p. 160–165, 2001.

KOREN, Y. et al. Open-architecture products. **CIRP Annals**, v. 62, n. 2, p. 719–729, 2013.

KVAN, T. Collaborative design: what is it? **Automation in Construction**, v. 9, n. 4, p. 409–415, 2000.

LEE, H.; BANERJEE, A. A self-configurable large-scale virtual manufacturing environment for collaborative designers. **Virtual Reality**, v. 15, n. 1, p. 21–40, 2011.

LEE, J. A view of cloud computing. **International Journal of Networked and Distributed Computing**, v. 1, n. 1, p. 2–8, 2013.

LEVANDOWSKI, C. E.; JIAO, J. R.; JOHANNESSON, H. A two-stage model of adaptable product platform for engineering-to-order configuration design. **Journal of Engineering Design**, v. 26, n. 7–9, p. 220–235, 2015.

LI, B. M.; XIE, S. Q.; SANG, Z. Q. Step-based data sharing and exchange in one-of-A-kind product collaborative design for cloud manufacturing. **Advances in Mechanical Engineering**, v. 2013, 2013.

LI, B. M.; XIE, S. Q.; XU, X. Recent development of knowledge-based systems, methods and tools for One-of-a-Kind Production. **Knowledge-Based Systems**, v. 24, n. 7, p. 1108–1119, 2011.

LI, J.-R.; TANG, C.; WANG, Q.-H. A proxy approach to integrate heterogeneous CAD

resources for distributed collaborative design. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 28, n. 6, p. 593–606, 2015.

LIAO, K.; LUO, J. Knowledge management in collaborative product design-an activity theory perspective. **Journal of Software**, v. 7, n. 1, p. 17–24, 2012.

LINDLAND, O. I.; SINDRE, G.; SOLVBERG, A. Understanding quality in conceptual modeling. **IEEE Software**, v. 11, n. 2, p. 42–49, 1994.

LIU, A. et al. Novel Two-Phase Approach for Process Optimization of Customer Collaborative Design Based on Fuzzy-QFD and DSM. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 64, n. 2, p. 193–207, 2017.

LUIS SAORIN, J. et al. Cloud-Based Collaborative 3D Modeling to Train Engineers for the Industry 4.0. **APPLIED SCIENCES-BASEL**, v. 9, n. 21, nov. 2019.

LYU, G.; CHU, X.; XUE, D. Product modeling from knowledge, distributed computing and lifecycle perspectives: A literature review. **Computers in Industry**, v. 84, p. 1–13, 2017.

MAASS, W.; STOREY, V. C. Data & Knowledge Engineering Pairing conceptual modeling with machine learning. **Data & Knowledge Engineering**, v. 134, n. June, p. 101909, 2021.

MARTÍNEZ, L.; HERRERA, F. An overview on the 2-tuple linguistic model for computing with words in decision making: Extensions, applications and challenges. **Information Sciences**, v. 207, p. 1–18, 2012.

MAUCH, V.; KUNZE, M.; HILLENBRAND, M. High performance cloud computing. **Future Generation Computer Systems**, v. 29, n. 6, p. 1408–1416, 2013.

MCNEESE, M. D. et al. **Role of a group-centered approach in the development of computer-supported collaborative design technologies**. Proceedings of the Human Factors Society. **Anais...Atlanta, GA, USA: Publ by Human Factors Soc Inc, Santa Monica, 1992** Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0027047088&doi=10.1518%2F107118192786750458&partnerID=40&md5=af24318dbc9eeb0e0543686b1928d7d2>>

MEI, Y.; YE, J.; ZENG, Z. Entropy-weighted ANP fuzzy comprehensive evaluation of interim product production schemes in one-of-a-kind production. **Computers & Industrial Engineering**, v. 100, p. 144–152, 2016.

MEI, Y.; YE, J.; ZENG, Z. Two-way scheduling optimization of the supply chain in one-of-a-kind production based on dynamic production capacity restrictions. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 47, p. 168–178, 2018.

MENDOZA, G. A.; MARTINS, H. Multi-criteria decision analysis in natural resource management: A critical review of methods and new modelling paradigms. **Forest Ecology and Management**, v. 230, n. 1, p. 1–22, 2006.

MENON, J. **Collaborative visualization and modeling**. Proceedings - 1997

International Conference on Shape Modeling and Applications, SMI 1997. **Anais...Aizu-Wakamatsu:** 1997Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0343516995&doi=10.1109%2FSMA.1997.634895&partnerID=40&md5=a92066b29eb751b424cdded7379aab85d>>

MFG. **Connecting Buyers & Manufacturers.** Disponível em: <<https://www.mfg.com/>>. Acesso em: 10 mar. 2021.

MIGUEL, P. A. C. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações.** 2º ed. Rio de Janeiro: Elsevier Ltd., 2012.

MOODY, D. L. Theoretical and practical issues in evaluating the quality of conceptual models: Current state and future directions. **Data and Knowledge Engineering**, v. 55, n. 3, p. 243–276, 2005.

NGUYEN, T.; SELMIN, V. **Collaborative multidisciplinary design in virtual environments.** Proceedings - 2006 10th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design, CSCWD 2006. **Anais...Nanjing:** 2006Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-34547656118&doi=10.1109%2FCSCWD.2006.253147&partnerID=40&md5=3f5299989062a15e78bcd9c7f7f8c0fa>>

OPRICOVIC, S.; TZENG, G. H. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. **European Journal of Operational Research**, v. 156, n. 2, p. 445–455, 2004.

OSTROSI, E.; FOUGÈRES, A.-J. Intelligent virtual manufacturing cell formation in cloud-based design and manufacturing. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 76, p. 80–95, 2018.

PAHL, G. et al. **Engineering Design – A systematic approach.** Berlin: Springer London, 1996.

PANKAJ, M. et al. Cloud Computing: Distributed Internet Computing for IT and Scientific Research. **IEEE Internet Computing**, v. 37, n. 1, p. 10–13, 2009.

PERNOT, J.-P. et al. Incorporating free-form features in aesthetic and engineering product design: State-of-the-art report. **Computers in Industry**, v. 59, n. 6, p. 626–637, 2008.

PRASAD, B.; MORENC, R. S.; RANGAN, R. M. Information Management for Concurrent Engineering: Research Issues. **Concurrent Engineering**, v. 1, n. 1, p. 3–20, 1993.

RAJALA, S. A. Beyond 2020: Preparing engineers for the future. **Proceedings of the IEEE**, v. 100, n. SPL CONTENT, p. 1376–1383, 2012.

RAYNA, T.; STRIUKOVA, L.; DARLINGTON, J. Co-creation and user innovation: The role of online 3D printing platforms. **Journal of Engineering and Technology Management**, v. 37, p. 90–102, 2015.

- RED, E. et al. Emerging design methods and tools in collaborative product development. **Journal of Computing and Information Science in Engineering**, v. 13, n. 3, 2013.
- REN, L. et al. Cloud manufacturing: from concept to practice. **Enterprise Information Systems**, v. 9, n. 2, p. 186–209, 2015.
- ROSENMANN, M. A. et al. Multidisciplinary collaborative design in virtual environments. **Automation in Construction**, v. 16, n. 1, p. 37–44, 2007.
- ROY, B. Problematics as Guides in Decision Aiding. In: **Multicriteria Methodology for Decision Aiding**. 1. ed. [s.l.] Springer US, 1996. p. 57–74.
- ROZENFELD, H. et al. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos - Uma Referência Para a Melhoria do Processo**. 1ª ed. São Paulo: Saraiva, 2006.
- SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, n. 3, p. 234–281, 1977.
- SAFAR, L. et al. Concept of SME Business Model for Industry 4.0 Environment. **Tem Journal-Technology Education Management Informatics**, v. 7, n. 3, p. 626–637, 2018.
- SALIH, M. M. et al. Survey on fuzzy TOPSIS state-of-the-art between 2007 and 2017. **Computers and Operations Research**, v. 104, p. 207–227, 2019.
- SAORÍN, J. L. et al. Cloud-based collaborative 3D modeling to train engineers for the industry 4.0. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 9, n. 21, 2019.
- SARAVANAN, A.; JERALD, J.; DELPHIN, C. R. A. An intelligent constitutive and collaborative framework by integrating the design, inspection and testing activities using a cloud platform. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 33, n. 5, p. 440–459, 2020.
- SETTI, D. et al. Materials selection using a 2-tuple linguistic multi-criteria method. **Materials Research**, v. 22, n. 1, p. 1–6, 2019.
- SETTI, D. **Métodos de Decisão Multicritério Linguísticos – Modelo 2- Tuple: Métodos de Decisão Multicritério Fuzzy MDP236EP**. Pato Branco: [s.n.].
- SIMSION, G. C.; WITT, G. C. **Data Modeling Essentials**. 3ª ed. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2005.
- SOURI, M. EL; GAO, J.; SIMMONDS, C. Integrating Manufacturing Knowledge with Design Process to Improve Quality in the Aerospace Industry. **Procedia CIRP**, v. 84, p. 374–379, 2019.
- SRIRAM, D. et al. An object-oriented framework for collaborative engineering design. **Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)**, v. 492 LNCS, p. 51–92, 1991.

SYSTEMS, 3D. **3D Printing Service for On Demand Manufacturing**. Disponível em: <<https://www.3dsystems.com/on-demand-manufacturing>>. Acesso em: 26 fev. 2021.

TAN, C. et al. Incorporating customer personalization preferences in open product architecture design. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 56, p. 72–83, 2020.

TAO, F. et al. Cloud manufacturing: A computing and service-oriented manufacturing model. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture**, v. 225, n. 10, p. 1969–1976, 2011.

TAYLOR, S. J. E. et al. The CloudSME simulation platform and its applications: A generic multi-cloud platform for developing and executing commercial cloud-based simulations. **Future Generation Computer Systems**, v. 88, p. 524–539, 2018.

TU, Y. Production planning and control in a virtual One-of-a-Kind Production company. **Computers in Industry**, v. 34, n. 3, p. 271–283, 1997.

WAND, Y.; WEBER, R. Research Commentary : Information Systems and Conceptual Modeling — A Research Agenda. **Information Systems Research**, v. 13, n. 4, p. 363–376, 2002.

WANG, L. et al. Collaborative conceptual design—state of the art and future trends. **Computer-Aided Design**, v. 34, n. 13, p. 981–996, 2002.

WANG, Y.; TSENG, M. M. Adaptive attribute selection for configurator design via Shapley value. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing**, v. 25, n. 2, p. 185–195, 2011.

WEI, G. W. Extension of TOPSIS method for 2-tuple linguistic multiple attribute group decision making with incomplete weight information. **Knowledge and Information Systems**, v. 25, n. 3, p. 623–634, 2010.

WONG, A.; SRIRAM, D. SHARED: An information model for cooperative product development. **Research in Engineering Design**, v. 5, n. 1, p. 21–39, 1993.

WORTMANN, J. C. Towards One-of-a-Kind Production: the Future of European Industry. **Advances in Production Management Systems**, n. 1991, p. 41–49, 1991.

WU, D. et al. Enhancing the product realization process with cloud-based design and manufacturing systems. **Journal of Computing and Information Science in Engineering**, v. 13, n. 4, 2013.

WU, D. et al. Cloud-based design and manufacturing: A new paradigm in digital manufacturing and design innovation. **Computer-Aided Design**, v. 59, p. 1–14, 2015.

WU, D. et al. Democratizing digital design and manufacturing using high performance cloud computing: Performance evaluation and benchmarking. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 43, n. 2, SI, p. 316–326, 2017.

WU, D.; TERPENNY, J.; GENTZSCH, W. Economic Benefit Analysis of Cloud-Based Design, Engineering Analysis, and Manufacturing. **Journal of Manufacturing Science and Engineering-transactions of the ASME**, v. 137, n. 4, 2015.



WU, Y. et al. Service-Oriented Feature-Based Data Exchange for Cloud-Based Design and Manufacturing. **IEEE Transactions on Services Computing**, v. 11, n. 2, p. 341–353, 2018.

WU, Y. et al. A grid-based secure product data exchange for cloud-based collaborative design. **International Journal of Cooperative Information Systems**, v. 29, n. 1–2, 2020.

XIE, S. Q.; XU, X.; TU, Y. L. A reconfigurable platform in support of one-of-a-kind product development. **International Journal of Production Research**, v. 43, n. 9, p. 1889–1910, 2005.

XU, X. From cloud computing to cloud manufacturing. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 28, n. 1, p. 75–86, 2012.

YANG, M.; JIANG, P. Socialized and self-organized collaborative designer community-resilience modeling and assessment. **Research in Engineering Design**, v. 31, n. 1, p. 3–24, 2020.

ZADEH, L. A. Fuzzy Sets. **Information and Control**, v. 8, p. 338–353, 1965.

ZADEH, L. A. The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning-I. **Information Sciences**, v. 8, p. 199–249, 1975.

ZENNARO, I. et al. Big size highly customised product manufacturing systems: a literature review and future research agenda. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 15–16, p. 5362–5385, 2019.

ZHANG, G.-Z. Research and Application of BIM Construction Management Platform for Hutong Changjiang River Bridge. **Bridge Construction**, v. 48, n. 5, p. 6–10, 2018.

ZHANG, L. et al. Cloud manufacturing: a new manufacturing paradigm. **Enterprise Information Systems**, v. 8, n. 2, p. 167–187, 2014.

ZHENG, P. et al. A system framework for OKP product planning in a cloud-based design environment. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 45, p. 73–85, 2017a.

ZHENG, P. et al. Personalized product configuration framework in an adaptable open architecture product platform. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 43, p. 422–435, 2017b.

ZHOU, Y. et al. **Social manufacturing realizing personalization production: A state-of-the-art review**. Proceedings - 2016 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics, SOLI 2016. **Anais...Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.**, 2016. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84988391810&doi=10.1109%2FSOLI.2016.7551653&partnerID=40&md5=b88b95b6f7249b5f779f3470de74fb77>>

ZIMMERMANN, H.-J. **Fuzzy Set Theory and Its Applications**. 4th. ed. New York: Springer Science, 2001. v. 13

ZISSIS, D. et al. Collaborative CAD/CAE as a cloud service. **International Journal of Systems Science: Operations and Logistics**, v. 4, n. 4, p. 339–355, 2017.

## APÊNDICES

APÊNDICE A – QUESTÕES DO INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS UTILIZADO NA OBTENÇÃO DE OPINIÃO DE ESPECIALISTAS DE EMPRESAS DESENVOLVEDORAS DE PRODUTOS ÚNICOS.

**OBS: Este questionário foi aprovado pelo parecer consubstanciado nº 5.156.853 do CEP da Universidade Tecnológica Federal do Paraná via Plataforma Brasil no dia 9 de dezembro de 2021.**

Em relação aos critérios de avaliação para o modelo conceitual apresentado, opine sobre a **importância** de cada critério utilizando a escala abaixo:

Muito Baixa (MB);

Baixa (B);

Razoavelmente Baixa (RB);

Razoável (R);

Razoavelmente Alta (RA);

Alta (A);

Muito Alta (MA);

A1 - Funcionalidade (conformidade / interoperabilidade – resolve situações)

(MA)     (A)     (RA)     (R)     (RB)     (B)     (MB)

A2 - Usabilidade (operacional – isso é fácil de utilizar)

(MA)     (A)     (RA)     (R)     (RB)     (B)     (MB)

A3 - Manutenibilidade (modificações – consigo utilizar por um longo tempo)

(MA)     (A)     (RA)     (R)     (RB)     (B)     (MB)

A4 - Portabilidade (adaptabilidade/coexistência com outros sistemas)

(MA)     (A)     (RA)     (R)     (RB)     (B)     (MB)

Para opinar sobre a partes do modelo conceitual em relação aos critérios de avaliação utilize a escala linguística abaixo:

Muito Ruim (MR)

Ruim (R)

Razoavelmente Ruim (RR)

Moderado (M)

Razoavelmente Bom (RB)

Bom (B)

Muito Bom (MB)

Critérios:

A1 - **Funcionalidade** (conformidade / interoperabilidade – resolve situações)

A2 - **Usabilidade** (operacional – isso é fácil de utilizar)

A3 - **Mantenabilidade** (modificações – consigo utilizar por um longo tempo)

A4 - **Portabilidade** (adaptabilidade/coexistência com outros sistemas)

Avaliação:

P1A1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, a seleção de módulos de funções já desenvolvidos - Configurador de especificação de requisitos do cliente pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P1A2 - Em relação ao critério **Usabilidade**, a seleção de módulos de funções já desenvolvidos - Configurador de especificação de requisitos do cliente pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P1A3 - Em relação ao critério **Mantenabilidade**, a seleção de módulos de funções já desenvolvidos - Configurador de especificação de requisitos do cliente pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P1A4 - Em relação ao critério **Portabilidade**, a seleção de módulos de funções já desenvolvidos - Configurador de especificação de requisitos do cliente pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P2A1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, a descrição de novos módulos de funções - Configurador de especificação de requisitos do cliente pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P2A2 - Em relação ao critério **Usabilidade**, a descrição de novos módulos de funções - Configurador de especificação de requisitos do cliente pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P2A3 - Em relação ao critério **Mantenabilidade**, a descrição de novos módulos de funções - Configurador de especificação de requisitos do cliente pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P2A4 - Em relação ao critério **Portabilidade**, a descrição de novos módulos de funções - Configurador de especificação de requisitos do cliente pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P3A1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, a verificação de lacunas - Configurador de especificação de requisitos do cliente pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P3A2 - Em relação ao critério **Usabilidade**, a verificação de lacunas - Configurador de especificação de requisitos do cliente pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P3A3 - Em relação ao critério **Mantenabilidade**, a verificação de lacunas - Configurador de especificação de requisitos do cliente pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P3A4 - Em relação ao critério **Portabilidade**, a verificação de lacunas - Configurador de especificação de requisitos do cliente pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P4A1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, a seleção de componentes já modelados - Biblioteca de componentes desenvolvidos pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P4A2 - Em relação ao critério **Usabilidade**, a seleção de componentes já modelados - Biblioteca de componentes desenvolvidos pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P4A3 - Em relação ao critério **Mantenabilidade**, a seleção de componentes já modelados - Biblioteca de componentes desenvolvidos pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P4A4 - Em relação ao critério **Portabilidade**, a seleção de componentes já modelados - Biblioteca de componentes desenvolvidos pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P5A1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, a modelagem e adequação de novos componentes - Ambiente de modelagem em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P5A2 - Em relação ao critério **Usabilidade**, a modelagem e adequação de novos componentes - Ambiente de modelagem em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P5A3 - Em relação ao critério **Mantenabilidade**, a modelagem e adequação de novos componentes - Ambiente de modelagem em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P5A4 - Em relação ao critério **Portabilidade**, a modelagem e adequação de novos componentes - Ambiente de modelagem em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P6A1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, a modelagem e adequação de componentes da biblioteca - Ambiente de modelagem em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P6A2 - Em relação ao critério **Usabilidade**, a modelagem e adequação de componentes da biblioteca - Ambiente de modelagem em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P6A3 - Em relação ao critério **Mantenabilidade**, a modelagem e adequação de componentes da biblioteca - Ambiente de modelagem em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P6A4 - Em relação ao critério **Portabilidade**, a modelagem e adequação de componentes da biblioteca - Ambiente de modelagem em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P7A1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, a visualização do produto pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P7A2 - Em relação ao critério **Usabilidade**, a visualização do produto pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P7A3 - Em relação ao critério **Mantenabilidade**, a visualização do produto pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P7A4 - Em relação ao critério **Portabilidade**, a visualização do produto pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P8A1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, o *feedback* do produto pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P8A2 - Em relação ao critério **Usabilidade**, o *feedback* do produto pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P8A3 - Em relação ao critério **Mantenabilidade**, o *feedback* do produto pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P8A4 - Em relação ao critério **Portabilidade**, o *feedback* do produto pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P9A1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, o encapsulamento de tarefas de manufatura do produto - Plataforma de manufatura em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P9A2 - Em relação ao critério **Usabilidade**, o encapsulamento de tarefas de manufatura do produto - Plataforma de manufatura em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P9A3 - Em relação ao critério **Mantenabilidade**, o encapsulamento de tarefas de manufatura do produto - Plataforma de manufatura em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P9A4 - Em relação ao critério **Portabilidade**, o encapsulamento de tarefas de manufatura do produto - Plataforma de manufatura em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P10A1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, a virtualização de serviços de manufatura disponíveis nas PME - Plataforma de manufatura em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P10A2 - Em relação ao critério **Usabilidade**, a virtualização de serviços de manufatura disponíveis nas PME - Plataforma de manufatura em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P10A3 - Em relação ao critério **Mantenabilidade**, a virtualização de serviços de manufatura disponíveis nas PME - Plataforma de manufatura em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P10A4 - Em relação ao critério **Portabilidade**, a virtualização de serviços de manufatura disponíveis nas PME - Plataforma de manufatura em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P11A1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, a seleção de PMEs para empresa virtual - Modelo de seleção de PMEs pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P11A2 - Em relação ao critério **Usabilidade**, a seleção de PMEs para empresa virtual - Modelo de seleção de PMEs pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P11A3 - Em relação ao critério **Mantenabilidade**, a seleção de PMEs para empresa virtual - Modelo de seleção de PMEs pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P11A4 - Em relação ao critério **Portabilidade**, a seleção de PMEs para empresa virtual - Modelo de seleção de PMEs pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P12A1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, a estimativa de custos e prazos - Ambiente da empresa virtual pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P12A2 - Em relação ao critério **Usabilidade**, a estimativa de custos e prazos - Ambiente da empresa virtual pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P12A3 - Em relação ao critério **Mantenabilidade**, a estimativa de custos e prazos - Ambiente da empresa virtual pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P12A4 - Em relação ao critério **Portabilidade**, a estimativa de custos e prazos - Ambiente da empresa virtual pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P13A1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, o *feedback* do produto pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P13A2 - Em relação ao critério **Usabilidade**, o *feedback* do produto pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P13A3 - Em relação ao critério **Mantenabilidade**, a o *feedback* do produto pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P13A4 - Em relação ao critério **Portabilidade**, o *feedback* do produto pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P14A1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, a modelagem, ajustes e simulações dos produtos pela PME - Ambiente de modelagem em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P14A2 - Em relação ao critério **Usabilidade**, a modelagem, ajustes e simulações dos produtos pela PME - Ambiente de modelagem em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P14A3 - Em relação ao critério **Mantenabilidade**, a modelagem, ajustes e simulações dos produtos pela PME - Ambiente de modelagem em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P14A4 - Em relação ao critério **Portabilidade**, a modelagem, ajustes e simulações dos produtos pela PME - Ambiente de modelagem em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P15A1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, a atualização do produto e orçamento final - Ambiente da empresa virtual pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P15A2 - Em relação ao critério **Usabilidade**, a atualização do produto e orçamento final - Ambiente da empresa virtual pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)



P15A3 - Em relação ao critério **Mantenabilidade**, a atualização do produto e orçamento final - Ambiente da empresa virtual pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P15A4 - Em relação ao critério **Portabilidade**, a atualização do produto e orçamento final - Ambiente da empresa virtual pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P16A1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, o *feedback* aprovação do produto e orçamento pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P16A2 - Em relação ao critério **Usabilidade**, o *feedback* aprovação do produto e orçamento pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P16A3 - Em relação ao critério **Mantenabilidade**, o *feedback* aprovação do produto e orçamento pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P16A4 - Em relação ao critério **Portabilidade**, o *feedback* aprovação do produto e orçamento pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P17A1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, o registro histórico dos componentes desenvolvidos - Banco de dados do configurador de especificação de requisitos do cliente pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P17A2 - Em relação ao critério **Usabilidade**, o registro histórico dos componentes desenvolvidos - Banco de dados do configurador de especificação de requisitos do cliente pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P17A3 - Em relação ao critério **Mantenabilidade**, o registro histórico dos componentes desenvolvidos - Banco de dados do configurador de especificação de requisitos do cliente pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P17A4 - Em relação ao critério **Portabilidade**, o registro histórico dos componentes desenvolvidos - Banco de dados do configurador de especificação de requisitos do cliente pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

APÊNDICE B – QUESTÕES DO INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS UTILIZADO NA OBTENÇÃO DE OPINIÃO DE ESPECIALISTAS DE EMPRESAS DE MANUFATURA NA ÁREA METAL MECÂNICA.

**OBS: Este questionário foi aprovado pelo parecer consubstanciado nº 5.156.853 do CEP da Universidade Tecnológica Federal do Paraná via Plataforma Brasil no dia 9 de dezembro de 2021.**

Em relação aos critérios de avaliação para o modelo conceitual apresentado, opine sobre a **importância** de cada critério utilizando a escala abaixo:

Muito Baixa (MB);

Baixa (B);

Razoavelmente Baixa (RB);

Razoável (R);

Razoavelmente Alta (RA);

Alta (A);

Muito Alta (MA);

B1 - Funcionalidade (conformidade / interoperabilidade – resolve situações)

(MA)     (A)     (RA)     (R)     (RB)     (B)     (MB)

B2 - Usabilidade (operacional – isso é fácil de utilizar)

(MA)     (A)     (RA)     (R)     (RB)     (B)     (MB)

B3 - Portabilidade (adaptabilidade/coexistência com outros sistemas)

(MA)     (A)     (RA)     (R)     (RB)     (B)     (MB)

Para opinar sobre a partes do modelo conceitual em relação aos critérios de avaliação utilize a escala linguística abaixo:

Muito Ruim (MR)

Ruim (R)

Razoavelmente Ruim (RR)

Moderado (M)

Razoavelmente Bom (RB)

Bom (B)

Muito Bom (MB)

Critérios:

B1 - **Funcionalidade** (conformidade / interoperabilidade – resolve situações)

B2 - **Usabilidade** (operacional – isso é fácil de utilizar)

B3 - **Portabilidade** (adaptabilidade/coexistência com outros sistemas)

Avaliação:

P9B1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, o encapsulamento de tarefas de manufatura do produto

- Plataforma de manufatura em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P9B2 - Em relação ao critério **Usabilidade**, o encapsulamento de tarefas de manufatura do produto -

Plataforma de manufatura em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P9B3 - Em relação ao critério **Portabilidade**, o encapsulamento de tarefas de manufatura do produto -

Plataforma de manufatura em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P10B1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, a virtualização de serviços de manufatura disponíveis nas PME - Plataforma de manufatura em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P10B2 - Em relação ao critério **Usabilidade**, a virtualização de serviços de manufatura disponíveis nas

PME - Plataforma de manufatura em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P10B3 - Em relação ao critério **Portabilidade**, a virtualização de serviços de manufatura disponíveis nas PME - Plataforma de manufatura em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P11B1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, a seleção de PMEs para empresa virtual - Modelo de seleção de PMEs pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P11B2 - Em relação ao critério **Usabilidade**, a seleção de PMEs para empresa virtual - Modelo de seleção de PMEs pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P11A3 - Em relação ao critério **Portabilidade**, a seleção de PMEs para empresa virtual - Modelo de seleção de PMEs pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P12B1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, a estimativa de custos e prazos - Ambiente da empresa virtual pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P12B2 - Em relação ao critério **Usabilidade**, a estimativa de custos e prazos - Ambiente da empresa virtual pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P12B3 - Em relação ao critério **Portabilidade**, a estimativa de custos e prazos - Ambiente da empresa virtual pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P13B1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, o *feedback* do produto pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P13B2 - Em relação ao critério **Usabilidade**, o *feedback* do produto pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P13B3 - Em relação ao critério **Portabilidade**, o *feedback* do produto pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P14B1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, a modelagem, ajustes e simulações dos produtos pela PME - Ambiente de modelagem em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P14B2 - Em relação ao critério **Usabilidade**, a modelagem, ajustes e simulações dos produtos pela PME - Ambiente de modelagem em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P14B3 - Em relação ao critério **Portabilidade**, a modelagem, ajustes e simulações dos produtos pela PME - Ambiente de modelagem em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P15B1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, a atualização do produto e orçamento final - Ambiente da empresa virtual pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P15B2 - Em relação ao critério **Usabilidade**, a atualização do produto e orçamento final - Ambiente da empresa virtual pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P15B3 - Em relação ao critério **Portabilidade**, a atualização do produto e orçamento final - Ambiente da empresa virtual pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P16B1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, o *feedback* aprovação do produto e orçamento pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P16B2 - Em relação ao critério **Usabilidade**, o *feedback* aprovação do produto e orçamento pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P16B3 - Em relação ao critério **Portabilidade**, o *feedback* aprovação do produto e orçamento pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P17B1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, o registro histórico dos componentes desenvolvidos - Banco de dados do configurador de especificação de requisitos do cliente pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P17B2 - Em relação ao critério **Usabilidade**, o registro histórico dos componentes desenvolvidos - Banco de dados do configurador de especificação de requisitos do cliente pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P17B3 - Em relação ao critério **Portabilidade**, o registro histórico dos componentes desenvolvidos - Banco de dados do configurador de especificação de requisitos do cliente pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

APÊNDICE C – QUESTÕES DO INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS UTILIZADO NA OBTENÇÃO DE OPINIÃO DE ESPECIALISTAS DE PROGRAMADORES DE SOFTWARES, APLICATIVOS OU PLATAFORMAS EM NUVEM.

**OBS: Este questionário foi aprovado pelo parecer consubstanciado nº 5.156.853 do CEP da Universidade Tecnológica Federal do Paraná via Plataforma Brasil no dia 9 de dezembro de 2021.**

Em relação aos critérios de avaliação para o modelo conceitual apresentado, opine sobre a **importância** de cada critério utilizando a escala abaixo:

Muito Baixa (MB);

Baixa (B);

Razoavelmente Baixa (RB);

Razoável (R);

Razoavelmente Alta (RA);

Alta (A);

Muito Alta (MA);

C1 - Funcionalidade (conformidade / interoperabilidade – resolve situações)

(MA)     (A)     (RA)     (R)     (RB)     (B)     (MB)

C2 - Confiabilidade

(MA)     (A)     (RA)     (R)     (RB)     (B)     (MB)

C3 - Maturidade (conceito já utilizado em outras aplicações)

(MA)     (A)     (RA)     (R)     (RB)     (B)     (MB)

C4 - Portabilidade (adaptabilidade/coexistência com outros sistemas)

(MA)     (A)     (RA)     (R)     (RB)     (B)     (MB)

Para opinar sobre a partes do modelo conceitual em relação aos critérios de avaliação utilize a escala linguística abaixo:

Muito Ruim (MR)

Ruim (R)

Razoavelmente Ruim (RR)

Moderado (M)

Razoavelmente Bom (RB)

Bom (B)

Muito Bom (MB)

Critérios:

C1 - **Funcionalidade** (conformidade / interoperabilidade – resolve situações)

C2 - **Confiabilidade**

C3 - **Maturidade** (conceito já utilizado em outras aplicações)

C4 - **Portabilidade** (adaptabilidade/coexistência com outros sistemas)

Avaliação:

P1C1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, a seleção de módulos de funções já desenvolvidos - Configurator de especificação de requisitos do cliente pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P1C2 - Em relação ao critério **Confiabilidade**, a seleção de módulos de funções já desenvolvidos - Configurator de especificação de requisitos do cliente pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P1C3 - Em relação ao critério **Maturidade**, a seleção de módulos de funções já desenvolvidos - Configurator de especificação de requisitos do cliente pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P1C4 - Em relação ao critério **Portabilidade**, a seleção de módulos de funções já desenvolvidos - Configurator de especificação de requisitos do cliente pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P2C1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, a descrição de novos módulos de funções - Configurator de especificação de requisitos do cliente pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P2C2 - Em relação ao critério **Confiabilidade**, a descrição de novos módulos de funções - Configurator de especificação de requisitos do cliente pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P2C3 - Em relação ao critério **Maturidade**, a descrição de novos módulos de funções - Configurator de especificação de requisitos do cliente pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P2C4 - Em relação ao critério **Portabilidade**, a descrição de novos módulos de funções - Configurator de especificação de requisitos do cliente pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P3C1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, a verificação de lacunas - Configurator de especificação de requisitos do cliente pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P3C2 - Em relação ao critério **Confiabilidade**, a verificação de lacunas - Configurator de especificação de requisitos do cliente pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P3C3 - Em relação ao critério **Maturidade**, a verificação de lacunas - Configurador de especificação de requisitos do cliente pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P3C4 - Em relação ao critério **Portabilidade**, a verificação de lacunas - Configurador de especificação de requisitos do cliente pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P4C1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, a seleção de componentes já modelados - Biblioteca de componentes desenvolvidos pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P4C2 - Em relação ao critério **Confiabilidade**, a seleção de componentes já modelados - Biblioteca de componentes desenvolvidos pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P4C3 - Em relação ao critério **Maturidade**, a seleção de componentes já modelados - Biblioteca de componentes desenvolvidos pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P4C4 - Em relação ao critério **Portabilidade**, a seleção de componentes já modelados - Biblioteca de componentes desenvolvidos pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P5C1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, a modelagem e adequação de novos componentes - Ambiente de modelagem em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P5C2 - Em relação ao critério **Confiabilidade**, a modelagem e adequação de novos componentes - Ambiente de modelagem em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P5C3 - Em relação ao critério **Maturidade**, a modelagem e adequação de novos componentes - Ambiente de modelagem em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P5C4 - Em relação ao critério **Portabilidade**, a modelagem e adequação de novos componentes - Ambiente de modelagem em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P6C1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, a modelagem e adequação de componentes da biblioteca - Ambiente de modelagem em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P6C2 - Em relação ao critério **Confiabilidade**, a modelagem e adequação de componentes da biblioteca - Ambiente de modelagem em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P6C3 - Em relação ao critério **Maturidade**, a modelagem e adequação de componentes da biblioteca - Ambiente de modelagem em nuvem pode ser avaliada como:



(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P6C4 - Em relação ao critério **Portabilidade**, a modelagem e adequação de componentes da biblioteca - Ambiente de modelagem em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P7C1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, a visualização do produto pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P7C2 - Em relação ao critério **Confiabilidade**, a visualização do produto pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P7C3 - Em relação ao critério **Maturidade**, a visualização do produto pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P7C4 - Em relação ao critério **Portabilidade**, a visualização do produto pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P8C1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, o *feedback* do produto pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P8C2 - Em relação ao critério **Confiabilidade**, o *feedback* do produto pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P8C3 - Em relação ao critério **Maturidade**, o *feedback* do produto pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P8C4 - Em relação ao critério **Portabilidade**, o *feedback* do produto pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P9C1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, o encapsulamento de tarefas de manufatura do produto - Plataforma de manufatura em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P9C2 - Em relação ao critério **Confiabilidade**, o encapsulamento de tarefas de manufatura do produto - Plataforma de manufatura em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P9C3 - Em relação ao critério **Maturidade**, o encapsulamento de tarefas de manufatura do produto - Plataforma de manufatura em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P9C4 - Em relação ao critério **Portabilidade**, o encapsulamento de tarefas de manufatura do produto - Plataforma de manufatura em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P10C1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, a virtualização de serviços de manufatura disponíveis nas PME - Plataforma de manufatura em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P10C2 - Em relação ao critério **Confiabilidade**, a virtualização de serviços de manufatura disponíveis nas PME - Plataforma de manufatura em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P10C3 - Em relação ao critério **Maturidade**, a virtualização de serviços de manufatura disponíveis nas PME - Plataforma de manufatura em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P10C4 - Em relação ao critério **Portabilidade**, a virtualização de serviços de manufatura disponíveis nas PME - Plataforma de manufatura em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P11C1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, a seleção de PMEs para empresa virtual - Modelo de seleção de PMEs pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P11C2 - Em relação ao critério **Confiabilidade**, a seleção de PMEs para empresa virtual - Modelo de seleção de PMEs pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P11C3 - Em relação ao critério **Maturidade**, a seleção de PMEs para empresa virtual - Modelo de seleção de PMEs pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P11C4 - Em relação ao critério **Portabilidade**, a seleção de PMEs para empresa virtual - Modelo de seleção de PMEs pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P12C1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, a estimativa de custos e prazos - Ambiente da empresa virtual pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P12C2 - Em relação ao critério **Confiabilidade**, a estimativa de custos e prazos - Ambiente da empresa virtual pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P12C3 - Em relação ao critério **Maturidade**, a estimativa de custos e prazos - Ambiente da empresa virtual pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P12C4 - Em relação ao critério **Portabilidade**, a estimativa de custos e prazos - Ambiente da empresa virtual pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P13C1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, o *feedback* do produto pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P13C2 - Em relação ao critério **Confiabilidade**, o *feedback* do produto pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P13C3 - Em relação ao critério **Maturidade**, a o *feedback* do produto pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P13C4 - Em relação ao critério **Portabilidade**, o *feedback* do produto pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P14C1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, a modelagem, ajustes e simulações dos produtos pela PME - Ambiente de modelagem em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P14C2 - Em relação ao critério **Confiabilidade**, a modelagem, ajustes e simulações dos produtos pela PME - Ambiente de modelagem em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P14C3 - Em relação ao critério **Maturidade**, a modelagem, ajustes e simulações dos produtos pela PME - Ambiente de modelagem em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P14C4 - Em relação ao critério **Portabilidade**, a modelagem, ajustes e simulações dos produtos pela PME - Ambiente de modelagem em nuvem pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P15C1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, a atualização do produto e orçamento final - Ambiente da empresa virtual pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P15C2 - Em relação ao critério **Confiabilidade**, a atualização do produto e orçamento final - Ambiente da empresa virtual pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P15C3 - Em relação ao critério **Maturidade**, a atualização do produto e orçamento final - Ambiente da empresa virtual pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P15C4 - Em relação ao critério **Portabilidade**, a atualização do produto e orçamento final - Ambiente da empresa virtual pode ser avaliada como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P16C1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, o *feedback* aprovação do produto e orçamento pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P16C2 - Em relação ao critério **Confiabilidade**, o *feedback* aprovação do produto e orçamento pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P16C3 - Em relação ao critério **Maturidade**, o *feedback* aprovação do produto e orçamento pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P16C4 - Em relação ao critério **Portabilidade**, o *feedback* aprovação do produto e orçamento pelo cliente - Ambiente de *feedback* em nuvem pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P17C1 - Em relação ao critério **Funcionalidade**, o registro histórico dos componentes desenvolvidos - Banco de dados do configurador de especificação de requisitos do cliente pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

P17C2 - Em relação ao critério **Confiabilidade**, o registro histórico dos componentes desenvolvidos - Banco de dados do configurador de especificação de requisitos do cliente pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

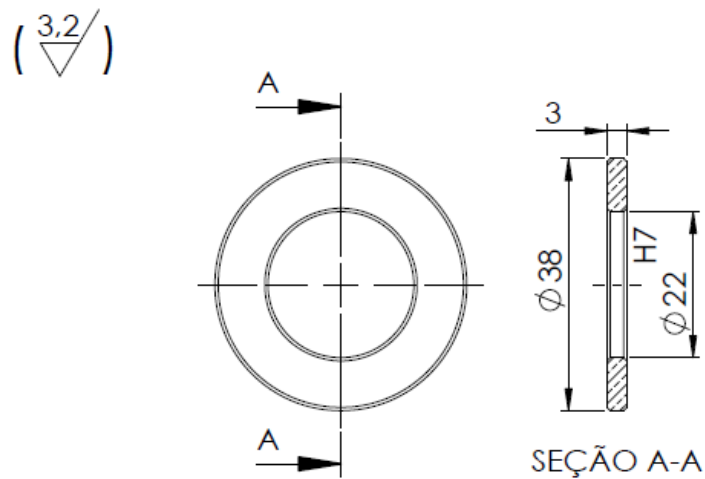
P17C3 - Em relação ao critério **Maturidade**, o registro histórico dos componentes desenvolvidos - Banco de dados do configurador de especificação de requisitos do cliente pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

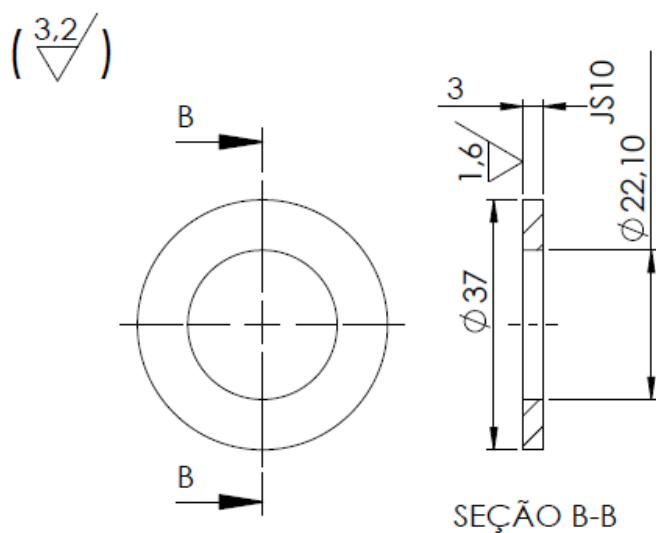
P17C4 - Em relação ao critério **Portabilidade**, o registro histórico dos componentes desenvolvidos - Banco de dados do configurador de especificação de requisitos do cliente pode ser avaliado como:

(MB)     (B)     (RB)     (M)     (RR)     (R)     (MR)

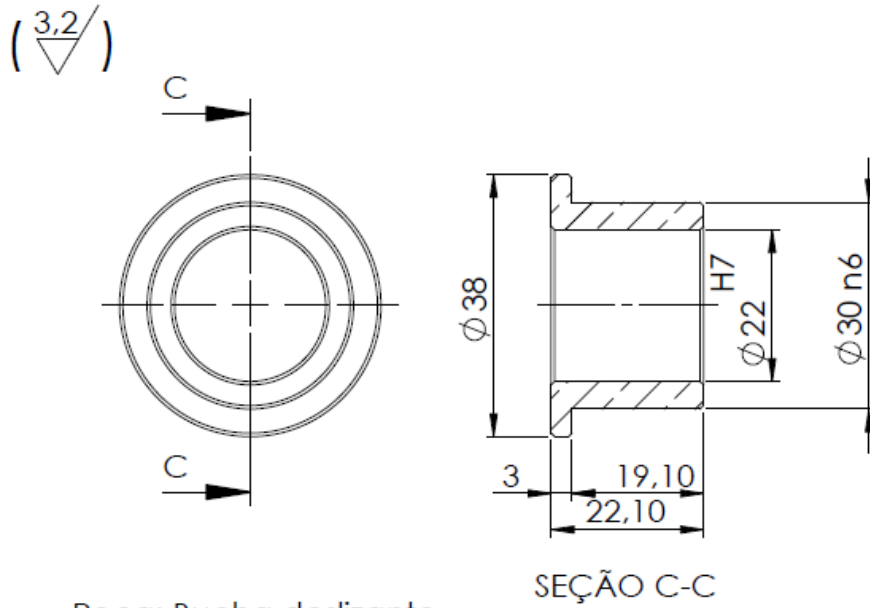
## APÊNDICE D – DETALHAMENTO DOS COMPONENTES DO CONJUNTO GUIA DA ARTICULAÇÃO



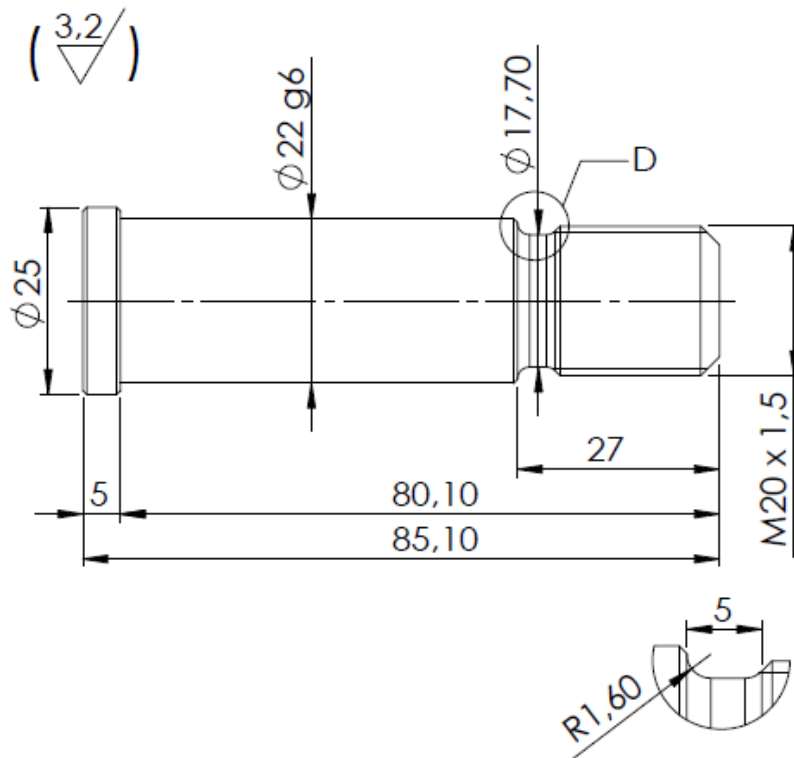
Peça: Arruela deslizante  
 Quantidade: 03 peças  
 Material: Barra redonda  $\varnothing 1.1/2"$  x 5 mm - Bronze TM23



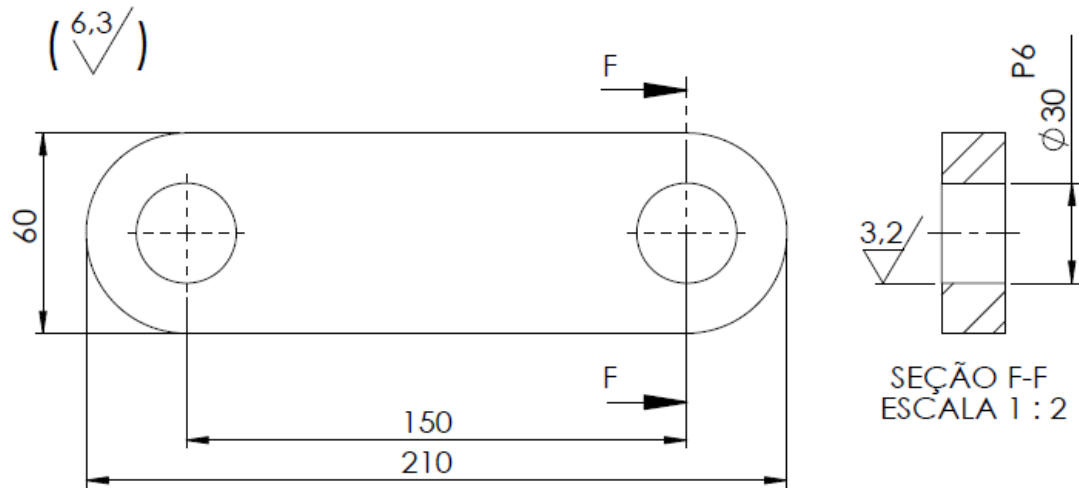
Peça: Arruela externa  
 Quantidade: 06 peças  
 Material: Barra redonda laminada  $\varnothing 1.1/2"$  x 5 mm - SAE 1045



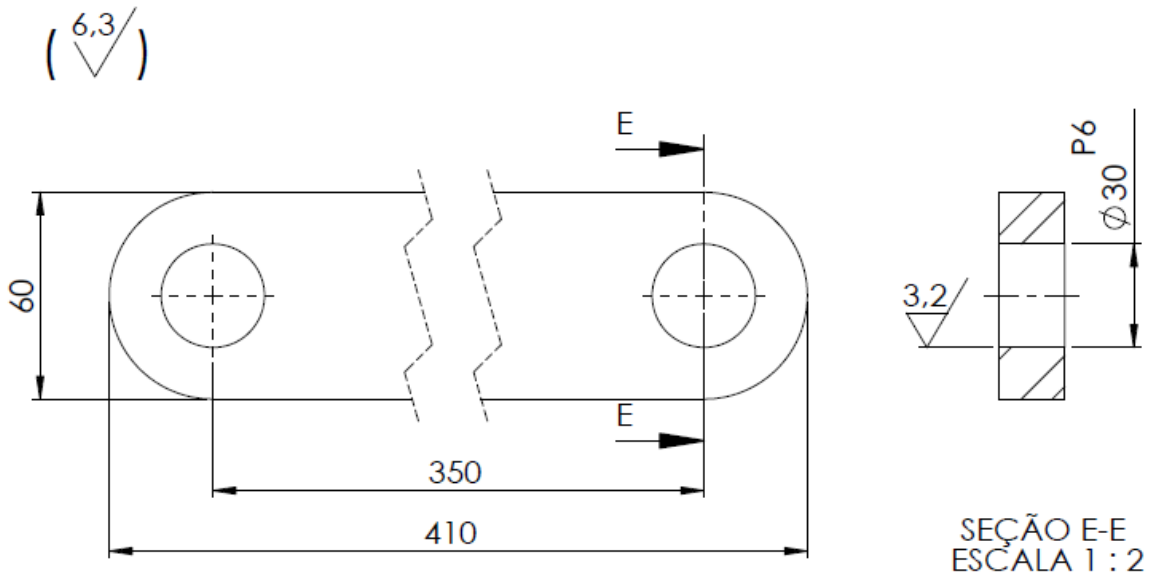
Peça: Bucha deslizante  
 Quantidade: 03 peças  
 Material: Barra redonda  $\varnothing 1.1/2''$  x 23 mm - Bronze TM23



Peça: Eixo da articulação  
 Quantidade: 03 peças  
 Material: Barra redonda  $\varnothing 1''$  x 87 mm - SAE 1045



Peça: Braço 01  
 Quantidade: 01 peça  
 Material: Chapa ASTM A-36 #3/4" x 60 mm x 410mm



Peça: Braço 01  
 Quantidade: 01 peça  
 Material: Chapa ASTM A-36 #3/4" x 60 mm x 410mm

## APÊNDICE E - FILTRO DE PMES DISPONÍVEIS PARA CORTE DE CHAPAS EM JATO D'ÁGUA

Resultado da aplicação de filtro de seleção com características do processo na plataforma de manufatura.

PME	Largura máxima (mm)	Comprimento máximo (mm)	Espessura máxima (mm)	M/hora	R\$/hora	Acabamento	Material	Dias para início	Localização Km	Histórico na plataforma
Fabrica 2	4500	4500	26	150	200	-	-	15	300	Sim
Fabrica 6	3200	4500	51	150	200	-	-	15	300	sim
Fabrica 8	3500	6200	76	120	180	-	-	20	200	sim
Fabrica 15	3500	6200	76	120	110	-	-	15	120	sim
Fabrica 17	3500	6200	50,4	150	250	-	-	10	100	sim
Fabrica 19	6000	3200	26	150	120	-	-	15	200	sim

Fonte: O autor (2022).



## APÊNDICE F – FILTRO DE PMES DISPONÍVEIS PARA MANDRILAMENTO INTERNO

Resultado da aplicação de filtro de seleção com características do processo na plataforma de manufatura.

PME	Largura máxima (mm)	Comprimento máximo (mm)	Altura máxima (mm)	Diâmetro máximo (mm)	Diâmetro mínimo (mm)	M <sup>3</sup> /hora	R\$/hora	Rugosidade mínima (Ra)	Material	Dias para início	Localização Km	Histórico na plataforma
Fabrica 1	1200	1200	1200	250	30	2	120	1,6	-	20	80	sim
Fabrica 2	1200	1200	1200	250	30	2,5	120	3,2	-	15	300	sim
Fabrica 11	1200	1200	1200	250	30	2	95	1,6	-	20	200	sim
Fabrica 12	1200	1200	1200	250	30	1	80	1,6	-	15	400	sim
Fabrica 14	3500	3500	2000	2500	30	2,5	200	3,2	-	15	500	sim

Fonte: O autor (2022).

## APÊNDICE G - FILTRO DE PMES DISPONÍVEIS PARA TORNEAMENTO CNC

Resultado da aplicação de filtro de seleção com características do processo na plataforma de manufatura.

PME	Comprimento máximo (mm)	Diâmetro máximo (mm)	M <sup>3</sup> /hora	R\$/hora	Rugosidade mínima (Ra)	Material	Dias para início	Localização Km	Histórico na plataforma
Fabrica 2	1000	400	3	100	0,8	-	15	300	sim
Fabrica 3	1200	320	2	80	1,6	-	15	250	sim
Fabrica 9	1000	280	2	70	3,2	-	15	300	sim
Fabrica 12	1100	320	2,5	58	1,6	-	15	400	sim
Fabrica 13	1000	280	3	65	3,2	-	15	450	sim
Fabrica 14	1000	300	2,5	60	3,2	-	12	500	sim
Fabrica 18	1000	350	3	58	3,2	-	15	250	sim
Fabrica 19	1200	320	2	70	1,6	-	15	200	sim
Fabrica 20	500	350	2,5	75	0,8	-	5	120	sim

Fonte: O autor (2022).

## APÊNDICE H - AVALIAÇÃO DE PESOS E CRITÉRIOS DE PMES DISPONÍVEIS PARA CORTE DE CHAPAS EM JATO D'ÁGUA

Avaliação realizada nas linhas em amarelo, baseada nas informações filtradas na plataforma.

Critérios		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Peso		0,7	1	0	0	0,8	0,7	0,3
Altern.	PME	Volume de produção / hora	Valor / hora	Acabam.	Material	Prazo	Localização	Histórico
A1	Fabrica 2	B	M			B	RR	B
		150	200	-	-	15	300	Sim
A2	Fabrica 6	B	M			B	RR	B
		150	200	-	-	15	300	Sim
A3	Fabrica 8	RB	RB			M	M	B
		120	180	-	-	20	200	Sim
A4	Fabrica 15	RB	MB			B	B	B
		120	110	-	-	15	120	Sim
A5	Fabrica 17	B	R			MB	MB	B
		150	250	-	-	10	100	Sim
A6	Fabrica 19	B	B			B	M	B
		150	120	-	-	15	200	Sim

Fonte: O autor (2022).

APÊNDICE I - VALORES FUZZY PARA OS CRITÉRIOS AVALIADOS DAS PMES  
DISPONÍVEIS PARA CORTE DE CHAPAS EM JATO D'ÁGUA

Altern.	C1				C2				C5				C6				C7			
<b>A1</b>	0,7	0,8	0,8	0,9	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	0,8	0,9
<b>A2</b>	0,7	0,8	0,8	0,9	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	0,8	0,9
<b>A3</b>	0,5	0,6	0,7	0,8	0,5	0,6	0,7	0,8	0,4	0,5	0,5	0,6	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9
<b>A4</b>	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,0	0,7	0,8	0,8	0,9	0,7	0,8	0,8	0,9	0,7	0,8	0,8	0,9
<b>A5</b>	0,7	0,8	0,8	0,9	0,1	0,2	0,2	0,3	0,8	0,9	1,0	1,0	0,8	0,9	1,0	1,0	0,7	0,8	0,8	0,9
<b>A6</b>	0,7	0,8	0,8	0,9	0,7	0,8	0,8	0,9	0,7	0,8	0,8	0,9	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9

Fonte: O autor (2022).

APÊNDICE J - AGREGAÇÃO DO PESO AOS VALORES FUZZY DOS CRITÉRIOS AVALIADOS DAS PMES DISPONÍVEIS PARA CORTE DE CHAPAS EM JATO D'ÁGUA

<b>Pesos</b>	0,200				0,286				0,229				0,200				0,086			
<b>Altern.</b>	<b>C1</b>				<b>C2</b>				<b>C5</b>				<b>C6</b>				<b>C7</b>			
<b>A1</b>	0,140	0,160	0,160	0,180	0,114	0,143	0,143	0,171	0,160	0,183	0,183	0,206	0,040	0,060	0,080	0,100	0,060	0,069	0,069	0,077
<b>A2</b>	0,140	0,160	0,160	0,180	0,114	0,143	0,143	0,171	0,160	0,183	0,183	0,206	0,040	0,060	0,080	0,100	0,060	0,069	0,069	0,077
<b>A3</b>	0,100	0,120	0,140	0,160	0,143	0,171	0,200	0,229	0,091	0,114	0,114	0,137	0,080	0,100	0,100	0,120	0,060	0,069	0,069	0,077
<b>A4</b>	0,100	0,120	0,140	0,160	0,229	0,257	0,286	0,286	0,160	0,183	0,183	0,206	0,140	0,160	0,160	0,180	0,060	0,069	0,069	0,077
<b>A5</b>	0,140	0,160	0,160	0,180	0,029	0,057	0,057	0,086	0,183	0,206	0,229	0,229	0,160	0,180	0,200	0,200	0,060	0,069	0,069	0,077
<b>A6</b>	0,140	0,160	0,160	0,180	0,200	0,229	0,229	0,257	0,160	0,183	0,183	0,206	0,080	0,100	0,100	0,120	0,060	0,069	0,069	0,077

Fonte: O autor (2022).

APÊNDICE K - SOLUÇÕES IDEAIS POSITIVAS E DESFUZIFICAÇÃO DOS VALORES DE CRITÉRIOS AVALIADOS DAS PMES DISPONÍVEIS PARA CORTE DE CHAPAS EM JATO D'ÁGUA

D+	Altern.	C1				D1+	C2				D2+	C5				D5+	C6				D6+	C7				D7+
4,377	A1	0,860	0,840	0,840	0,820	0,840	0,886	0,857	0,857	0,829	0,857	0,840	0,817	0,817	0,794	0,817	0,960	0,940	0,920	0,900	0,930	0,940	0,931	0,931	0,923	0,931
4,377	A2	0,860	0,840	0,840	0,820	0,840	0,886	0,857	0,857	0,829	0,857	0,840	0,817	0,817	0,794	0,817	0,960	0,940	0,920	0,900	0,930	0,940	0,931	0,931	0,923	0,931
4,403	A3	0,900	0,880	0,860	0,840	0,870	0,857	0,829	0,800	0,771	0,815	0,909	0,886	0,886	0,863	0,886	0,920	0,900	0,900	0,880	0,900	0,940	0,931	0,931	0,923	0,931
4,195	A4	0,900	0,880	0,860	0,840	0,870	0,771	0,743	0,714	0,714	0,736	0,840	0,817	0,817	0,794	0,817	0,860	0,840	0,840	0,820	0,840	0,940	0,931	0,931	0,923	0,931
4,319	A5	0,860	0,840	0,840	0,820	0,840	0,971	0,943	0,943	0,914	0,943	0,817	0,794	0,771	0,771	0,789	0,840	0,820	0,800	0,800	0,815	0,940	0,931	0,931	0,923	0,931
4,261	A6	0,860	0,840	0,840	0,820	0,840	0,800	0,771	0,771	0,743	0,772	0,840	0,817	0,817	0,794	0,817	0,920	0,900	0,900	0,880	0,900	0,940	0,931	0,931	0,923	0,931

Fonte: O autor (2022).

APÊNDICE L - SOLUÇÕES IDEAIS NEGATIVAS E DESFUZIFICAÇÃO DOS VALORES DOS CRITÉRIOS AVALIADOS DAS PMES  
DISPONÍVEIS PARA CORTE DE CHAPAS EM JATO D'ÁGUA

D-	Altern.	C1				D1-	C2				D2-	C5				D5-	C6				D6-	C7				D7-
<b>0,631</b>	<b>A1</b>	-0,140	-0,160	-0,160	-0,180	<b>0,161</b>	-0,114	-0,143	-0,143	-0,171	<b>0,144</b>	-0,160	-0,183	-0,183	-0,206	<b>0,184</b>	-0,040	-0,060	-0,080	-0,100	<b>0,073</b>	-0,060	-0,069	-0,069	-0,077	<b>0,069</b>
<b>0,631</b>	<b>A2</b>	-0,140	-0,160	-0,160	-0,180	<b>0,161</b>	-0,114	-0,143	-0,143	-0,171	<b>0,144</b>	-0,160	-0,183	-0,183	-0,206	<b>0,184</b>	-0,040	-0,060	-0,080	-0,100	<b>0,073</b>	-0,060	-0,069	-0,069	-0,077	<b>0,069</b>
<b>0,606</b>	<b>A3</b>	-0,100	-0,120	-0,140	-0,160	<b>0,132</b>	-0,143	-0,171	-0,200	-0,229	<b>0,188</b>	-0,091	-0,114	-0,114	-0,137	<b>0,115</b>	-0,080	-0,100	-0,100	-0,120	<b>0,101</b>	-0,060	-0,069	-0,069	-0,077	<b>0,069</b>
<b>0,810</b>	<b>A4</b>	-0,100	-0,120	-0,140	-0,160	<b>0,132</b>	-0,229	-0,257	-0,286	-0,286	<b>0,265</b>	-0,160	-0,183	-0,183	-0,206	<b>0,184</b>	-0,140	-0,160	-0,160	-0,180	<b>0,161</b>	-0,060	-0,069	-0,069	-0,077	<b>0,069</b>
<b>0,688</b>	<b>A5</b>	-0,140	-0,160	-0,160	-0,180	<b>0,161</b>	-0,029	-0,057	-0,057	-0,086	<b>0,061</b>	-0,183	-0,206	-0,229	-0,229	<b>0,212</b>	-0,160	-0,180	-0,200	-0,200	<b>0,186</b>	-0,060	-0,069	-0,069	-0,077	<b>0,069</b>
<b>0,743</b>	<b>A6</b>	-0,140	-0,160	-0,160	-0,180	<b>0,161</b>	-0,200	-0,229	-0,229	-0,257	<b>0,229</b>	-0,160	-0,183	-0,183	-0,206	<b>0,184</b>	-0,080	-0,100	-0,100	-0,120	<b>0,101</b>	-0,060	-0,069	-0,069	-0,077	<b>0,069</b>

Fonte: O autor (2022).

## APÊNDICE M - AVALIAÇÃO DE PESOS E CRITÉRIOS DE PMES DISPONÍVEIS PARA MANDRILAMENTO INTERNO

Avaliação realizada nas linhas em amarelo, baseada nas informações filtradas na plataforma.

Critérios		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Peso		0,5	1	0,5	0	0,8	0,5	0,25
Altern.	PME	Volume de produção / hora	Valor / hora	Acabam.	Material	Prazo	Localização	Histórico
A1	Fabrica 1	B	RB	MB		RB	MB	B
		2	120	1,6	-	20	80	Sim
A2	Fabrica 2	MB	RB	B		B	RB	B
		2,5	120	3,2	-	15	300	Sim
A3	Fabrica 11	B	B	MB		RB	MB	B
		2	95	1,6	-	20	200	Sim
A4	Fabrica 12	M	MB	MB		B	M	B
		1	80	1,6	-	15	400	Sim
A5	Fabrica 14	MB	RR	B		B	RR	B
		2,5	200	3,2	-	15	500	Sim

Fonte: O autor (2022).



## APÊNDICE N – AVALIAÇÃO DE PESOS E CRITÉRIOS DE PMES DISPONÍVEIS PARA TORNEAMENTO CNC

Avaliação realizada nas linhas em amarelo, baseada nas informações filtradas na plataforma.

Critérios		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Peso		0,5	1	0,5	0	0,8	0,7	0,5
Altern.	PME	Volume de produção / hora	Valor / hora	Acabam.	Material	Prazo	Localização	Histórico
A1	Fabrica 2	MB	RR	MB		M	M	B
		3	100	0,8	-	15	300	Sim
A2	Fabrica 3	RB	M	B		M	RB	B
		2	80	1,6	-	15	250	Sim
A3	Fabrica 9	RB	RB	RB		M	M	B
		2	70	3,2	-	15	300	Sim
A4	Fabrica 12	B	MB	B		M	RR	B
		2,5	58	1,6	-	15	400	Sim
A5	Fabrica 13	MB	B	RB		M	R	B
		3	65	3,2	-	15	450	Sim
A6	Fabrica 14	B	MB	RB		RB	MR	B
		2,5	60	3,2	-	12	500	Sim
A7	Fabrica 18	MB	MB	RB		M	RB	B
		3	58	3,2	-	15	250	Sim
A8	Fabrica 19	RB	RB	B		M	B	B
		2	70	1,6	-	15	200	Sim
A9	Fabrica 20	B	M	MB		MB	MB	B
		2,5	75	0,8	-	5	120	Sim

Fonte: O autor (2022).