

UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES – UCAM
DEPARTAMENTO DE PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO ACADÊMICO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

QUÉZIA MANUELA GONÇALVES LAURINDO

**MECANISMO DE COMUNICAÇÃO ENTRE UM SOFTWARE DE
SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS E UM SOFTWARE DE
PROJETOS MECÂNICOS PARA SISTEMAS DE MANUFATURA**

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ

Março - 2018

UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES – UCAM
DEPARTAMENTO DE PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO ACADÊMICO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

QUÉZIA MANUELA GONÇALVES LAURINDO

**MECANISMO DE COMUNICAÇÃO ENTRE UM SOFTWARE DE
SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS E UM SOFTWARE DE
PROJETOS MECÂNICOS PARA SISTEMAS DE MANUFATURA**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Candido Mendes.

Orientador: Prof. João José de Assis Rangel, D. Sc.

Coorientador: Prof. Túlio Almeida Peixoto, M. Sc.

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca da **UCAM – CAMPOS** 007/2018

Laurindo, Quézia Manuela Gonçalves.

Mecanismo de comunicação entre um software de simulação a eventos discretos e um software de projetos mecânicos para sistemas de manufatura. / Quézia Manuela Gonçalves Laurindo. – 2018.
139 f.; il.

Orientador: João José de Assis Rangel.
Coorientador: Túlio Almeida Peixoto.

Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – Universidade Candido Mendes – Campos. Campos dos Goytacazes, RJ, 2018.
Referências: f. 102-110.

1.Simulação a eventos discretos. 2.Simulação dinâmica. I. Universidade Candido Mendes – Campos. II. Título.

CDU – 004.383.4

Bibliotecária Responsável: Flávia Mastrogirolamo CRB 7^a-6723

QUÉZIA MANUELA GONÇALVES LAURINDO

**MECANISMO DE COMUNICAÇÃO ENTRE UM SOFTWARE DE
SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS E UM SOFTWARE DE
PROJETOS MECÂNICOS PARA SISTEMAS DE MANUFATURA**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Candido Mendes.

Aprovada em 15 de março de 2018.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. João José de Assis Rangel, D. Sc. - Orientador
Universidade Candido Mendes - Campos

Prof. Túlio Almeida Peixoto, M. Sc. - Coorientador
Universidade Candido Mendes - Campos

Prof^a. Camila Mendonça Romero Sales, D. Sc.
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense - Santo Antônio de
Pádua

Prof. Ítalo de Oliveira Matias, D. Sc.
Universidade Candido Mendes - Campos

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ

Março - 2018

RESUMO

Os avanços da tecnologia da informação possibilitaram a evolução dos sistemas de produção, propiciando o início de uma nova era da industrialização, a chamada Indústria 4.0. Desse modo, para que uma empresa se mantenha competitiva no mercado, precisa aderir a esses avanços e introduzir novos métodos e tecnologias para atender aos clientes com produtos e serviços de qualidade. Dentro desse contexto, o propósito deste trabalho é testar e avaliar a integração entre um Software de Simulação a Eventos Discretos (SED) e outro de simulação dinâmica, empregados como ferramenta de apoio à decisão em sistemas de produção, de modo a permitir a comunicação de alto nível entre estes. A comunicação entre os Softwares abre a possibilidade de se realizarem análises mais abrangentes em plantas industriais, por meio de uma abordagem na qual pode-se avaliar aspectos dinâmicos e discretos de um mesmo problema. Com base nos resultados, a integração entre os referidos Softwares, além de proporcionar a verificação de sistemas estocásticos, permitiu a análise de esforços mecânicos de um novo dispositivo inserido na planta industrial em estudo. Ademais de testar e avaliar a integração entre um Software de simulação discreta e um de simulação dinâmica, o propósito do presente trabalho é construir e avaliar um ambiente híbrido composto por um modelo SED e uma bancada didática pneumática, para desenvolvimento e teste de sistemas de controle em tempo real. A SED tem se apresentado como uma abordagem potencial para auxiliar na etapa de comissionamento de sistemas de controle, visto que este processo pode envolver risco e culminar em erros devido às limitações dos testes causadas pelo alto nível das questões de segurança para operadores e máquinas no local de realização dos experimentos. A abordagem se mostrou adequada e, por meio dela, foi possível desenvolver e comissionar um sistema de controle, de forma a encontrar erros que poderiam oferecer riscos ao sistema. Desse modo, o sistema de controle desenvolvido e validado pode ser empregado no treinamento de operadores sem interferir no sistema real.

PALAVRAS-CHAVE: Simulação a Eventos Discretos. Simulação Dinâmica. Sistema Híbrido. Comissionamento de Sistemas de Controle.

ABSTRACT

Advances in information technology enabled the evolution of production systems, which have led to the beginning of a new era of industrialization, the so-called Industry 4.0. Thus, for a company to remain competitive in the market, it must follow these advances and introduce new methods and technologies to serve customers with products and services of quality. Within this context, the purpose of this work is to test and evaluate the integration between Discrete Event Simulation Software (DES) and dynamic simulation Software, applied as a decision support tool for production systems, in order to allow high-level communication between them. The communication between the Softwares open the possibility of carrying out more comprehensive analyses in industrial plants, by means of an approach in which one can evaluate dynamic and discrete aspects of the same problem. Based on the results, the integration between said Softwares, in addition to providing stochastic system verification, also allowed the analysis of mechanical stress of a new device inserted in the industrial plant under study. In addition to testing and evaluating the integration between discrete simulation Software and dynamic simulation, the purpose of the present work is to construct and evaluate a hybrid environment composed of a DES model and a didactic pneumatic bench for development and testing of control systems in real time. DES has been presented as a potential approach to assist in the commissioning phase of control systems, since this process may involve risk and culminate in errors due to the limitations of the tests caused by the high level of safety issues for operators and machines in the place of the experiments. The approach was adequate, and, through this, it was possible to develop and commission a control system in order to find errors that could pose risks to the system. Thus, the control system that was developed and validated can be used to train operators without interfering with the real system.

KEYWORDS: Discrete Event Simulation. Dynamic Simulation. Hybrid System. Control System Commissioning.

LISTA DE QUADRO

Quadro 1: Quantidade de documentos retornados pela busca das palavras-chave na base SCOPUS <i>Elsevier</i> distribuídos por modalidade de documento.	22
Quadro 2: Registros encontrados por veículo de publicação na base SCOPUS.	23
Quadro 3: Distribuição de registros quanto à autoria e à coautoria.....	24
Quadro 4: Fator de Impacto e editor dos veículos de publicação nos quais os artigos selecionados para análise foram indexados.....	29
Quadro 5: Principais tópicos dos artigos selecionados para análise.....	31
Quadro 6: Classificação de pesquisa e suas características.....	33
Quadro 7: Classificação de pesquisa científica quantitativa.....	34
Quadro 8: Período e características das revoluções industriais.....	38
Quadro 9: Principais componentes e entidades da Indústria 4.0.	38
Quadro 10: Elementos usados na modelagem conceitual.	46
Quadro 11: Diferenças entre simulação e emulação.....	64
Quadro 12: Tipos de memórias utilizadas na comunicação.	76
Quadro 13: Descrição e parâmetros do processo de produção de latas.....	83
Quadro 14: Variáveis configuradas na interface OPC e no sistema de controle e seus endereços.....	87
Quadro 15: Produções originadas neste trabalho.	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Etapas da pesquisa bibliométrica.....	20
Figura 2: Quantidade de artigos retornados pelas bases SCOPUS Elsevier e ISI Web of Science empregando as mesmas palavras-chave.	21
Figura 3: Tipo de fonte em que os artigos foram publicados.....	22
Figura 4: Publicações de artigos por áreas de conhecimento.	24
Figura 5: Publicações de artigos por instituição afiliada.....	25
Figura 6: Publicações de artigos por país.	26
Figura 7: Quantidade de artigos publicados em relação ao ano.	27
Figura 8: Palavras-chave mais frequentes nos artigos selecionados para análise. ..	30
Figura 9: Classificação de sistemas de modelagem.	40
Figura 10: Comparação entre simulação discreta e simulação contínua: (a) simulação a eventos discretos e (b) simulação contínua.	41
Figura 11: Momentos diferentes do dia em um <i>fast-food</i>	42
Figura 12: Ambiente de trabalho do Software Arena.....	47
Figura 13: Ambiente de trabalho do Software ProModel.....	48
Figura 14: Ambiente de trabalho do Software FlexSim Standard.....	49
Figura 15: Arquitetura do Software Ururau.....	50
Figura 16: Interface gráfica do Software Ururau.....	50
Figura 17: Integração do modelo de simulação com o sistema de controle.....	53
Figura 18: Formas de realizar o comissionamento de sistemas.....	54
Figura 19: Distinção entre simulação e emulação: (a) simulação e (b) emulação.....	65
Figura 20: Ambiente de trabalho do Software DIA.	69
Figura 21: Mecanismo de Integração entre um Modelo SED e um Modelo Dinâmico.	70
Figura 22: Mecanismo de integração do Software Ururau e CAD 3D Inventor®.....	71
Figura 23: Módulo de Função Inventor do Software Ururau.....	73
Figura 24: Modelo mecânico de uma serra elétrica no ambiente de simulação dinâmica do Inventor®.	74
Figura 25: Software Siemens <i>Step 7</i> (a) e CLP SIMATIC S7-1200 (b).	75
Figura 26: Variáveis configuradas no Servidor OPC KEPServer.	76
Figura 27: Variáveis definidas no Software Siemens S7-1200.....	77

Figura 28: Janela de comunicação com o Servidor OPC no Ururau.	77
Figura 29: Esquema da linha de produção de latas.	79
Figura 30: Comissionamento virtual.	80
Figura 31: Comissionamento híbrido.	80
Figura 32: Comissionamento tradicional.	81
Figura 33: Modelo conceitual da linha de produção de latas.	82
Figura 34: Modelo computacional no ambiente Ururau.	83
Figura 35: Projeto da máquina encaixotadora implementado no Inventor®: (a) vista frontal e (b) vista lateral esquerda.	84
Figura 36: Mecanismo aplicado na simulação dinâmica no ambiente de projetos Inventor®.	85
Figura 37: Modelo de simulação construído no Software Ururau.	86
Figura 38: Sistema de controle em <i>Ladder</i> no Software Siemens Step 7.	87
Figura 39: Circuito eletropneumático implementado no Software FluidSim.	89
Figura 40: Comissionamento virtual do sistema de controle.	90
Figura 41: Comissionamento híbrido do sistema de controle.	91
Figura 42: Comissionamento tradicional do sistema de controle.	92
Figura 43: Resultados da simulação dinâmica implementada no Inventor® para o primeiro <i>step</i>	93
Figura 44: Resultados da simulação dinâmica implementada no Inventor® para o segundo <i>step</i>	93
Figura 45: Resultados da simulação dinâmica implementada no Inventor® para o terceiro <i>step</i>	94
Figura 46: Resultados da simulação dinâmica implementada no Inventor® para o quarto <i>step</i>	94
Figura 47: Resultados da simulação dinâmica implementada no Inventor® para o quinto <i>step</i>	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetro geral de rodada do modelo.....	88
Tabela 2: Variáveis do mecanismo dinâmico e do modelo SED obtidos por meio da implementação do mecanismo de integração.....	96
Tabela 3: Dados do relatório do Ururau obtido por meio da implementação da integração do modelo de simulação e o sistema de controle.....	97

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Exemplo do cálculo do JCR referente a 2016.	28
Equação 2: Quantidade de entidades que devem ser desviadas.....	97

LISTA DE SIGLAS

API	<i>Application Programming Interface</i>
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CLP	Controlador Lógico Programável
CLR	<i>Common Language Runtime</i>
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CPS	<i>Cyber-Physical Systems</i>
DCOM	<i>Distributed Component Object Model</i>
FAPERJ	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro
FOSS	<i>Free and Open-Source Software</i>
GPSS	<i>General Purpose Simulation System</i>
GUI	<i>Graphic User Interface</i>
HIL	<i>Hardware-in-the-Loop</i>
HPS	<i>Hybrid Process Simulation</i>
JCR	<i>Journal Citation Reports</i>
JSL	<i>Java Simulation Library</i>
JVM	<i>Java Virtual Machine</i>
MHC	<i>Material Handling Costs</i>
OLE	<i>Object Linking and Embedding</i>
OPC	<i>OLE for Process Control</i>
RIL	<i>Reality in the Loop</i>
SED	Simulação a Eventos Discretos
SJR	<i>Scimago Journal Rank</i>
VBA	<i>Visual Basic for Applications</i>

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS	15
1.1 Contextualização	15
1.2 Objetivos da pesquisa	16
1.2.1 Objetivo geral	16
1.2.2 Objetivos específicos.....	17
1.3 Justificativa e questões de pesquisa	17
1.3.1 Definição das palavras-chave para a pesquisa bibliométrica	18
1.3.2 Bibliometria.....	19
1.3.2.1 Metodologia de seleção de artigos	19
1.3.2.2 Definição da amostra.....	20
1.3.2.3 Identificação dos veículos de publicação com maior número de registros	23
1.3.2.4 Identificação dos autores com maior número de publicação.....	23
1.3.2.5 Levantamento da concentração de registros por área de conhecimento	24
1.3.2.6 Levantamento da concentração de registros por instituição.....	25
1.3.2.7 Levantamento da concentração de registros por país.....	26
1.3.2.8 Levantamento da cronologia da produção e identificação dos ciclos de maior produção	27
1.3.2.9 Levantamento do fator de impacto dos periódicos	28
1.3.2.10 Levantamento da frequência de palavras-chave	29
1.3.2.11 Principais tópicos dos artigos selecionados para análise.....	30
1.3.2.12 Conclusão da bibliometria	31
1.3.3 Questões de pesquisa.....	32
1.4 Método de pesquisa do trabalho	32
1.5 Delimitações do trabalho	34
1.6 Estrutura do trabalho	35

CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA	37
2.1 Referencial Teórico	37
2.1.1 Indústria 4.0.....	37
2.1.2 Simulação a eventos discretos.....	39
2.1.3 Simulação dinâmica	44
2.1.4 Modelagem conceitual.....	45
2.1.5 Verificação e validação de modelos	46
2.1.6 Softwares de simulação a eventos discretos.....	47
2.1.7 Comissionamento de sistemas de controle	51
2.1.8 Aplicações de CAD em SED e comissionamento de sistemas de controle.....	55
2.2 Estado da arte	57
2.2.1 Trabalhos de 2016 e 2017.....	57
2.2.2 Trabalhos de 2014 e 2015.....	58
2.2.3 Trabalhos de 2012 e 2013.....	60
2.2.4 Trabalhos de 2010 e 2011.....	61
2.2.5 Trabalhos de 2008 e 2009.....	62
2.3 Caracterização de simulação e emulação	63
2.4 Conclusão da revisão da literatura	66
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS	68
3.1 Metodologia de simulação proposta	68
3.2 Equipamento e Software de simulação	68
3.2.1 Mecanismo de integração: Modelo SED e Modelo Dinâmico.....	69
3.2.2 Sistema de controle.....	74
3.3 Descrição do sistema	78
3.4 Descrição dos cenários	79
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	82
4.1 Modelo conceitual e/ou de simulação	82

4.2 Mecanismo de integração com o Inventor	84
4.3 Mecanismo de integração Ururau-CLP	85
4.3.1 Implementação do mecanismo de integração	86
4.4 Parâmetros de rodada dos modelos	88
4.5 Experimentos simulados	88
4.6 Análise dos resultados	93
CAPÍTULO 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A DISSERTAÇÃO	99
5.1 Conclusões	99
5.2 Limitações do trabalho	100
5.3 Sugestões para trabalhos futuros	100
5.4 Produções originadas neste trabalho	101
REFERÊNCIAS	102
APÊNDICE A - Estrutura do trabalhoFonte: Elaboração própria.....	102
APÊNDICE B - Código de programação implementado para a comunicação entre o Software Ururau e o Software Inventor	112
APÊNDICE C - Resultados da simulação dinâmica implementada no Inventor® para o primeiro <i>step</i>	113
APÊNDICE D - Resultados da simulação dinâmica implementada no Inventor® para o segundo <i>step</i>	114
APÊNDICE E - Resultados da simulação dinâmica implementada no Inventor® para o Terceiro <i>step</i>	117
ANEXO A - Escopo de um projeto de simulação	138
ANEXO B - Laboratório de hidráulica e pneumática da Universidade Candido Mendes - Campos dos Goytacazes/RJ.....	139

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1 Contextualização

A quarta revolução industrial ou Indústria 4.0, como alguns autores citam, é o termo empregado em diversos trabalhos recentes para se referir às principais inovações tecnológicas nos campos da automação industrial, controle de processos e tecnologias da informação, aplicadas de forma integrada aos processos de manufatura. Em muitos desses estudos, os autores indicam a simulação a eventos discretos (SED) como uma das ferramentas utilizadas para auxiliar os projetistas nas “novas fábricas inteligentes”.

Diversos trabalhos de SED podem ser encontrados no âmbito das aplicações da Indústria 4.0, por exemplo. No trabalho de Turner *et al.* (2016), os autores adotaram a SED como plataforma de testes e tomada de decisão nas fábricas inteligentes, que são compostas por tecnologias integradas. Já Xu *et al.* (2016) discutiram acerca das principais demandas para os sistemas de simulação discreta, impulsionadas pela era da Indústria 4.0. Para Rodič (2017), a aplicação de SED nos processos de manufatura aumenta a qualidade dos produtos e facilita a gestão de sistemas de produção.

A simulação discreta, como abordado por Alvanchi *et al.* (2009), é uma ferramenta poderosa, capaz de reproduzir o funcionamento de sistemas “reais”, porém possui limitação quanto à representação de aspectos operacionais dos componentes do sistema. Desse modo, Hwang *et al.* (2016) apresentaram a simulação híbrida como ferramenta para modelar com maior precisão e avaliar de forma mais abrangente as interações complexas entre as operações de manufatura, por meio da integração entre diferentes métodos de simulação. Hoad e Kunc (2018),

por exemplo, mostraram em seu estudo um sistema híbrido, combinando a simulação dinâmica e a simulação a eventos discretos. Esta combinação entre os recursos de modelagem possui abordagens distintas, e, em contrapartida, complementares, de forma a oferecer maior compreensão dos problemas do “mundo real”.

Asbjörnsson *et al.* (2016) acrescentaram que a associação entre a simulação dinâmica e a discreta permite alcançar maior fidelidade na modelagem de sistemas, visto que fornece uma perspectiva operacional dos elementos envolvidos no processo em estudo, sendo essencial para analisar, por exemplo, design de células industriais e desempenho de sistemas de produção.

Além disso, a simulação discreta, aplicada tradicionalmente como ferramenta de análise, desempenha um importante papel no comissionamento de sistemas de controle. A possibilidade de integração de modelos de simulação com sistemas de controle foi levantada, há mais de uma década, por Dougall (1998) e Banks (2000).

Desta forma, o presente trabalho propõe a utilização da simulação a eventos discretos, integrada a um modelo de simulação de sistema dinâmico, para a comunicação entre os ambientes, de modo a fornecer a compreensão de vários aspectos do sistema. Além disso, é proposto o emprego da simulação a eventos discretos como uma ferramenta integrada na execução de projetos de modificação e construção de plantas de processo automatizadas. O modelo desenvolvido na etapa de concepção é utilizado durante a etapa de desenvolvimento do sistema e, ainda, na etapa de comissionamento.

1.2 Objetivos da pesquisa

1.2.1 Objetivo geral

O foco central do presente estudo é realizar a integração entre dois Softwares empregados em projetos de processos industriais, de modo a permitir a comunicação de alto nível entre eles. Além disso, o propósito é testar e avaliar um ambiente híbrido composto por um modelo SED e uma bancada didática pneumática, para desenvolvimento e teste de sistemas de controle em tempo real.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do presente trabalho estão relacionados nos itens a seguir:

- Implementar um modelo de simulação discreta em um Software livre;
- Construir um modelo de simulação dinâmica utilizando um Software específico de design assistido por computador (*Computer-Aided Design - CAD*);
- Integrar os modelos de simulação discreta e dinâmica construídos, de modo a permitir a comunicação entre eles;
- Mostrar as vantagens da integração de ambientes de simulação dinâmica com ambientes de simulação discreta, de forma a encontrar a melhor configuração, objetivando otimizar processos;
- Construir um ambiente integrado do modelo de simulação, bancada didática pneumática e sistema de controle para testar a lógica desenvolvida;
- Realizar o comissionamento de um processo típico de manufatura em tempo real;
- Apresentar o Software livre abordado neste trabalho como uma ferramenta viável e de baixo custo para comissionamento de sistemas de controle.

1.3 Justificativa e questões de pesquisa

Os projetos de construção ou modificação de sistemas de manufatura são, muitas vezes, complexos. Para tanto, a aplicação de recursos que auxiliem nessa fase é indispensável. Desse modo, apresenta-se, como alternativa para facilitar o desenvolvimento ou modificação de linhas de manufatura, a aplicação de ferramentas de animação CAD 3D, que permite, além da visualização realista do protótipo desenvolvido, a simulação dinâmica do mesmo, sendo submetido à aceleração da gravidade e a outras forças que operam no sistema. Inclusive, possibilita conhecer variáveis como: posição, aceleração, forças resultantes,

velocidade, tempo. Com a integração entre o ambiente de animação CAD 3D e um Software de simulação a eventos discretos, em adição às funcionalidades citadas acima, pode-se também analisar a dinâmica de sistemas estocásticos.

Ademais, apresenta um mecanismo de integração híbrido entre o Software SED e um CLP de uma bancada didática pneumática. A importância desta aplicação está na viabilidade financeira, na segurança oferecida e na diminuição do tempo dispendido no desenvolvimento e nos testes de sistemas de controle.

Espera-se que o presente trabalho agregue conhecimentos aos testes e treinamentos em sistemas de controle utilizando modelos de simulação a eventos discretos, bem como na utilização de ambientes híbridos para a obtenção da eficiência nos testes com o mecanismo apresentado para integração de modelos de simulação discreta e simulação dinâmica.

1.3.1 Definição das palavras-chave para a pesquisa bibliométrica

Para realizar a busca de artigos em bases científicas, é necessário definir as palavras-chave que resultem em documentos mais adequados em relação ao contexto do tema proposto. Desse modo, como o trabalho aborda a simulação a eventos discretos combinada com sistemas dinâmicos, permitindo uma análise híbrida do sistema, foram utilizadas, na pesquisa, as palavras-chave *“hybrid and “discrete event simulation*” and “dynamic systems*”*.

Quanto ao mapeamento de documentos para embasar a busca por artigos sobre sistemas de controle integrados à simulação a eventos discretos para o comissionamento de plantas de manufatura em tempo real, os seguintes termos de pesquisa foram empregados: *“discrete event simulation*” and automation* and “real time”*; *“discrete event simulation*” and “manufacturing plants*”*; *“discrete event simulation*” and “programmable logic controllers*”*; *“discrete event simulation*” and emulation* and PLC; commissioning* and “programmable logic controllers*”*. Já para encontrar artigos sobre comissionamento de sistema de controle empregando a ferramenta CAD, foi utilizado o termo *“CAD and commissioning*”*.

Ainda, para encontrar documentos que abordam simulação a eventos discretos e sistemas controlados por controlador lógico programável (CLP) na era da

Indústria 4.0, foram utilizados os termos “*Indústria 4.0*” and “*discrete event simulation**” e “*Indústria 4.0*” and *PLC*.

Também foi feita uma busca por documentos que tratam da simulação discreta e contínua, por meio da utilização do termo “*discrete simulation*” and “*continuous simulation*”.

Na busca pelas palavras-chave, é importante utilizar as aspas quando estas envolvem duas ou mais palavras, por exemplo: na busca por *discrete event simulation* na base de pesquisa, quando as aspas não são utilizadas, seriam retornados documentos referentes a *discrete and event and simulation*, separadamente. Também é importante o emprego do asterisco, de forma a permitir que a base de pesquisa retorne documentos referentes à variação do termo utilizado na busca.

1.3.2 Bibliometria

1.3.2.1 Metodologia de seleção de artigos

O procedimento da pesquisa possui embasamento no modelo proposto por Costa (2010), denominado *Webibliomining*; Jesus e Costa (2015), com a nuvem de palavras que aparecem com maior frequência nos resumos dos artigos selecionados para análise; e Freitas e Costa (2017), com a descrição dos principais tópicos dos artigos selecionados para análise.

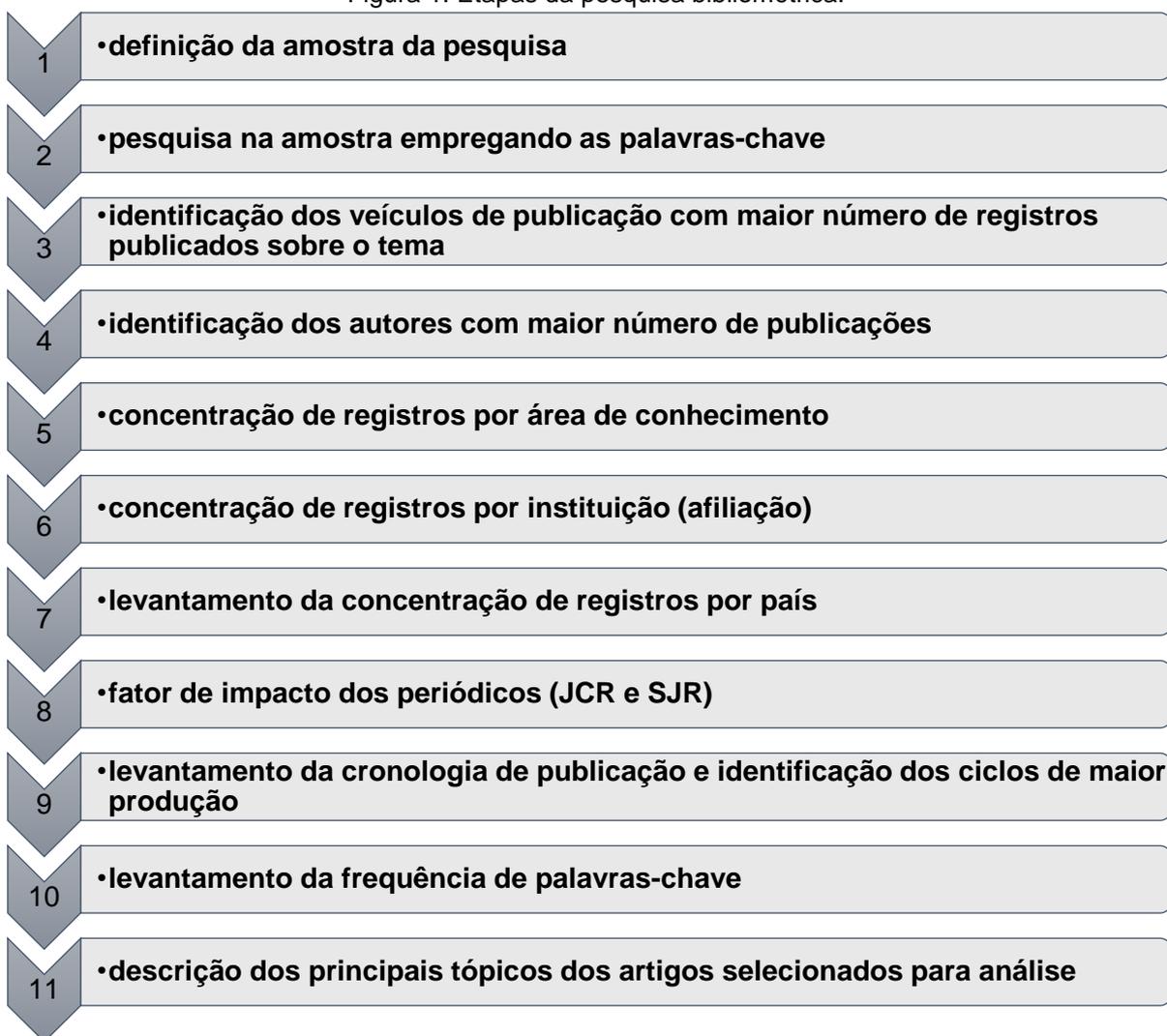
O modelo apresentado por Costa (2010), *Webibliomining*, tem como propósito oferecer suporte ao pesquisador, auxiliando no agrupamento inicial de referências bibliográficas, integrando conceitos de bibliometria e webmetria.

Com base nesse trabalho, o estudo prossegue com a execução das etapas descritas a seguir: definição da amostra da pesquisa; pesquisa na amostra empregando as palavras-chave; identificação dos veículos de publicação com maior número de registros publicados sobre o tema; identificação dos autores com maior número de publicações; e levantamento da cronologia de publicação e identificação dos ciclos de maior produção.

Além dessas etapas descritas por Costa (2010), foram realizados os seguintes levantamentos oferecidos pela base utilizada para pesquisa: concentração

de registros por área de conhecimento; concentração de registros por instituição; e levantamento da concentração de registros por país. Também são mostrados os fatores de impacto dos periódicos, o levantamento da frequência de palavras-chave apresentada por Jesus e Costa (2015) e a descrição dos principais tópicos dos artigos selecionados para análise, apresentada em Freitas e Costa (2017). Em resumo, a pesquisa foi estruturada conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1: Etapas da pesquisa bibliométrica.



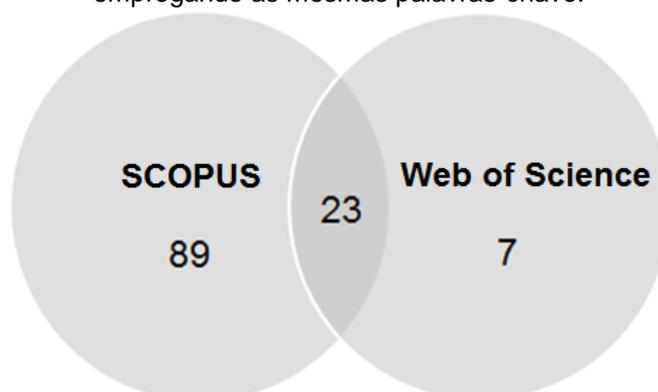
Fonte: Elaboração própria

1.3.2.2 Definição da amostra

A amostra investigada no presente estudo corresponde aos artigos indexados na base de pesquisa SCOPUS *Elsevier*. A seleção dessa base pode ser atribuída à sua representatividade e abrangência, conforme pode ser visto na Figura 2, que

mostra a quantidade de artigos retornados pela base SCOPUS *Elsevier* em relação ao número de artigos retornados pela base ISI *Web of Science*, empregando as mesmas palavras-chave, já citadas na seção 1.3.1.

Figura 2: Quantidade de artigos retornados pelas bases SCOPUS *Elsevier* e ISI *Web of Science* empregando as mesmas palavras-chave.



Fonte: Elaboração própria

Como pode ser visto na Figura 2, dos 30 artigos encontrados na base ISI *Web of Science*, 23 também estão indexados na SCOPUS *Elsevier*. Os sete artigos encontrados apenas na base ISI *Web of Science* foram analisados por meio da leitura dos resumos, mas nenhum documento dessa amostra apresentou aderência ao tema de pesquisa. Neves *et al.* (2015) também realizaram uma pesquisa nas bases SCOPUS *Elsevier* e ISI *Web of Science*. Os resultados mostraram que a base SCOPUS é mais abrangente em relação à base ISI *Web of Science*.

Assim, a pesquisa na base SCOPUS foi realizada contemplando registros de todos os anos disponíveis e considerou, inicialmente, todas as modalidades de documentos, tais como: artigos *on-line* e impresso, capítulo de livro, livro completo, nota, pesquisa curta, revisão, revisão de conferência e trabalho de conferência.

Quanto às buscas pelos termos de pesquisa selecionados, foram investigados em títulos, resumos e palavras-chave dos documentos. Não foi utilizado filtro para áreas de conhecimento. Já os idiomas de artigos investigados na base de pesquisa limitaram-se ao inglês e ao português. Quanto ao recorte temporal do presente estudo, a pesquisa ocorreu em setembro de 2017.

Os termos de pesquisa empregados na busca, bem como a quantidade de documentos retornados por modalidade, encontram-se no Quadro 1.

Quadro 1: Quantidade de documentos retornados pela busca das palavras-chave na base SCOPUS Elsevier distribuídos por modalidade de documento.

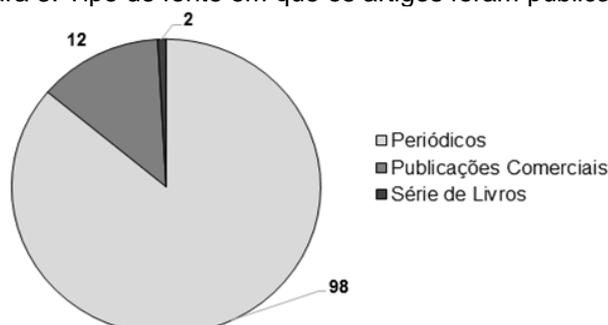
Termos de pesquisa	Quantidade de documentos								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
"discrete simulation" and "continuous simulation"	14	0	0	0	0	0	0	2	8
CAD and commissioning*	17	0	0	1	1	0	1	2	19
hybrid and "discrete event simulation*" and "dynamic systems**"	7	1	0	0	0	0	0	0	23
"discrete event simulation*" and automation* and "real time"	13	0	0	0	0	0	0	1	30
"discrete event simulation*" and "manufacturing plants**"	9	0	1	0	0	0	0	0	9
"discrete event simulation*" and "programmable logic controllers**"	17	0	0	0	0	0	0	2	46
"discrete event simulation*" and emulation* and PLC	1	0	0	0	0	0	0	0	2
commissioning* and "programmable logic controllers**"	35	0	0	0	1	1	4	1	65
"Indústria 4.0" and "discrete event simulation**"	1	0	0	0	0	0	0	0	2
"Indústria 4.0" and PLC	5	2	0	0	0	0	1	1	5
Total	119	3	1	1	2	1	6	9	209
("discrete event simulation*" and ("dynamic systems**" and hybrid) or (automation* and "real time") or "manufacturing plants**" or "programmable logic controllers**" or (emulation* and PLC) or "Indústria 4.0") or (commissioning* and (CAD or "programmable logic controllers**")) or ("Indústria 4.0" and PLC) or ("discrete simulation" and "continuous simulation")	112	3	1	1	2	2	6	6	199
(A) Artigo, (B) Artigo Impresso, (C) Capítulo de Livro, (D) Livro, (E) Nota, (F) Pesquisa Curta, (G) Revisão, (H) Revisão de Conferência, (I) Trabalho de Conferência									

Fonte: Adaptada de SCOPUS Elsevier (2017)

O Quadro 1 apresenta os termos selecionados para a pesquisa, bem como uma expressão que acopla estes termos, de forma a facilitar a pesquisa e a eliminar a duplicidade de documentos retornados na busca.

Dos registros retornados na pesquisa, apenas os artigos de periódicos são analisados neste estudo. Pode-se perceber que, na coluna que apresenta a relação de número de artigos, 119 registros foram encontrados quando a busca pelos termos foi realizada de forma isolada. Já quando a busca foi feita com os termos de forma conjunta, foram encontrados 112 artigos. Isto permite concluir que existem palavras-chave que retornam os mesmos documentos. Desses 112 artigos, apenas 98 foram publicados em periódicos, 12 correspondem a publicações comerciais e dois foram publicados em série de livros, como mostrado na Figura 3.

Figura 3: Tipo de fonte em que os artigos foram publicados.



Fonte: Adaptada de SCOPUS Elsevier (2017)

Desse modo, a investigação dos resumos com o propósito de selecionar artigos aderentes à pesquisa partiu dos artigos publicados em periódicos, isto é, dos 98 artigos. Após investigar esse quantitativo, foram selecionados apenas dez artigos para análise mais aprofundada.

1.3.2.3 Identificação dos veículos de publicação com maior número de registros

O Quadro 2 mostra a distribuição de registros encontrados na base SCOPUS *Elsevier* em relação aos títulos das fontes nas quais os documentos selecionados para análise foram publicados. Os títulos de veículos que possuem o mesmo número de registros foram organizados em ordem alfabética.

Quadro 2: Registros encontrados por veículo de publicação na base SCOPUS.

Título da fonte	N
<i>International Journal of Advanced Manufacturing Technology</i>	2
<i>Computer-Aided Design and Applications, Concurrent Engineering Research and Applications, IEEE Transactions on Human Machine Systems, IFAC Papers online, International Journal of Production Research, Journal of Computational Design and Engineering, Microelectronics Journal, Robotics and Computer Integrated Manufacturing</i>	1
N: Número de registros indexados na base de pesquisa	

Fonte: Adaptada de SCOPUS *Elsevier* (2017)

O veículo de publicação que apresentou maior número de artigos indexados com aderência ao tema proposto foi o periódico *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, com dois artigos. Os demais veículos de publicação apresentaram um documento associado ao assunto.

1.3.2.4 Identificação dos autores com maior número de publicação

Nesta seção, é apresentada a distribuição de artigos quanto à autoria e à coautoria referente à amostra de artigos selecionados para análise. Essa distribuição é mostrada em ordem decrescente de quantidade de publicações e, para os autores com mesmo número de publicações, a ordenação é alfabética. Na busca, os autores e coautores foram tratados de igual forma. O Quadro 3 mostra a distribuição de autores e coautores dos artigos selecionados para análise.

Quadro 3: Distribuição de registros quanto à autoria e à coautoria.

Autor	N	Autor	N	Autor	N
Park, S. C.	3	Choi, J. J.	1	Pichard, R.	1
Ko, M.	2	Flores, E.	1	Quezada, J. C.	1
Abid, M.	1	Guerrero, L. V.	1	Quezada, V.	1
Aboulhamid, E. M.	1	Hutabarat, W.	1	Riera, B.	1
Ahn, E.	1	Lee, C.G.	1	Seck Tuoh, J. C.	1
Ben Rabah, N.	1	López, V. V.	1	Solís, A.E.	1
Bouchhima, F.	1	Medina, J.	1	Soundararajan, K.	1
Brennan, R. W.	1	Mejía, J. E.	1	Tiwari, A.	1
Carre-Menetrier, V.	1	Nicolescu, G.	1	Turner, C.J.	1
Chang, M.	1	Oyekan, J.	1	Uzam, M.	1

N: Número de artigos indexados na base de pesquisa

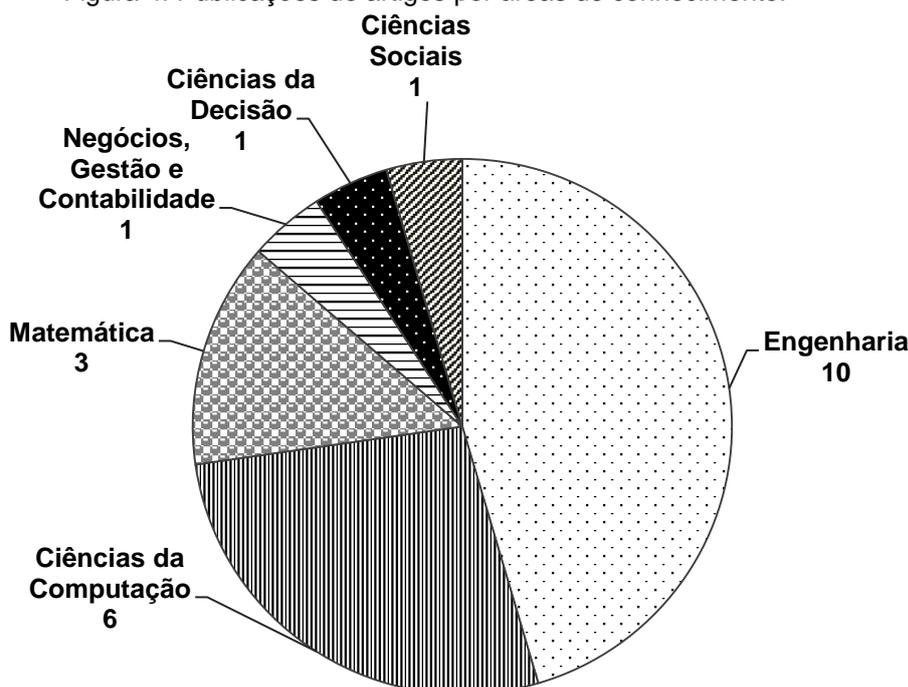
Fonte: Adaptada de SCOPUS Elsevier (2017)

Como destacado no Quadro 3, os autores que mais publicaram sobre o tema, com base na amostra selecionada neste estudo, foram: Sang Chul Park, com três artigos aderentes ao tema, e Minsuk Ko, com dois artigos. Os demais autores possuem apenas um artigo aderente ao tema proposto.

1.3.2.5 Levantamento da concentração de registros por área de conhecimento

A Figura 4 apresenta a distribuição de documentos publicados por área de conhecimento em que os artigos selecionados para análise estão inseridos.

Figura 4: Publicações de artigos por áreas de conhecimento.



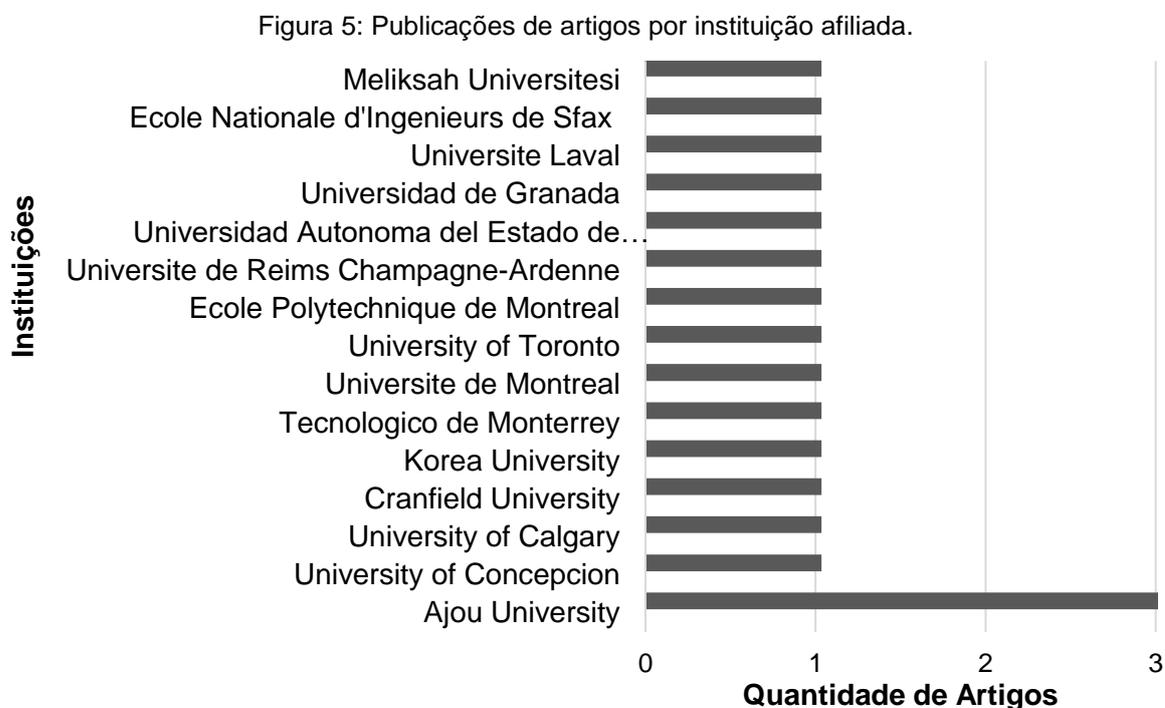
Fonte: Adaptada de SCOPUS Elsevier (2017)

Conforme dados mostrados na Figura acima, pode-se verificar que a maior concentração de documentos corresponde à área de Engenharia, com dez registros, seguida por Ciências da Computação, com seis documentos, e Matemática, com três registros. Já Negócios, Gestão e Contabilidade, Ciências da Decisão e Ciências Sociais apresentaram apenas um documento associado ao assunto abordado. Pode-se destacar que todos os artigos analisados pertencem à área de Engenharia.

O somatório dos artigos presentes nas áreas de conhecimento corresponde a 22 registros. Tendo em vista que apenas dez artigos foram selecionados para análise, pode-se afirmar que existem artigos pertencentes a mais de uma área de conhecimento.

1.3.2.6 Levantamento da concentração de registros por instituição

A Figura 5 mostra dados referentes à distribuição de registros por instituições afiliadas, isto é, entidades às quais os autores e coautores dos artigos selecionados na busca pertencem.



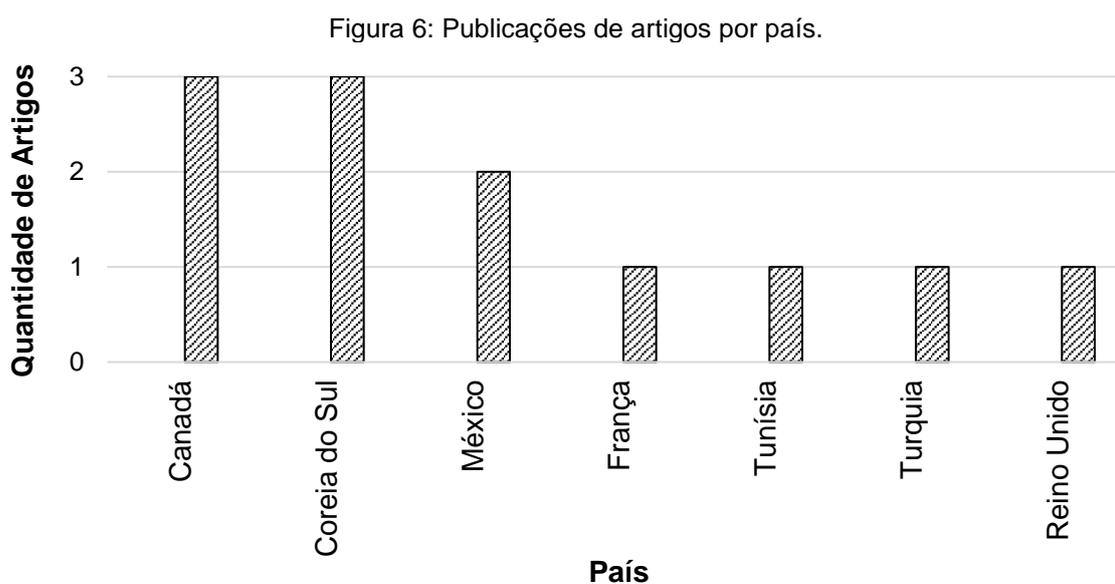
Fonte: Adaptada de SCOPUS Elsevier (2017)

Com base na Figura 5, a instituição com maior número de registros publicados foi *Ajou University*, na Coreia do Sul, com três artigos indexados sobre o

tema de pesquisa. As instituições *University of Concepción, University of Calgary, Cranfield University, Korea University, Monterrey Institute, Université de Montréal, University of Toronto, Polytechnique Montréal, Université of Reims Champagne-Ardenne, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Universidad de Granada, Université Laval; Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax e Meliksah Üniversitesi* apresentaram um artigo indexado referente ao tema do presente estudo.

1.3.2.7 Levantamento da concentração de registros por país

A Figura 6 apresenta os registros indexados na base de pesquisa por país, referentes aos documentos da amostra selecionada, tais foram: Canadá, Coreia do Sul, França, México, Reino Unido, Tunísia e Turquia.



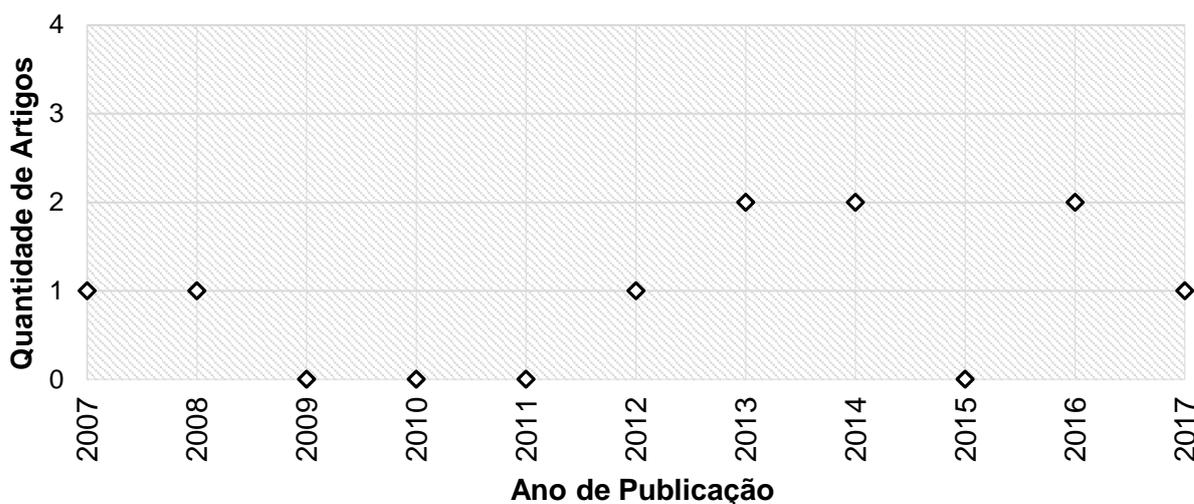
Fonte: Adaptada de SCOPUS Elsevier (2017)

Como pode ser visto na Figura 6, os países com maior número de documentos publicados foram Canadá e Coreia do Sul, com três artigos indexados na base, seguidos pelo México, com dois artigos publicados, e França, Tunísia, Turquia e Reino Unido, com um artigo.

1.3.2.8 Levantamento da cronologia da produção e identificação dos ciclos de maior produção

A Figura 7 apresenta a cronologia de publicação de artigos referente aos registros selecionados para análise. Assim, é exposto o horizonte de tempo identificado na amostra selecionada, isto é, de 2007 a 2017.

Figura 7: Quantidade de artigos publicados em relação ao ano.



Fonte: Adaptada de SCOPUS Elsevier (2017)

Os ciclos de maior produção referentes aos artigos selecionados para análise correspondem aos anos de 2013, 2014 e 2016, contendo dois documentos aderentes ao tema nesses períodos.

O artigo mais antigo encontrado na base SCOPUS, em inglês, sobre simulação a eventos discretos é de 1968, publicado no periódico *Simulation*, com o título “*The Statistics of Discrete-Event Simulation*” de George Fishman e Philip Kiviat. Já, em português, o artigo de periódico mais antigo sobre simulação a eventos discretos encontrado na base SCOPUS é de 2009, publicado na revista brasileira *Gestão e Produção*. O artigo, com o título “Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistemas de operações de serviços”, tem como autores Nelson Sakurada e Dario Ikuo Miyake. Esta pesquisa foi feita na base SCOPUS Elsevier, utilizando apenas o termo “*discrete event simulation*”. Os filtros empregados na busca compreenderam o tipo de documento e o idioma, sendo limitada a artigos de periódicos e aos idiomas inglês e português.

1.3.2.9 Levantamento do fator de impacto dos periódicos

O Quadro 4 apresenta os fatores de impacto dos periódicos nos quais os artigos selecionados para análise foram publicados, bem como as editoras correspondentes. Esses fatores mostrados correspondem ao *Journal Citation Reports* (JCR), que avalia periódicos indexados na base ISI Web of Science, editado pela Thomson Reuters. Além do JCR das revistas, é apresentado o *Cites per documents 2 years*, encontrado na plataforma *Scimago Journal & Country Rank*. Essa plataforma inclui indicadores científicos desenvolvidos a partir de informações contidas no banco de dados da SCOPUS, pertencente à Elsevier.

O principal fator de impacto apresentado na base *Scimago Journal & Country Rank* é o do *Scimago Journal Rank* (SJR). No entanto, para que os valores dos fatores de impacto fossem correspondentes, foi usado o cálculo dos dois últimos anos de publicação das revistas (*Cites per documents 2 years*), semelhante ao JCR.

Conforme dados mostrados no Quadro 4, dos dez artigos selecionados para análise, quatro foram publicados pela editora *Elsevier*, dois foram publicados pela *Springer*; dois, pela *Taylor Francis Online*; um, pela *IEEE*; e um, pela *Sage Journals*. Quanto aos fatores de impacto, a Equação 1 mostra como é feito o cálculo do JCR, que é semelhante ao cálculo do *Cites per documents 2 years*:

Equação 1: Exemplo do cálculo do JCR referente a 2016.

$$\text{JCR (2016)} = \left(\frac{\text{N}^\circ \text{ citações (2015)} + \text{N}^\circ \text{ citações (2014)}}{\text{N}^\circ \text{ publicações (2015)} + \text{N}^\circ \text{ publicações (2014)}} \right)$$

Fonte: Adaptada de *ISI Web of Science*

Por meio do emprego da Equação 1, pode-se determinar o valor do JCR para 2016, que corresponde à divisão do total de citações de artigos da revista para os anos de 2015 e 2014, pelo total de publicações de artigos no periódico em 2015 e 2014. Este cálculo pode ser encontrado na base de pesquisa *ISI Web of Science*, acessada por meio do portal de periódicos Capes.

O fator de impacto referente ao periódico *Journal of Computational Design and Engineering* não foi encontrado, como pode ser visto no Quadro 4.

Quadro 4: Fator de Impacto e editor dos veículos de publicação nos quais os artigos seleccionados para análise foram indexados.

Autor/Ano	Título	Veículo de publicação	Cites per doc 2 years	JCR	Editora
Quezada et al. (2017)	<i>Simulation and Validation of Diagram Ladder—Petri Nets</i>	<i>International Journal of Advanced Manufacturing Technology</i>	2,120	2,209	 Springer
Turner et al. (2016)	<i>Discrete Event Simulation and Virtual Reality Use in Industry: New Opportunities and Future Trends</i>	<i>IEEE Transactions on Human-Machine Systems</i>	3,5	2,493	 IEEE
Pichard et al. (2016)	<i>CSP Solver for Safe CLP Controller: Application to Manufacturing Systems</i>	<i>IFAC-PapersOnLine</i>	0,53	-	ELSEVIER
Lee e Park (2014)	<i>Survey on the Virtual Commissioning of Manufacturing Systems</i>	<i>Journal of Computational Design and Engineering</i>	-	-	ELSEVIER
Guerrero et al. (2014)	<i>Virtual Commissioning with Process Simulation (Tecnomatix)</i>	<i>Computer-Aided Design and Applications</i>	0,54	-	 Taylor & Francis Online
Ko et al. (2013)	<i>A Concurrent Design Methodology of a Production System for Virtual Commissioning</i>	<i>Concurrent Engineering Research and Applications</i>	1,33	-	 SAGE journals
Ko et al. (2012)	<i>New Modelling Formalism for Control Programs of Flexible Manufacturing Systems</i>	<i>International Journal of Production Research</i>	2,52	2,325	 Taylor & Francis Online
Uzam (2012)	<i>A General Technique for the CLP-Based Implementation of RW Supervisors with Time Delay Functions</i>	<i>International Journal of Advanced Manufacturing Technology</i>	2,120	2,209	 Springer
Soundararajan e Brennan (2008)	<i>Design Patterns for Real-Time Distributed Control System Benchmarking</i>	<i>Robotics and Computer-Integrated Manufacturing</i>	3,35	-	ELSEVIER
Bouchhima et al. (2007)	<i>Generic Discrete-Continuous Simulation Model for Accurate Validation in Heterogeneous Systems Design</i>	<i>Microelectronics Journal</i>	1,42	-	ELSEVIER

JCR: Journal Citation Reports

Fonte: Elaboração própria

1.3.2.10 Levantamento da frequência de palavras-chave

Jesus e Costa (2015) apresentaram a ilustração da nuvem de palavras que aparecem com maior frequência nos resumos dos artigos selecionados para análise, obtida por meio do emprego do *Wordle*. A Figura 8 mostra os resultados provenientes da aplicação do método utilizado pelos referidos autores.

Figura 8: Palavras-chave mais frequentes nos artigos selecionados para análise.



Fonte: Feinberg (2014)

As palavras que aparecem com maior frequência nos resumos dos artigos são apresentadas em destaque na Figura 8, tais como: *control*, *PLC*, *DES*, *simulation*, *commissioning*, *model*, entre outras. Desse modo, pode-se afirmar que as palavras mostradas na Figura 8 revelaram convergência com o tema abordado no presente estudo.

1.3.2.11 Principais tópicos dos artigos selecionados para análise

O Quadro 5 apresenta os principais tópicos dos artigos aderentes ao tema do presente estudo, como proposto por Freitas e Costa (2017).

Quadro 5: Principais tópicos dos artigos selecionados para análise.

Autor/ano	Principais abordagens
Quezada <i>et al.</i> (2017)	Validação de um algoritmo de controle de CLP por meio da utilização de SED
Turner <i>et al.</i> (2016)	Análise da combinação de SED e realidade virtual em tempo real na Indústria 4.0
Pichard <i>et al.</i> (2016)	Abordagem de síntese de controle seguro para sistemas de eventos discretos
Lee e Park (2014)	Identificação de problemas na aplicação da tecnologia de comissionamento virtual para sistemas de fabricação automatizados
Guerrero <i>et al.</i> (2014)	Validação de um código de controle com o emprego de um modelo virtual em CAD
Ko <i>et al.</i> (2013)	Aplicação de comissionamento virtual para design de um sistema de produção
Ko <i>et al.</i> (2012)	Design e implementação de sistemas flexíveis de manufatura controlados por CLPs.
Uzam M. (2012)	Design de sistemas de eventos discretos controlados por CLP.
Soundararajan e Brennan (2008)	Descrição do design de desenvolvimento de uma interface de simulação para sistema de controle distribuído em tempo real
Bouchhima <i>et al.</i> (2007)	Integração de modelos contínuos e discretos, para validação de sistemas complexos e implementação de um modelo para co-simulação empregando os Softwares Simulink e ModelSim

Fonte: Elaboração própria

1.3.2.12 Conclusão da bibliometria

A pesquisa bibliométrica na base SCOPUS alcançou o seu objetivo principal: auxiliar no agrupamento inicial de referências bibliográficas. Por meio desta, foram selecionados dez trabalhos aderentes ao tema abordado neste estudo. O trabalho de Quezada *et al.* (2017) e Pichard *et al.* (2016), por exemplo, abordou a utilização da ferramenta SED para a validação de algoritmos de controle de CLP e síntese de controle seguro. Já Turner *et al.* (2016) mostraram uma combinação de SED e realidade virtual na nova era da industrialização, a Indústria 4.0.

Ko *et al.* (2013), por sua vez, apresentaram a aplicação de comissionamento virtual para design de um sistema de produção, enquanto Lee e Park (2014) abordaram a identificação de problemas na aplicação desta tecnologia em sistemas de fabricação automatizados. Guerrero *et al.* (2014) aplicaram a ferramenta CAD para validação de código de controle.

Ko *et al.* (2012) e Uzam (2012) abordaram o design de sistemas de eventos discretos controlados por CLP. Já Soundararajan e Brennan (2008) descreveram o design de desenvolvimento de uma interface de simulação para sistema de controle

distribuído em tempo real. Bouchhima *et al.* (2007), por sua vez, integraram modelos contínuos e discretos para validação de sistemas complexos e implementação de um modelo para co-simulação.

Em conclusão, os referidos trabalhos desempenharam um importante papel, construindo uma base conceitual inicial.

1.3.3 Questões de pesquisa

Nesse contexto, as seguintes questões de pesquisa foram elaboradas:

- É possível comissionar uma linha de produção antes de implementar a planta física utilizando o Software Ururau?
- Pode-se, por meio da simulação dinâmica em Softwares de projetos mecânicos, testar o funcionamento de um dado elemento do sistema, de forma a propiciar a otimização de modelos no Software Ururau?
- O Software Ururau apresenta vantagens e desvantagens em relação ao seu uso?

1.4 Método de pesquisa do trabalho

Para Miguel (2017), a relevância metodológica de um trabalho pode ser justificada pela necessidade de embasamento científico adequado, caracterizado pela verificação da melhor abordagem de pesquisa a ser empregada para endereçar as questões da pesquisa, bem como seus respectivos métodos e técnicas para seu planejamento. O resultado é o desenvolvimento de trabalhos melhor estruturados, que permitem a replicação e o aperfeiçoamento por outros pesquisadores, com o propósito de desenvolvimento da teoria, por meio de seu refinamento, ou mesmo, da proposição de novas teorias, auxiliando na geração de conhecimento.

Prodanov e Freitas (2013) abordaram que uma metodologia em um nível aplicado examina, descreve e avalia métodos e técnicas de pesquisa, que permitem a coleta e o processamento de informações, com o propósito de solucionar problemas e questões de investigação. Para os autores, os tipos de pesquisa científica podem ser classificados quanto à sua natureza, sendo básica ou aplicada. Quanto aos objetivos, a pesquisa científica pode ser classificada como exploratória,

descritiva ou explicativa. Em relação às abordagens, pode ser quantitativa ou qualitativa. Já, no que se refere aos procedimentos da pesquisa, estes podem ser de natureza: documental, bibliográfica, experimental, *ex-post-facto*, levantamento, estudo de campo ou estudo de caso.

O Quadro 6 mostra as considerações relacionadas à pesquisa científica citadas no parágrafo anterior.

Quadro 6: Classificação de pesquisa e suas características.

Quanto à natureza	Aplicada	Objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, direcionados à resolução de problemas específicos.
	Básica	Tem o propósito de gerar novos conhecimentos, relevantes para o avanço da ciência e sem previsão de aplicação prática.
Quanto aos objetivos	Explicativa	Objetiva identificar fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência de fenômenos e explicar o motivo mediante os resultados obtidos.
	Exploratória	Tem a finalidade de explicitar o problema ou construir hipóteses.
	Descritiva	Tem o propósito de descrever fatos e fenômenos de determinada realidade.
Quanto às abordagens	Qualitativa	Considera que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números.
	Quantitativa	Considera que tudo pode ser quantificável, o que significa traduzir em números opiniões e informações para classificá-las e analisá-las. Esta abordagem requer o uso de recursos e de técnicas estatísticas.
Quanto aos procedimentos	Bibliográfica	Baseado em material já elaborado.
	Experimental	Verificar a relação entre variáveis.
	Documental	Material que não recebeu tratamento analítico ou que pode ser reelaborado – efeitos de variável – formas de controle.
	<i>Ex-Post-Facto</i>	Quando o “experimento” se realiza depois dos fatos. A pesquisa <i>ex-post-facto</i> analisa situações que se desenvolveram naturalmente após algum acontecimento.
	Levantamento	Conhecer o comportamento por interrogação direta - levantamento - um grupo ou uma comunidade - estudo aprofundado de um ou poucos objetos.
	Estudo de campo	Consiste na observação de fatos e fenômenos tal como ocorrem espontaneamente, na coleta de dados a eles referentes e no registro de variáveis que presumimos relevantes para analisá-los.
	Estudo de caso	O estudo de caso possui uma metodologia de pesquisa classificada como aplicada, na qual se busca a aplicação prática de conhecimentos para a solução de problemas sociais.

Fonte: Adaptada de Prodanov e Freitas (2013)

Com base nas informações mostradas no Quadro 6, esta pesquisa pode ser classificada como sendo de natureza aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, de modo a promover a resolução de problemas específicos. Em relação ao objetivo, pode ser classificado como exploratório, com a finalidade de

explicitar o problema ou construir hipóteses, com uso de técnicas matemáticas e computacionais. O presente trabalho tem uma abordagem quantitativa, pois requer o uso de recursos e de técnicas estatísticas. Quanto ao procedimento de pesquisa, é experimental, visto que verifica a relação entre variáveis do problema.

Por meio de uma visão mais aprofundada sobre os métodos quantitativos, Bertrand e Fransoo (2002) classificam a pesquisa em quatro tipos, apresentados no Quadro 7.

Quadro 7: Classificação de pesquisa científica quantitativa.

Classificação	Descrição
Empírica Descritiva	O foco do pesquisador consiste no desenvolvimento de modelos que descrevem as relações casuais dos sistemas reais com o objetivo de compreender os processos modelados
Empírica Normativa	O pesquisador está voltado para o desenvolvimento de novas estratégias, ações e/ou políticas para aprimorar sistemas reais
Axiomática Descritiva	O pesquisador está focado em desenvolver modelos conceituais e explicar suas características
Axiomática Normativa	O pesquisador desenvolve estratégias, ações e/ou políticas capazes de melhorar resultados encontrados na literatura

Fonte: Adaptada de Bertrand e Fransoo (2002)

Desse modo, esta pesquisa pode ser classificada como Empírica Descritiva, visto que o presente estudo emprega um mecanismo que permite compreender o funcionamento de sistemas reais por meio de modelos.

1.5 Delimitações do trabalho

O escopo da dissertação delimita-se a um ambiente de simulação discreta integrado a um ambiente de simulação dinâmica, de forma a permitir uma análise híbrida de uma planta típica de manufatura, por meio da comunicação de alto nível entre os Softwares de simulação dinâmica e discreta. O protótipo CAD 3D construído para a simulação dinâmica não foi implementado em uma planta real.

Além disso, esta pesquisa abrange um ambiente de simulação discreta de um Software de código aberto e livre de custos, integrado a um sistema de controle por meio de uma interface de comunicação OLE *for process control* (OPC). *Object Linking and Embedding* (OLE) é um sistema de objetos distribuídos e um protocolo. Para testar o sistema de controle também é utilizada uma bancada didática pneumática, composta por um CLP.

Na realização dos testes, foram empregados o comissionamento virtual, o comissionamento híbrido e o comissionamento tradicional. Não se estendeu a outros tipos de comissionamento, tal como *Reality in the Loop (RIL)*, que envolve a planta real e um sistema de controle virtual.

1.6 Estrutura do trabalho

O presente trabalho é estruturado em cinco capítulos, conforme descrito abaixo:

- **Capítulo 1:** apresenta a contextualização do tema abordado, os objetivos (geral e específicos) do trabalho, as justificativas para o desenvolvimento do deste trabalho, a busca de artigos para compor a base conceitual; mostra as questões que devem ser respondidas pela presente discussão, o método de pesquisa do trabalho, a delimitação e a estrutura empregada para o desenvolvimento do presente estudo.
- **Capítulo 2:** apresenta o referencial teórico, contendo as definições e características de tópicos essenciais para o desenvolvimento do trabalho, tais como: Indústria 4.0, Simulação a Eventos Discretos, Modelagem Conceitual, Verificação e Validação de Modelos, Softwares de Simulação a Eventos Discretos, Comissionamento de Sistemas de Controle, Aplicações de CAD em SED e Comissionamento de Sistemas de Controle. Ainda neste capítulo, é apresentado o estado da arte, considerando artigos de 2008 a 2017 referentes ao tema da presente discussão. Por fim, é apresentada a caracterização de simulação e emulação.
- **Capítulo 3:** apresenta a metodologia de simulação proposta, os equipamentos e Softwares de simulação empregados para desenvolvimento dos testes, o mecanismo de integração entre o Software SED e o Software de modelagem CAD 3D; aborda considerações sobre sistemas de controle; descreve o sistema empregado para exemplificar o mecanismo de integração do Software SED e o Software de modelagem mecânica; e, por fim, descreve os cenários de comissionamento de sistemas de controle empregados.
- **Capítulo 4:** mostra o modelo conceitual e de simulação desenvolvidos, o modelo CAD 3D (modelo mecânico) usado na integração com o modelo SED,

o modelo de emulação, o sistema de controle em *Ladder* utilizado na integração entre o modelo SED e o CLP, os parâmetros de rodada dos modelos, os experimentos simulados e a análise dos resultados.

- **Capítulo 5:** apresenta as conclusões sobre o trabalho, as limitações do trabalho, sugestões para trabalhos futuros e produções originadas no trabalho.

A síntese da estrutura do trabalho pode ser vista no Apêndice A, construída com base no trabalho de Paixão (2014).

CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Referencial Teórico

2.1.1 Indústria 4.0

Os avanços das tecnologias da informação, segundo Khan e Turowski (2016) têm provocado intensas mudanças nos sistemas de produção industrial. Essas mudanças possibilitam que as empresas atendam às necessidades de seus clientes de diferentes maneiras, aplicando novos modelos de negócios para agregar valor ao produto, por meio de sistemas de produção inteligentes e de alta performance.

Penas *et al.* (2017) acrescentaram que a internet transformou o modo como as pesquisas e estudos são realizados e a forma como as empresas e os serviços são organizados, culminando em uma nova arquitetura de interação na rede empresarial. Além disso, as exigências dos clientes também foram impactadas. De acordo com uma pesquisa realizada pela *Aberdeen Group Benchmark*, sobre as necessidades industriais atuais, os clientes desejam produtos com melhor qualidade e viabilidade, e cada vez mais produtos "inteligentes" e inovadores com maior valor agregado.

Desse modo, a cooperação entre diferentes fábricas é um fator importante nas atividades da nova estrutura industrial. As redes de comunicações desempenham um importante papel neste contexto, já que o propósito é conectar e integrar indústrias tradicionais, de modo a aumentar a flexibilidade, a adaptação e a eficiência da comunicação entre produtores e consumidores (LI *et al.*, 2015).

O Quadro 8 mostra o período e as características das quatro revoluções industriais.

Quadro 8: Período e características das revoluções industriais.

Revoluções Industriais	Período	Características
Primeira Revolução Industrial	Século XVIII (1784)	Mecânica (hidrelétrica)
Segunda Revolução Industrial	Século XIX (1870)	Eletricidade - correia transportadora Produção em massa (Ford)
Terceira Revolução Industrial	Século XX (1960)	Unidades programáveis (mecatrônica) Tecnologia da Informação e Comunicação (computadores)
Quarta Revolução Industrial	Século XXI (20XX)	Evolução dos sistemas existentes Sistemas Ciberfísicos (inteligentes)

Fonte: Adaptada de Khan e Turowski (2016)

Como descrito no Quadro 8, a quarta revolução industrial envolve a evolução dos sistemas já existentes, bem como a intensificação de Sistemas Ciberfísicos (*Cyber-Physical Systems* - CPS) aplicados na indústria. As tecnologias de informação são amplamente empregadas e podem fornecer soluções eficazes para enfrentar os desafios oferecidos à indústria de manufatura. Aproveitar essas tecnologias para aumentar a competitividade na indústria tornou-se uma tendência proeminente em todo o mundo (LIU; XU, 2017).

Harrison *et al.* (2016) acrescentaram que o propósito das fábricas inteligentes é monitorar processos físicos por um modelo virtual que imita o sistema físico e toma decisões descentralizadas, por meio da aplicação do CPS. Segundo Turner *et al.* (2016), tais fábricas são compostas por máquinas inteligentes, conectadas em redes de reposição de dados e tecnologias integradas, que fornecem às linhas de produção mais flexibilidade no processo de fabricação para atender à demanda do consumidor.

O Quadro 9 mostra os principais componentes envolvidos na Indústria 4.0, bem como suas entidades.

Quadro 9: Principais componentes e entidades da Indústria 4.0.

Principais componentes	Entidades
Aplicação	Cidade inteligente, usuários, fábricas inteligentes e serviços inteligentes
Nuvem	<i>Cloud big data</i> , bases de dados, servidores e mineração de dados
Redes	Redes celulares, redes com fio e redes sem fio
Dispositivos	Máquinas, robôs, dispositivos móveis e veículo guiado automaticamente (<i>Automated Guided Vehicles</i> - AGVs)

Fonte: Adaptada de Li *et al.* (2015)

Para Li *et al.* (2015), as tecnologias avançadas de informação e comunicação oferecem vias para utilizar a base de dados por meio da melhoria da ligação em rede, para organização eficiente dos dados de produção e da capacidade de controle do chão de fábrica em tempo real, tais como nuvens e redes sem fio. Devido ao desenvolvimento de CPS, o controle automático de processos é cada vez mais importante. Desse modo, Grundstein *et al.* (2017) apresentaram o controle de produção, utilizando simulação a eventos discretos, integrando tarefas de controle para atender às datas de vencimento de entrega do produto. A SED desempenha um importante papel no aprimoramento de projetos, sendo utilizada de forma ampla na Indústria 4.0.

2.1.2 Simulação a eventos discretos

O leiaute de instalações está associado à definição do arranjo de máquinas, departamentos e células no chão de fábrica. A medida de desempenho mais importante para avaliar a eficiência de um leiaute é o custo de manuseio de materiais (*Material Handling Costs* - MHC), concentrando cerca de 20% a 50% das despesas operacionais totais na fabricação. O projeto de um leiaute eficiente das instalações poderia reduzir esses custos de 10% a 30%. Tendo isso em vista, o fluxo de materiais e a distância entre máquinas influenciam diretamente na receita das empresas. Em muitas fábricas, têm sido empregados os veículos guiados automatizados (*Automated Guided Vehicles* - AGVs), com o propósito de agilizar o processo de manuseio desses materiais, já que os tempos de ciclo mais curtos se tornaram muito importantes nos sistemas de manufatura, devido às exigências dos consumidores (AZIMI; SOOFI, 2017).

Nesse sentido, desde a década de 1950, a simulação tem sido empregada para aprimorar os projetos de sistemas complexos, permitindo economizar tempo e recursos mediante a realização de experimentos antes de construir o sistema físico. O modelo de simulação pode ser aplicado para avaliar vários cenários alternativos, com a finalidade de selecionar o projeto que alcança o melhor desempenho. Portanto, o modelo de simulação fornece estimativas confiáveis, que podem ser aplicadas como base para os tomadores de decisão. No entanto, as pesquisas no

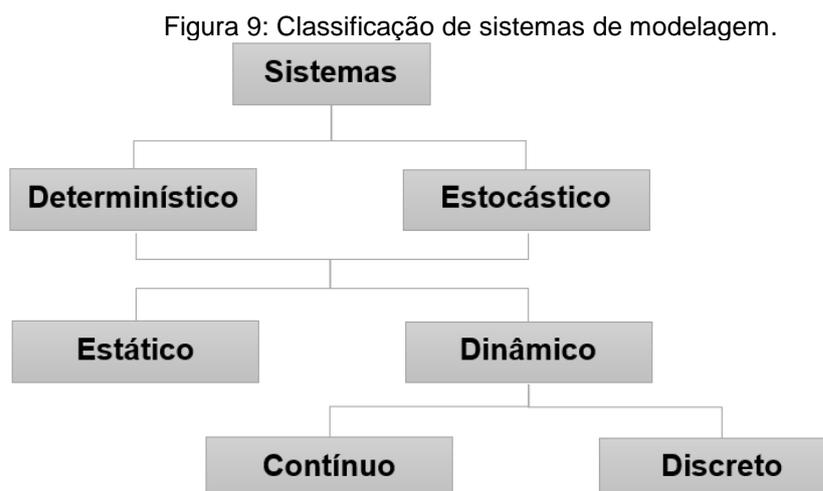
campo de simulação e otimização ainda necessitam de avanços para tornarem-se adequadas no apoio e controle de decisões na era da Indústria 4.0 (XU *et al.*, 2016).

Dessa forma, Ingalls (2001) descreveu a simulação a eventos discretos como uma ferramenta poderosa se compreendida e empregada de forma correta. Carson (2003) acrescentou que a SED é útil tanto na análise de novos sistemas como para modernizar os que já existem e propor alterações no funcionamento. Seus componentes estruturais incluem entidades/atributos, atividades, eventos, recursos, variáveis globais, gerador de números aleatórios, calendário, variáveis de estado do sistema e coletores estatísticos.

Banks (2000) abordou que a simulação permite a identificação de problemas, gargalos e deficiências existentes em um projeto antes de sua concepção, ou mesmo modificação. Além disso, possibilita a comparação de várias alternativas, parâmetros e configurações do projeto e funcionamento de operações, podendo evitar o comprometimento de recursos e investimentos.

Chwif e Medina (2014) descreveram a simulação a eventos discretos como aquela em que as mudanças no estado das variáveis ocorrem em pontos discretos do tempo, por meio da ocorrência de um evento.

A Figura 9 apresenta a classificação de sistemas de modelagem em um diagrama de árvore.



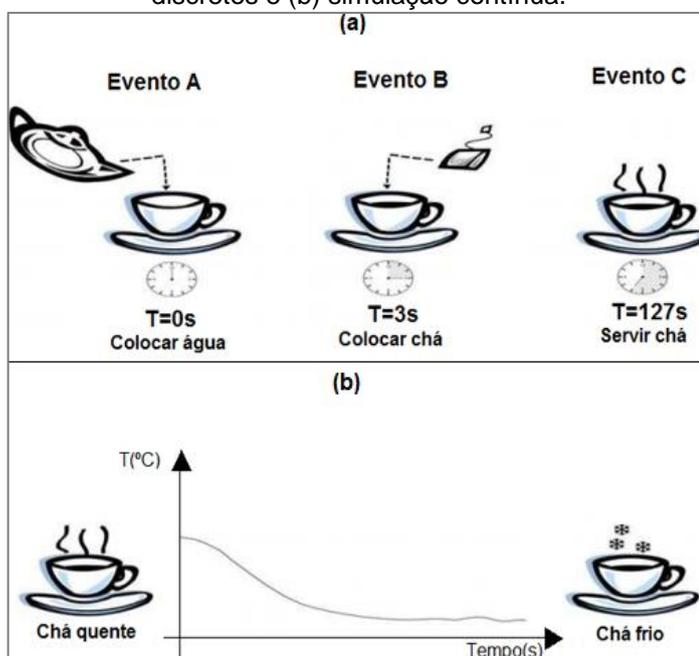
Fonte: Leemis e Park (2006)

Como mostrado na Figura 9, pode-se dizer que um sistema de modelagem pode ser determinístico ou estocástico, estático ou dinâmico, contínuo ou discreto (LEEMIS; PARK, 2006).

As mudanças dentro do processo podem ser consideradas como estocástica ou determinística dependendo do fenômeno. Os eventos estocásticos não são planejados e podem acontecer em qualquer tempo, como falha no equipamento. Por outro lado, eventos determinísticos são planejados e agendados, como: pausas, turnos e manutenção que visam manter um processo produtivo confiável (ASBJÖRNSSON *et al.*, 2016).

A Figura 10 apresenta uma comparação entre simulação a eventos discretos e simulação contínua.

Figura 10: Comparação entre simulação discreta e simulação contínua: (a) simulação a eventos discretos e (b) simulação contínua.

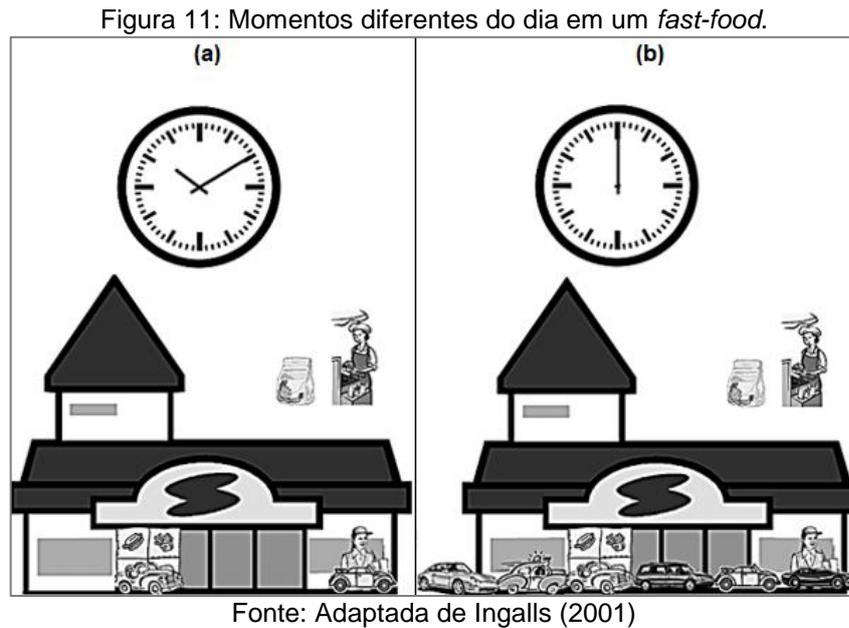


Fonte: Chwif e Medina (2014)

A Figura 10, na parte “a”, mostra como exemplo de simulação a eventos discretos, as operações necessárias para a preparação e o consumo de uma xícara de chá, compostas pelos eventos A, B e C. Já para exemplificar a simulação contínua, é mostrada na parte “b” da Figura 10 a diminuição da temperatura do chá ao longo do tempo. Desse modo, a simulação contínua abrange variáveis de estado que evoluem continuamente, como: uma movimentação de partículas em um campo gravitacional, um pêndulo oscilante ou um bloco deslizando sobre um plano inclinado. Em cada um desses casos, o movimento é caracterizado por uma ou mais equações diferenciais, que modelam a evolução do tempo contínuo do sistema. Em contrapartida, os tipos de sistemas de enfileiramento e reparação de máquinas são

classificados como eventos discretos, pois o estado do sistema é uma função constante do tempo (LEEMIS; PARK, 2006).

A Figura 11, partes “a” e “b”, mostra a variação da fila de um fast-food em dois momentos específicos de um dia de funcionamento, permitindo notar a diferença no fluxo de carros em espera.



Carson (2003) apresenta situações em que o uso da simulação se faz necessário:

- Quando não existe um modelo analítico simples, uma planilha ou um cálculo para analisar a situação;
- Quando o sistema real é regularizado, ou seja, não é caótico. Os componentes do sistema permitem ser definidos e caracterizados;
- Quando o sistema real tem algum nível de complexidade, interdependência ou interação com vários componentes quando o modelo é extenso, dificultando a compreensão na sua totalidade;
- No projeto de um novo sistema, considerando alterações no leiaute físico ou regras de operação em um sistema existente, ou mesmo no suprimento de novas demandas;
- Quando deseja-se investir em um sistema existente, e representar a sua modificação, principalmente quando o projetista não dispõe de experiência no âmbito estudado, e, portanto, enfrenta riscos consideráveis;

- Quando é necessário o uso de ferramentas em que todas as pessoas concordam com um conjunto de suposições, possibilitando a visualização dos resultados e efeitos desses pressupostos, de forma que todos tenham um entendimento comum;
- Em sistemas de grande escala física, nos quais a simulação com animação pode ser a melhor maneira de a maioria dos participantes compreender o processo.

White e Ingalls (2015) abordaram que modelos são abstrações simplificadas, que comportam apenas o escopo e o detalhamento necessários para a aplicação pretendida. Esses modelos são empregados quando a investigação do sistema real é impraticável, requer altos gastos, é lenta ou insegura.

Carson (2003), por sua vez, descreveu o modelo de simulação como uma amostra descritiva de um sistema ou processo. Segundo o autor, o modelo de simulação inclui parâmetros que permitem a representação de diferentes configurações do sistema, tais como: a quantidade de trabalhadores em uma estação de trabalho, velocidade de operação de uma máquina ou veículo, características de temporização de um transportador e outras. Um modelo de simulação é uma representação que incorpora mudanças que ocorrem ao longo do tempo. Um modelo discreto, por sua vez, sofre variações apenas em momentos específicos do tempo, chamados tempos de eventos. Quando ocorre um evento, este pode desencadear novos eventos, atividades e processos.

Um modelo deve ser suficiente para responder às perguntas que objetivam ser respondidas. O acréscimo à complexidade do problema pode ocasionar aumento de custos de projeto e prejudicar o entendimento do processo (CHWIF; MEDINA, 2014).

Banks e Chwif (2010) destacaram que, para evitar erros prejudiciais ao modelo, é preciso selecionar corretamente a função distributiva. Algumas dessas funções encontram-se listadas e descritas a seguir:

- Exponencial: fácil de usar, pois possui apenas um parâmetro; além disso, contém propriedades matemáticas mais simples, que resultam em equações de estado estacionário, simples para calcular medidas de desempenho;
- Uniforme: a distribuição uniforme não acontece na prática. Sua popularidade se deve a Geoffrey Gordon, que a inseriu como a única distribuição em

Propósito Geral de Sistemas de Simulação (*General Purpose Simulation System-GPSS*);

- Normal: empregada na modelagem de sistemas de manufatura e manuseio de materiais. Além disso, ao assumir que uma distribuição é normal, pode ocorrer a geração de um tempo negativo;
- Triangular: usa-se frequentemente a distribuição triangular na ausência de dados, principalmente no início de uma simulação, para modelar o tempo de processo. O principal problema com essa distribuição encontra-se no fato de ser limitada.

2.1.3 Simulação dinâmica

As técnicas de simulação são empregadas para modelar e comparar o desempenho de um sistema entre várias alternativas. Contudo, essas técnicas possuem diferentes abordagens. A SED, por exemplo, é adequada para problemas em que as variáveis mudam em um tempo discreto e pode ser aplicada para analisar sistemas de filas. Enquanto a simulação dinâmica é destinada a compreender a ampla performance de sistemas. Esta simulação não se concentra em atributos específicos e entidades individuais no sistema, como ocorre na SED, mas na estrutura causal, contornos de feedback, responsável pelo desempenho do sistema (Hoad; Kunc, 2018).

Para Asbjörnsson *et al.* (2016), a combinação de simulação a eventos discretos e simulação dinâmica é essencial para avaliar o conjunto produtivo. A simulação dinâmica possibilita expor discrepâncias no design de unidades, operações anormais e outras deficiências, enquanto a simulação a eventos discretos permite identificar subutilização de equipamentos, por exemplo.

A simulação dinâmica ajuda a reduzir a necessidade de prototipagem física, diminuindo o tempo de desenvolvimento do produto e reduzindo o custo; pode ser empregada no planejamento de montagem, análise de ergonomia e aplicações em teste. Modelos CAD 3D são amplamente utilizados na realização de simulação dinâmica, em que o desempenho computacional das simulações depende do número e da complexidade dos recursos geométricos presentes no modelo CAD. Os modelos CAD são usados em praticamente todos os domínios do ciclo de vida do

produto, tais como: design, fabricação, análise e manutenção (THAKUR, *et al.*; 2009).

2.1.4 Modelagem conceitual

De acordo com Robinson (2008), a modelagem conceitual consiste no processo de abstração de um sistema real, sendo esta etapa a mais relevante em um projeto de simulação. Para o autor, um modelo bem projetado influencia no sucesso da simulação proposta. As atividades necessárias para a construção do modelo conceitual de um sistema são: compreender a situação do problema; determinar a modelagem e definir os objetivos gerais do projeto; identificar as implicações do modelo (respostas); reconhecer as entradas do modelo (fatores experimentais); e determinar o conteúdo do modelo (escopo e nível de detalhe), detectando suposições e simplificações.

Embora a modelagem conceitual seja uma das etapas mais significativas no processo de modelagem da simulação a eventos discretos, esse estágio merece maior atenção na condução de projetos práticos. Podem-se encontrar muitas vantagens em desenvolver um modelo conceitual, tais como: diminuição do índice de retrabalho, a disponibilidade de documentação para análise pós-simulação, auditoria, revisão, e a possibilidade de que o modelo poderá ser implementado por outros pesquisadores (CHWIF *et al.*, 2013).

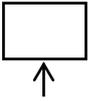
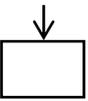
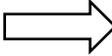
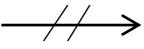
Segundo Montevechi *et al.* (2010), o modelo conceitual é uma descrição independente do modelo computacional que será construído. O modelo conceitual permite guiar a etapa de coleta de dados, de forma a definir os pontos nos quais se faz necessária a coleta, bem como para acelerar o processo de elaboração do modelo computacional. Os autores abordam ainda que, dentre as atividades envolvidas em um projeto de simulação, a modelagem conceitual é a que recebe a menor atenção, e, desse modo, não é bem compreendida. No entanto, quando a modelagem é realizada por profissionais experientes, ocupa uma maior parcela de tempo em projetos de simulação.

Uma das técnicas empregadas na modelagem conceitual é a IDEF-SIM, que tem como característica principal representar a identidade da sua lógica de aplicação com a lógica usada na simulação de eventos discretos. A utilização da

técnica IDEF-SIM não assegura o registro de todas as informações exigidas pelo modelo computacional, apesar de esta linguagem ter sido desenvolvida com foco na simulação. A linguagem IDEF-SIM usa símbolos de IDEF0, IDEF3 e fluxograma, mas dentro de uma lógica que contempla a simulação (MONTEVECHI *et al.*, 2010).

O Quadro 10 apresenta os elementos utilizados na construção de modelos conceituais.

Quadro 10: Elementos usados na modelagem conceitual.

Elementos	Simbologia	Técnica de origem
Entidades		IDEF3
Funções		IDEF0
Fluxo de entidades		IDEF0 e IDEF3
Recursos		IDEF0
Controles		IDEF0
Regras para fluxos paralelos e/ou alternativos	 Regra E	IDEF3
	 Regra OU	
	 Regra E\OU	
Movimentação		Fluxograma
Informação explicativa		IDEF0 e IDEF3
Fluxo de entrada no sistema modelado		-
Ponto final do sistema		-
Conexão com outra figura		-

Fonte: Montevechi *et al.* (2010)

2.1.5 Verificação e validação de modelos

De acordo com Sargent (2013), a verificação do modelo pode ser descrita como a implementação correta do modelo de simulação. Já a validação pode ser definida como a fundamentação de um modelo dentro do seu domínio, de forma que

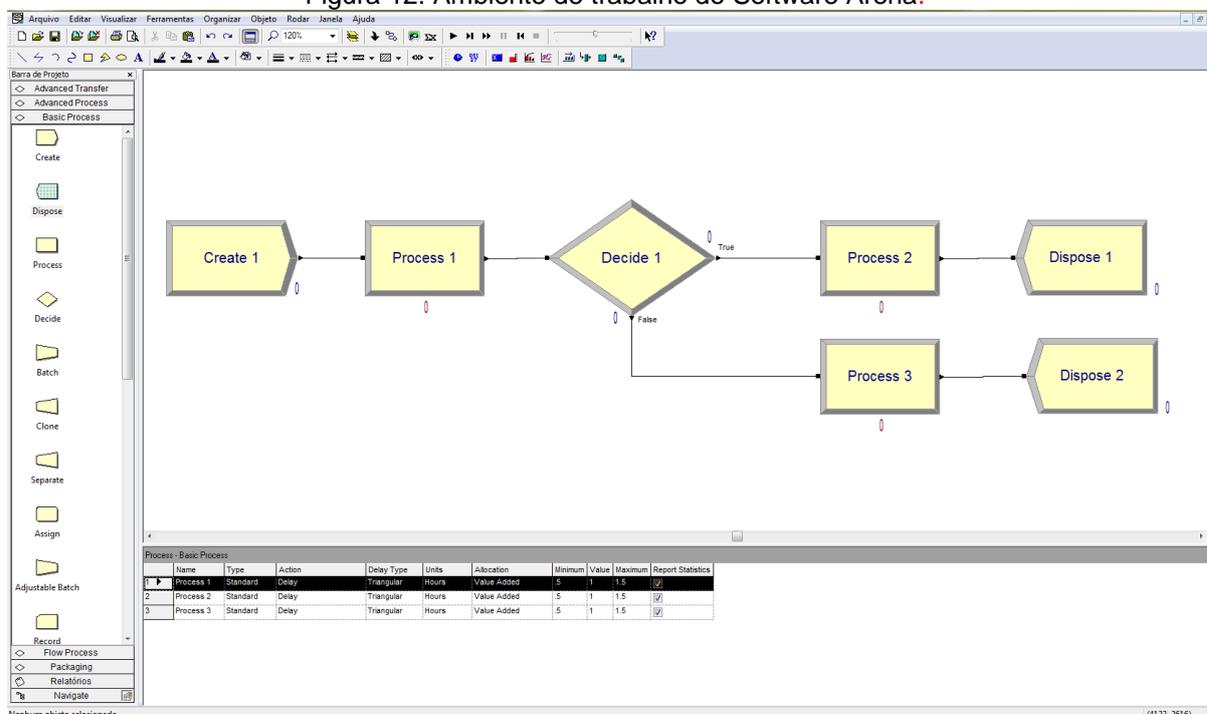
sua aplicabilidade alcance precisão satisfatória e coerência com o emprego pretendido.

Já para Law e Kelton (2007), a validação de um modelo consiste em oferecer-lhe credibilidade, de forma a determinar se a simulação de tal modelo descreve precisamente o comportamento do sistema real. O nível de dificuldade do processo de validação depende da complexidade do sistema modelado. Uma vez que a validação do modelo é alcançada, ele pode funcionar como ferramenta para tomada de decisões.

2.1.6 Softwares de simulação a eventos discretos

O Software Arena é um ambiente de simulação a eventos discretos que foi desenvolvido pela empresa *Rockwell Automation*, sendo um ambiente gráfico de simulação que contém recursos para modelagem e simulação de diversos processos, além de animação gráfica dos modelos (LAURINDO *et al.*, 2013). A Figura 12 mostra o ambiente gráfico de simulação do Software.

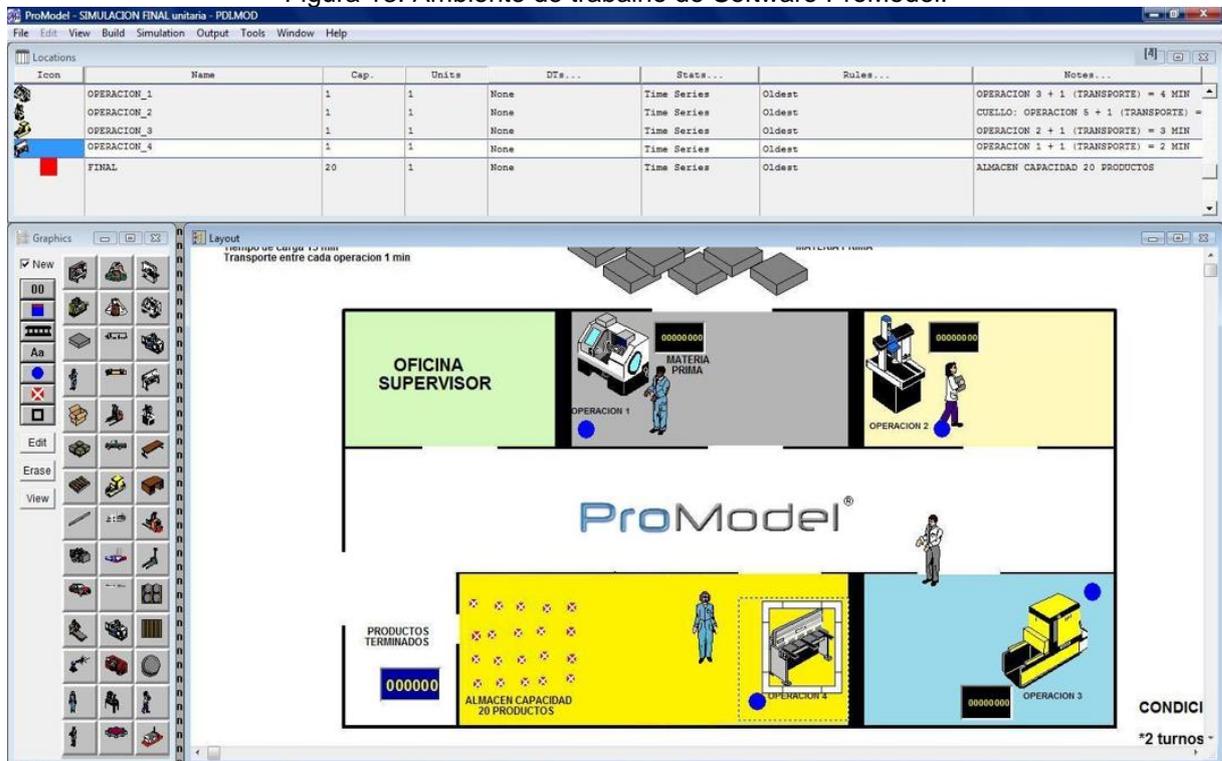
Figura 12: Ambiente de trabalho do Software Arena.



Fonte: Elaboração própria

O ProModel também é um Software de simulação de eventos discretos que auxilia na tomada de decisões de forma rápida. Este ambiente de simulação é aplicado no planejamento, projeção e aprimoramento de processos de manufatura novos ou já existentes, logística, serviços e outros sistemas estratégicos, táticos ou operacionais. O ProModel permite reproduzir a complexidade de processos reais, mantendo a variabilidade e interdependências, que resultam em grandes análises e mudanças, otimizando sistemas e melhorando indicadores. (BELGE ENGENHARIA E SISTEMAS, 2015). A Figura 13 mostra o ambiente gráfico de simulação do Software ProModel.

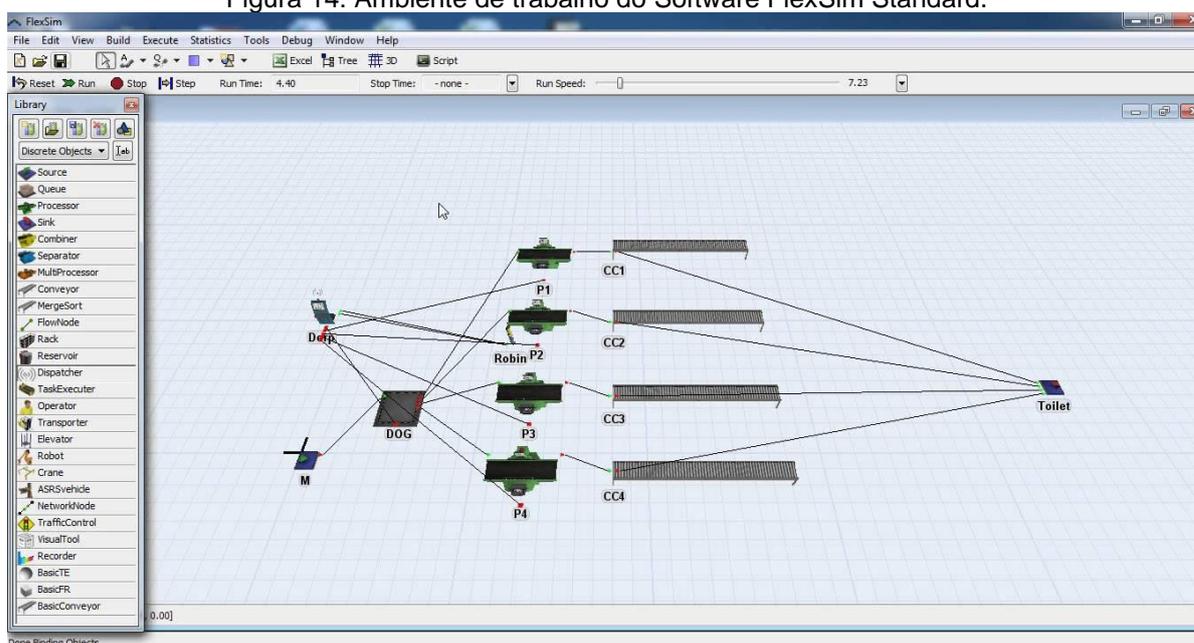
Figura 13: Ambiente de trabalho do Software ProModel.



Fonte: Belge Engenharia e Sistemas (2015)

O FlexSim Standard é um Software de simulação a eventos discretos, assim como o ARENA e o ProModel, que fornece ao usuário facilidade no uso, melhoria de performance e recursos em 3D (FLEXSIM SOFTWARE PRODUCTS, 2015). A Figura 14 mostra o ambiente gráfico de simulação do FlexSim.

Figura 14: Ambiente de trabalho do Software FlexSim Standard.



Fonte: Flexsim Software Products (2015)

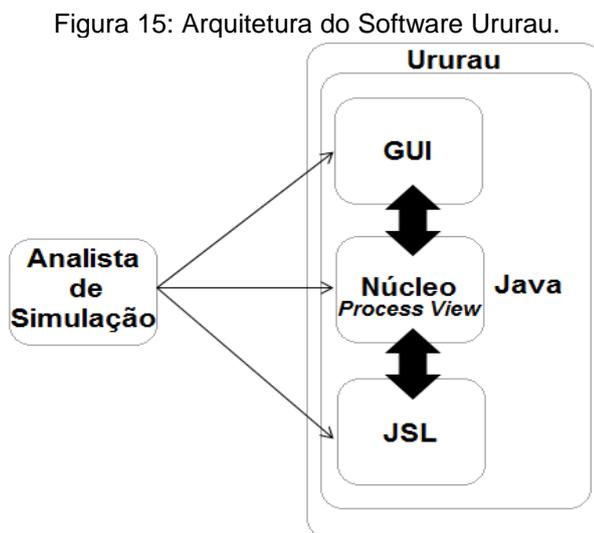
Para Peixoto *et al.* (2014), existem muitos benefícios na utilização de Softwares de simulação comerciais. No entanto, para projetos de pequenos modelos, Rangel e Nascimento (2014) abordaram que o emprego de simuladores gratuitos e de código aberto pode ser uma alternativa viável financeiramente.

O Ururau, conforme Peixoto *et al.* (2017), é um Software de SED que possui o código aberto e livre (*Free and Open-Source Software - FOSS*), o qual funciona como uma espécie de laboratório, onde diferentes pesquisadores podem utilizá-lo para analisar sistemas complexos e testar diferentes funções a serem empregadas em sistemas avançados de simulação. O Software Ururau pode ser acessado livremente por meio do link: <https://ururau.ucam-campos.br/>. Nesse endereço, podem ser visualizados vídeos tutoriais e outros recursos para auxiliar os usuários interessados em utilizá-lo. As características do Ururau são descritas a seguir:

Em todas as camadas, foi utilizada a linguagem Java. A camada superior é a GUI (*Graphic User Interface*). Esta camada de Software trata da conversão do modelo gráfico, que é composto por um grafo dirigido, para uma sequência de comandos do núcleo do Ururau. A camada intermediária é o núcleo do Software. Esta camada é composta por comandos de processo como criação de entidades, prender recurso (*Seize*), atraso de tempo (*Delay*), liberar recurso (*Release*), dentre outros comandos típicos em Softwares de SED. Já a biblioteca JSL (*Java Simulation Library*) fica na parte inferior do Software. Esta camada inferior, então, converte o modelo, que é composto por uma série de comandos de processo para uma sequência de eventos discretos a serem executados durante a simulação. Os resultados da simulação da camada mais inferior e erros são

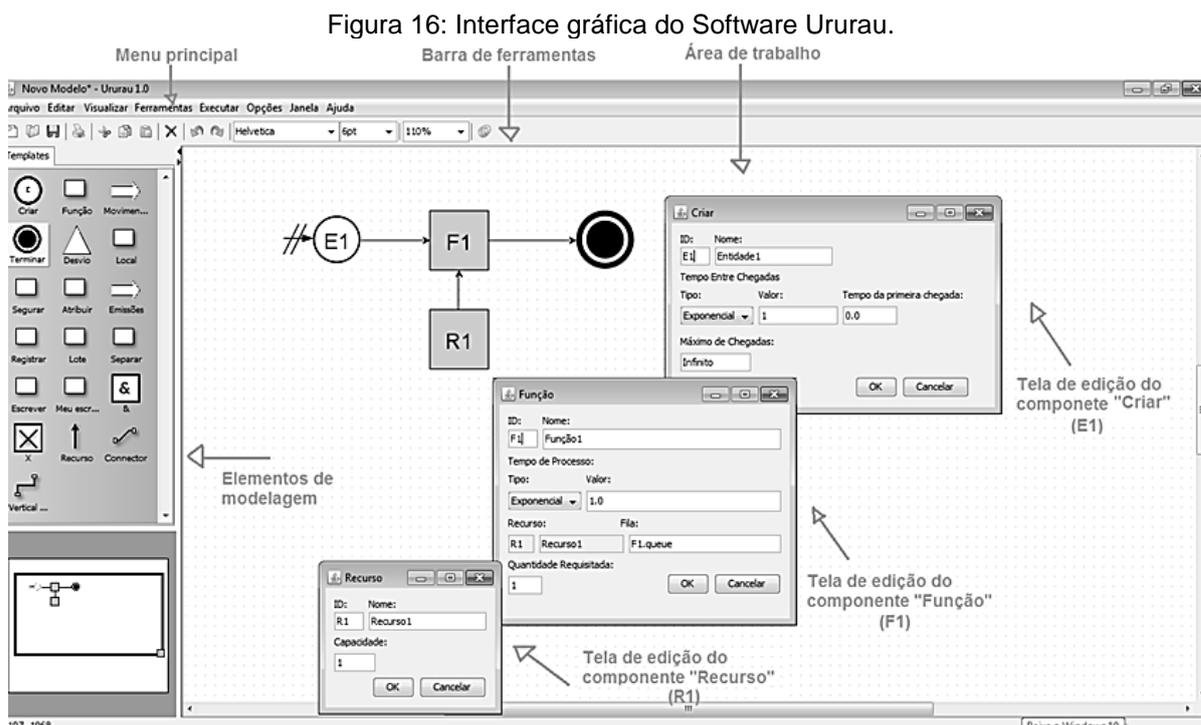
repassados para a camada intermediária, que por sua vez repassa para GUI (Peixoto *et al.*, 2013).

A Figura 15 mostra a arquitetura do Software Ururau, apresentando as camadas que a compõe.



Fonte: Peixoto *et al.* (2013)

A Figura 16 apresenta a interface gráfica do Software Ururau, sendo a camada mais alta do Software.



Fonte: Elaboração própria

De acordo com Cardoso *et al.* (2013), para a construção do modelo de simulação no ambiente Ururau, mostrado na Figura 16, o modelador necessita apenas arrastar e soltar com o mouse os elementos de modelagem para o ambiente de trabalho do Software, conforme a lógica do sistema em análise. Em seguida, o módulo é editado, clicando com o botão direito sobre o mesmo para abri-lo. Na edição da caixa, os dados do modelo podem ser inseridos, como os tempos de eventos, as regras de funcionamento do sistema, entre outras funções.

A vantagem de utilizar o Ururau é que, por ser um Software de código livre e aberto, permite a exploração da arquitetura interna de um ambiente de simulação discreta e suas características construtivas. Desse modo, outros pesquisadores e desenvolvedores de modelos de simulação podem compreender o mecanismo desenvolvido e replicá-lo em ambientes computacionais distintos, de forma semelhante. Além disso, o Ururau permite a execução de modelos de simulação até cinco vezes mais rápida do que os Softwares Arena® e ProModel®, e apresenta resultados equivalentes a esses Softwares comerciais (PEIXOTO, *et al.* 2013).

Como desvantagem, pode-se destacar que Softwares comerciais, a exemplo o Arena, possuem um código mais robusto se comparado ao Ururau, visto que o Arena está há muito tempo no mercado (DAGKAKIS; HEAVEY, 2015).

2.1.7 Comissionamento de sistemas de controle

Com a grande expansão de serviços de internet, a indústria da automação se beneficia dos padrões de recuperação de dados e reage às respostas do sistema de qualquer parte do mundo. Desta forma, elementos distintos de um dado sistema, tais como plantas, sensores e controladores, geralmente são conectados por uma rede de comunicação global com fio ou compartilhamento sem fio (RAHMANI, 2016).

A automação industrial também desempenha um papel importante na gestão e na produção de receitas, planejamento e programação de atividades de controle. Isso se deve ao fato de que a síntese manual de procedimentos operacionais despense um tempo significativo, além de estar propenso a erros. Os controladores lógicos programáveis são a principal ferramenta utilizada na indústria da automação, os quais têm a função de controlar dispositivos e células de fabricação (VISWANATHAN *et al.*, 1998).

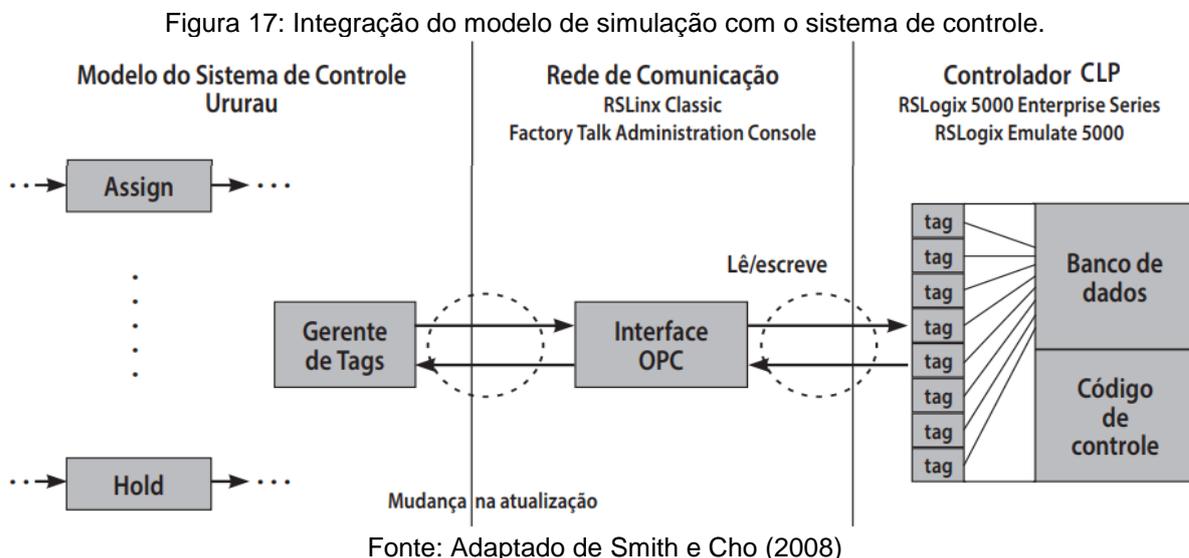
Os CLPs permitem controlar um sistema devido a uma memória programável que recebe instruções a serem repassadas para as máquinas responsáveis pelo processo industrial, de modo que executem os comandos programados. Com a evolução, hoje o CLP é capaz de executar sequenciamento, temporização, contagem, energização/desenergização e manipulação de dados, entre outras funções. Os CLPs podem ser programados por meio de computadores, e são adequados para os ambientes industriais, possuindo linguagem simples (GOEKING, 2010).

Para os sistemas de controle de processos contínuos, é possível, em alguns casos, o uso de geradores de sinal para testar o comportamento e a dinâmica do processo. Porém, no sistema de fabricação, esta tarefa não envolve testar, apenas, ligações físicas dos componentes e avaliar os sinais. Sendo necessário avaliar o comportamento do sistema em várias situações, dificultando, assim, a realização de testes com a simulação de sinais de entrada de um gerador de sinal convencional. Além disso, a espera da conclusão do novo sistema para, em seguida, executar os testes, pode ser um caminho longo e gerar altos custos e riscos (Cardoso *et al.*, 2013).

Tendo isso em vista, o emprego de modelos de simulação para testar sistemas de controle apresenta-se como uma alternativa viável, visto que podem ser controlados de modo similar a um sistema real. Esta é uma importante ferramenta, pois permite identificar as melhores condições de funcionamento de um sistema, diminuindo os custos e os riscos. A análise de sistemas de controle pode auxiliar na tomada de decisões em linhas de produção, como quando entidades se acumulam em uma fila, gerando gargalo em um determinado processo. Assim, deve-se mudar o arranjo de modo a eliminar o acúmulo de entidades (INUKAY, 2007).

Auinger *et al.* (1999) afirmaram que como os sistemas de manufatura e automação industrial cresceram em complexidade, existe uma necessidade de suporte de um Software de controle. *Soft-commissioning* e *Reality in the Loop (RIL)* são duas abordagens que, segundo os autores, propiciam a interação de modelos de simulação com entidades do “mundo real”, possibilitando ao analista testar o comportamento de um sistema, antes de ser completamente construído. Desse modo, além de viabilizar o desenvolvimento de sistemas de controle de forma rápida e flexível, com segurança para os operadores e máquinas no local de teste, reduz os custos.

A Figura 17 mostra uma estrutura de integração do modelo de simulação com o sistema de controle.

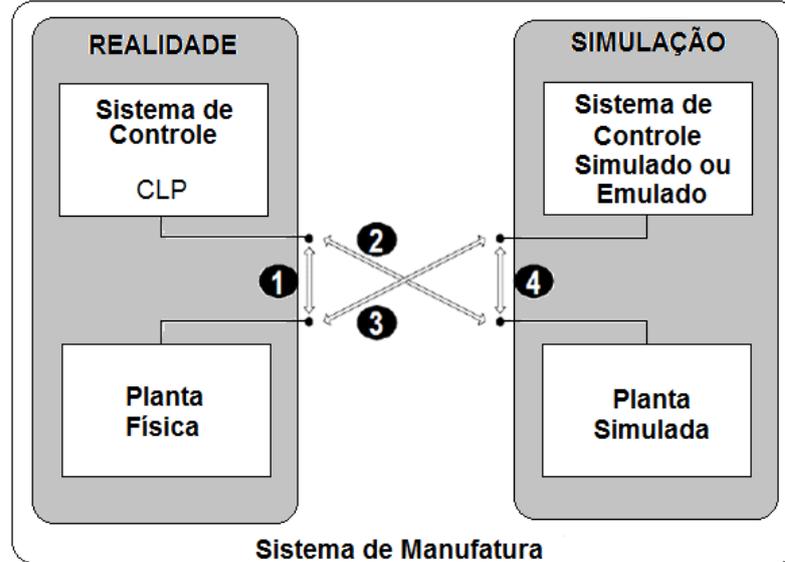


Conforme Smith e Cho (2008), a implementação do mecanismo entre o modelo de simulação e o sistema de controle, mostrado na Figura 17, permite testar a função mecânica do sistema de controle antes da etapa de comissionamento tradicional, isto é, antes da planta ser construída. Ao adotar Softwares de comissionamento, o controlador CLP fica ligado à simulação ao invés de a um hardware, garantindo um ambiente mais seguro e menos dispendioso no momento do teste. Indo mais além, usando *soft-commissioning*, os sistemas de controle podem ser testados de forma mais eficaz e flexível, como já abordado por Auinger *et al.* (1999).

De acordo com Johnstone *et al.* (2007), por meio do uso do servidor OPC, é possível realizar a comunicação entre computadores e CLPs. Essa interface de comunicação permite testar sistemas de controle com um modelo emulado em alta velocidade e volume.

A Figura 18 mostra as formas pelas quais o comissionamento pode ser executado.

Figura 18: Formas de realizar o comissionamento de sistemas.



Fonte: Auinger *et al.* (1999)

A seta 1 mostra o comissionamento tradicional, que é realizado entre a planta real e o controlador real. A seta 2, por sua vez, representa o *soft-commissioning*, mediante a utilização de uma planta simulada e o controlador real. Já a seta 3, que utiliza um controle simulado e uma planta real, representa o *Reality in the Loop*; isso possibilita ao modelo adquirir maior realismo. A seta 4 representa o comissionamento *off-line*, por meio da integração entre um controle simulado e uma planta simulada (AUINGER *et al.*, 1999).

Para Hofmann *et al.* (2017), no processo de planejamento de fábrica, o comissionamento virtual é realizado antes do comissionamento físico (tradicional), isto é, antes do sistema físico ser instalado. O comissionamento virtual pode ser definido como teste de uma lógica de controle com um modelo de simulação que está conectado a um controle real ou virtual.

Mewes e Wegener (2009) mencionam os benefícios do comissionamento virtual em relação ao comissionamento tradicional, tais são: a independência do sistema físico e do tempo de instalação; a descoberta de erros de projeto e planejamento antes de construir o sistema físico; o encurtamento do comissionamento tradicional; a simulação específica de cenários de falha; o teste de melhorias durante o funcionamento do sistema físico já existente; a execução mais rápida de programas de teste e um aumento do número de cenários de teste; e o desenvolvimento de controle simplificado por feedback direto do sistema virtual.

Além dos métodos já citados de comissionamento, existe o comissionamento híbrido, que aumenta a eficiência do comissionamento, ou seja, reduz os custos e a possibilidade de danos. O comissionamento híbrido inicia com a simulação completa da planta. Em seguida, componentes específicos da planta simulada são substituídos por partes “reais” (DOMINKA *et al.*, 2007).

2.1.8 Aplicações de CAD em SED e comissionamento de sistemas de controle

Para Lindskog *et al.* (2016) e Gironimo *et al.* (2015), o desenvolvimento de sistemas de produção é uma tarefa complexa. Para tanto, deve-se buscar estratégias que facilitem a implementação desses sistemas, tais como o emprego de CAD 3D. Essa ferramenta é usada para auxiliar na análise e na avaliação de mudanças antes da construção do sistema, permitindo identificar e prevenir erros de design. Rekapalli e Martinez (2011) e Woo *et al.* (2014) empregaram recursos de animação integrados a um modelo de simulação discreta. Os autores mostraram como a interatividade de tais ferramentas acopladas a modelos SED pode facilitar o processo de validação de modelos, de modo a obter a sua credibilidade.

Os recursos CAD também são amplamente aplicados no comissionamento de linhas de produção, para oferecer suporte no teste de sistemas de controle, como mostrado nos trabalhos de Guerrero *et al.* (2014), Lee e Park (2014) e Ko *et al.* (2013), por exemplo. Este último apresentou um procedimento de design de sistema de produção com o uso de um controlador real e uma planta virtual para testar o sistema de controle antes de sua implementação em equipamentos físicos. Já Lee e Park (2014) destacaram que os benefícios de tal aplicação envolvem a redução dos esforços de depuração e de correção antes da etapa de comissionamento real, visto que permite conhecer o funcionamento do sistema, antes de ser concebido.

Após a validação do programa de CLP no ambiente virtual, Guerrero *et al.* (2014) realizaram o comissionamento real (tradicional) do sistema; a lógica de controle desenvolvida foi transferida para o sistema físico e nele testada. A conexão entre o processo físico, hardware CLP, e o ambiente virtual foi possível devido ao emprego do servidor OPC, que realizou a comunicação entre eles.

Seppanen (2000) apresentou um tutorial avançado de transferência de dados entre o Excel® e o Arena, e afirmou que as mesmas técnicas podem ser aplicadas

para comunicar dados de simulação com uma ampla gama de ferramentas suportadas pelo *Visual Basic for Applications* (VBA), tais como: Access®, AutoCAD® e Visio®. A aplicação de sistemas de modelos SED com o Software Autocad foi feita por Zhang *et al.* (2010). Segundo os autores, os *outputs* gerados pela simulação geralmente são mostrados em tabelas e gráficos estatísticos, que não são fáceis de entender como um modelo 3D. Ao integrar modelos 3D com outras ferramentas de gerenciamento, os tomadores de decisão podem ter acesso a outras informações. De acordo com os autores, a visualização 3D auxilia na detecção de deficiências antes da fase de construção. No desenvolvimento do mecanismo de integração, foi utilizada uma interface de programação de aplicativo (*Application Programming Interface* - API) para a importação de dados gráficos e a codificação do algoritmo de renderização.

A integração entre o Software AutoCAD e um modelo SED também foi apresentada por Xu *et al.* (2003). Os autores afirmaram que, ao realizar a integração com desenhos CAD 3D, os modelos exigem menos entrada de dados e fornecem um maior grau de precisão. Além disso, durante a fase de projeto, os dados de consumo de recursos e tempo podem ser coletados e usados para atualizar continuamente o modelo, minimizando o uso de pressupostos e de dados generalizados.

De acordo com Kamat e Martinez (2004), no âmbito de análise de operações e design usando SED, a capacidade de visualização 3D de uma operação simulada permite ao desenvolvedor garantir que não haja erros na codificação do modelo e possibilita aos tomadores de decisão a identificação de diferenças entre a forma como compreendem a operação e como o desenvolvedor entende. Uma vez verificado e validado, o modelo pode ser empregado como uma ferramenta para auxiliar na tomada de decisões. Os autores apresentaram como ambiente de visualização 3D o Software VITASCOPE, que é uma ferramenta de animação CAD que simula o fluxo de entidades do sistema para descrever visualmente os processos modelados. Os *outputs* gerados por meio da aplicação do VITASCOPE são o tempo de execução da operação simulada e a visualização 3D.

2.2 Estado da arte

Esta seção apresenta artigos publicados nos dez últimos anos referentes ao tema tratado no trabalho. Os artigos foram divididos em cinco períodos, tais são: 2016 e 2017; 2014 e 2015; 2012 e 2013; 2010 e 2011; 2008 e 2009.

2.2.1 Trabalhos de 2016 e 2017

Cheng *et al.* (2016) discutiram sobre avanços significativos na simulação nos últimos dez anos, as principais questões no âmbito da simulação que ainda precisam ser abordadas, e o que pode ser realizado durante a próxima década. Os autores citaram, por exemplo, o importante impacto da simulação em termos do seu uso abrangendo áreas como: saúde, meio ambiente, serviços públicos, economia, dentre outras. Em termos de avanços na área da simulação, pode-se destacar a imitação de ações humanas em modelos de simulação, que são reconhecidas como uma abordagem poderosa para conhecer o comportamento emergente. Além disso, o desenvolvimento de ferramentas multiplataforma, agrupadas e executadas de modo interativo por meio da internet, bem como os avanços na construção de modelos usando modelagem conceitual e modelagem híbrida, incorporando ferramentas de dinâmica de sistemas, também estão crescendo.

Em paralelo, uma melhoria significativa ocorreu no design de hardwares, que incorporou a conexão de vários processadores, de modo a remover gargalos de acesso à memória. Os autores afirmaram ainda que os modelos de simulação são atrativos por serem uma importante ferramenta na tomada de decisões em tempo real. O desenvolvimento de abordagens e metodologias de recursos humanos pode mostrar às organizações que a simulação deve ser considerada um recurso indispensável para uma administração eficiente, assim como a contabilidade é reconhecida como uma necessidade nas organizações (CHENG *et al.*, 2016).

Neste contexto de avanços tecnológicos, também pode ser citado o termo co-simulação, que, segundo Pei *et al.* (2017), pode ser usado para se referir a modelos de simulação empregados de forma *on-line* para dar suporte às análises nos ambientes de manufatura. Os referidos autores utilizaram uma arquitetura de produção inteligente para dar agilidade à tomada de decisão com um mecanismo de

aquisição e classificação de dados e compartilhamento de recursos, por uma interface de comunicação entre os diferentes agentes do processo. O trabalho menciona que: “É útil gerenciar e compartilhar recursos em rede com diferentes funções através de uma interface padronizada”.

Johansson (2017), por sua vez, abordou que um grande desafio na indústria é validar eficientemente o código de controle. Nesse contexto, o presente trabalho investigou a viabilidade de usar um ambiente 3D para realizar comissionamento virtual. Para tanto, foi criada uma réplica virtual de uma célula de fabricação existente, no 3DExperience, que produz rodas de engrenagem para a Scania. O modelo 3D foi conectado via protocolo OPC a um CLP Siemens simulado.

Ezzell e Fishwick (2016) acrescentam que a visualização tridimensional de cenários simulados é empregada em uma variedade de estudos acadêmicos e empreendimentos industriais, com diferentes aplicações, como visualizações do crescimento de plantas e dinâmica pulmonar humana. Os usuários criam visualizações para analisar e sintonizar modelos de simulação e comunicar ideias para terceiros. A criação desses modelos de visualização pode agregar recursos e auxiliar em decisões de projetos. Os autores apresentaram um modelo de interface de interação, facilitando o entendimento de modelos matemáticos por meio de design tridimensional.

Essas ferramentas de design virtual, de acordo com Lindskog *et al.* (2017), podem auxiliar na avaliação das mudanças planejadas antes da implementação, permitindo identificar e prevenir erros de design dispendiosos, visto que o processo de modificação de sistemas de produção geralmente é complexo. Apesar disso, erros de design surgem durante e após a implementação. Os autores objetivaram mostrar como reduzir o tempo necessário para planejar e implementar o redesenho de sistemas, usando ferramentas que propiciam uma visualização realista, criada a partir de dados espaciais precisos dos sistemas de produção reais. A vantagem da visualização realista é a possibilidade de planejamento efetivo e preciso, reduzindo o tempo necessário para planejar e implementar sistemas de produção redesenhados.

2.2.2 Trabalhos de 2014 e 2015

Woo *et al.* (2014) adotaram a visualização 3D com SED para definir a configuração de um sistema completo de produção em águas profundas em comparação com estudos existentes. Os autores abordaram que a falha em uma planta de produção submarina pode induzir riscos fatais e perdas em grandes proporções para vidas humanas, ambientes e propriedades. Assim, para garantir a segurança do projeto, é importante empregar técnicas para proporcionar a segurança do fluxo submarino, da planta de produção submarina e dos fluidos da rede submarina.

Já Ko e Park (2014) apresentaram uma metodologia de modelagem com base em modelos para a concepção de uma planta virtual aplicada para o comissionamento virtual de um controlador lógico programável. Na realização do comissionamento virtual, a planta é formada por dispositivos virtuais e precisa interagir com variáveis de entrada e saída de uma lógica de controle programável, de modo que o dispositivo virtual seja correspondente ao dispositivo real. Os sistemas de eventos discretos têm sido empregados para representar o comportamento de um dispositivo virtual. No entanto, a modelagem de processos requer conhecimento aprofundado em simulação. O objetivo da metodologia proposta foi fornecer um modelo que representasse as relações entre as tarefas de um dispositivo. A abordagem proposta foi implementada e demonstrada em uma célula robótica, podendo ser utilizada para estudar o comportamento de um modelo de forma abrangente.

Brooks *et al.* (2014), por sua vez, citaram que o mesmo Software de modelagem pode ser utilizado em todas as fases do projeto, desde o leiaute até a simulação por meio de testes de controle. Além disso, apresenta a incorporação de um CLP totalmente integrado com o tempo virtual e utilizando os canais de comunicação interna. A lógica de controle real também pode ser aplicada em todas as fases. De acordo com os autores, o analista tem completo controle sobre o nível de precisão da modelagem, simulação e emulação, enquanto ainda estiver executando o modelo de forma mais rápida ou mais lenta do que em tempo real. Um Software de modelagem oferece uma aproximação da realidade, mas é o modelador que deve escolher, com base no objetivo, o nível de precisão que o modelo requer.

Galambos *et al.* (2015) implementaram um ambiente de comissionamento virtual usando uma planta virtual, no Software VirCA, de uma estação de

processamento eletromecânica didática. O código correspondente foi desenvolvido em um Software de programação de CLP Siemens STEP 7. A comunicação entre o VirCA e o CLP foi estabelecida por meio de um servidor OPC e um cliente OPC específico, que atua como uma interface entre o servidor OPC e a planta virtual no VirCA. Este componente híbrido foi usado para implementar a lógica interna que move os atuadores da planta de acordo com os sinais de saída do CLP e fornece *feedback* do sensor (interruptores de fim de curso, detectores de proximidade, etc). O sistema de teste demonstra, com sucesso, que a planta virtual pode ser conectada a um CLP usando a conexão OPC.

2.2.3 Trabalhos de 2012 e 2013

Conforme Lindskog *et al.* (2012), Softwares SED são empregados para calcular e analisar o desempenho de sistemas de fabricação pelo monitoramento de variáveis como: tempo de espera, filas e *buffers*. Isso é usado como suporte de decisão e otimização do sistema já existente, ou mesmo que ainda será construído. Algumas das ferramentas têm funções que permitem a visualização de movimentos de equipamentos, permitindo a avaliação de riscos de interferências físicas ou colisões.

Já Pfeiffer *et al.* (2012) abordaram que um sistema de decisão baseado em simulação a eventos discretos, usado como apoio à decisão de um controle automático, aplicando CLPs, permite verificar o estado do sistema de produção em vários pontos da linha.

Stelzer (2012), por sua vez, afirmou que não há maneira simples para determinar uma entrada de controle ótima. No caso de sistemas de fabricação, a SED é uma técnica bem aceita para o planejamento, a investigação e a operação de sistemas de manufatura. Basicamente, a SED também pode ser utilizada para estimar o impacto de alternativas de controle automático. Para testar sistemas de controle usando SED, existem três tarefas principais: a descrição formal de alternativas, a geração de cenários complexos com base em combinações das alternativas, a geração e inicialização adequada de modelos de simulação com o estado do sistema real.

Seidel *et al.* (2012) mostraram uma aplicação de teste de sistema de controle em diferentes níveis de automação. Os autores implementaram um ambiente de verificação de lógica de controle de CLP, e o testaram dentro de uma indústria. Os resultados mostraram que o ambiente de verificação desenvolvido era adequado para o comissionamento virtual do programa de controle no CLP. Além disso, o comissionamento do processo no simulador foi mais rápido em relação à realização do teste no local.

Já Sanz *et al.* (2013) abordaram uma metodologia de modelagem de eventos discretos usando o ambiente de modelagem Arena. Os modelos SED podem ser combinados com outros modelos para descrever sistemas híbridos, por exemplo, que segundo os autores, são sistemas que combinam tempo contínuo e discreto.

2.2.4 Trabalhos de 2010 e 2011

Bergero e Kofman (2010) apresentaram uma ferramenta de Software para simulação de sistemas híbridos, denominada PowerDEVS. O Software é uma ferramenta eficiente para simulação em tempo real de sistemas físicos. Outra característica do PowerDEVS é a interconexão com o pacote numérico Scilab. As simulações do PowerDEVS podem fazer uso das variáveis e funções do espaço de trabalho do Scilab, e os resultados podem ser enviados de volta ao Scilab, para posterior processamento e análise de dados.

Hoffmann *et al.* (2010), por sua vez, descreveram conceitos para o projeto simplificado de modelos de sistemas de fabricação utilizando o comissionamento virtual, com base em uma biblioteca padronizada para a construção de modelos CAD. Os autores abordaram que, por meio da utilização da interação entre ferramentas CAD e programador CLP, o comportamento mecânico e o código de controle podem ser testados.

Rekapalli e Martinez (2011) trataram o emprego da simulação a evento discreto integrada com uma ferramenta de animação. Os autores mostraram como a interatividade de ferramentas de animação com modelos SED pode auxiliar no processo de validação de modelos, o que é um passo crítico na obtenção da credibilidade do modelo. O projetista pode usar a interatividade em tempo real em modelos, e estudar o seu comportamento e, assim, validar os resultados obtidos.

Esses recursos podem melhorar significativamente o processo de validação do modelo, ampliando, dessa forma, o valor da SED para uso prático no planejamento de operações.

Já Viswanathan *et al.* (2011) apresentaram o conceito de simulação híbrida de processo (*Hybrid Process Simulation - HPS*), uma extensão da tecnologia tradicional *Hardware-in-the-Loop* (HIL), como uma ponte entre a simulação e o sistema físico final, em que o modelo virtual é desenvolvido utilizando um Software de simulação do fornecedor do sistema real, de modo que o modelo ofereça a mesma funcionalidade que o dispositivo real. Foi elaborado um estudo de caso na Universidade de Michigan que descreveu o processo de simulação híbrida usando um robô virtual e um real. Foi utilizada uma interface que permite a comunicação entre o componente virtual e outros dispositivos do sistema. Os autores apresentaram um programa que envia e recebe sinais de entrada (*inputs - I*) e saída (*outputs - O*) do controlador utilizando componentes de uma biblioteca e define a tarefa ou o estado do componente virtual baseado nesses sinais. Assim, a um nível elevado, o referido programa pode ser pensado em dois estágios: um que se comunica com o componente virtual e registra os sinais I/O e outro que se comunica com o dispositivo e mantém o controle dos sinais de I/O. A comunicação em tempo real entre o controlador e o robô virtual foi alcançada, e o robô virtual comportou-se do mesmo modo que o robô real.

2.2.5 Trabalhos de 2008 e 2009

Soundararajan e Brennan (2008) discutiram sobre o projeto e desenvolvimento de uma interface de simulação para ser empregada em sistemas de controle em tempo real. O objetivo foi desenvolver sistemas com um ambiente que pode ser usado para executar testes com dispositivos físicos, bem como planejar e programar o sistema de controle. O modelo tratado referiu-se a um padrão de design de *proxy*, com enfoque no projeto de Software resultante para comparação do desempenho entre sistemas de controle distribuído e fornecimento de exemplos para um ambiente híbrido de simulação.

Já Park *et al.* (2008) apresentaram a integração de um programa de CLP com um modelo que permite aos usuários verificar o que ocorre no mesmo por um

ambiente gráfico 3D. Para a implementação do ambiente de programação CLP, é essencial desenvolver uma metodologia eficiente para a construção de uma planta virtual, feita com base em especificações SED com hierarquia modular.

Longo e Mirabelli (2009), por sua vez, mencionaram o desenvolvimento de um projeto de uma linha de montagem para produção de aquecedores baseados em uma abordagem de problemas ergonômicos. Como a linha de montagem apresentada está na fase de projeto, não há dados disponíveis, sendo assim, é difícil avaliar cada estação de trabalho da linha de montagem, os tempos de montagem, bem como o efeito de riscos ergonômicos, as posturas de trabalho incorreta, entre outros. Os autores desenvolveram o estudo em duas etapas. Na primeira delas, projetaram o modelo geométrico de um aquecedor e um modelo geométrico da linha de montagem usando o Software CAD *Pro-Engineer*. Os modelos geométricos foram então importados para um ambiente de simulação fornecido pelo pacote de simulação *EM-Workplace*. O modelo de simulação é baseado no treinamento de modelos humanos para realizar a montagem de operações e é usado para realizar medições de trabalho, tempo e análise ergonômica. O segundo passo é a implementação do design da linha de montagem.

2.3 Caracterização de simulação e emulação

De acordo com Sakurada e Miyake (2009), a simulação é uma ferramenta utilizada no projeto e na avaliação de novos sistemas, bem como para modificar a configuração física de sistemas que já existem. No entanto, alguns autores como Auinger *et al.* (1999), Phillips e Montalvo (2010), Meyer e Strassburger (2012) apresentaram a possibilidade da aplicação da simulação também como ferramenta de teste de sistemas de controle.

Segundo McGregor (2002), os resultados da simulação podem auxiliar na definição de leiaute físico de um sistema, bem como no conhecimento de limites operacionais. Já modelos de emulação são utilizados de forma mais específica, com o intuito de testar o funcionamento de sistemas de controle em diferentes condições de carga do sistema, fornecendo um ambiente livre de risco para os operadores e equipamentos. O modelo de simulação pode ser usado em um projeto de emulação.

No entanto, não será necessário aplicar o modelo de forma integral, visto que, na emulação, parte do modelo é substituída pelo sistema real.

O autor apresenta que a emulação possui maior credibilidade em relação à simulação, pois modelos são imitações de sistemas reais, e, ao utilizar partes físicas do sistema, obtém-se um aumento da confiabilidade. No entanto, a simulação é de natureza exploratória, permitindo abranger todas as diferentes possibilidades em um curto espaço de tempo, com rápida velocidade na execução de modelos nos Softwares de modelagem, pois mantém o seu próprio relógio, propiciando respostas de forma mais rápida. A desvantagem é que isto pode acarretar erros potenciais. A emulação deve ser executada em tempo real, devido aos sistemas de controle serem projetados para operar em tempo real. Os temporizadores do sistema de controle não podem se adaptar a isso, logo, executar modelos em maiores velocidades do que no tempo real deve ser evitado (MCGREGOR, 2002).

McGregor (2002) afirma ainda que, para a simulação, a repetibilidade tem grande importância. Devido à maioria dos modelos de emulação ser executada em um dispositivo e o sistema de controle em outro, a repetibilidade é incerta, tornando os eventos de comunicação assíncronos e imprevisíveis. A incerteza resultante é complexa para a simulação, mas o sistema de controle lida com isso frequentemente. Sistemas de controle precisam ser projetados para funcionar de forma confiável sob condições de cargas variáveis. Com isso, torna-se importante que os modelos de emulação sejam robustos.

O Quadro 11 apresenta informações contidas no texto, porém de forma mais objetiva.

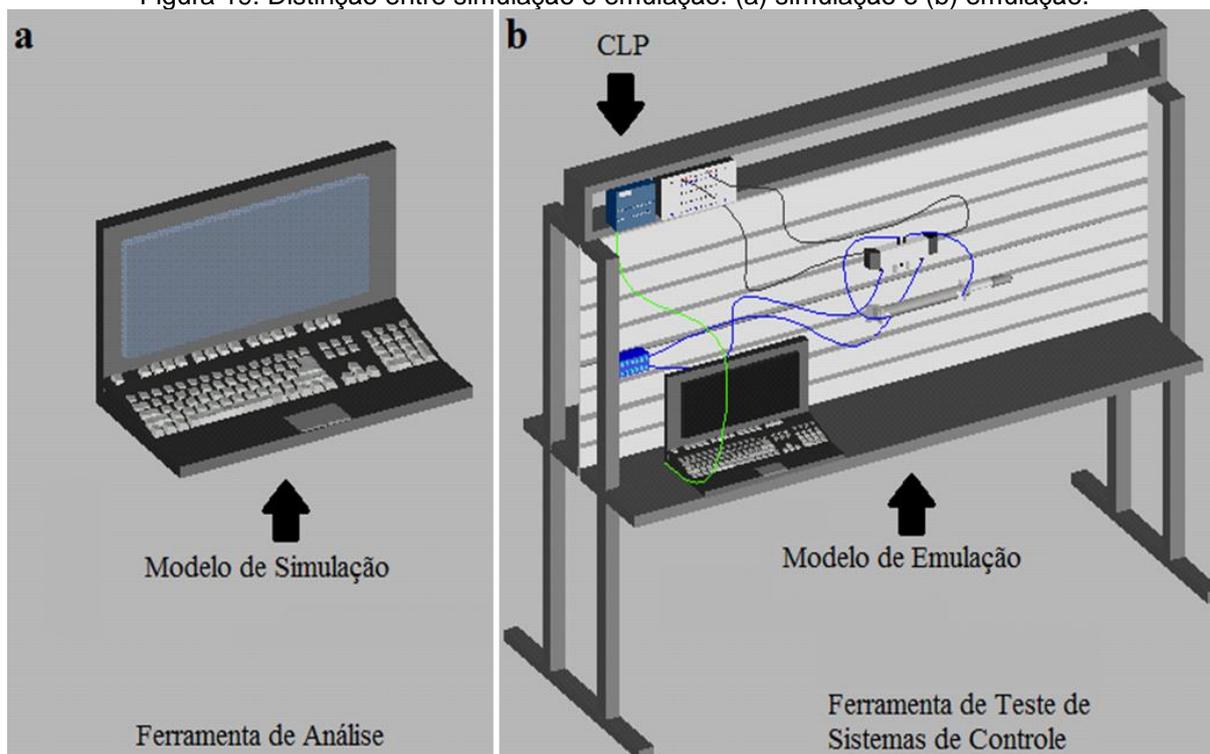
Quadro 11: Diferenças entre simulação e emulação.

Simulação	Emulação
Modelo de simulação	Modelo de simulação e sistema real
Ferramenta utilizada no projeto e avaliação de novos sistemas, definição de leiaute físico e limites operacionais	Testa o funcionamento do sistema de controle em diferentes condições de carga do sistema
Seu próprio relógio	Tempo real
Fornecer resposta mais rápida	Maior tempo de resposta
Importância na repetibilidade	Importância na robustez

Fonte: Adaptado de McGregor (2002)

A Figura 19 apresenta um esquema com a finalidade de mostrar a diferença de elementos envolvidos na simulação e elementos que compõem a emulação.

Figura 19: Distinção entre simulação e emulação: (a) simulação e (b) emulação.



Fonte: Elaboração própria

A parte (a) da Figura 19 representa a simulação “Pura”, em que é feita a implementação do modelo computacional em um Software específico com os parâmetros desejados, de forma virtual. A parte (b) representa o sistema de emulação, que abrange o modelo de simulação e o sistema físico. O computador encontra-se conectado com um CLP por meio de um cabo de rede ethernet, que permite que o modelo envie sinais de entrada para o controlador, e o CLP transmite sinais de saída para o sistema real instalado. Neste caso, trata-se de uma bancada didática pneumática contendo uma válvula direcional e um atuador de dupla ação.

A distinção entre as ferramentas de simulação e as de emulação está no conjunto de funcionalidades que oferecem. A simulação exige características de variação de parâmetros, replicações do modelo e análise de resultados. Já, na emulação, é preciso testar a lógica de controle existente. O uso de um CLP emulado para o conjunto de recursos existentes estende-se às duas ferramentas. A integração do CLP emulado, que partilha de um relógio virtual e gerenciamento de comunicações do tempo do modelo, proporciona ao modelador novas possibilidades em simulação e emulação. O modelador pode, agora, testar o sistema de controle de forma mais rápida ou mais lenta do que em tempo real e pausar o tempo. Em

conjunto, estas novas funcionalidades melhoram significativamente os testes (BROOKS *et al.*, 2014).

2.4 Conclusão da revisão da literatura

Pode-se concluir, com base na revisão de literatura apresentada, que a utilização de sistemas que proporcionam mais qualidade e agilidade ao processo de produção, de forma a atender às necessidades dos clientes, é indispensável na era da industrialização, ou Indústria 4.0. Com isso, o emprego de ferramentas que aperfeiçoem os processos produtivos, tal como o uso de SED, é essencial.

A SED permite a imitação de sistemas reais, possibilitando a compreensão do seu funcionamento antes mesmo de se realizar a implementação física das alterações desejadas. As vantagens de um projeto de SED, entre outras, é que não acarreta custos elevados, não oferece riscos a operadores e máquinas, permite testar várias configurações de design de linha, tendo em vista selecionar um cenário ótimo. No entanto, os aspectos operacionais do sistema em estudo podem não ser compreendidos no desenvolvimento de um projeto de SED, sendo necessária a utilização de um ambiente híbrido, por meio da integração de simulação discreta e dinâmica, propiciando uma análise mais abrangente do sistema.

Os recursos CAD, conforme apresentado na revisão de literatura, desempenham um importante papel no desenvolvimento de linhas de produção, tornando mais fácil a visualização do sistema em estudo, bem como a comunicação entre os desenvolvedores. Esta ferramenta tem sido usada acoplada com modelos de SED, e também combinada com sistemas de controle, propiciando o comissionamento de lógicas para controlar e supervisionar linhas de manufatura.

Na revisão de literatura também foram mostradas as diferenças existentes entre a simulação e a emulação, podendo-se destacar que: a simulação é uma ferramenta utilizada no projeto e avaliação de novos sistemas, definição de leiaute físico e limites operacionais, enquanto a emulação é empregada no teste do funcionamento de sistema de controle em diferentes condições de carga do sistema; a simulação possui seu próprio relógio, já a emulação possui tempo real; a simulação possui um tempo de resposta mais rápido em relação à emulação; a

simulação concentra a importância na repetibilidade, já a emulação concentra a importância na robustez.

CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Metodologia de simulação proposta

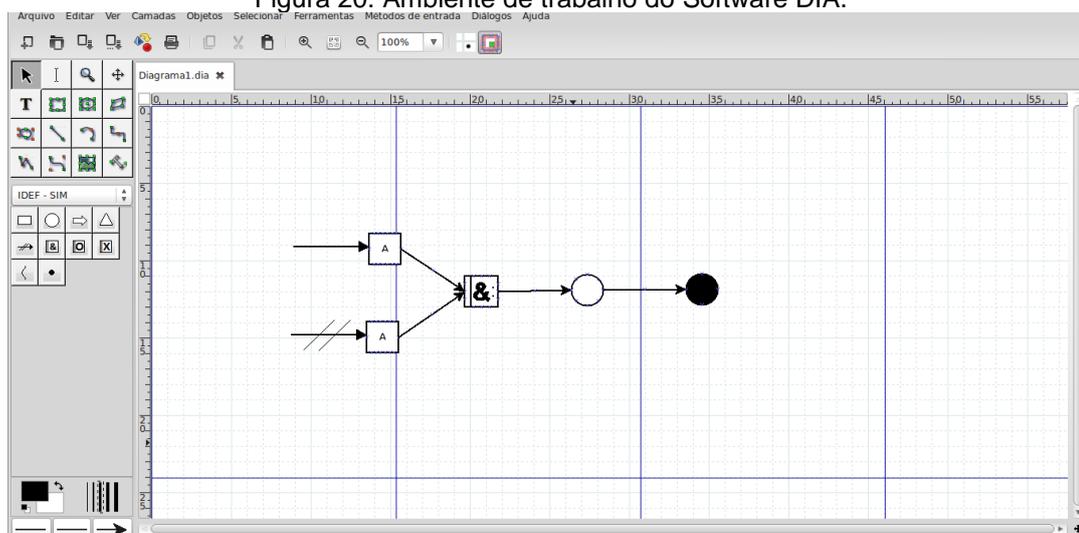
Para a elaboração do modelo SED, foi utilizada a metodologia proposta por Banks *et al.* (2009), com os seguintes passos: formulação de análise do problema, formulação do modelo conceitual, tradução do modelo conceitual para o modelo computacional, verificação e validação, experimentação, interpretação e análise estatística dos resultados, comparação e apresentação dos resultados. Na verificação e validação do modelo de simulação, foi empregada a metodologia proposta por Sargent (2013).

O escopo de um projeto de simulação, que também pode ser encontrado em Banks *et al.* (2009), pode ser visto por meio do Anexo A.

3.2 Equipamento e Software de simulação

O modelo conceitual do sistema foi desenvolvido utilizando a linguagem IDEF-SIM. Esta linguagem permite melhor visualização e compreensão das etapas e características do problema em estudo. O modelo conceitual foi implementado no Software DIA, mostrado na Figura 20.

Figura 20: Ambiente de trabalho do Software DIA.



Fonte: Alexander Larsson (1998)

A paleta IDEF-SIM dentro do DIA foi desenvolvida na Universidade Federal de Itajubá/MG. O DIA é um ambiente próprio para a criação de modelos conceituais em IDEF-SIM e pode ser acessado por meio do link: <https://git.gnome.org/browse/dia/>.

O modelo conceitual foi traduzido para o ambiente computacional de simulação discreta do Software Ururau (Figura 16). Em um recente levantamento de literatura de Softwares livres para pesquisa operacional, Dagkakis e Heavey (2015) citaram o Ururau em uma relação de quarenta e quatro outras ferramentas de mesmo propósito. Os autores destacaram como aspectos positivos do referido Software: vídeos tutoriais disponíveis em meio eletrônico, comparação dos resultados com ferramenta comercial equivalente e interface gráfica simples de operar.

3.2.1 Mecanismo de integração: Modelo SED e Modelo Dinâmico

Os Softwares CAD empregados em projetos mecânicos progrediram em diversos âmbitos. Estes ambientes, além de abrangerem funcionalidades para criação de protótipos 3D, comportam recursos para modelagem de peças e equipamentos, visualização de imagens realistas e simulação de sistemas dinâmicos. Softwares como o Inventor®, CATIA e NX possuem tais funcionalidades.

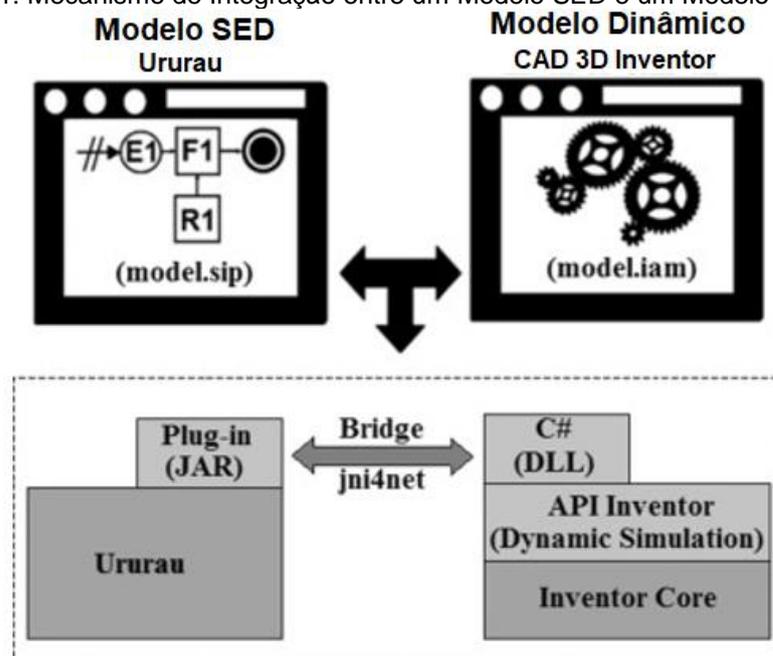
Deste modo, o mecanismo proposto neste trabalho trata-se do acoplamento de um ambiente de simulação dinâmica de um Software de projetos mecânicos e um ambiente de simulação discreta. Em vista disso, o mecanismo proposto para a

comunicação propicia que um elemento de uma planta industrial, desenvolvido para melhorar a performance de um determinado sistema, possa ser testado em um modelo de simulação antes de ser aplicado no processo real.

Com isso, um modelo de simulação discreta, além de possibilitar a análise da dinâmica de sistemas estocásticos, pode também verificar o funcionamento de um novo elemento do processo, permitindo avaliar tanto as operações e recursos do sistema como, também, os esforços mecânicos de um novo dispositivo inserido na planta de um processo. Ou seja, o modelo SED permite analisar, por exemplo, o fluxo de entidades nas filas de processos, a utilização de recursos e a avaliação de design de manufatura, antes mesmo da concepção do sistema. Já o modelo mecânico possibilita a avaliação de variáveis como: força, aceleração, velocidade, torque e análise de elementos finitos.

Assim, a proposta apresentada neste estudo permite a implementação de um modelo de simulação mais ampliado, no qual diferentes aspectos de um sistema podem ser avaliados. A Figura 21 ilustra o escopo do projeto em questão, em que um modelo SED e um modelo dinâmico estão acoplados por uma interface de comunicação de alto nível.

Figura 21: Mecanismo de Integração entre um Modelo SED e um Modelo Dinâmico.



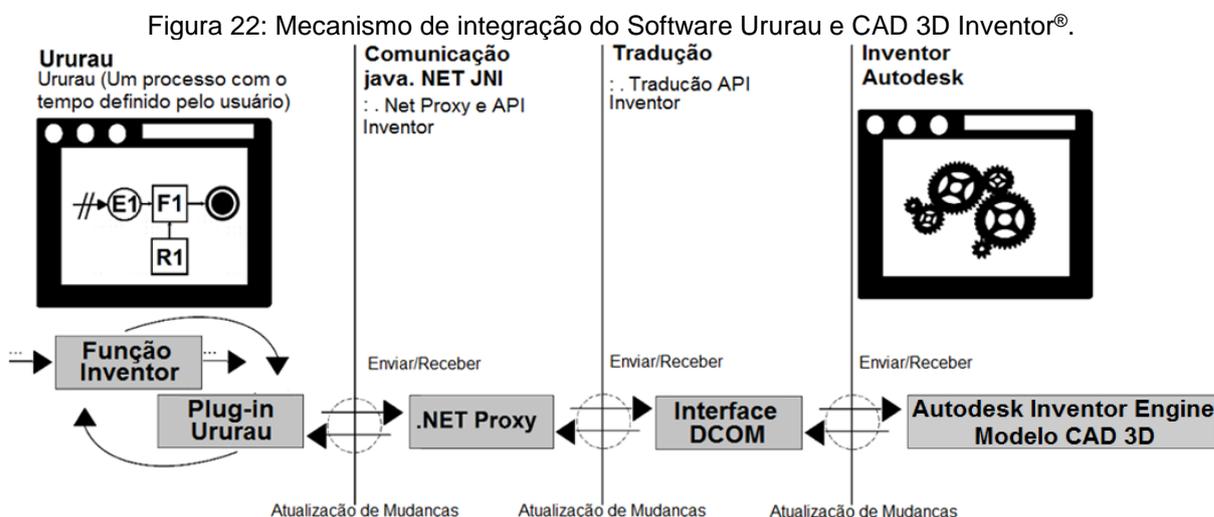
Fonte: Elaboração própria

Para a comunicação entre o modelo SED e o modelo dinâmico é necessário empregar uma API, como mostrado na Figura 21. Como exemplo de aplicação do mecanismo apresentado, foram adotados os Softwares Ururau, ambiente de simulação discreta, e o CAD 3D Inventor®, que possui um ambiente de simulação dinâmica para projetos mecânicos.

O Inventor® é um Software CAD 3D de projetos mecânicos, comercializado pela empresa Autodesk®, que permite a concepção de peças e equipamentos, a criação de vídeos para apresentação de protótipos projetados, a simulação dinâmica de sistemas, entre outras funcionalidades.

Softwares como CATIA e NX possuem ambiente de simulação dinâmica. No entanto, os recursos necessários para realização da integração com o ambiente de SED não compõem a versão limitada disponibilizada pelos referidos Softwares. Desse modo, a escolha do Software Inventor® se deve à sua viabilidade financeira, visto que sua versão limitada fornece as ferramentas necessárias para a implementação do mecanismo proposto.

A Figura 22 apresenta os detalhes construtivos do mecanismo de integração para a comunicação entre o Software Ururau e o Inventor®.



Fonte: Elaboração própria

Para executar o mecanismo de integração entre os Softwares, apresentado na Figura 22, é necessária a utilização de uma camada em Java, jni4net (<https://jni4net.github.io/>) para compatibilidade na comunicação, visto que a API do

Inventor® foi programada em C#, enquanto o Ururau foi concebido, grande parte, em Java.

O módulo de função Inventor no Ururau ativa a biblioteca jni4net, que funciona como uma ponte intraproceto entre a máquina virtual Java (*Java Virtual Machine* - JVM) e a execução de linguagem comum (*Common Language Runtime* - CLR). A CLR é um componente da máquina virtual da plataforma .NET, que permite o gerenciamento da execução de programas .NET, inclusive em C#.

A biblioteca jni4net, por sua vez, ativa a função da API do Inventor®, responsável pela simulação dinâmica do projeto mecânico. Os parâmetros empregados na simulação são: os *steps* inicial e final da simulação, o tempo de simulação definido pelo usuário no Ururau ou por uma distribuição de probabilidade no módulo de função do Ururau.

Os *steps* são etapas de execução de movimentos de uma máquina. Quando o parâmetro é por *step*, o Inventor® calcula o tempo de simulação dinâmica e o envia para o Ururau, de modo que ele contabilize o tempo de simulação específico para tal entidade. Quando o usuário define uma distribuição de probabilidade, este tempo é dividido em *steps*, para que a simulação dinâmica do modelo mecânico seja executada.

O usuário deve inserir na distribuição de probabilidade, valores de tempo que não ultrapassem a duração total da simulação dinâmica no Inventor®. Caso isso ocorra, será criada uma exceção, culminando na suspensão da simulação. Este valor máximo pode ser verificado pelo usuário no próprio modelo mecânico, no ambiente de simulação dinâmica do Software.

Apesar de o usuário realizar o *upload* do modelo mecânico para o ambiente de simulação dinâmica do Inventor®, o Ururau é responsável por inicializar a comunicação entre os ambientes no momento em que a simulação discreta começa. A Figura 23 apresenta o módulo implementado no Software Ururau para da integração com o modelo mecânico em CAD 3D.

Figura 23: Módulo de Função Inventor do Software Ururau.

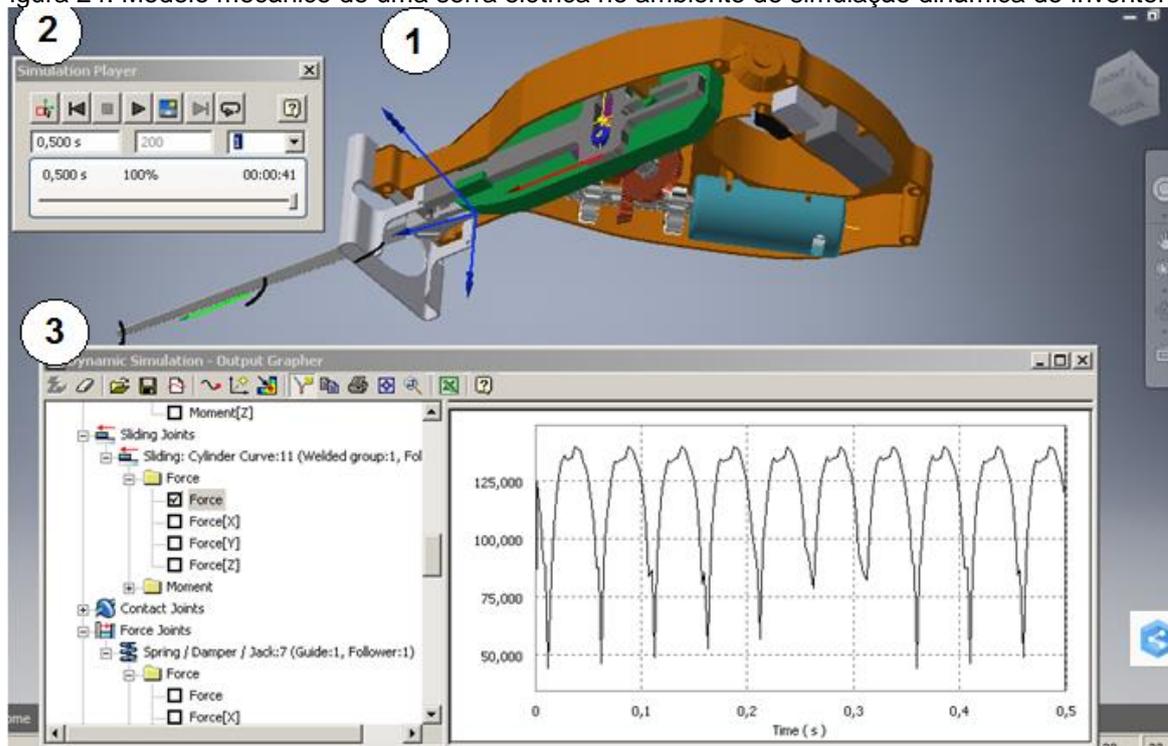
Fonte: Elaboração própria

Os parâmetros programados na implementação do mecanismo de integração podem ser definidos por meio do módulo de comunicação mostrado na Figura 23. Na parte superior deste módulo, o modelador pode realizar a identificação da função nos campos (ID) e (Name). Em (Type), o modelador pode ajustar a função desejada e os dados relativos à mesma no campo (Value). Ainda, na parte inferior do módulo, podem ser atribuídos os recursos e filas do modelo de forma a apresentar no relatório os resultados estatísticos, tais como: número na fila, tempo na fila e taxa de ocupação de recurso.

O código de programação implementado para permitir a integração entre o Software Ururau e o Software Inventor® pode ser encontrado no Apêndice A. Nesse apêndice, o construtor “DelayStepInventor” (linhas 21 até 26) inicializa o *proxy* “jni4net”, que traduz as chamadas em Java para C#, ao iniciar a simulação do modelo SED. Quando uma entidade é identificada por este comando, é executada a função “execute” (linhas 46 até 60), que realiza a simulação dinâmica do mecanismo em estudo, no ambiente Inventor®, e retorna para o Ururau o tempo total dos *steps*.

A Figura 24 mostra o ambiente de simulação dinâmica do Software Inventor®. O modelo mostrado na ilustração trata-se de uma serra proveniente de um dos tutoriais do próprio Software.

Figura 24: Modelo mecânico de uma serra elétrica no ambiente de simulação dinâmica do Inventor®.



Fonte: Autodesk (2017)

A parte da Figura indicada com o número 1 corresponde à área onde o modelo mecânico 3D executa os movimentos. Na parte 2, o usuário pode dar início à simulação dinâmica do modelo mecânico, bem como editar os parâmetros de rodada da simulação, tal como o tempo. A parte da ilustração indicada com o número 3 mostra o gráfico com dados provenientes da simulação.

3.2.2 Sistema de controle

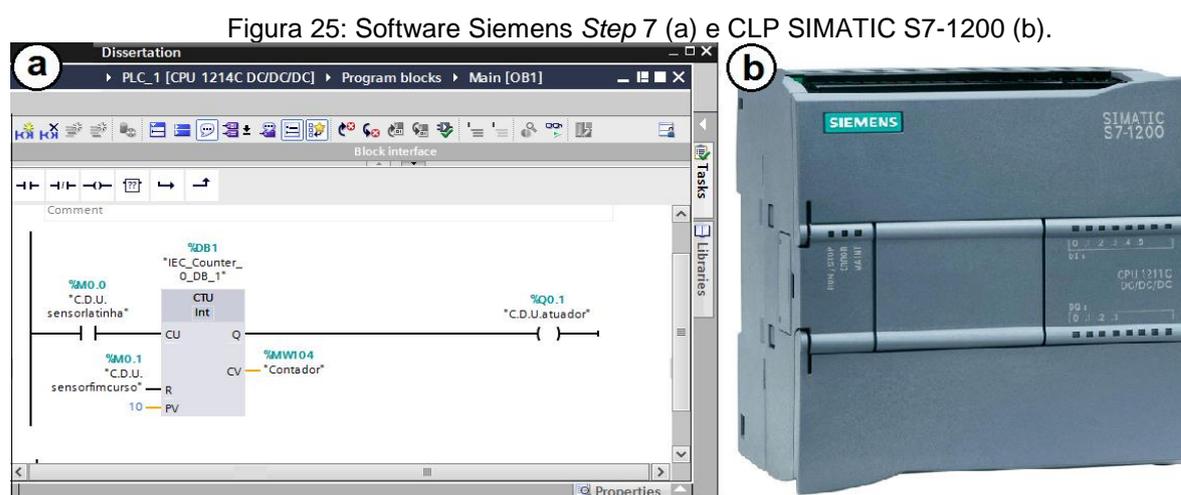
Os Softwares empregados na realização de comissionamento surgiram da dificuldade na execução de experimentos seguindo o modelo tradicional, que acarreta riscos aos trabalhadores e equipamentos, além de ocasionar maiores custos por parada da linha de produção por mais tempo, para testar a inserção ou retirada de um ou mais processos.

Para realizar a integração do modelo de simulação com o sistema de controle, foi preciso utilizar uma interface de comunicação. Isso pode ser feito por meio de um Servidor OPC KEPServer, da KEPWare, que possibilita a transferência de dados duplex entre o modelo de simulação e o sistema de controle. Desse modo, o modelo de simulação escreve dados na interface OPC e faz a leitura de dados do mesmo.

Assim também ocorre com o sistema de controle, que lê dados do OPC e escreve informações neste. A versão limitada do Servidor OPC utilizado permite uso de 2 horas ininterruptas para teste, tempo suficiente para a realização da simulação.

Nos testes do sistema de controle, foi empregado um controlador lógico programável da linha SIMATIC S7 -1200 da Siemens, do tipo 6ES7214-1AG40-0XB0, com CPU 1214C DC/DC/DC. Este controlador possui 14 entradas digitais, 10 saídas digitais, 2 entradas analógicas e não apresenta saídas analógicas. Já a programação do sistema de controle pode ser feita por meio do Software Siemens Step 7, específico para a programação de lógica de controle em linguagem *Ladder*, no qual o sistema de controle é construído em forma de diagrama de escada.

A Figura 25 mostra o ambiente para programação da lógica de controle, bem como o hardware CLP.



Fonte: Elaboração própria

Na parte "a" da Figura 25, é apresentado um sistema de controle simples, composto por uma entrada com endereço (%M0.0), um contador e uma saída com o endereço (%Q0.1). Essa lógica de controle programada pode ser transmitida para o hardware mostrado na parte "b" da Figura acima, por um cabo de rede *ethernet*.

A priori, foram configuradas variáveis na interface OPC e no CLP. Essas variáveis devem possuir correspondência na interface de comunicação e no controlador, sendo indispensável para uma comunicação bem-sucedida. O Quadro 12 mostra as especificações para a configuração de variáveis no ambiente de programação da lógica de controle, referente ao modelo de CLP empregado.

Quadro 12: Tipos de memórias utilizadas na comunicação.

Tipo de memória	Descrição	Faixa de endereço	Tipo de dados	Acesso
I ou E	Entradas	Dependente do tipo de dados S7		Leitura/Escrita
Q ou A	Saídas			Leitura/Escrita
PI ou PE	Entradas periféricas			Somente leitura
PQ ou PA	Saídas periféricas			Leitura/Escrita
M ou F	Sinalizador de memória			Leitura/Escrita
DB	Blocos de dados			Leitura/Escrita
T	Temporizador	T0-T65535	DWord, long	Leitura/Escrita
C ou Z	Contador	C0-C65535 Z0-Z65535	Word, Short	Leitura/Escrita

Fonte: Adaptado de Siemens SIMATIC S7 - 1200

No Quadro 12, foram utilizadas variáveis de entrada e saída (Entradas – I ou E e Saídas – Q ou A). Estas variáveis são do tipo booleano e realizam tanto a leitura quanto a escrita dos valores de nível lógico do sistema controlado. Além das variáveis de entrada e saída, foi empregada uma variável específica para o contador (Contador – C ou Z) do tipo *word ou short*.

As variáveis de entrada e saída do tipo booleano, utilizadas para leitura e escrita, assumem valores de nível lógico 0 e 1, sendo 0 usado para a condição falsa, e 1 para a condição verdadeira. Além disso, as variáveis do contador do tipo *short* ou *word* mudam de valor de 1 em 1, por exemplo: Variável = Variável + 1.

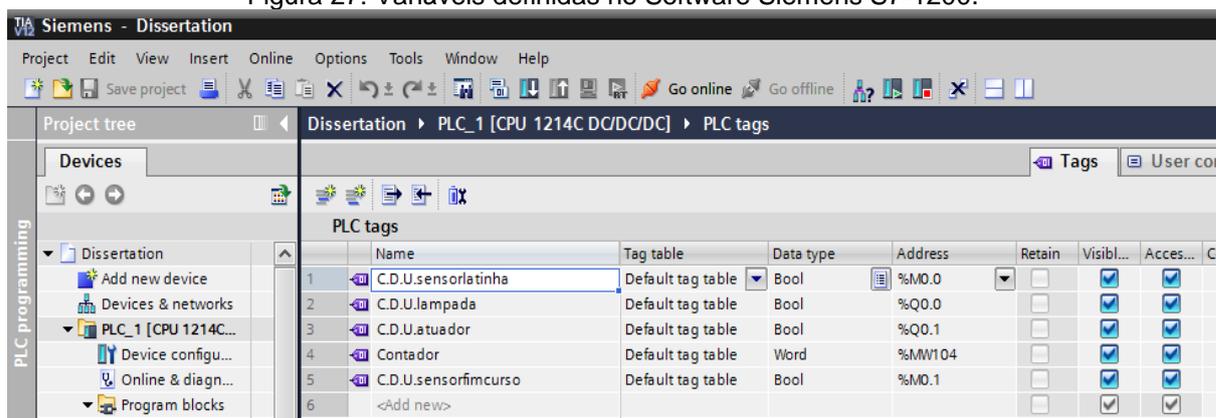
As variáveis foram configuradas na interface OPC (Figura 26) e no Software de programação de lógica *Ladder* (Figura 27).

Figura 26: Variáveis configuradas no Servidor OPC KEPServer.

Item ID	Data Type	Value	Timestamp	Quality	Update C
C.D.U.atuador	Boolean	0	10:12:59.029	Good	1
C.D.U.contador	Word	0	10:12:59.029	Good	1
C.D.U.lampada	Boolean	0	10:12:59.029	Good	1
C.D.U.sensorfimcurso	Boolean	0	10:12:59.029	Good	1
C.D.U.sensorlatinha	Boolean	0	10:12:59.029	Good	1

Fonte: Elaboração própria

Figura 27: Variáveis definidas no Software Siemens S7-1200.

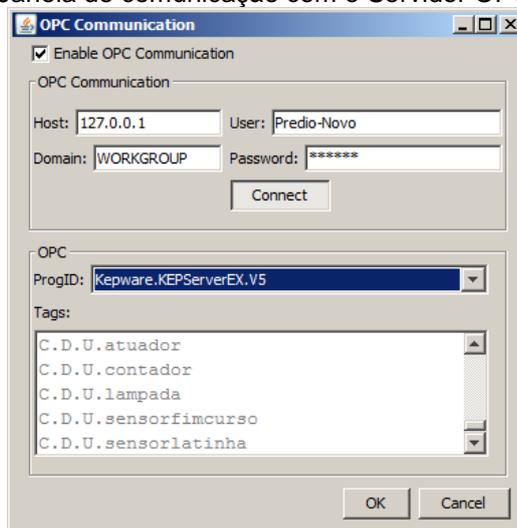


Fonte: Elaboração própria

As variáveis definidas na interface de comunicação e no Software de programação *Ladder*, foram: C.D.U.atuador, C.D.U.contador, C.D.U.lampada, C.D.U.sensorfimcurso e C.D.U.sensorlatinha. O endereço C.D.U. que antecede o nome das variáveis trata-se de: C: *Channel*, D: *Device* e U: *Ururau*.

Na integração entre o modelo de simulação e o sistema de controle, foram empregados dois módulos de processos existentes no Ururau, são estes: *Assign* e *Hold*. O *Assign* é utilizado para gerar o acionamento de uma entrada para o sistema de controle, já o *Hold* é utilizado para enviar um sinal de saída do sistema de controle para o Ururau. Uma vez que as variáveis de comunicação são definidas no OPC, podem ser visualizadas no ambiente Ururau por meio da janela de comunicação OPC. A Figura 28 apresenta a janela de habilitação da comunicação OPC no Ururau.

Figura 28: Janela de comunicação com o Servidor OPC no Ururau.



Fonte: Elaboração própria

3.3 Descrição do sistema

O exemplo de aplicação abordado neste trabalho trata de uma linha típica de produção de latas. A Figura 29 ilustra os processos existentes na referida linha de produção.

Esta linha, que neste trabalho foi idealizada de forma hipotética, tem início na chegada de discos chatos (E1), provenientes da estampagem de alumínio laminado. Posteriormente, os discos são destinados a um processo de extrusão (F1), com o propósito de formar copos cilíndricos, comprimindo a extremidade inferior do disco até obter a altura adequada.

Os copos são rotulados (F2) por uma impressora, e, em seguida, o interior desses copos é revestido com epóxi (F3), de modo a prevenir a ocorrência de corrosão. Os copos são, então, submetidos a um processo de inspeção manual (F4), que consiste na emissão de uma luz sobre a superfície dos copos, para verificar a existência de orifícios. Uma vez que ocorre a identificação de defeito no copo, é enviado para a reciclagem. Não existindo defeito, que ocorre 95% das vezes, a entidade segue para a próxima etapa do processo, ou seja, o envase de fluido nas latas (F6).

Depois de preenchidas, as latas são tampadas (F7) e, por fim, embaladas (F8). Existe, também, um processo de controle de qualidade (F5) que inspeciona uma a cada cinco latas produzidas. As latas separadas para análise são levadas ao laboratório para exame. A amostra para análise é retirada da linha antes do processo de preenchimento das latas.

Figura 29: Esquema da linha de produção de latas.

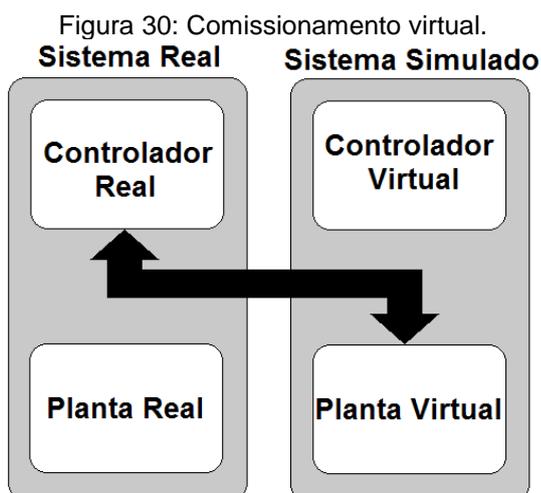


Fonte: Elaboração própria

3.4 Descrição dos cenários

O teste do sistema de controle foi realizado em três etapas, tais foram: comissionamento virtual, comissionamento híbrido e comissionamento tradicional.

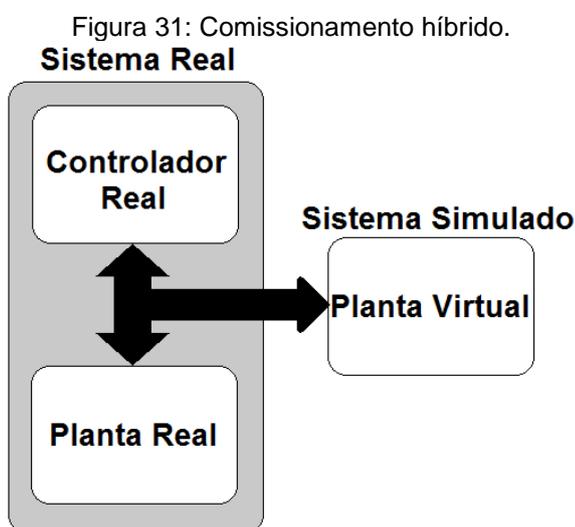
O comissionamento virtual é composto por uma planta virtual e um controlador real, sendo a planta virtual o ambiente de simulação a eventos discretos, Software Ururau. Esta planta é controlada por um controlador real, mostrado na Figura 25 parte “b”. A Figura 30 ilustra como é realizado o comissionamento virtual.



Fonte: Smith e Cho (2008)

Dessa forma, o teste virtual permite validar a lógica de controle sem comprometer equipamentos, como atuador, sensor e válvulas.

Já o comissionamento híbrido é composto por um controlador real, a planta virtual e uma parte física da planta real. A Figura 31 ilustra a forma de realizar o comissionamento híbrido.

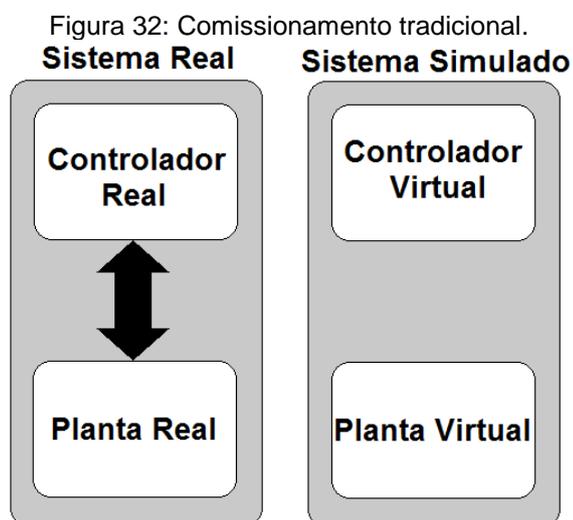


Fonte: Smith e Cho (2008)

O comissionamento híbrido é mais aplicado quando se deseja testar a inserção de um ou mais processos em uma linha de produção. O emprego desse experimento acarreta a diminuição do tempo de parada de linha, reduzindo os custos.

Apesar de os comissionamentos virtual e híbrido oferecerem vantagens em relação ao seu uso, o comissionamento tradicional não pode ser totalmente

substituído. O comissionamento tradicional é composto apenas por elementos físicos do sistema, isto é, a planta real e o controlador real. A Figura 32 mostra a forma de realizar o comissionamento tradicional.



Fonte: Smith e Cho (2008)

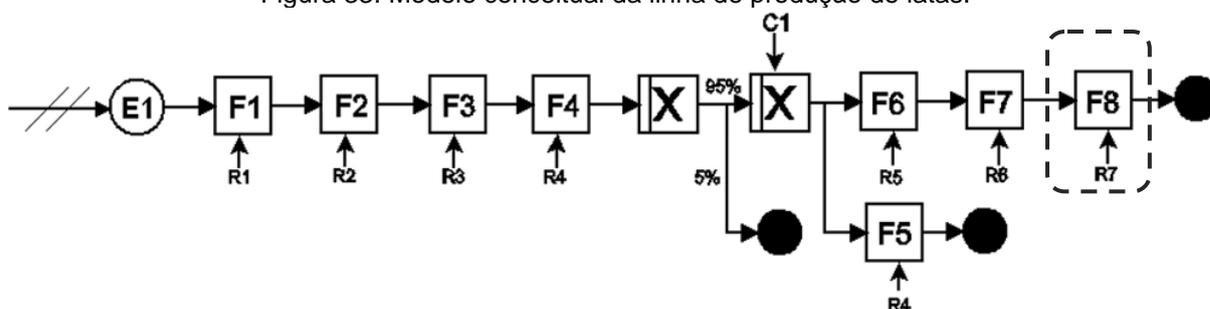
A utilização do comissionamento virtual para validar a lógica de controle reduz os riscos que envolvem a realização do comissionamento tradicional do sistema de controle.

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Modelo conceitual e/ou de simulação

Para Chwif *et al.* (2013), um modelo conceitual construído de forma adequada é um componente importante para o sucesso da simulação a eventos discretos. Deste modo, antes da elaboração do modelo computacional, foi realizada a implementação do modelo conceitual do sistema, como descrito nas etapas presentes na metodologia. A Figura 33 mostra o modelo conceitual da linha de produção de latas.

Figura 33: Modelo conceitual da linha de produção de latas.



Fonte: Elaboração própria

O Quadro 13 mostra a descrição e os parâmetros das funções presentes no modelo conceitual do sistema em estudo.

Quadro 13: Descrição e parâmetros do processo de produção de latas.

	Descrição dos processos	Parâmetros dos processos
E1	Entidade: Disco chato	Função: EXPO (1) minutos
F1	Processo: Formar copos	Função: NORM(0.7,0.07) minutos
F2	Processo: Rotular	Função: NORM(0.3,0.03) minutos
F3	Processo: Revestir	Função: NORM(0.4,0.04) minutos
F4	Processo: Inspeccionar por emissão de luz	Função: NORM(0.1,0.01) minutos
F5	Processo: Inspeccionar em laboratório	Função: NORM(1,0.1) minutos
F6	Processo: Envasar bebida	Função: NORM(0.5,0.05) minutos
F7	Processo: Vedar	Função: NORM(1,0.1) minutos
F8	Processo: Embalar	Função: NORM(1,0.1) minutos
R1	Recurso: Operador 1	Quantidade: 1
R2	Recurso: Impressora computadorizado	Quantidade: 1
R3	Recurso: Vaporizadora	Quantidade: 1
R4	Recurso: Inspetor 1	Quantidade: 1
R5	Recurso: Envasadora	Quantidade: 1
R6	Recurso: Máquina de selagem	Quantidade: 1
R7	Recurso: Operador 2	Quantidade: 1
C1	Controle	(Contador MOD 5) != 0

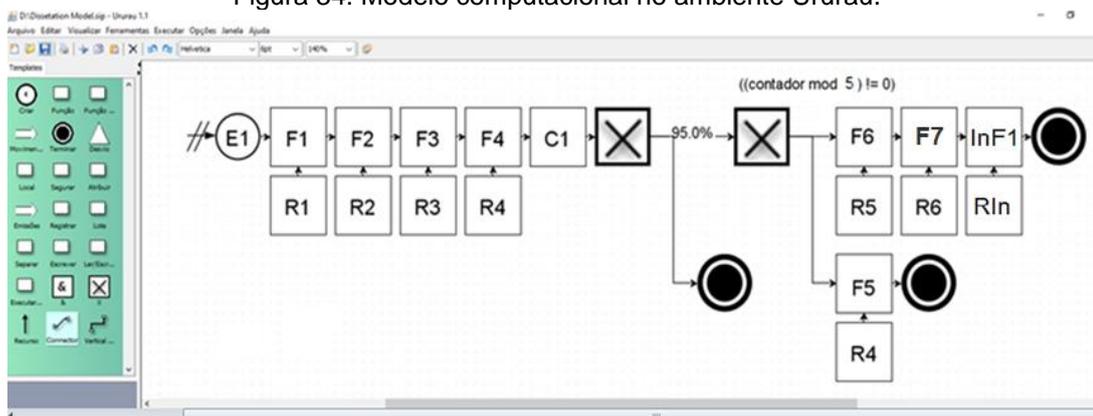
Fonte: Elaboração própria

O controle C1, descrito no Quadro 13, separa uma a cada cinco entidades que passam pelo processo de produção.

Após a implementação do modelo conceitual do processo, foi construído o modelo de simulação computacional no ambiente de modelagem do Ururau, com base nas informações contidas no modelo conceitual (Figura 33) e na descrição dos módulos usados para modelagem do sistema e os parâmetros das funções (Quadro 13).

Como o Ururau também utiliza a linguagem IDEF-SIM na modelagem de sistemas, o modelo computacional é semelhante ao modelo conceitual. O modelo de simulação é mostrado na Figura 34.

Figura 34: Modelo computacional no ambiente Ururau.



Fonte: Elaboração própria

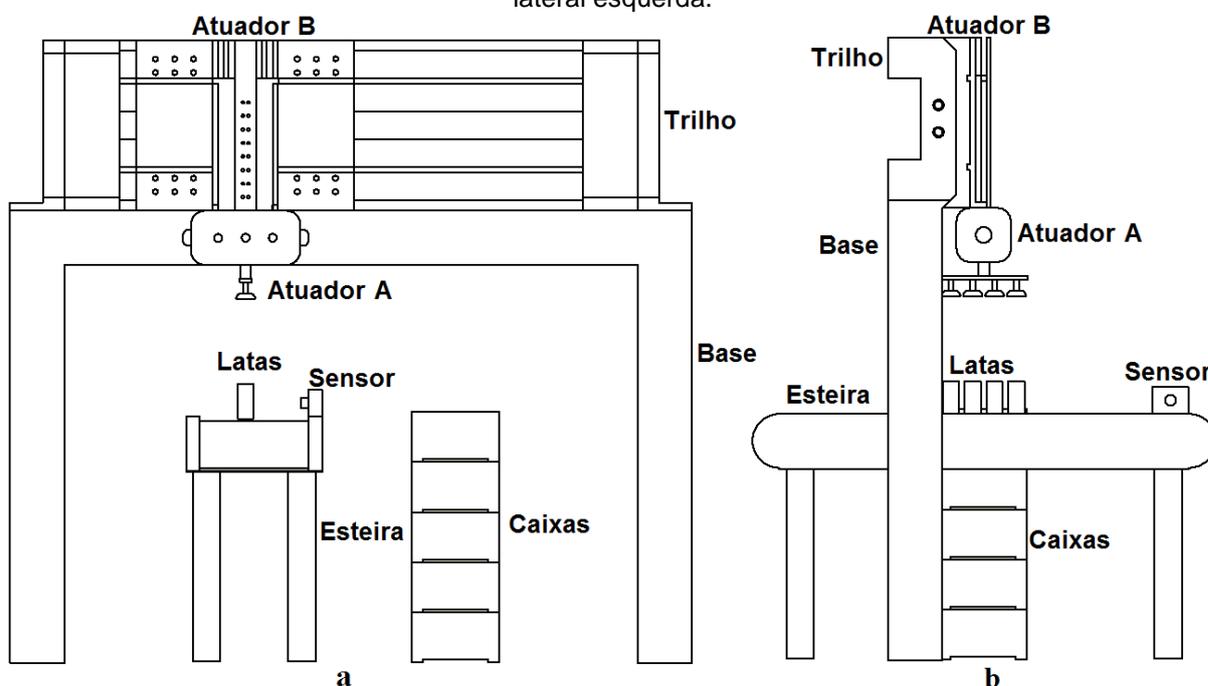
Na Figura 33, o módulo destacado corresponde ao processo de embalagem manual de latas (F8). Esse processo foi selecionado para exemplificar a integração entre o modelo de SED e o modelo dinâmico. Desse modo, foi construída uma máquina automática de embalagem (encaixotadora automática) de latas no ambiente 3D do Software Inventor®.

Para testar a encaixotadora automática, o processo F8 foi substituído por um módulo de função Inventor “InF1”, como apresentado na Figura 34. O recurso R7 foi substituído por RIn.

4.2 Mecanismo de integração com o Inventor

O processo manual de embalagem de latas (F8), destacado na Figura 33, foi selecionado para implementação do teste do mecanismo de integração entre o Ururau e o Software Inventor®, como já citado. A Figura 35 mostra as vistas frontal e lateral esquerda do projeto da máquina encaixotadora automática.

Figura 35: Projeto da máquina encaixotadora implementado no Inventor®: (a) vista frontal e (b) vista lateral esquerda.

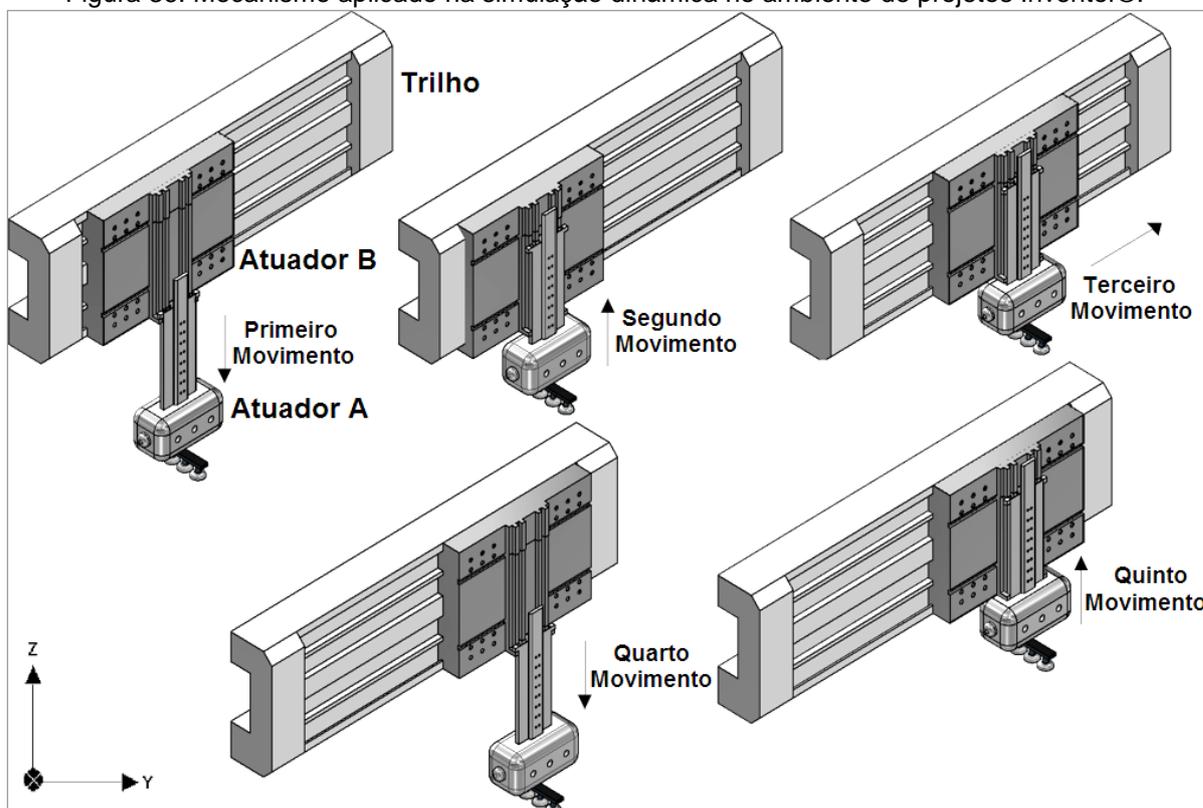


Fonte: Elaboração própria

A Figura 36 apresenta apenas os elementos da máquina encaixotadora automática envolvidos na movimentação das latas da esteira para a caixa, tais são:

trilho, atuador A e atuador B. Além disso, mostra as direções e sentidos dos movimentos realizados pelos atuadores para encaixotar as latas.

Figura 36: Mecanismo aplicado na simulação dinâmica no ambiente de projetos Inventor®.



Fonte: Elaboração própria

A Figura 36 mostra os movimentos que podem ser realizados pelos atuadores para levar as latas da esteira para a caixa. No primeiro deles, o atuador A desce, se deslocando no sentido negativo do eixo Z. Uma vez que as latas são succionadas pela extremidade do atuador A, este atuador executa o segundo movimento, voltando assim para a posição inicial, se deslocando no sentido positivo do eixo Z. O terceiro movimento envolve os dois atuadores, o atuador B se desloca no sentido positivo do eixo Y, movendo junto a ele o atuador A. Quando o atuador B chega ao fim de curso, o atuador A se desloca no sentido negativo do eixo Z, insere as latas no interior da caixa e faz o movimento contrário, isto é, desloca-se no sentido positivo do eixo Z. Não existe deslocamento na direção X.

4.3 Mecanismo de integração Ururau-CLP

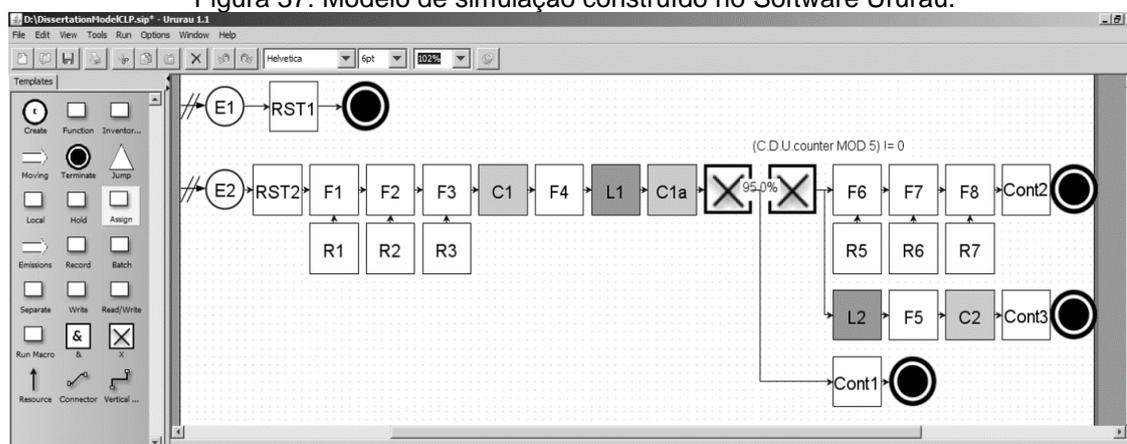
4.3.1 Implementação do mecanismo de integração

O mecanismo de integração do modelo de simulação com o sistema de controle corresponde à automatização do processo de inspeção (F4). Para tanto, um sensor (C.D.U.sensor) é instalado antes do processo de inspeção (F4). Quando detecta a passagem de uma lata, envia um sinal de entrada para o CLP, que envia um sinal de saída, acionando uma lâmpada (C.D.U.lampada).

Além disso, o transporte de latas para inspeção laboratorial também foi automatizado. O controle automático desse transporte consiste no desvio de uma a cada cinco latas por um atuador instalado na linha de produção, que transfere as latas para uma esteira secundária. Esta esteira conduz as latas para o laboratório, onde são inspecionadas. A contagem de latas é feita por meio do monitoramento do acionamento do sensor (C.D.U.sensor) instalado no processo de inspeção, e estes dados são armazenados na variável do contador (C.D.U.contador). Quando uma variável é detectada pelo sensor, esta informação é capturada pelo contador. Após o contador contabilizar quatro acionamentos do sensor, o avanço do atuador (C.D.U.atuador) é ativado, fazendo com que a quinta lata detectada pelo sensor seja desviada para uma segunda esteira, conduzindo a lata até o laboratório. O retorno do atuador é realizado por meio de um sensor de fim de curso (C.D.U.fimdecorso).

A Figura 37 apresenta o modelo de simulação construído no Software Ururau, para integração com o controlador lógico programável.

Figura 37: Modelo de simulação construído no Software Ururau.



Fonte: Elaboração própria

Os módulos *Assign* (C1, C1a, C2) e *Hold* (L1 e L2), mostrados em cinza na Figura 37, foram inseridos para execução da integração do Ururau com o sistema de controle. O Quadro 14 apresenta a descrição dos módulos inseridos no modelo do Ururau, as variáveis usadas nos módulos, o tipo e endereço das variáveis.

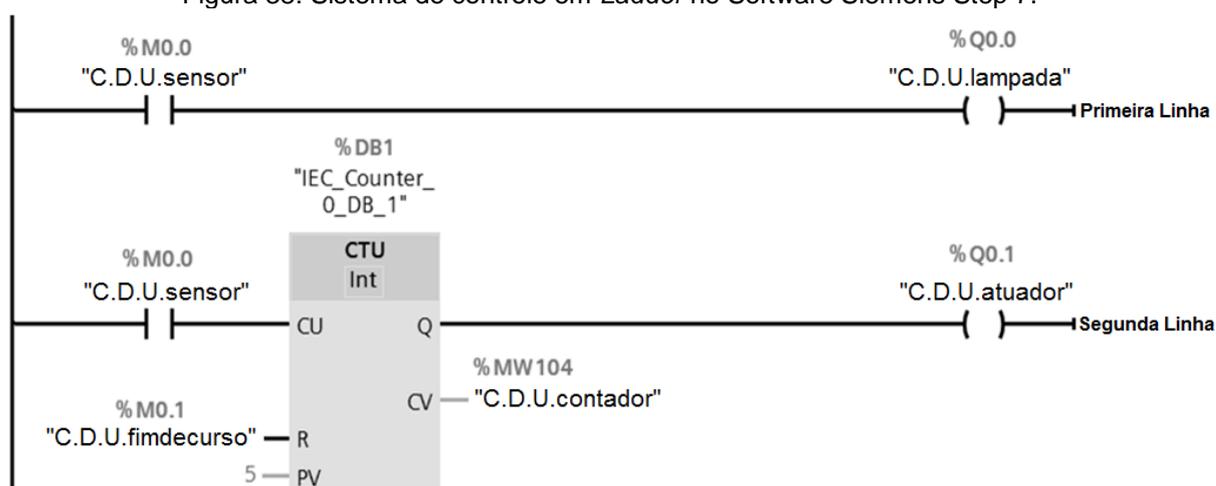
Quadro 14: Variáveis configuradas na interface OPC e no sistema de controle e seus endereços.

Símbolo	Módulo	Nome das variáveis	Tipo	Endereço
C1	Assign	C.D.U.sensor	Booleana	M0.0
L1	Hold	C.D.U.lampada	Booleana	Q0.0
C1a	Assign	C.D.U.sensor	Booleana	M0.0
L2	Hold	C.D.U.atuador	Booleana	Q0.1
C2	Assign	C.D.U.fimdecorso	Booleana	M0.1
X	Decisor	C.D.U.contador	Short ou Word	MW104

Fonte: Elaboração própria

Conforme mostrado no Quadro 14, as variáveis C.D.U.sensor, C.D.U.contador e C.D.U.fimdecorso possuem endereço de memória "M", que permite a manipulação de dados de forma virtual. Já as variáveis C.D.U.lampada e C.D.U.atuador possuem endereços físicos (Q), isto é, que permitem o controle de equipamentos reais. A variável C.D.U.contador é um contador, do tipo *word*, ou seja, 16 bit de tamanho; já as outras são variáveis I/O. A Figura 38 apresenta a lógica *Ladder* utilizada para integração com o modelo de SED.

Figura 38: Sistema de controle em *Ladder* no Software Siemens Step 7.



Fonte: Elaboração própria

A primeira linha de comando mostrada na Figura 38 representa um contato de entrada (sensor) e um contato de saída (lâmpada). Quando a variável do sensor (C.D.U.sensor) detecta a passagem de uma lata, envia um sinal de entrada para o

CLP, que envia um sinal de saída para a variável da lâmpada (C.D.U.lampada), realizando seu acionamento.

Já a segunda linha é composta por uma variável de entrada, um contador e uma variável de saída. O contato de entrada é o mesmo da primeira linha, ou seja, o sensor. A variável do contador (C.D.U.contador) armazena dados do acionamento da entrada do sensor (C.D.U.sensor) e, após a contagem de quatro latas, envia um sinal para o CLP, que aciona a saída, isto é, a variável do atuador (C.D.U.atuador). A variável do contador é zerada por meio da detecção do fim de curso do atuador (C.D.U.fimdecurso).

4.4 Parâmetros de rodada dos modelos

Os parâmetros de rodada do modelo computacional construído no ambiente do Software Ururau são: o número de replicações, o tempo de replicação e o tempo de aquecimento. Esses parâmetros foram utilizados tanto na integração do Ururau com o Inventor® como na integração do Ururau com o CLP. Os parâmetros do sistema são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetro geral de rodada do modelo.

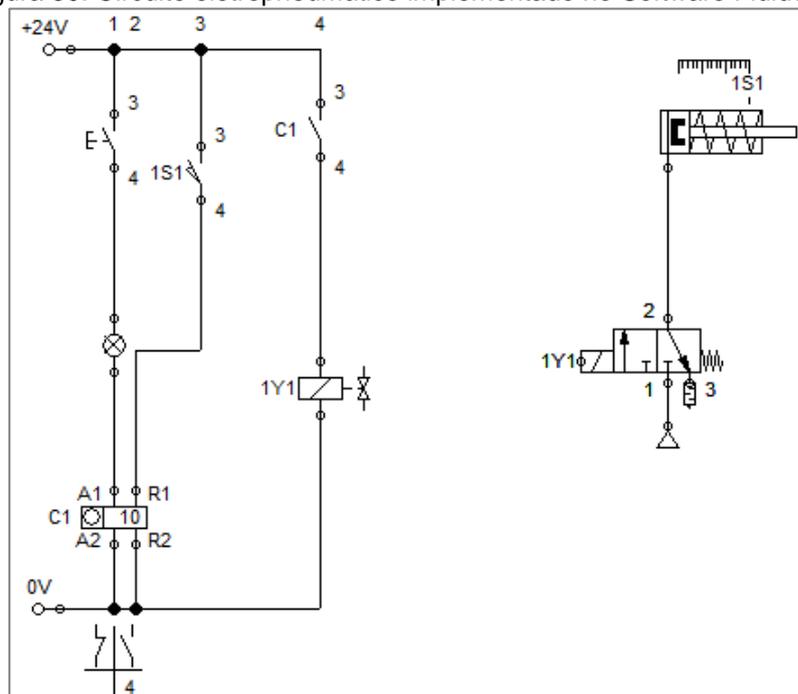
Parâmetros do sistema	
Número de replicações	1 vez
Tempo de replicação	240 minutos
Tempo de aquecimento	0 minutos

Fonte: Elaboração própria

4.5 Experimentos simulados

Antes de realizar os testes, o circuito eletropneumático do sistema foi implementado, com o propósito de facilitar as ligações na bancada de testes. Desse modo, foi empregado o Software FluidSim, que permitiu representar equipamentos usados na bancada pneumática, tais como: válvulas, atuadores, relés, chaves e outros. A Figura 39 mostra a representação dos elementos utilizados.

Figura 39: Circuito eletropneumático implementado no Software FluidSim.



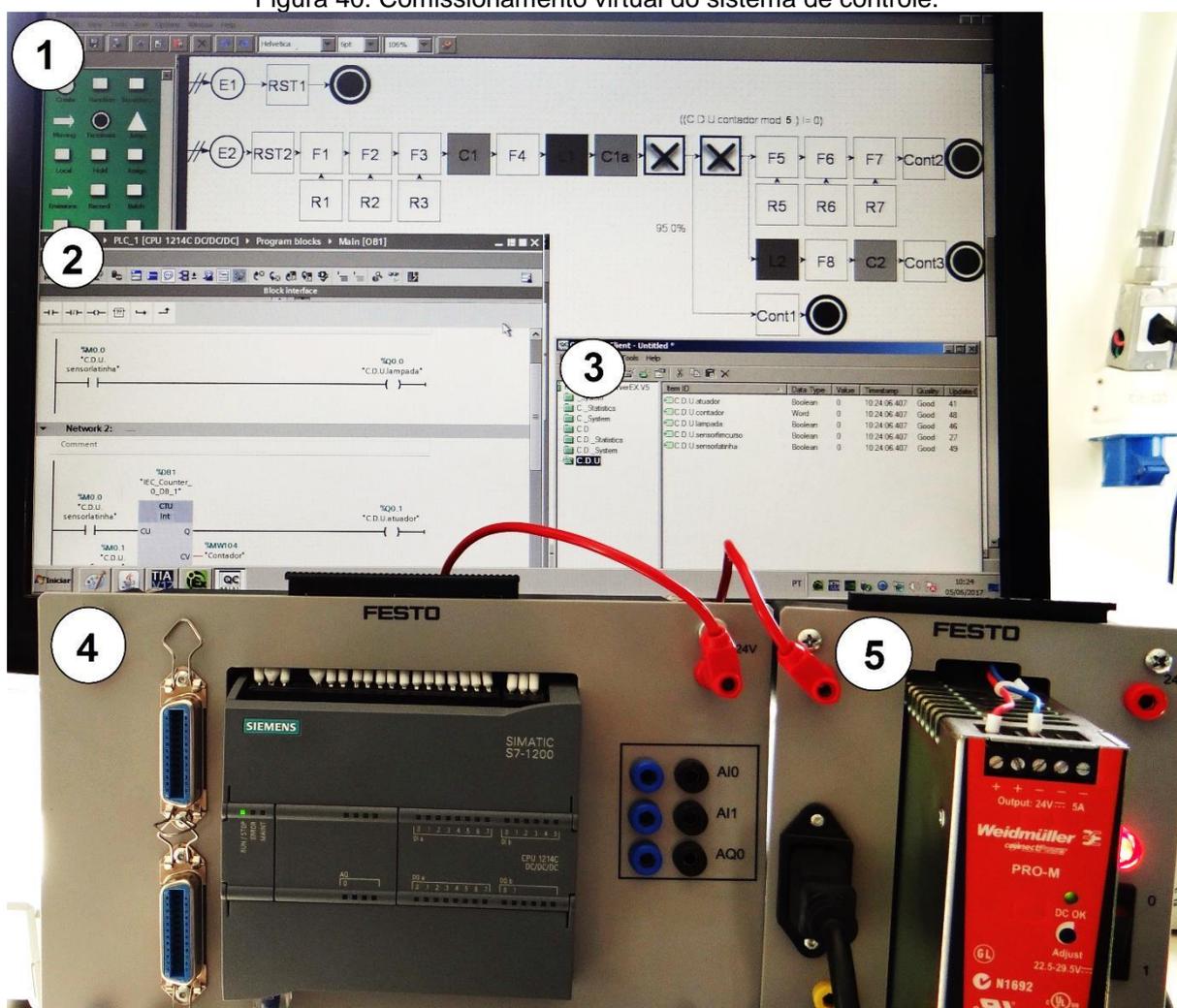
Fonte: Elaboração própria

No circuito elétrico implementado no FluidSim, foram utilizados uma botoeira normal aberta, um sensor fim de curso (1S1), uma chave (C1), um relé (C1) e uma válvula solenoide (1Y1). Já no circuito pneumático, foi utilizada uma válvula solenoide de três vias e duas posições, um atuador de simples ação, um sensor fim de curso, um filtro e um compressor.

A botoeira do circuito elétrico, que representa o sensor, é energizada com 24 volts, sua saída é ligada à entrada do relé (C1), e a saída do relé é conectada em 0 volts. O mesmo acontece com o sensor fim de curso (1S1), que é energizado com 24 volts, sua saída é conectada à entrada do relé (C1), e a saída do relé (C1) é ligada em 0 volts. A chave (C1) é energizada com 24 volts, e a saída de (C1) é conectada à solenoide (1y1), e a saída da solenoide é ligada a 0 volts.

Desse modo, o primeiro teste realizado foi o comissionamento virtual, que utilizou o controlador real, a interface OPC de comunicação e a planta simulada (modelo Ururau), como ilustrado na Figura 40.

Figura 40: Comissionamento virtual do sistema de controle.

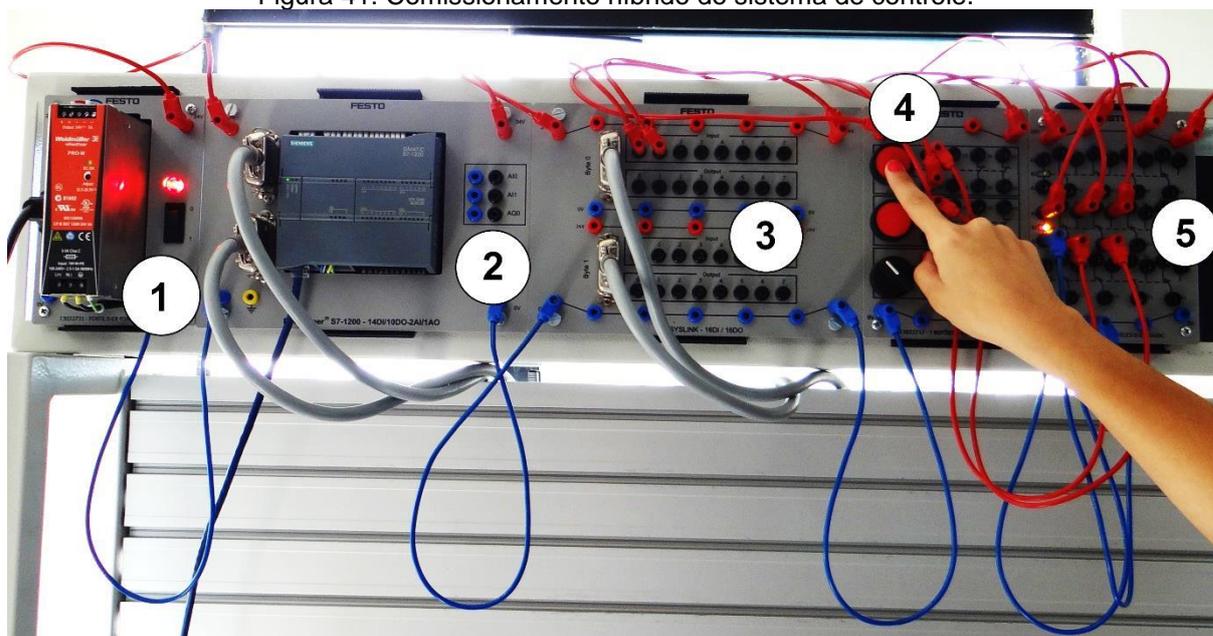


Fonte: Elaboração própria

Na parte 1 da Figura 40, é mostrado o modelo de simulação no ambiente do Software Ururau. Já na parte 2, é apresentado o ambiente do Software Siemens Step 7. A interface de comunicação entre Software e hardware é mostrada na parte 3 da Figura 40. O hardware CLP bem como a fonte de alimentação do mesmo são apresentados nas partes 4 e 5, respectivamente. Os status das variáveis podem ser monitorados por meio da interface OPC e pelas lâmpadas existentes nos controladores.

Posteriormente, foi realizado o comissionamento híbrido (Figura 41). Neste teste, foi utilizada a planta virtual (modelo Ururau), a interface OPC de comunicação, o controlador real e dispositivos físicos da bancada didática pneumática.

Figura 41: Comissionamento híbrido do sistema de controle.

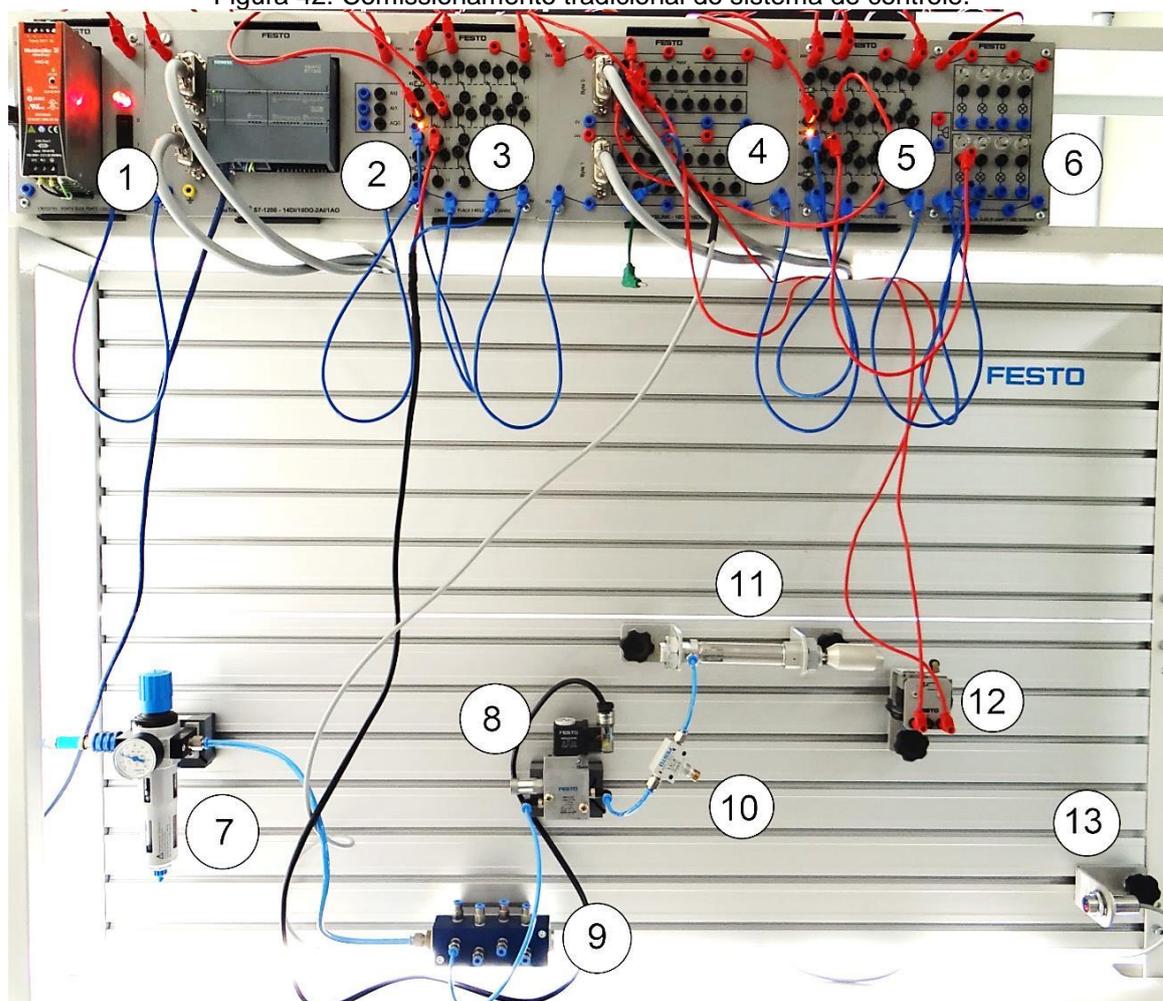


Fonte: Elaboração própria

A Figura 41 mostra, na parte 1, a fonte de alimentação dos componentes da bancada; na parte 2, o hardware CLP; na parte 3, os bytes de entrada e saída do CLP; na parte 4, as botoeiras; e, na parte 5, a placa de relés. Quando o primeiro botão, mostrado na parte 4 da Figura, é pressionado, a lâmpada no controlador mostrado na parte 2 da Figura acende. Esse botão representa o sensor. Após pressionar cinco vezes, uma segunda lâmpada no controlador acende. Isso ocorre por meio do contador, que, após contabilizar cinco acionamentos do sensor, aciona o atuador. Para a segunda lâmpada ser apagada, é necessário pressionar o segundo botão da parte 4 da Figura, que representa o sensor fim de curso. Este botão zera o contador.

A Figura 42 mostra o comissionamento tradicional. Este teste utilizou apenas equipamentos físicos em sua implementação, tais como: lâmpada, atuador, válvula redutora de pressão, dentro outros.

Figura 42: Comissionamento tradicional do sistema de controle.



Fonte: Elaboração própria

Na parte 1 da Figura 42, pode ser vista a fonte de alimentação dos módulos elétricos da bancada de testes. Na parte 2 da Figura, é mostrado o módulo de controle; nas partes 3 e 5, são mostrados os relés; na parte 4, os bytes de entrada e saída do CLP; e, na parte 6, as lâmpadas. Na parte 7, encontram-se o filtro; a válvula solenoide de três vias e duas posições, na parte 8; na 9, a caixa distribuidora; na parte 10, a válvula redutora de vazão; na parte 11, o atuador de simples ação; na parte 12, o sensor fim de curso (ou válvula de posição); e, na parte 13, o sensor óptico.

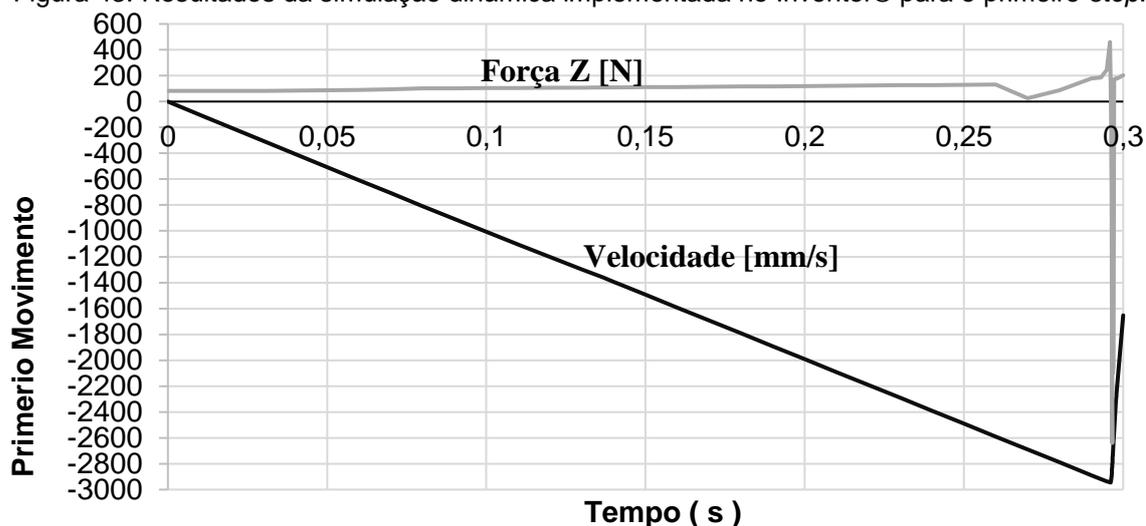
Quando um objeto é detectado pelo sensor mostrado na parte 13 da Figura 42, um sinal de entrada é enviado para o CLP, que envia um sinal de saída, acionando a lâmpada mostrada na parte 6 da Figura. Após cinco acionamentos do sensor, um sinal de entrada é enviado para o CLP, que envia um sinal de saída, acionando o atuador, mostrado na parte 11 da Figura 42. Quando o atuador chega

ao fim de curso, o sensor apresentado na parte 12 da Figura, aciona o recuo do atuador e zera o contador.

4.6 Análise dos resultados

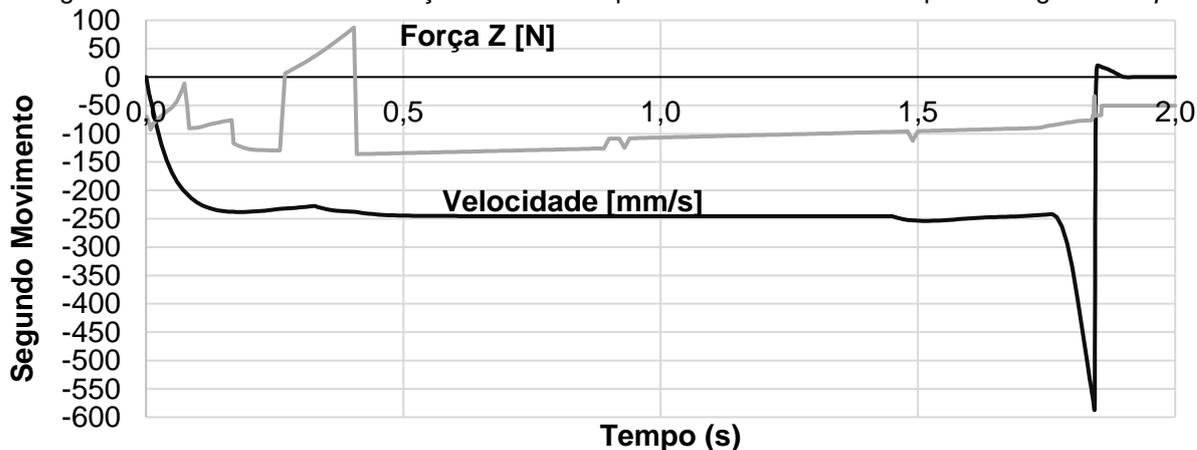
Os resultados experimentais da integração entre o modelo SED e o modelo dinâmico (modelo CAD 3D) estão apresentados nas Figuras 43, 44, 45, 46 e 47, as quais permitem conhecer o comportamento das curvas de força e velocidade em função do tempo, correspondentes aos movimentos executados pelo mecanismo implementado. Os valores referentes à força e à velocidade foram apresentados no eixo das ordenadas, enquanto o tempo foi mostrado no eixo das abscissas.

Figura 43: Resultados da simulação dinâmica implementada no Inventor® para o primeiro *step*.



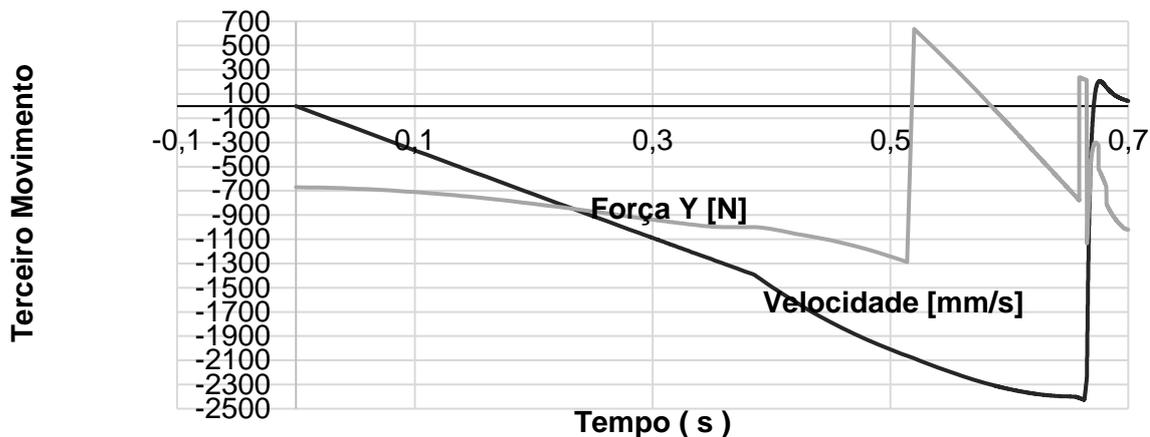
Fonte: Adaptada de Software Inventor®

Figura 44: Resultados da simulação dinâmica implementada no Inventor® para o segundo *step*.



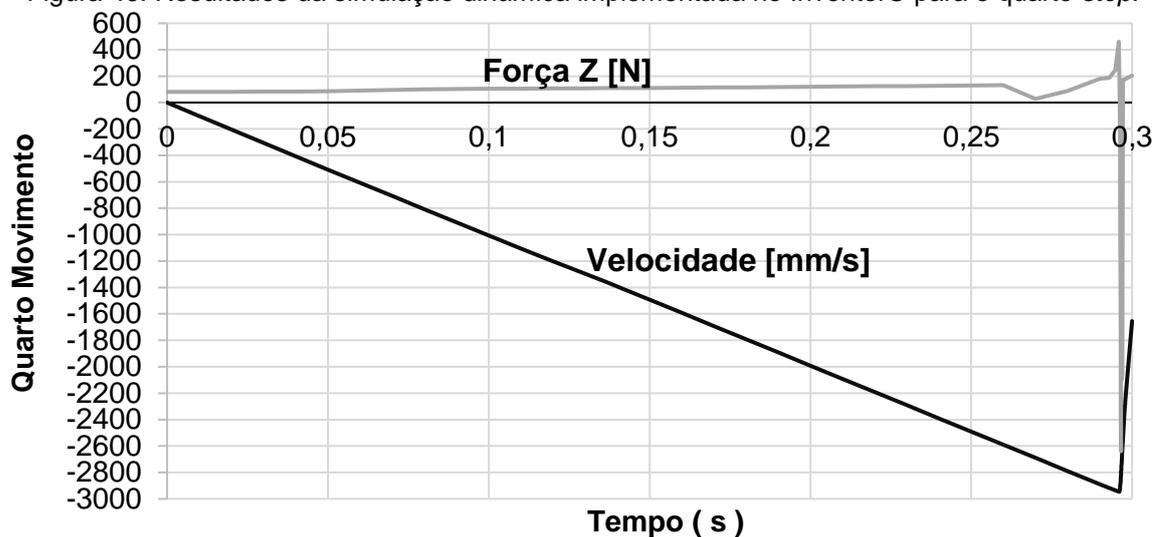
Fonte: Adaptada de Software Inventor®

Figura 45: Resultados da simulação dinâmica implementada no Inventor® para o terceiro *step*.



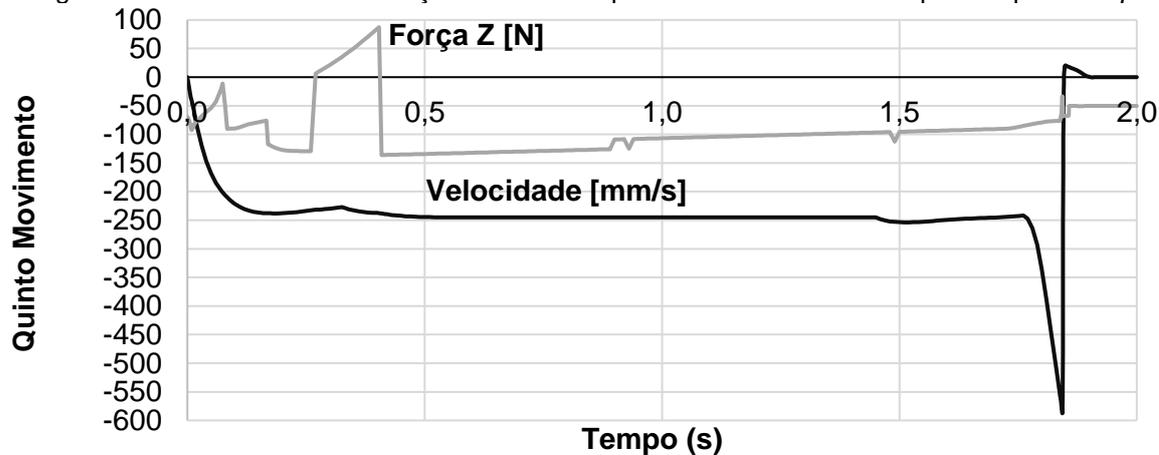
Fonte: Adaptada de Software Inventor®

Figura 46: Resultados da simulação dinâmica implementada no Inventor® para o quarto *step*.



Fonte: Adaptada de Software Inventor

Figura 47: Resultados da simulação dinâmica implementada no Inventor® para o quinto *step*.



Fonte: Adaptada de Software Inventor®

A Figura 43 mostra a força necessária para deslocar o atuador A e a velocidade em que se movimenta na trajetória desenvolvida, com duração de 0,3 segundos.

Nesse movimento, a força não sofreu alterações significativas até o instante 0,27 segundos. Já os valores da velocidade diminuíram gradativamente no intervalo 0 a 0,29 segundos e, após este instante, aumentaram.

Já a Figura 44 apresenta os valores de velocidade e força em função do tempo para o segundo movimento, realizado em 2 segundos pelo atuador A. Os valores de força oscilaram em toda a trajetória, enquanto a velocidade não sofreu grandes variações no intervalo de 0,49 a 1,45 segundos. Os valores de velocidade e força deste movimento foram predominantemente negativos.

A Figura 45 apresenta valores de velocidade e força em função do tempo referentes ao terceiro movimento, realizado pelo atuador B. Esse deslocamento ocorreu em 0,7 segundos. Os valores de velocidade e força deste movimento, assim como o anterior, foram predominantemente negativos e apresentaram oscilações significativas em toda a trajetória. As Figuras 43 e 46 são semelhantes às Figuras 44 e 47, respectivamente. Isso pois, os pesos das latas foram desprezados nos testes.

Os valores de velocidade e força em função do tempo, referentes aos movimentos podem ser vistos nos Apêndices C, D e E.

A Tabela 2 mostra valores de velocidade e força em relação ao tempo para cada *step* realizado pela máquina encaixotadora, obtidos por meio da simulação dinâmica no Software Inventor®, bem como dados obtidos pelo relatório do Ururau após a implementação do mecanismo de integração com o modelo SED. São estes: tempo na fila, número na fila e ocupação de recurso.

Os valores das variáveis do mecanismo dinâmico mostrados na Tabela 2 foram obtidos por meio da mesma base de dados usada nas Figuras 43, 44, 45, 46 e 47. Esses dados analíticos permitem perceber que a maior parte dos valores do mecanismo dinâmico assume sinal negativo durante a trajetória desenvolvida.

Os valores das variáveis do modelo SED foram os mesmos em todos os movimentos, com exceção do módulo de processo Inventor (InF1) e do recurso empregado nesta função (RIn). No primeiro movimento, as entidades despenderam 0,01 minutos na fila do processo (InF1), ou seja, 0,6 segundos. Já a utilização do recurso deste processo (RIn) correspondeu a 43,30%. Para o segundo movimento, o tempo médio das variáveis na fila do processo (InF1) correspondeu a 0,92 minutos (55,2 segundos), e o número médio de entidades na fila foi de 0,41; já a utilização do recurso da máquina encaixotadora foi de 70,70%. No terceiro movimento, o tempo

das entidades na fila do processo (InF1) foi de 0,36 minutos (21,6 segundos), valor inferior ao movimento anterior. O número de entidades na fila e a utilização dos recursos também foram inferiores ao anterior, sendo a quantidade de entidades correspondente a 0,17, e a utilização da encaixotadora, a 63,30%.

Tabela 2: Variáveis do mecanismo dinâmico e do modelo SED obtidos por meio da implementação do mecanismo de integração.

Variáveis do mecanismo dinâmico			Variáveis do modelo SED					
Primeiro movimento								
Tempo (s)	Força (N)	Velocidade (mm/s)	Tempo na Fila (min)		Número na Fila		Ocupação de Recurso (%)	
0,1	104,22	-1007,22	F1	0,29	F1	1,26	R1	62,80
0,2	119,35	-1991,59	F6	0,19	F6	0,13	R5	56,60
0,3	204,32	-1653,29	InF1	0,01	InF1	0,00	RIn	43,30
Segundo movimento								
Tempo (s)	Força (N)	Velocidade (mm/s)	Tempo na Fila (min)		Número na Fila		Ocupação de Recurso (%)	
0,0	-76,14	0,00	F1	0,29	F1	1,26	R1	62,80
0,1	-89,79	-221,57	F2	0,00	F2	0,00	R2	25,00
0,4	84,63	-237,45	F3	0,00	F3	0,00	R3	32,20
0,8	-127,88	-245,27	F4	0,00	F4	0,00	R4	7,60
1,0	-106,72	-245,27	F5	0,00	F5	0,00	R4	31,10
1,4	-97,78	-245,25	F6	0,19	F6	0,13	R5	56,60
1,8	-79,12	-335,43	F7	0,00	F7	0,00	R6	10,40
2,0	-50,50	0,00	InF1	0,92	InF1	0,41	RIn	70,70
Terceiro movimento								
Tempo (s)	Força (N)	Velocidade (mm/s)	Tempo na Fila (min)		Número na Fila		Ocupação de Recurso (%)	
0,0	81,18	0,00	F1	0,29	F1	1,26	R1	62,80
0,1	-709,88	-365,59	F2	0,00	F2	0,00	R2	25,00
0,2	-807,47	-729,00	F3	0,00	F3	0,00	R3	32,20
0,3	-937,88	-1088,73	F4	0,00	F4	0,00	R4	7,60
0,4	-1014,90	-1492,33	F5	0,00	F5	0,00	R4	31,10
0,5	-1242,03	-2010,43	F6	0,19	F6	0,13	R5	56,60
0,6	-157,34	-2338,08	F7	0,00	F7	0,00	R6	10,40
0,7	-1021,37	43,16	InF1	0,36	InF1	0,17	RIn	63,30

Fonte: Elaboração própria

A Tabela 3 mostra os resultados obtidos por meio da integração entre o modelo de simulação e o sistema de controle.

Os valores dos contadores (Count1, Count2 e Count3) possibilitam analisar o funcionamento da integração entre o sistema de controle e o modelo SED. Como pode ser visto na Figura 35, todas as saídas do modelo possuem um contador. O Count1 contabiliza os valores das entidades descartadas no processo de inspeção por emissão de luz; o Count2 calcula as variáveis que passam por todos os

processos da célula produtiva; já o Count3 contabiliza as entidades que são retiradas de linha pelo atuador, para a inspeção laboratorial.

Tabela 3: Dados do relatório do Ururau obtido por meio da implementação da integração do modelo de simulação e o sistema de controle.

Tempo na fila (min)		Número na fila	
F1.queue	0,58	F1.queue	1,53
F2.queue	0,00	F2.queue	0,00
F3.queue	0,00	F3.queue	0,00
F4.queue	0,00	F4.queue	0,00
F5.queue	6,73	F5.queue	0,83
F6.queue	0,00	F6.queue	0,00
F7.queue	0,18	F7.queue	0,11
F8.queue	10,26	F8.queue	6,06
Ocupação de recurso (%)		Outras variáveis	
R1	66,00	Count1	7
R2	28,40		
R3	37,20	Count2	45
R5	29,60		
R6	59,80	Count3	13
R7	91,20		

Fonte: Elaboração própria

Com a soma da contagem realizada pelos contadores, é possível conhecer o total de entidades que passaram pelos processos do modelo SED. Deste modo, para verificar o funcionamento da integração do sistema de controle e o modelo SED, é necessário dividir o total de variáveis do modelo por 5, visto que a cada cinco variáveis, uma é retirada de linha. A Equação 2 mostra o cálculo para encontrar a quantidade de variáveis que devem ser levadas para o laboratório, com base em dados da Tabela 3.

Equação 2: Quantidade de entidades que devem ser desviadas.

$$x = \left(\frac{\text{Count1} + \text{Count2} + \text{Count3}}{5} \right)$$

Fonte: Elaboração própria

O valor de “x” na equação corresponde às variáveis direcionadas para o laboratório. Este valor deve ser comparado com a variável Count3. Uma vez que esses valores encontram correspondência, o modelo e a lógica de controle são válidos. Visto que o total de entidades do modelo é 65, uma amostra de 13 latas deve ser retirada da linha. Portanto, pode-se verificar, na Figura 3, que a quantidade de entidades retiradas da linha foi a mesma determinada pela Equação 2. Deste

modo, o funcionamento do modelo de simulação e o sistema de controle foram validados.

Além disso, a Tabela 3 apresenta outros valores obtidos por meio do relatório gerado pelo Software Ururau, tais como: Tempo na Fila (minutes), Número na Fila e Ocupação de Recurso (%). O processo com maior tempo e número de entidades na fila foi o processo de embalagem (F8), com o tempo de espera de 10,26 minutos e com um número médio de entidades na fila de 6,06. A utilização do recurso (R7), recurso utilizado pelo processo de embalagem, também foi superior aos outros, com 91,20% de utilização.

CAPÍTULO 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A DISSERTAÇÃO

5.1 Conclusões

A implementação do mecanismo de integração entre os Softwares Ururau e Inventor® permitiu a comunicação *on-line* entre eles e possibilitou, com isso, uma análise mais ampla de um típico sistema de manufatura. Ou seja, a integração entre os referidos Softwares, além de proporcionar a verificação de sistemas estocásticos, como a avaliação de operações e recursos do processo, permitiu também a análise de esforços mecânicos de um novo dispositivo inserido na planta industrial em estudo. Pode-se afirmar então que, por meio da simulação dinâmica em Softwares de projetos mecânicos, é possível testar o funcionamento de um dado elemento do sistema, e que o uso deste recurso propicia a otimização de modelos no Software Ururau.

Além disso, foi construído um ambiente híbrido utilizando o modelo de simulação a eventos discretos e o sistema de controle. O referido ambiente possibilitou o desenvolvimento e a realização de testes em tempo real do sistema de controle, e, com isso, propiciou a validação da lógica programada, podendo ser aplicada para treinamento de operadores, sem interferir no funcionamento do sistema real.

Desse modo, pode-se concluir que a utilização de Softwares para comissionamento de sistemas de controle é uma alternativa potencialmente viável. Esses Softwares apresentam vantagens em relação aos testes realizados no sistema real. Sendo assim, pode-se afirmar que é possível comissionar uma linha de produção antes de implementar a planta física utilizando o Software Ururau.

Pode-se ressaltar, também, que o Software Ururau apresenta vantagens em relação ao seu uso. Uma das vantagens de utilizá-lo é que, por ser um Software de código livre e aberto, permite a exploração da arquitetura interna de um ambiente de simulação discreta e suas características construtivas. Desse modo, outros pesquisadores e desenvolvedores de modelos de simulação podem compreender o mecanismo desenvolvido e replicá-lo em ambientes computacionais distintos de forma semelhante. Além disso, o Ururau permite a execução de modelos de simulação até cinco vezes mais rápida do que os Softwares Arena® ou ProModel®, e apresenta resultados equivalentes a esses Softwares comerciais.

Como desvantagem, pode-se destacar que os Softwares comerciais, a exemplo do Arena, possuem um código mais robusto se comparados ao Ururau, visto que o Arena está há muito tempo no mercado.

O mecanismo apresentado pode ser empregado no âmbito educacional, promovendo o aprendizado de alunos e, também, aplicado em treinamentos de operadores. Além disso, pode ser usado na indústria a fim de testar sistemas de controle, projetar novos leiautes, ou mesmo na modificação de uma planta industrial.

5.2 Limitações do trabalho

O estudo foi limitado a um sistema de manufatura hipotético. Dessa forma, o sistema de controle não foi testado em uma planta real. Além disso, os resultados simulados não foram comparados com os de um sistema real.

5.3 Sugestões para trabalhos futuros

Como sugestões para trabalhos futuros, recomenda-se o emprego de uma planta real para a implementação de testes e a avaliação da abordagem.

Além disso, recomenda-se a implementação de um plug-in no Software Ururau, de forma que possa ser empregado também o recurso aqui apresentado em outros Softwares de projetos mecânicos, como o SolidWorks® da Dassault Systèmes. Pode-se, também, comparar os resultados simulados com os de um sistema real.

5.4 Produções originadas neste trabalho

Quadro 15: Produções originadas neste trabalho.

ARTIGO	SITUAÇÃO
LAURINDO, Q. M. G.; RANGEL, J. J. A.; PEIXOTO, T. A. Communication Mechanism of the Discrete Event Simulation and the Mechanical Project Softwares for Manufacturing Systems.	Publicado no <i>Journal of Computational Design and Engineering</i> https://doi.org/10.1016/j.jcde.2018.02.005
LAURINDO, Q. M. G.; RANGEL, J. J. A.; PEIXOTO, T. A. Mecanismo de comunicação entre um Software de simulação a eventos discretos e um Software de projetos mecânicos para a indústria 4.0	Submetido no SBPO-2018

Fonte: Elaboração própria

REFERÊNCIAS

ALVANCHI, A.; LEE, S.; ABOURIZK, S. M. Modeling Architecture for Hybrid System Dynamics and Discrete Event Simulation. In: CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS, 2009, Seattle. **Anais...** Reston: American Society of Civil Engineers, 2009. p.1290-1299.

ASBJÖRNSSON, G. et al. Modelling of discrete downtime in continuous crushing operation. **Minerals Engineering**, v. 98, p. 22-29, 2016.

AUINGER, F.; VORDERWINKLER, M.; BUCHTELA, G. Interface driven domain-independent modeling architecture for “soft-commissioning” and “reality in the loop”. In: PROCEEDINGS OF THE WINTER SIMULATION CONFERENCE, 31., 1999, Phoenix. **Anais...** Piscataway: IEEE, 1999. p. 798-805.

AUTODESK. Tutorial Inventor. 2017. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/products/inventor/overview>>. Acesso em: 31 out. 2017.

AZIMI, P.; SOOFI, P. An ANN-Based Optimization Model for Facility Layout Problem Using Simulation Technique. **Scientia Iranica**, v. 24, n. 1, p. 364-377, 2017.

BANKS, J. Simulation in the Future. In: PROCEEDINGS OF THE WINTER SIMULATION CONFERENCE, 32., 2000, Orlando. **Anais...** Piscataway: IEEE, 2000. p. 1568 -1576.

BANKS, J. et al. **Discrete-Event System Simulation**. 5. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice hall, 2009. 622 p.

BANKS, J.; CHWIF, L. Warnings about simulation. **Journal of Simulation**, v. 5, n. 4, p. 279-291, 2010.

BELGE Engenharia e Sistemas. ProModel: O primeiro e único simulador do mercado em Português. 2015. Disponível em: <<http://www.belge.com.br/promodel.php>>. Acesso em: 25 out. 2017.

BERGERO, F.; KOFMAN, E. PowerDEVS: a tool for hybrid system modeling and real-time simulation. **Simulation**, v. 87, n. 1-2, p. 113-132, 2010.

BERTRAND, J.; Will, M.; FRANSOO, J. C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 241-264, 2002.

BRONKS, B.; DAVIDISON, A.; MCGREGOR, I. The evolving relationship between simulation and emulation: faster than real-time controls testing. In: PROCEEDINGS OF THE WINTER SIMULATION CONFERENCE, 46., 2014, Savannah. **Anais...** Piscataway: IEEE, 2014. p. 4240-4248.

CARDOSO, L. D.; RANGEL, J. J. A.; BASTOS, P. J. T. Discrete event simulation for integrated design in the production and commissioning of manufacturing systems. In: PROCEEDINGS OF THE WINTER SIMULATION CONFERENCE, 45., 2013, Washington. **Anais...** Piscataway: IEEE, 2013. p. 2544-2552.

CARSON, J. S. Introduction to Modeling and Simulation. In: PROCEEDINGS OF THE WINTER SIMULATION CONFERENCE, 35., 2003, New Orleans. **Anais...** Piscataway: IEEE, 2003. p. 7-13.

CHENG, R. et al. Simulation: The past 10 years and the next 10 years. In: PROCEEDINGS OF THE WINTER SIMULATION CONFERENCE, 48., 2016, Arlington. **Anais...** Piscataway: IEEE, 2016. p. 2180-2192.

CHWIF, L. et al. A framework for specifying a discrete-event simulation conceptual model. **Journal of Simulation**, v. 7, n. 1, p. 50-60, 2013.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações**. 3. ed. São Paulo: Elsevier, 2014. 320 p.

COSTA, H. G. Modelo para Webibliomining: proposta e caso de aplicação. **Revista da FAE**, v. 13, n. 1, p. 115-126, 2010.

DAGKAKIS, G.; HEAVEY, C. A review of open source discrete event simulation Software for operations research. **Journal of Simulation**, v. 10, n. 3, p. 193-206, 2015.

DOMINKA, S.; SCHILLER, F.; KAIN, S. Hybrid Commissioning - Speeding-up Commissioning of Field Bus Driven Production Plants. In: Mechatronics, 4., 2007, Changchun. **Anais...** Piscataway: IEEE, 2007. p. 1-6.

DOUGALL, D. J. Applications and benefits of real-Time I/O simulation for PLC and PC control systems. **ISA Transactions**, v. 36, n. 4, p. 305-311, 1998.

ELSEVIER. **Pesquisadores e Profissionais de P&D**: O maior acervo de soluções eletrônicas para pesquisadores da comunidade científica. 2016. Disponível em: <<https://www.elsevier.com.br/solucoes-digitais/>>. Acesso em: 20 out. 2017.

EZZELL, Z; FISHWICK, P. A. Building dynamic 3D visualizations through ontology-guided interactions with domain knowledge and simulation models. **Journal of Simulation**, v. 11, n. 2, p. 159-173, 2017.

FEINBERG, J. Wordle. 2014. Disponível em: <<http://www.wordle.net/>>. Acesso em: 10 out. 2017.

FLEXSIM Software Products. Flexsim problem solved. 2015. Disponível em: <<https://www.flexsim.com/pt/>>. Acesso em: 31 out. 2017.

FREITAS, J. G.; COSTA, H. G. Impacts of Lean Six Sigma over organizational sustainability. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 8, n. 1, p. 89-108, 2017.

GALAMBOS, P. et al. Design, programming and orchestration of heterogeneous manufacturing systems through VR-powered remote collaboration. **Robotics and Computer-integrated Manufacturing**, v. 33, p. 68-77, 2015.

GIRONIMO, G. et al. Simulation of forest harvesting alternative processes and concept design of an innovative skidding winch focused on productivity improvement. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 39, p. 350-359, 2015.

GOEKING, W. Memória da eletricidade: Da máquina a vapor aos Softwares de automação. **O Setor Elétrico**, v. 5, n. 52, p. 70-77, 2010.

GRUNDSTEIN, S.; MICHAEL, F.; BERND, SCHOLZ-REITER. A New Method for Autonomous Control of Complex Job Shops - Integrating Order Release, Sequencing and Capacity Control to Meet Due Dates. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 42, p. 11-28, 2017.

GUERRERO, L. V.; LÓPEZ, V. V.; MEJÍA, J. E. Virtual Commissioning with Process Simulation (Tecnomatix). **Computer-aided Design and Applications**, v. 11, n. 1, p. 11-19, 2014.

HARRISON, R.; VERA, D.; AHMAD, B. Engineering the Smart Factory. **Chinese Journal of Mechanical Engineering**, v. 29, n. 6, p. 1046-1051, 2016.

HOAD, K.; KUNC, M. Teaching system dynamics and discrete event simulation together: a case study. **Journal of the Operational Research Society**, v. 69, n. 4, p. 517-527, 2018.

HOFFMANN, P. et al. Virtual Commissioning of Manufacturing Systems: A Review and New Approaches for Simplification. In: PROCEEDINGS OF THE EUROPEAN CONFERENCE ON MODELLING AND SIMULATION, 24., 2010, Kuala Lumpur. **Anais...** European Council for Modeling and Simulation, 2010. p. 175-181.

HOFMANN, W. et al. Integrating Virtual Commissioning Based on High Level Emulation into Logistics Education. **Procedia Engineering**, v. 178, p. 24-32, 2017.

HWANG, S. et al. Hybrid Simulation Framework for Immediate Facility Restoration Planning after a Catastrophic Disaster. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 142, n. 8, p. 1-15, 2016.

INGALLS, R. G. Introduction to Simulation. In: PROCEEDINGS OF THE WINTER SIMULATION CONFERENCE, 33., 2001, Arlington. **Anais...** Piscataway: IEEE, 2001. p. 7-16.

INUKAY, T.; HIBINO, H.; FUKUDA, Y. Simulation Environment Synchronizing Real Equipment for Manufacturing Cell. **Journal Advance Mechanical**, v. 1, n. 2, p. 238-249, 2007.

JESUS, I. R. D.; COSTA, H. G. Interfaces between production engineering and the public affairs: evidences from bibliometric analysis. **Scientometrics**, v. 105, n. 2, p. 1183-1193, 2015.

JOHANSSON, O. *Testing and Evaluation of Virtual Commissioning: Case study of an existing robot cell at Scania modelled with 3DExperience*. 2017. 44 f. Dissertation (Masters) - Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 2017.

JOHNSTONE, M.; CREIGHTON, D.; NAHAVANDI, S. Enabling industrial scale simulation / emulation models. In: PROCEEDINGS OF THE WINTER SIMULATION CONFERENCE, 39., 2007, Washington. **Anais...** Piscataway: IEEE, 2007. p. 1028-1034.

KAMAT, V. R.; MARTINEZ, J. C. General-Purpose 3D Animation with VITASCOPE. In: PROCEEDINGS OF THE WINTER SIMULATION CONFERENCE, 36., 2004, Washington. **Anais...** Piscataway: IEEE, 2004. p. 1691-1697.

KHAN, A.; TUROWSKI, K. A Perspective on Industry 4.0: From Challenges to Opportunities in Production Systems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTERNET OF THINGS AND BIG DATA, 1., 2016, Roma. **Anais...** Roma: IoTBD, 2016. p. 441-448.

KO, M. et al. New modelling formalism for control programs of flexible manufacturing systems. **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 6, p. 1668-1679, 2012.

KO, M.; AHN E.; Park, S. C. A concurrent design methodology of a production system for virtual commissioning. **Concurrent Engineering**, v. 21, n. 2, p. 129-140, 2013.

KO, M.; PARK, S. C. Template-based modeling methodology of a virtual plant for virtual commissioning. **Concurrent Engineering**, v. 22, n. 3, p.197-205, 2014.

LAW, A. M; KELTON, W. D. **Simulation Modeling and Analysis**. 5. ed. Nova Iorque: Mc Graw Hill., 2007. 804 p.

LAURINDO, Q. M. G.; PEIXOTO, T. A.; RANGEL, J. J. A. Desenvolvimento de um modelo de simulação a eventos discretos utilizando FOSS. In: ENCONTRO MINEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 9., 2013, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: UFJF, 2013.

LEE, C. G.; PARK, S. C. Survey on the virtual commissioning of manufacturing systems. **Journal of Computational Design and Engineering**, v. 1, n. 3, p. 213-222, 2014.

LEEMIS, L. M.; PARK, S. K. **Discrete-event simulation: A first course**. 1. ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2006. 604 p.

LI, X. et al. A Review of Industrial Wireless Networks in the Context of Industry 4.0. **Wireless Networks**, v. 23, n. 1, p. 23-41, 2015.

LINDSKOG, E. et al. Combining point cloud technologies with discrete event simulation. In: PROCEEDINGS OF THE WINTER SIMULATION CONFERENCE, 44., 2012, Berlin. **Anais...** Piscataway: IEEE, 2012. p. 3192-3201.

LINDSKOG, E.; VALLHAGEN, J.; JOHANSSON, B. Production system redesign using realistic visualisation. **International Journal of Production Research**, v. 55, n. 3, p. 858-869, 2016.

LIU, Y.; XU, X. Industry 4.0 and Cloud Manufacturing: A Comparative Analysis. **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, v. 139, p. 1-8, 2017.

LONGO, F; MIRABELLI, G. Effective design of an assembly line using modelling and simulation. **Journal of Simulation**, v. 3, n. 1, p. 50-60, 2009.

MCGREGOR, I. The relationship between simulation and emulation. In: PROCEEDINGS OF THE WINTER SIMULATION CONFERENCE, 34., 2002, San Diego. **Anais...** Piscataway: IEEE, 2002. p.1683-1688.

MEYER, T.; STRASSBURGER, S. Facilitating emulation project analysis through the use of protocolstate machines. In: PROCEEDINGS OF THE WINTER SIMULATION CONFERENCE, 44., 2012, Berlin. **Anais...** Piscataway: IEEE, 2012. p. 4673-4674.

MEWES, J., WEGENER, F. Integrating Virtual Commissioning Based on High Level Emulation into Logistics Education. **Procedia Engineering**, v. 178, p. 24-32, 2017.

MIGUEL, P. A. C. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Revista Produção**, v. 17, n. 1, p. 216-229, 2007.

MONTEVECHI, J. A. B. et al. Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted IDEF: An application in a Brazilian tech company. In: PROCEEDINGS OF THE WINTER SIMULATION CONFERENCE, 42., 2010, Baltimore. **Anais...** Piscataway: IEEE, 2010. p. 1624-1635.

NEVES, R. B.; PEREIRA, V.; COSTA, H. G. Auxílio multicritério à decisão aplicado ao planejamento e gestão na indústria de petróleo e gás. **Production**, v. 25, n. 1, p. 43-53, 2015.

PAIXÃO, T. R. *A influência de fatores críticos na gestão por processo de negócios - PBM*. 2014. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2014.

PARK, S. C. et al. CLP studio: simulation-based CLP code verification. In: PROCEEDINGS OF THE WINTER SIMULATION CONFERENCE, 40., 2008, Miami. **Anais...** Piscataway: IEEE, 2008. p. 222-228.

PEI, F. et al. Research on Design of the Smart Factory for Forging Enterprise in the Indústria 4.0 Environment. **Mechanics**, v. 23, n. 1, p. 146-152, 2017.

PEIXOTO, T. A. et al. Ururau: Um Ambiente para Desenvolvimento de Modelos de Simulação a Eventos Discretos. **Revista Eletrônica Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, v. 5, n. 3, p. 373-405, 2013.

PEIXOTO, T. A.; RANGEL, J. J. A.; MATIAS, I. O. Free and open-source simulation Software "ururau". In: PROCEEDINGS OF THE WINTER SIMULATION CONFERENCE, 46., 2014, Savannah. **Anais...** Piscataway: IEEE, 2014. p. 4097-4098.

PEIXOTO, T. A. et al. Ururau: A Free and Open-Source Discrete Event Simulation Software. **Journal of Simulation**, v. 11, n. 4, p. 303-321, 2017.

PFEIFFER, J. **Interactive decision aids in e-commerce**. 1. ed. Berlim: Springer, 2011. p.15-45.

PENAS, O. et al. Computers in Industry Multi-Scale Approach from Mechatronic to Cyber-Physical Systems for the Design of Manufacturing Systems. **Computers in Industry**, v. 86, p. 52-69, 2017.

PHILLIPS, R.; MONTALVO, B. Using emulation to debug control logic code. In: PROCEEDINGS OF THE WINTER SIMULATION CONFERENCE, 42., 2010, Baltimore. **Anais...** Piscataway: IEEE, 2010. p. 1673-1677.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2 ed. Vila Nova, Novo Hamburgo-RS: Universidade Feevale, 2013. 275 p.

RANGEL, C. L.; RANGEL, J. J. A.; NASCIMENTO, J. R. Discrete event simulation for didactic support resource. In: PROCEEDINGS OF THE WINTER SIMULATION

CONFERENCE, 46., 2014, Savannah. **Anais...** Piscataway: IEEE, 2014. p. 3596 - 3607.

RAHMANI, B. Internet-Based Control of Industrial Automation Systems. **Journal of Intelligent & Robotic Systems**, v. 83, n. 1, p. 71-83, 2016.

REKAPALLI, P. V.; MARTINEZ, J. C. Discrete-Event Simulation-Based Virtual Reality Environments for Construction Operations: Technology Introduction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 137, n. 3, p. 214-224, 2011.

ROBINSON, S. Conceptual modelling for simulation part I: definition and requirements. **Journal of the Operational Research Society**, v. 59, n. 3, p. 278-290, 2008.

RODIČ, B. Indústria 4.0 and the New Simulation Modelling Paradigm. **Organizacija**, v. 50, n. 3, p. 193-207, 2017.

SAKURADA, N.; MIYAKE, D. I. Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistemas de operações de serviços. **Gestão e Produção**, v. 16, n. 1, p. 25-43, 2009.

SANZ, V. et al. Hybrid system modeling using the SIMANLib and ARENALib Modelica libraries. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 37, p. 1-17, 2013.

SARGENT, R. G. Verification and validation of simulation models. **Journal of Simulation**, v. 7, n. 1, p. 12-24, 2013.

SEIDEL, S.; DONATH, U.; HAUFE, J. Towards an integrated simulation and virtual commissioning environment for controls of material handling systems. In: PROCEEDINGS OF THE WINTER SIMULATION CONFERENCE, 44., 2012, Berlin. **Anais...** Piscataway: IEEE, 2012. p. 2852-2863.

SMITH, J. S.; CHO, Y. Offline commissioning of a CLP-based control system using arena. In: PROCEEDINGS OF THE WINTER SIMULATION CONFERENCE, 40., 2008, Miami. **Anais...** Piscataway: IEEE, 2008. p. 1802-1810.

SOUNDARARAJAN, K.; BRENNAN, R. W. Design patterns for real-time distributed control system benchmarking. **Robotics and Computer-integrated Manufacturing**, v. 24, n. 5, p. 606-615, 2008.

STELZER, S. Generation of alternatives for model predictive control in manufacturing systems. In: PROCEEDINGS OF THE WINTER SIMULATION CONFERENCE, 44., 2012, Berlin. **Anais...** Piscataway: IEEE, 2012. p. 4673-4781.

THAKUR, A.; BANERJEE, A. G.; GUPTA, S. K. A survey of CAD model simplification techniques for physics-based simulation applications. **Computer-aided Design**, v. 41, n. 2, p. 65-80, 2009.

TURNER, C. J. et al. Discrete Event Simulation and Virtual Reality Use in Industry: New Opportunities and Future Trends. **IEEE Transactions on Human-machine systems**, v. 46, n. 6, p. 1-13, 2016.

VISWANATHAN, S. et al. Automating operating procedure synthesis for batch processes. **Computers & Chemical Engineering**, v. 22, n. 11, p. 1673-1685, 1998.

VISWANATHAN, J. et al. Using hybrid process simulation to evaluate manufacturing system component choices: integrating a virtual robot with the physical system. In: PROCEEDINGS OF THE WINTER SIMULATION CONFERENCE, 43., 2011, Phoenix. **Anais...** Piscataway: IEEE, 2011. p. 2827-2838.

WHITE, K. P.; INGALLS, R. G. Introduction to simulation. In: PROCEEDINGS OF THE WINTER SIMULATION CONFERENCE, 47., 2015, Huntington Beach. **Anais...** Piscataway: IEEE, 2015. p. 1741-1755.

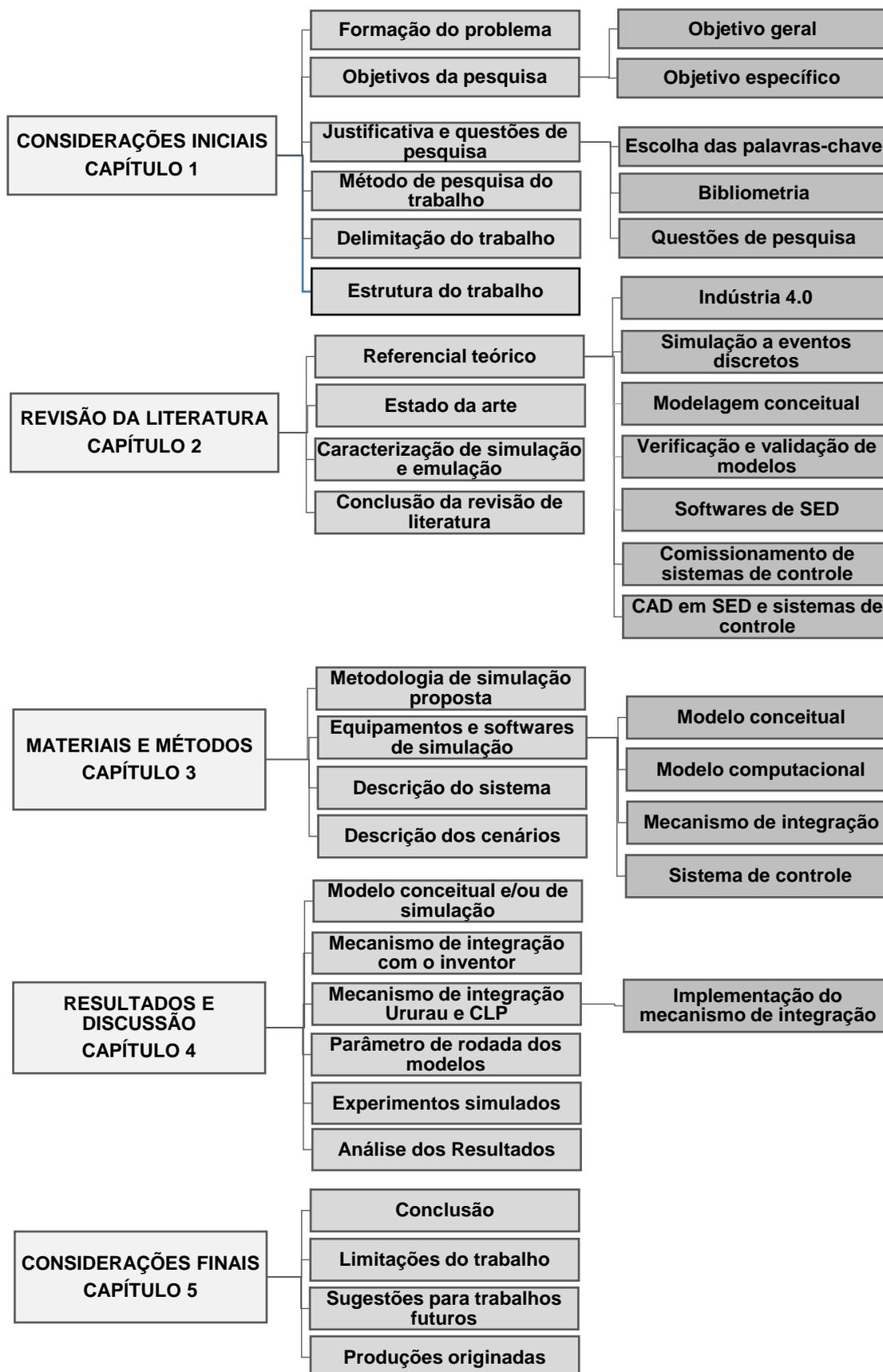
WOO, J. H.; NAM, J. H.; KO, K. H. Development of a simulation method for the subsea production system. **Journal of Computational Design and Engineering**, v. 1, n. 3, p. 173-186, 2014.

XU, J.; ABOURIZK, S. M.; FRASER, C. Integrated three-dimensional computer-aided design and discrete-event simulation models. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 30, n. 2, p. 449-459, 2003.

XU, J. et al. Simulation Optimization in the Era of Industrial 4.0 and the Industrial Internet. **Journal of Simulation**, v. 10, n. 4, p. 310-320, 2016.

ZHANG, Y.; MOGHANI, E.; ABOURIZK, S. M. 3D CAD modeling and visualization of the tunnel construction process in a distributed simulation environment. In: PROCEEDINGS OF THE WINTER SIMULATION CONFERENCE, 42., 2010, Baltimore. **Anais...** Piscataway: IEEE, 2010. p. 3189-3200.

APÊNDICE A - ESTRUTURA DO TRABALHO



Fonte: Elaboração própria

APÊNDICE B - CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO IMPLEMENTADO PARA A COMUNICAÇÃO ENTRE O SOFTWARE URURAU E O SOFTWARE INVENTOR

```

1  /*
2  * To change this template, choose Tools | Templates
3  * and open the template in the editor.
4  */
5  package org.ururau.commands;
6  import invapibasics40library.ApiComClass;
7  import invapibasics40library.IApiComClass;
8  import java.io.File;
9  import java.io.IOException;
10 import net.sf.jni4net.Bridge;
11 import jsl.modeling.ModelElement;
12 import jsl.modeling.elements.resource.Entity;
13 import jsl.modeling.elements.variable.Variable;
14 /**
15  *
16  */
17 public class DelayStepInventor extends Delay {
18     private int myMinStep;
19     private int myMaxStep;
20     private IApiComClass myApi;
21     public DelayStepInventor(ModelElement parent, int minStep, int maxStep) throws IOException {
22         this(parent, minStep, maxStep, null);
23     }
24     public DelayStepInventor(ModelElement parent, int minStep, int maxStep, String name) throws IOException {
25         super(parent, name);
26         File file = new File ("net/lib/jni4net.n.w64.v40-0.8.8.0.dll").getAbsolutePath();
27         Bridge.init(file);
28         System.out.println("Load Assembly...");
29         myApi = new ApiComClass();
30         myApi.AppLoad();
31         this.setDelay(minStep, maxStep);
32     }
33     public int getMinStep() {
34         return this.myMinStep;
35     }
36     public int getMaxStep() {
37         return this.myMaxStep;
38     }
39     public void setDelay(int minStep, int maxStep) {
40         if(minStep <= 0 || maxStep <=0)
41             throw new IllegalArgumentException("minStep and maxStep must be positive!");
42         this.myMinStep = minStep;
43         this.myMaxStep = maxStep;
44     }
45     @Override
46     public void execute() {
47         Entity entity = getProcessExecutor().getCurrentEntity();
48         entity.setProcessExecutor(getProcessExecutor());
49         if (!Batch.isVisible(entity))
50             return;
51         double t = 0;
52         if (myApi != null){
53             System.out.println("Run Inventor Simulation ...");
54             t = myApi.RunSimulation(myMinStep, myMaxStep);
55             t = (t<0.0)?0:t;
56             System.out.println("t = "+t);
57         }
58     }
59     super.executeCommon(t);
60 }

```

Fonte: Elaboração própria

**APÊNDICE C - RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DINÂMICA
IMPLEMENTADA NO INVENTOR® PARA O PRIMEIRO STEP**

Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Force[Z] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Force[Z] (N)
0,00000	0,00000	81,18300	0,26000	-2590,02000000	132,15900
0,01000	-102,36900	81,37500	0,27000	-2689,76000000	26,66030
0,02000	-204,47300	81,66470	0,28000	-2789,48000000	87,18290
0,03000	-306,21700	82,05170	0,29000	-2888,85000000	178,74000
0,04000	-407,51500	83,74572	0,29300	-2918,04000000	186,77861
0,05000	-508,29100	86,17960	0,29481	-2935,25000000	244,77100
0,06000	-608,49176	89,77800	0,29585	-2944,23000000	460,11800
0,07000	-708,26600	94,74170	0,29607	-2945,91000000	169,71500
0,08000	-808,01600	101,27500	0,29623	-2922,58000000	-227,80300
0,09000	-907,76500	103,17600	0,29627	-2912,85000000	-413,79900
0,10000	-1007,22000	104,22100	0,29631	-2902,79000000	-707,84200
0,11000	-1105,31000	105,35400	0,29642	-2867,46000000	-1690,45000
0,12000	-1201,89000	106,57200	0,29649	-2839,31000000	-2306,99000
0,13000	-1297,26000	107,87400	0,29653	-2822,61000000	-2639,35000
0,13662	-1359,56000	108,78000	0,29658	-2803,67000000	-1844,59000
0,14000	-1393,12000	109,25900	0,29661	-2790,65000000	-1946,94000
0,14245	-1417,57000	109,61300	0,29663	-2783,01000000	-1997,08000
0,15000	-1492,87000	110,73500	0,29670	-2750,64000000	-2099,35000
0,16000	-1592,62000	112,29600	0,29675	-2729,89000000	-2099,98000
0,17000	-1692,36000	113,94000	0,29697	-2626,46000000	-2048,51000
0,18000	-1792,10000	115,66600	0,29715	-2551,32000000	172,34800
0,19000	-1891,85000000	117,47084	0,29726	-2505,28000000	173,10500
0,20000	-1991,59000000	119,35400	0,29769	-2331,96000000	176,01500
0,21000	-2091,33000000	121,31300	0,29778	-2296,02000000	176,67200
0,22000	-2191,07000000	123,34500	0,29784	-2276,95000000	177,16800
0,23000	-2290,81000000	125,44812	0,29788	-2265,21000000	177,49800
0,24000	-2390,55000000	127,62000	0,29826	-2149,37000000	181,33600
0,25000	-2490,29000000	129,85800	0,30000	-1653,29000000	204,31700

Fonte: Adaptada de Software Inventor®

**APÊNDICE D - RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DINÂMICA
IMPLEMENTADA NO INVENTOR® PARA O SEGUNDO STEP**

Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Z] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Z] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Z] (N)
0,00000	0,00000	-76,14170	0,18000	-238,13100	-121,66	0,52000	-244,74000	-133,82400
0,00002	0,03293	-69,31900	0,19000	-238,08500	-125,21	0,53000	-244,85400	-133,61500
0,00003	-0,03189	-69,3363	0,20000	-237,79200	-127,384	0,54000	-244,94300	-133,40500
0,00013	-0,56089	-69,4781	0,21000	-237,29900	-128,442	0,55000	-245,01400	-133,19600
0,00109	-5,75141	-70,9443	0,22000	-236,63800	-128,907	0,56000	-245,07000	-132,98600
0,00374	-19,12060	-75,8355	0,23000	-235,82700	-129,114	0,57000	-245,11500	-132,77500
0,00598	-29,19270	-81,5084	0,24000	-234,88472	-129,22	0,58000	-245,15000	-132,56500
0,00758	-35,60140	-86,6701	0,25000	-233,82900	-129,367	0,59000	-245,17746	-132,35400
0,00851	-39,02880	-90,1551	0,26000	-232,67600	-129,686	0,60000	-245,19928	-132,14300
0,00915	-41,20517	-92,7054	0,27000	-231,84600	6,31775	0,61000	-245,21600	-131,93200
0,00991	-43,96250	-83,3763	0,27692	-231,50800	9,7746	0,62000	-245,23000	-131,72100
0,01000	-44,32870	-83,5103	0,28000	-231,33100	11,2712	0,63000	-245,24100	-131,50900
0,01092	-47,86340	-84,968	0,29000	-230,65700	16,2313	0,64000	-245,24900	-131,29700
0,01171	-50,68990	-86,3749	0,30000	-229,85200	21,3857	0,65000	-245,25500	-131,08500
0,01221	-52,41110	-87,352	0,31000	-228,93600	26,7214	0,66000	-245,26100	-130,87300
0,01257	-53,58480	-88,0757	0,32000	-227,92600	32,2265	0,67000	-245,26400	-130,66100
0,01383	-59,18760	-82,5396	0,32645	-227,23000	35,8642	0,68000	-245,26800	-130,44800
0,01461	-62,70770	-81,7857	0,33000	-228,22200	37,9567	0,69000	-245,27000	-130,23500
0,02000	-85,17260	-76,6667	0,33250	-228,96106	39,451	0,70000	-245,27200	-130,02200
0,03000	-119,78376	-68,0187	0,34000	-230,91100	44,02630	0,71000	-245,27300	-129,80900
0,04000	-146,90600	-60,7885	0,35000	-232,96700	50,31080	0,72000	-245,27400	-129,59500
0,05000	-168,14800	-53,9275	0,36000	-234,52000	56,80040	0,73000	-245,27446	-129,38100
0,06000	-184,70108	-42,7433	0,37000	-235,67100	63,48570	0,74000	-245,27500	-129,16700
0,07000	-197,25900	-22,3418	0,38000	-236,50200	70,35800	0,75000	-245,27500	-128,95300
0,07444	-201,70600	-11,3508	0,39000	-237,07800	77,40930	0,76000	-245,27500	-128,73900
0,08000	-206,76200	-51,5796	0,40000	-237,44900	84,63210	0,77000	-245,27500	-128,52400
0,08377	-210,08600	-90,45047	0,40373	-237,54306	87,36760	0,78000	-245,27500	-128,30900
0,08919	-214,44500	-89,9489	0,40933	-238,05400	-136,11300	0,79000	-245,27500	-128,09400
0,09000	-215,04700	-89,8977	0,41000	-238,16600	-136,09964	0,80000	-245,27500	-127,87900
0,09810	-220,44899	-89,7323	0,41667	-239,19300	-135,96400	0,81000	-245,27500	-127,66400
0,10000	-221,56700	-89,7897	0,42000	-239,64900	-135,89600	0,82000	-245,27400	-127,44800
0,11000	-226,63559	-87,5181	0,43000	-240,82283	-135,69100	0,83000	-245,27400	-127,23233
0,12000	-230,50500	-84,7107	0,44000	-241,75200	-135,48600	0,84000	-245,27400	-127,01600
0,13000	-233,37300	-82,3202	0,45000	-242,48800	-135,27948	0,85000	-245,27300	-126,80000
0,14000	-235,40600	-80,2692	0,46000	-243,07100	-135,07300	0,86000	-245,27300	-126,58400
0,15000	-236,74700	-78,4903	0,47000	-243,53200	-134,86600	0,87000	-245,27300	-126,36700
0,16000	-237,51700	-76,934	0,48000	-243,89800	-134,65800	0,88000	-245,27200	-126,15000
0,16635	-237,75800	-76,0573	0,49000	-244,18700	-134,45000	0,89000	-245,27182	-125,93300
0,17000	-237,87600	-117,241	0,50000	-244,41568	-134,24176	0,90000	-245,27100	-108,90800
0,17380	-238,01300	-118,835	0,51000	-244,59700	-134,03300	0,91000	-245,27100	-108,69000

Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Z] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Z] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Z] (N)
0,92000	-245,27100	-108,47200	1,35000	-245,25200	-98,91740	1,76191	-242,01600	-84,96978
0,93000	-245,27000	-125,06200	1,36000	-245,25200	-98,69070	1,77000	-247,33500	-83,69014
0,94000	-245,27000	-108,03600	1,37000	-245,25100	-98,46390	1,78000	-264,24400	-82,14260
0,95000	-245,26900	-107,81800	1,38000	-245,25100	-98,23680	1,79000	-293,20100	-80,61170
0,96000	-245,26900	-107,60000	1,39000	-245,25100	-98,00960	1,80000	-335,42900	-79,12290
0,97000	-245,26900	-107,38100	1,40000	-245,25000	-97,78220	1,81000	-390,22200	-77,84840
0,98000	-245,26800	-107,16200	1,41000	-245,25000	-97,55450	1,82000	-449,57100	-77,28490
0,99000	-245,26800	-106,94300	1,42000	-245,24900	-97,32670	1,83000	-508,42600	-76,74120
1,00000	-245,26700	-106,72300	1,43000	-245,24900	-97,09870	1,83412	-532,52100	-76,50050
1,01000	-245,26700	-106,50400	1,44000	-245,24800	-96,87040	1,83688	-548,54200	-76,33450
1,02000	-245,26600	-106,28400	1,45000	-245,24800	-96,64200	1,83832	-556,91900	-76,24580
1,03000	-245,26600	-106,06400	1,46000	-248,13100	-96,40810	1,84000	-567,02200	-67,23150
1,04000	-245,26600	-105,84400	1,47000	-250,43100	-96,17220	1,84112	-574,01500	-67,23150
1,05000	-245,26500	-105,62300	1,48000	-252,00900	-95,93540	1,84289	-585,15100	-33,61580
1,06000	-245,26500	-105,40300	1,49000	-253,02100	-112,5060	1,84329	-587,66400	-33,61580
1,07000	-245,26400	-105,18200	1,50000	-253,59169	-95,46010	1,84375	-565,97800	-50,42360
1,08000	-245,26400	-104,96100	1,51000	-253,81900	-95,22220	1,84410	-482,70871	-50,68050
1,09000	-245,26400	-104,74000	1,52000	-253,78200	-94,98439	1,84442	-370,81900	-50,85930
1,10000	-245,26300	-104,51800	1,53000	-253,54200	-94,74678	1,84474	-257,56500	-68,74530
1,11000	-245,26300	-104,29700	1,54000	-253,15123	-94,50950	1,84507	-166,68600	-68,17790
1,12000	-245,26200	-104,07500	1,55000	-252,64800	-94,27253	1,84537	-105,24200	-67,86650
1,13000	-245,26181	-103,85289	1,56000	-252,06400	-94,03600	1,84569	-60,10180	-67,65990
1,14000	-245,26100	-103,63100	1,57000	-251,42600	-93,79990	1,84601	-31,18200	-67,53400
1,15000	-245,26100	-103,40800	1,58000	-250,76100	-93,56430	1,84634	-11,37757	-67,44976
1,16000	-245,26100	-103,18600	1,59000	-250,10300	-93,32910	1,84668	1,46052	-67,39590
1,17000	-245,26000	-102,96300	1,60000	-249,47290	-93,09420	1,84706	9,81471	-67,36120
1,18000	-245,26000	-102,74000	1,61000	-248,88500	-92,85970	1,84747	14,96540	-67,34010
1,19000	-245,25900	-102,51600	1,62000	-248,34700	-92,62542	1,84792	17,99120	-67,32790
1,20000	-245,25900	-102,29306	1,63000	-247,86100	-92,39140	1,84843	19,59390	-67,32180
1,21000	-245,25800	-102,06942	1,64000	-247,42392	-92,15750	1,84900	20,29960	-67,31950
1,22000	-245,25800	-101,84600	1,65000	-247,03392	-91,92370	1,84967	20,45630	-67,31970
1,23000	-245,25800	-101,62200	1,66000	-246,68721	-91,69000	1,85000	20,41220	-67,32030
1,24000	-245,25700	-101,39700	1,67000	-246,38600	-91,45640	1,85101	20,08590	-67,32290
1,25000	-245,25700	-101,17300	1,68000	-246,10200	-91,22280	1,85184	19,74330	-67,32540
1,26000	-245,25600	-100,94800	1,69000	-245,78900	-90,98940	1,85342	19,08160	-67,33030
1,27000	-245,25600	-100,72300	1,70000	-245,41900	-90,75620	1,85519	18,38800	-67,33570
1,28000	-245,25500	-100,49800	1,71000	-244,98140	-90,52320	1,85646	17,91680	-67,33960
1,29000	-245,25500	-100,27300	1,72000	-244,47229	-90,29060	1,85728	17,64690	-50,46160
1,30000	-245,25500	-100,04760	1,73000	-243,89500	-90,05840	1,85881	17,15410	-50,45970
1,31000	-245,25400	-99,82200	1,74000	-243,25900	-88,75090	1,86000	16,76100	-50,45820
1,32000	-245,25400	-99,59610	1,75000	-242,57400	-86,96130	1,86282	15,83100	-50,45440
1,33000	-245,25322	-99,37010	1,75717	-242,06100	-85,74440	1,86517	15,05080	-50,45130
1,34000	-245,25300	-99,14380	1,76000	-241,86800	-85,27940	1,86806	14,05620	-50,44760

Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Z] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Z] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Z] (N)
1,87000	13,35330	-50,44520	1,89977	0,30593	-50,49390	1,94000	0,00548	-50,49800
1,87321	12,09310	-50,44150	1,90000	0,26392	-50,49380	1,94845	-0,00123	-50,49800
1,87590	10,97560	-50,59810	1,90233	-0,06077	-50,49408	1,95000	-0,00146	-50,49800
1,87932	9,39717	-50,57050	1,90693	-0,29839	-50,49570	1,96000	-0,00063	-50,49800
1,88000	9,05894	-50,56530	1,91000	-0,27795	-50,49680	1,97000	0,00007	-50,49800
1,88390	7,00533	-50,53810	1,91805	-0,07570	-50,49823	1,98000	0,00007	-50,49800
1,88673	5,46476	-50,52210	1,92000	-0,03929	-50,49831	1,99000	0,00000	-50,49800
1,89000	3,75546	-50,50850	1,92845	0,02102	-50,49820	2,00000	-0,00001	-50,49800
1,89487	1,63636	-50,49710	1,93000	0,02106	-50,49820	-	-	-

Fonte: Adaptada de Software Inventor®

**APÊNDICE E - RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DINÂMICA
IMPLEMENTADA NO INVENTOR® PARA O TERCEIRO STEP**

Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)
0,00000	0,00000	-670,57200	0,29850	-1083,36000	-935,90900	0,30470	-1105,53000	-944,01500
0,01000	-36,60290	-671,55300	0,29863	-1083,83000	-936,08200	0,30480	-1105,88000	-944,14300
0,02000	-73,20170	-673,20100	0,29873	-1084,18000	-936,21100	0,30486	-1106,10000	-944,22300
0,03000	-109,79400	-675,51500	0,29881	-1084,49000	-936,32400	0,30548	-1108,31000	-945,02500
0,04000	-146,37900	-678,49200	0,29888	-1084,72000	-936,40900	0,30686	-1113,28000	-946,82400
0,05000	-182,95253	-682,12500	0,29893	-1084,90000	-936,47600	0,30789	-1116,92000	-948,14300
0,06000	-219,51400	-686,41000	0,29901	-1085,19000	-936,57900	0,30803	-1117,45000	-948,33200
0,07000	-256,06100	-691,33800	0,29907	-1085,40000	-936,65800	0,30806	-1117,53000	-948,36200
0,08000	-292,59200	-696,90000	0,29916	-1085,72000	-936,77700	0,30814	-1117,84000	-948,47406
0,09000	-329,10400	-703,08400	0,29917	-1085,78000	-936,79700	0,30820	-1118,04000	-948,54500
0,10000	-365,59500	-709,87900	0,29924	-1086,02000	-936,88600	0,30865	-1119,65000	-949,12800
0,11000	-402,06500	-717,27000	0,29928	-1086,17000	-936,94200	0,31000	-1124,48000	-950,86400
0,12000	-438,51000	-725,24300	0,29935	-1086,42000	-937,03300	0,31106	-1128,26000	-952,22200
0,13000	-474,93000	-733,77800	0,29940	-1086,58000	-937,09021	0,31176	-1130,77000	-953,12000
0,13362	-488,11200	-737,00500	0,29957	-1087,18000	-937,31000	0,31272	-1134,18000	-954,33700
0,13828	-505,07600	-741,26200	0,29967	-1087,56000	-937,45000	0,31307	-1135,46000	-954,79300
0,14000	-511,32200	-742,85900	0,30000	-1088,73000	-937,88100	0,31347	-1136,89000	-955,30200
0,14146	-516,61676	-744,22500	0,30008	-1089,01000	-937,98100	0,31389	-1138,39000	-955,83500
0,15000	-547,68400	-752,46300	0,30014	-1089,22000	-938,06000	0,31433	-1139,94000	-956,38700
0,16000	-584,01600	-762,56800	0,30018	-1089,36000	-938,11261	0,31440	-1140,20000	-956,47900
0,17000	-620,31500	-773,14900	0,30020	-1089,46000	-938,14600	0,31444	-1140,34000	-956,53100
0,18000	-656,58000	-784,17900	0,30022	-1089,51000	-938,16700	0,31459	-1140,87000	-956,71900
0,19000	-692,81000	-795,62915	0,30028	-1089,72000	-938,24300	0,31468	-1141,21000	-956,83800
0,20000	-729,00300	-807,46700	0,30031	-1089,85000	-938,29200	0,31562	-1144,56000	-958,02594
0,21000	-765,15863	-819,65900	0,30069	-1091,19000	-938,78100	0,31622	-1146,68000	-958,77300
0,22000	-801,27500	-832,16700	0,30148	-1094,01000	-939,81500	0,31665	-1148,24000	-959,32300
0,23000	-837,35260	-844,95100	0,30216	-1096,45000	-940,70500	0,31730	-1150,54000	-960,13300
0,24000	-873,38900	-857,96600	0,30270	-1098,40000	-941,41900	0,31735	-1150,74000	-960,20500
0,25000	-909,38500	-871,16571	0,30327	-1100,43000	-942,15800	0,31766	-1151,81000	-960,58200
0,26000	-945,33900	-884,49600	0,30393	-1102,77000	-943,01100	0,31784	-1152,49000	-960,82000
0,27000	-981,25000	-897,90100	0,30416	-1103,60000	-943,31200	0,31884	-1156,06000	-962,07100
0,28000	-1017,12000	-911,31500	0,30418	-1103,69000	-943,34700	0,31892	-1156,32000	-962,16200
0,29000	-1052,95000	-924,66800	0,30422	-1103,82000	-943,39400	0,31919	-1157,30000	-962,50500
0,29200	-1060,11000	-927,32500	0,30424	-1103,91000	-943,42400	0,31937	-1157,92000	-962,72168
0,29360	-1065,84000	-929,44600	0,30443	-1104,59000	-943,67100	0,32000	-1160,18000	-963,51200
0,29483	-1070,24000	-931,07500	0,30444	-1104,62000	-943,68300	0,32125	-1164,62000	-965,05719
0,29586	-1073,94000	-932,44100	0,30445	-1104,64000	-943,68900	0,32137	-1165,07000	-965,21051
0,29696	-1077,86000	-933,88500	0,30447	-1104,72000	-943,71900	0,32154	-1165,68000	-965,42500
0,29757	-1080,05000	-934,69200	0,30448	-1104,77000	-943,73700	0,32157	-1165,77000	-965,45575
0,29828	-1082,57000	-935,61731	0,30460	-1105,19000	-943,89000	0,32166	-1166,10000	-965,56900

Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)
0,32172	-1166,31000	-965,64100	0,50000	-2010,43000	-1242,03000	0,58834	-2310,69000	-35,84750
0,32230	-1168,39000	-966,36200	0,51000	-2048,23000	-1275,24000	0,58837	-2310,77000	-36,18590
0,32287	-1170,42000	-967,06200	0,51392	-2062,51000	-1288,86000	0,58840	-2310,84000	-36,44190
0,32330	-1171,94000	-967,58800	0,52000	-2084,90000	637,18900	0,58842	-2310,89000	-36,67480
0,32413	-1174,92000	-968,61000	0,54000	-2159,50000	448,85600	0,58845	-2310,97000	-36,97890
0,32447	-1176,12000	-969,02200	0,55000	-2194,98000	351,68700	0,58848	-2311,05000	-37,31640
0,32468	-1176,87000	-969,27900	0,55712	-2218,87000	281,36700	0,58851	-2311,13000	-37,63600
0,32678	-1184,37000	-971,83800	0,56000	-2228,26000	252,74900	0,58854	-2311,21000	-37,96344
0,33000	-1195,85000	-975,70500	0,57000	-2259,60000	152,18400	0,58857	-2311,27000	-38,22847
0,33306	-1206,76000	-979,32600	0,58000	-2288,58000	50,17680	0,58859	-2311,33000	-38,47400
0,33569	-1216,14000	-982,38700	0,58232	-2294,92000	26,38007	0,58861	-2311,39000	-38,71010
0,33993	-1231,22000	-987,21300	0,58404	-2299,53000	8,62541	0,58864	-2311,45000	-38,95330
0,34000	-1231,48000	-987,29400	0,58561	-2303,67000	-7,57399	0,58866	-2311,50000	-39,18580
0,34072	-1234,04000	-988,10000	0,58604	-2304,80000	-12,08720	0,58869	-2311,56000	-39,42910
0,34539	-1250,66000	-992,99900	0,58621	-2305,23000	-13,80090	0,58871	-2311,62000	-39,67700
0,34856	-1261,93000	-995,56600	0,58715	-2307,66000	-23,53810	0,58874	-2311,70000	-40,00790
0,35000	-1267,07000	-996,52700	0,58725	-2307,91000	-24,55020	0,58878	-2311,81000	-40,44530
0,35236	-1275,46000	-997,83400	0,58731	-2308,08000	-25,23260	0,58882	-2311,90000	-40,82270
0,35946	-1300,71000	-1000,00000	0,58736	-2308,20000	-25,71050	0,58886	-2312,00000	-41,21270
0,36000	-1302,65000	-1000,00000	0,58741	-2308,33000	-26,24795	0,58889	-2312,09000	-41,61010
0,36543	-1321,97000	-1000,00000	0,58746	-2308,46000	-26,78040	0,58893	-2312,18000	-41,96310
0,36973	-1337,27000	-1000,00000	0,58752	-2308,61000	-27,35780	0,58896	-2312,26000	-42,30900
0,37000	-1338,22000	-1000,00000	0,58757	-2308,73000	-27,85470	0,58899	-2312,33000	-42,60970
0,37267	-1347,72000	-1000,00000	0,58761	-2308,85000	-28,32510	0,58903	-2312,42000	-42,96480
0,37753	-1365,01000	-999,67400	0,58764	-2308,92000	-28,62980	0,58908	-2312,55000	-43,51300
0,38000	-1373,79000	-999,63600	0,58767	-2309,00000	-28,97050	0,58911	-2312,63000	-43,81410
0,38344	-1386,04000	-999,80500	0,58771	-2309,10000	-29,34370	0,58914	-2312,70000	-44,12420
0,38417	-1388,61000	-999,87100	0,58775	-2309,21000	-29,78970	0,58918	-2312,81000	-44,55940
0,38517	-1392,18000	-999,96600	0,58780	-2309,32000	-30,27310	0,58921	-2312,87000	-44,83940
0,38623	-1399,21000	-1000,06000	0,58785	-2309,46000	-30,80390	0,58924	-2312,95000	-45,15620
0,38690	-1403,86000	-1000,23000	0,58791	-2309,59000	-31,37200	0,58927	-2313,04000	-45,53730
0,39000	-1425,23000	-1001,91000	0,58795	-2309,70000	-31,81640	0,58931	-2313,12000	-45,87660
0,39655	-1469,49000	-1009,33000	0,58801	-2309,87000	-32,48100	0,58935	-2313,23000	-46,33510
0,40000	-1492,33000	-1014,90000	0,58807	-2310,01000	-33,07070	0,58939	-2313,33000	-46,73350
0,41000	-1556,63000	-1035,05000	0,58810	-2310,08000	-33,33730	0,58944	-2313,46000	-47,25260
0,42000	-1618,09000	-1055,56000	0,58813	-2310,15000	-33,63970	0,58949	-2313,58000	-47,76355
0,43000	-1676,71000	-1071,37000	0,58815	-2310,22000	-33,92040	0,58955	-2313,73000	-48,40450
0,44000	-1732,51000	-1088,95000	0,58818	-2310,28000	-34,17680	0,58959	-2313,84000	-48,84860
0,45000	-1785,49000	-1108,85000	0,58820	-2310,35000	-34,43870	0,58966	-2314,00000	-49,52830
0,46000	-1835,70000	-1131,03000	0,58823	-2310,41000	-34,69899	0,58969	-2314,09000	-49,89830
0,47000	-1883,20000	-1155,46000	0,58825	-2310,47000	-34,92870	0,59000	-2314,85000	-53,07070
0,48000	-1928,08000	-1182,11000	0,58827	-2310,52000	-35,15049	0,59005	-2314,99000	-53,63590
0,49000	-1970,44000	-1210,98000	0,58830	-2310,59000	-35,45370	0,59010	-2315,09000	-54,06860

Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)
0,59013	-2315,18000	-54,44420	0,59237	-2320,65000	-77,71790	0,59494	-2326,73000	-104,47600
0,59018	-2315,28000	-54,88490	0,59241	-2320,74000	-78,13180	0,59503	-2326,94000	-105,42500
0,59021	-2315,38000	-55,27590	0,59245	-2320,83000	-78,53180	0,59508	-2327,06000	-105,96900
0,59025	-2315,46000	-55,63870	0,59249	-2320,92000	-78,89290	0,59516	-2327,23000	-106,72000
0,59028	-2315,55000	-56,01870	0,59254	-2321,05000	-79,47830	0,59523	-2327,39000	-107,45400
0,59031	-2315,62000	-56,31810	0,59264	-2321,29000	-80,51440	0,59530	-2327,56000	-108,21833
0,59034	-2315,70000	-56,64660	0,59268	-2321,39000	-80,91920	0,59537	-2327,73000	-108,99900
0,59037	-2315,77000	-56,94740	0,59272	-2321,47000	-81,29610	0,59547	-2327,95000	-110,00700
0,59040	-2315,84000	-57,21560	0,59276	-2321,57000	-81,71920	0,59553	-2328,10000	-110,65300
0,59042	-2315,90000	-57,48720	0,59279	-2321,66000	-82,11820	0,59559	-2328,23000	-111,25000
0,59045	-2315,98000	-57,79150	0,59282	-2321,73000	-82,40950	0,59565	-2328,36000	-111,86100
0,59048	-2316,04000	-58,08060	0,59285	-2321,79000	-82,69450	0,59570	-2328,49000	-112,41500
0,59051	-2316,12000	-58,40120	0,59287	-2321,85000	-82,92560	0,59576	-2328,61000	-112,98300
0,59057	-2316,25000	-58,95910	0,59289	-2321,90000	-83,15880	0,59580	-2328,71000	-113,41900
0,59063	-2316,40000	-59,58730	0,59293	-2321,98000	-83,50700	0,59585	-2328,82000	-113,91200
0,59069	-2316,56000	-60,23890	0,59296	-2322,05000	-83,79480	0,59590	-2328,93000	-114,44200
0,59078	-2316,78000	-61,20040	0,59298	-2322,11000	-84,08550	0,59604	-2329,26000	-115,90900
0,59084	-2316,93000	-61,83860	0,59303	-2322,23000	-84,57420	0,59607	-2329,34000	-116,28100
0,59096	-2317,22000	-63,04710	0,59308	-2322,33000	-85,04310	0,59611	-2329,42000	-116,65406
0,59107	-2317,48000	-64,14450	0,59311	-2322,42000	-85,43512	0,59614	-2329,49000	-116,99500
0,59117	-2317,72000	-65,17160	0,59314	-2322,48000	-85,68440	0,59617	-2329,56000	-117,31600
0,59123	-2317,87000	-65,81290	0,59316	-2322,54000	-85,94270	0,59620	-2329,62000	-117,57900
0,59133	-2318,13000	-66,90770	0,59319	-2322,60000	-86,21220	0,59623	-2329,69000	-117,87700
0,59140	-2318,30000	-67,63190	0,59340	-2323,09000	-88,36120	0,59626	-2329,77000	-118,23500
0,59153	-2318,60000	-68,93620	0,59345	-2323,23000	-88,95980	0,59630	-2329,86000	-118,64900
0,59158	-2318,74000	-69,52930	0,59350	-2323,33000	-89,41510	0,59632	-2329,91000	-118,90500
0,59166	-2318,92000	-70,29500	0,59363	-2323,66000	-90,84390	0,59636	-2329,99000	-119,25502
0,59170	-2319,02000	-70,71000	0,59369	-2323,78000	-91,40750	0,59639	-2330,07000	-119,60900
0,59174	-2319,12000	-71,15080	0,59374	-2323,90000	-91,92180	0,59642	-2330,14000	-119,94900
0,59178	-2319,23000	-71,60650	0,59378	-2324,01000	-92,38260	0,59646	-2330,22000	-120,33419
0,59182	-2319,32000	-72,00621	0,59383	-2324,11000	-92,85740	0,59649	-2330,30000	-120,67600
0,59186	-2319,41000	-72,38270	0,59391	-2324,32000	-93,77300	0,59654	-2330,41000	-121,20400
0,59189	-2319,49000	-72,73680	0,59402	-2324,58000	-94,90390	0,59660	-2330,53000	-121,74000
0,59194	-2319,61000	-73,25988	0,59415	-2324,87000	-96,20810	0,59666	-2330,67000	-122,40100
0,59199	-2319,73000	-73,75720	0,59420	-2325,00000	-96,78730	0,59671	-2330,80000	-122,97500
0,59204	-2319,83000	-74,21900	0,59426	-2325,13000	-97,34130	0,59675	-2330,88000	-123,37100
0,59209	-2319,96000	-74,75090	0,59436	-2325,37000	-98,41840	0,59679	-2330,96000	-123,72000
0,59214	-2320,08000	-75,29150	0,59445	-2325,57000	-99,30920	0,59681	-2331,03000	-124,03000
0,59217	-2320,17000	-75,65540	0,59453	-2325,77000	-100,19900	0,59685	-2331,10000	-124,37200
0,59222	-2320,27000	-76,10280	0,59461	-2325,95000	-100,98700	0,59687	-2331,16000	-124,64900
0,59225	-2320,36000	-76,49480	0,59470	-2326,17000	-102,00300	0,59690	-2331,22000	-124,90979
0,59229	-2320,45000	-76,85994	0,59479	-2326,37000	-102,86528	0,59694	-2331,32000	-125,36600
0,59233	-2320,55000	-77,31400	0,59487	-2326,56000	-103,72700	0,59698	-2331,40000	-125,72900

Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)
0,59702	-2331,49000	-126,17700	0,59853	-2334,87000	-141,98700	0,60000	-2338,08000	-157,33600
0,59706	-2331,58000	-126,59500	0,59856	-2334,93000	-142,25700	0,60002	-2338,11000	-157,52504
0,59710	-2331,66000	-126,96600	0,59859	-2334,99000	-142,52700	0,60003	-2338,15000	-157,70500
0,59713	-2331,74000	-127,32600	0,59861	-2335,04000	-142,78400	0,60005	-2338,19000	-157,89238
0,59716	-2331,80000	-127,58950	0,59863	-2335,09000	-143,02655	0,60007	-2338,23000	-158,06500
0,59718	-2331,86000	-127,86900	0,59866	-2335,14000	-143,28100	0,60009	-2338,27000	-158,26000
0,59722	-2331,95000	-128,27400	0,59868	-2335,20000	-143,56073	0,60011	-2338,31000	-158,47000
0,59726	-2332,04000	-128,72525	0,59872	-2335,28000	-143,92600	0,60014	-2338,38000	-158,79800
0,59730	-2332,11000	-129,04335	0,59875	-2335,36000	-144,30000	0,60020	-2338,51000	-159,45340
0,59733	-2332,20000	-129,43500	0,59879	-2335,45000	-144,70900	0,60025	-2338,62000	-159,97905
0,59739	-2332,32000	-130,02700	0,59884	-2335,54000	-145,14700	0,60032	-2338,77000	-160,70800
0,59744	-2332,43000	-130,54361	0,59888	-2335,64000	-145,61700	0,60037	-2338,88000	-161,23900
0,59748	-2332,53000	-130,99900	0,59893	-2335,74000	-146,12200	0,60045	-2339,05000	-162,07300
0,59752	-2332,63000	-131,44800	0,59898	-2335,86000	-146,68600	0,60052	-2339,20000	-162,78700
0,59755	-2332,70000	-131,76300	0,59903	-2335,97000	-147,22000	0,60074	-2339,65000	-165,03038
0,59759	-2332,77000	-132,09000	0,59907	-2336,06000	-147,64975	0,60089	-2339,99000	-166,68500
0,59762	-2332,85000	-132,49400	0,59914	-2336,21000	-148,33800	0,60096	-2340,13000	-167,37200
0,59766	-2332,93000	-132,85300	0,59919	-2336,31000	-148,81500	0,60098	-2340,19000	-167,65094
0,59771	-2333,05000	-133,43500	0,59923	-2336,40000	-149,27000	0,60101	-2340,24000	-167,91200
0,59776	-2333,16000	-133,93300	0,59926	-2336,47000	-149,58600	0,60106	-2340,34000	-168,40800
0,59780	-2333,24000	-134,32222	0,59930	-2336,56000	-150,02600	0,60111	-2340,45000	-168,96400
0,59783	-2333,31000	-134,65600	0,59934	-2336,64000	-150,43000	0,60118	-2340,61000	-169,73800
0,59786	-2333,38000	-134,97600	0,59937	-2336,71000	-150,76500	0,60125	-2340,74000	-170,37400
0,59789	-2333,44000	-135,26700	0,59941	-2336,80000	-151,18400	0,60136	-2340,99000	-171,60600
0,59792	-2333,52000	-135,62200	0,59945	-2336,88000	-151,55000	0,60143	-2341,13000	-172,31012
0,59796	-2333,59000	-135,93900	0,59950	-2336,98000	-152,05700	0,60150	-2341,28000	-173,06500
0,59798	-2333,65000	-136,25200	0,59953	-2337,05000	-152,38300	0,60158	-2341,45000	-173,89300
0,59802	-2333,73000	-136,62200	0,59955	-2337,10000	-152,62100	0,60165	-2341,59000	-174,59500
0,59806	-2333,81000	-136,99617	0,59957	-2337,15000	-152,86470	0,60170	-2341,69000	-175,12200
0,59809	-2333,90000	-137,38533	0,59960	-2337,21000	-153,13300	0,60173	-2341,77000	-175,49600
0,59813	-2333,98000	-137,76700	0,59962	-2337,26000	-153,37800	0,60176	-2341,83000	-175,78000
0,59816	-2334,05000	-138,12200	0,59965	-2337,32000	-153,68800	0,60179	-2341,88000	-176,06134
0,59820	-2334,13000	-138,48900	0,59968	-2337,38000	-153,99100	0,60181	-2341,94000	-176,32600
0,59823	-2334,21000	-138,84198	0,59971	-2337,45000	-154,32400	0,60184	-2341,99000	-176,58600
0,59827	-2334,28000	-139,18200	0,59975	-2337,54000	-154,73100	0,60187	-2342,05000	-176,90100
0,59830	-2334,35000	-139,53100	0,59979	-2337,62000	-155,11400	0,60191	-2342,14000	-177,32103
0,59833	-2334,42000	-139,87100	0,59982	-2337,69000	-155,46200	0,60194	-2342,21000	-177,68300
0,59837	-2334,50000	-140,23600	0,59986	-2337,77000	-155,83900	0,60200	-2342,33000	-178,27200
0,59840	-2334,57000	-140,56900	0,59988	-2337,83000	-156,12600	0,60204	-2342,42000	-178,72200
0,59842	-2334,63000	-140,84200	0,59991	-2337,89000	-156,41400	0,60210	-2342,53000	-179,29700
0,59845	-2334,69000	-141,12100	0,59994	-2337,95000	-156,70166	0,60214	-2342,63000	-179,79700
0,59848	-2334,75000	-141,43100	0,59997	-2338,00000	-156,98700	0,60218	-2342,71000	-180,22600
0,59851	-2334,81000	-141,71000	0,59999	-2338,05000	-157,21600	0,60223	-2342,81000	-180,68600

Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)
0,60232	-2342,99000	-181,61203	0,60505	-2348,55000	-210,29600	0,60860	-2355,39000	-247,64500
0,60238	-2343,13000	-182,31300	0,60508	-2348,60000	-210,57800	0,60872	-2355,61000	-248,92000
0,60245	-2343,27000	-183,00400	0,60513	-2348,70000	-211,09400	0,60878	-2355,72000	-249,52000
0,60252	-2343,42000	-183,78800	0,60516	-2348,77000	-211,43600	0,60884	-2355,83000	-250,15000
0,60311	-2344,63000	-189,90600	0,60520	-2348,86000	-211,91100	0,60889	-2355,93000	-250,71400
0,60324	-2344,90000	-191,30800	0,60526	-2348,96000	-212,48200	0,60893	-2356,00000	-251,11700
0,60330	-2345,03000	-191,98100	0,60531	-2349,06000	-213,01700	0,60897	-2356,07000	-251,50700
0,60338	-2345,19000	-192,77800	0,60535	-2349,14000	-213,43800	0,60902	-2356,16000	-252,02200
0,60341	-2345,25000	-193,11700	0,60538	-2349,21000	-213,81400	0,60907	-2356,25000	-252,54300
0,60345	-2345,32000	-193,47500	0,60546	-2349,37000	-214,62700	0,60911	-2356,32000	-252,95500
0,60348	-2345,38000	-193,78800	0,60551	-2349,47000	-215,15500	0,60914	-2356,39000	-253,33500
0,60351	-2345,45000	-194,14100	0,60554	-2349,53000	-215,47500	0,60918	-2356,47000	-253,79400
0,60354	-2345,52000	-194,48439	0,60558	-2349,59000	-215,83400	0,60926	-2356,60000	-254,56100
0,60358	-2345,59000	-194,83100	0,60560	-2349,65000	-216,11800	0,60931	-2356,70000	-255,12300
0,60361	-2345,65000	-195,15100	0,60567	-2349,77000	-216,76500	0,60936	-2356,79000	-255,61200
0,60364	-2345,71000	-195,47900	0,60572	-2349,87000	-217,32400	0,60940	-2356,86000	-256,06200
0,60367	-2345,77000	-195,76900	0,60577	-2349,98000	-217,89500	0,60945	-2356,95000	-256,53800
0,60370	-2345,84000	-196,15000	0,60583	-2350,09000	-218,48000	0,60949	-2357,02000	-256,96344
0,60374	-2345,92000	-196,52800	0,60587	-2350,17000	-218,91700	0,60954	-2357,12000	-257,52000
0,60376	-2345,96000	-196,77858	0,60591	-2350,24000	-219,31700	0,60959	-2357,20000	-258,00200
0,60379	-2346,03000	-197,10600	0,60594	-2350,31000	-219,64700	0,60964	-2357,31000	-258,61200
0,60382	-2346,08000	-197,36467	0,60597	-2350,36000	-219,95285	0,60970	-2357,42000	-259,25400
0,60385	-2346,13000	-197,66304	0,60599	-2350,42000	-220,23600	0,60976	-2357,53000	-259,89100
0,60387	-2346,19000	-197,95100	0,60602	-2350,46000	-220,50200	0,60982	-2357,63000	-260,45600
0,60391	-2346,26000	-198,32312	0,60608	-2350,57000	-221,07900	0,60987	-2357,73000	-261,03300
0,60393	-2346,30000	-198,53508	0,60611	-2350,64000	-221,44900	0,60991	-2357,80000	-261,45400
0,60395	-2346,35000	-198,76600	0,60617	-2350,75000	-222,03700	0,60995	-2357,87000	-261,84848
0,60398	-2346,40000	-199,02400	0,60656	-2351,52000	-226,19725	0,60998	-2357,93000	-262,19300
0,60400	-2346,45000	-199,27700	0,60707	-2352,50000	-231,53900	0,61000	-2357,96000	-262,37800
0,60403	-2346,50000	-199,53183	0,60730	-2352,94000	-233,96200	0,61002	-2357,99000	-262,54200
0,60406	-2346,56000	-199,87500	0,60750	-2353,32000	-236,08900	0,61004	-2358,02000	-262,76500
0,60410	-2346,65000	-200,31900	0,60760	-2353,51000	-237,15000	0,61007	-2358,08000	-263,09200
0,60415	-2346,74000	-200,81000	0,60768	-2353,66000	-237,97435	0,61012	-2358,17000	-263,64300
0,60424	-2346,93000	-201,77100	0,60775	-2353,79000	-238,71300	0,61017	-2358,27000	-264,17500
0,60430	-2347,05000	-202,41100	0,60779	-2353,86000	-239,08300	0,61023	-2358,38000	-264,81600
0,60435	-2347,16000	-202,97800	0,60783	-2353,94000	-239,50400	0,61028	-2358,45000	-265,27600
0,60442	-2347,29000	-203,68300	0,60786	-2354,00000	-239,87200	0,61031	-2358,52000	-265,65900
0,60456	-2347,58000	-205,19693	0,60802	-2354,29000	-241,49400	0,61036	-2358,61000	-266,16300
0,60468	-2347,82000	-206,42100	0,60812	-2354,48000	-242,56300	0,61042	-2358,70000	-266,74600
0,60472	-2347,90000	-206,88700	0,60822	-2354,68000	-243,67800	0,61047	-2358,80000	-267,29200
0,60491	-2348,28000	-208,87200	0,60833	-2354,89000	-244,82100	0,61051	-2358,87000	-267,71347
0,60499	-2348,43000	-209,63382	0,60842	-2355,05000	-245,75200	0,61054	-2358,93000	-268,07800
0,60502	-2348,49000	-209,97100	0,60854	-2355,27000	-246,96400	0,61057	-2358,99000	-268,42100

Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)
0,61061	-2359,05000	-268,77200	0,61407	-2365,03000	-305,32193	0,61637	-2368,75000	-329,61700
0,61064	-2359,10000	-269,09500	0,61410	-2365,07000	-305,59400	0,61649	-2368,94000	-330,83400
0,61067	-2359,16000	-269,41200	0,61413	-2365,13000	-305,92400	0,61654	-2369,02000	-331,38700
0,61069	-2359,21000	-269,69900	0,61418	-2365,21000	-306,44400	0,61660	-2369,12000	-332,05200
0,61072	-2359,26000	-270,00000	0,61427	-2365,35000	-307,38600	0,61667	-2369,21000	-332,68800
0,61085	-2359,48000	-271,34100	0,61435	-2365,48000	-308,19400	0,61670	-2369,27000	-333,10000
0,61094	-2359,65000	-272,30800	0,61441	-2365,58000	-308,83900	0,61674	-2369,33000	-333,48175
0,61100	-2359,76000	-272,95400	0,61446	-2365,66000	-309,36853	0,61678	-2369,39000	-333,86600
0,61105	-2359,85000	-273,48000	0,61451	-2365,75000	-309,91500	0,61681	-2369,44000	-334,21300
0,61109	-2359,92000	-273,90200	0,61460	-2365,90000	-310,88092	0,61685	-2369,50000	-334,63100
0,61113	-2359,99000	-274,33300	0,61466	-2366,00000	-311,54300	0,61689	-2369,57000	-335,11900
0,61118	-2360,07000	-274,79000	0,61470	-2366,07000	-311,95600	0,61695	-2369,66000	-335,71100
0,61122	-2360,13000	-275,19000	0,61475	-2366,14000	-312,44600	0,61700	-2369,74000	-336,27100
0,61127	-2360,23000	-275,77100	0,61482	-2366,27000	-313,25200	0,61706	-2369,82000	-336,85200
0,61133	-2360,33000	-276,35700	0,61494	-2366,46000	-314,52300	0,61711	-2369,90000	-337,39300
0,61138	-2360,42000	-276,89200	0,61504	-2366,63000	-315,58000	0,61726	-2370,13000	-338,94900
0,61143	-2360,50000	-277,40400	0,61514	-2366,79000	-316,61900	0,61735	-2370,27000	-339,92100
0,61147	-2360,58000	-277,85000	0,61520	-2366,87000	-317,16600	0,61738	-2370,32000	-340,26200
0,61151	-2360,65000	-278,27500	0,61525	-2366,95000	-317,70400	0,61741	-2370,37000	-340,58500
0,61155	-2360,71000	-278,67200	0,61529	-2367,02000	-318,14700	0,61745	-2370,43000	-341,03600
0,61159	-2360,79000	-279,12700	0,61531	-2367,06000	-318,42200	0,61752	-2370,53000	-341,72400
0,61163	-2360,85000	-279,51700	0,61535	-2367,12000	-318,77000	0,61755	-2370,58000	-342,06900
0,61166	-2360,92000	-279,88100	0,61539	-2367,19000	-319,23500	0,61759	-2370,64000	-342,47700
0,61169	-2360,97000	-280,18222	0,61543	-2367,25000	-319,61800	0,61763	-2370,70000	-342,84200
0,61172	-2361,02000	-280,50800	0,61546	-2367,31000	-320,00500	0,61766	-2370,75000	-343,18200
0,61176	-2361,09000	-280,94700	0,61552	-2367,39000	-320,55600	0,61769	-2370,80000	-343,56300
0,61181	-2361,17000	-281,43800	0,61557	-2367,47000	-321,10400	0,61774	-2370,87000	-344,03100
0,61186	-2361,26000	-281,93900	0,61562	-2367,55000	-321,62300	0,61777	-2370,92000	-344,36100
0,61217	-2361,81000	-285,28300	0,61565	-2367,60000	-321,93200	0,61781	-2370,97000	-344,73200
0,61283	-2362,94000	-292,22300	0,61567	-2367,64000	-322,20400	0,61784	-2371,02000	-345,07019
0,61349	-2364,05000	-299,15600	0,61570	-2367,69000	-322,55600	0,61787	-2371,07000	-345,43400
0,61358	-2364,21000	-300,13200	0,61574	-2367,74000	-322,87700	0,61791	-2371,13000	-345,86100
0,61364	-2364,31000	-300,77100	0,61577	-2367,79000	-323,18300	0,61795	-2371,18000	-346,23000
0,61370	-2364,40000	-301,34200	0,61579	-2367,83000	-323,46400	0,61798	-2371,24000	-346,59200
0,61374	-2364,47000	-301,76900	0,61582	-2367,87000	-323,74600	0,61801	-2371,29000	-346,95800
0,61378	-2364,54000	-302,23600	0,61590	-2368,01000	-324,64800	0,61805	-2371,34000	-347,28800
0,61383	-2364,62000	-302,72000	0,61597	-2368,11000	-325,33432	0,61810	-2371,41000	-347,83000
0,61386	-2364,67000	-303,05800	0,61604	-2368,23000	-326,12800	0,61813	-2371,47000	-348,20900
0,61389	-2364,72000	-303,36500	0,61611	-2368,33000	-326,78700	0,61824	-2371,62000	-349,31000
0,61392	-2364,78000	-303,71991	0,61616	-2368,41000	-327,33000	0,61828	-2371,69000	-349,76800
0,61396	-2364,85000	-304,18100	0,61621	-2368,49000	-327,85900	0,61832	-2371,75000	-350,18100
0,61401	-2364,92000	-304,61000	0,61625	-2368,55000	-328,27500	0,61835	-2371,79000	-350,50400
0,61404	-2364,97000	-304,95500	0,61631	-2368,66000	-328,95400	0,61852	-2372,04000	-352,25100

Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)
0,61862	-2372,19000	-353,33200	0,62070	-2375,21000	-375,35400	0,62349	-2378,99000	-404,85300
0,61865	-2372,24000	-353,67000	0,62074	-2375,27000	-375,76000	0,62352	-2379,03000	-405,17700
0,61869	-2372,31000	-354,12700	0,62078	-2375,32000	-376,14500	0,62357	-2379,09000	-405,70100
0,61873	-2372,36000	-354,50500	0,62081	-2375,36000	-376,50300	0,62361	-2379,14000	-406,14100
0,61877	-2372,41000	-354,88200	0,62086	-2375,43000	-376,98400	0,62364	-2379,18000	-406,40300
0,61880	-2372,46000	-355,26000	0,62089	-2375,48000	-377,34600	0,62367	-2379,22000	-406,75200
0,61885	-2372,54000	-355,77800	0,62092	-2375,52000	-377,65300	0,62371	-2379,27000	-407,19800
0,61887	-2372,57000	-356,04900	0,62096	-2375,57000	-378,04800	0,62375	-2379,32000	-407,61500
0,61890	-2372,61000	-356,31700	0,62099	-2375,62000	-378,40300	0,62379	-2379,38000	-408,04100
0,61893	-2372,65000	-356,60400	0,62102	-2375,66000	-378,72900	0,62382	-2379,41000	-408,34000
0,61895	-2372,69000	-356,86200	0,62105	-2375,70000	-379,03833	0,62385	-2379,45000	-408,62600
0,61899	-2372,74000	-357,25800	0,62108	-2375,74000	-379,33300	0,62387	-2379,48000	-408,91000
0,61902	-2372,79000	-357,61000	0,62111	-2375,78000	-379,65700	0,62390	-2379,52000	-409,20300
0,61906	-2372,84000	-357,96600	0,62114	-2375,83000	-380,03000	0,62396	-2379,60000	-409,85200
0,61909	-2372,89000	-358,29600	0,62117	-2375,87000	-380,34000	0,62400	-2379,65000	-410,27500
0,61913	-2372,94000	-358,69600	0,62147	-2376,28000	-383,43900	0,62403	-2379,69000	-410,60300
0,61915	-2372,98000	-358,98700	0,62236	-2377,49000	-392,89900	0,62407	-2379,73000	-410,98400
0,61918	-2373,03000	-359,28400	0,62244	-2377,60000	-393,71400	0,62410	-2379,77000	-411,30500
0,61922	-2373,08000	-359,66700	0,62250	-2377,68000	-394,35321	0,62412	-2379,80000	-411,55500
0,61925	-2373,13000	-360,00766	0,62253	-2377,72000	-394,68000	0,62416	-2379,84000	-411,90802
0,61929	-2373,18000	-360,43219	0,62255	-2377,75000	-394,94200	0,62420	-2379,89000	-412,33783
0,61933	-2373,24000	-360,80300	0,62259	-2377,80000	-395,33800	0,62426	-2379,98000	-413,05000
0,61935	-2373,27000	-361,08300	0,62263	-2377,86000	-395,76886	0,62431	-2380,04000	-413,57900
0,61939	-2373,33000	-361,47200	0,62267	-2377,90000	-396,14500	0,62437	-2380,11000	-414,15700
0,61942	-2373,37000	-361,80100	0,62270	-2377,95000	-396,49585	0,62443	-2380,18000	-414,74000
0,61946	-2373,44000	-362,25300	0,62273	-2377,99000	-396,81500	0,62448	-2380,25000	-415,34500
0,61950	-2373,49000	-362,63200	0,62278	-2378,06000	-397,38600	0,62454	-2380,33000	-415,97900
0,61953	-2373,54000	-362,98900	0,62284	-2378,13000	-397,96000	0,62461	-2380,42000	-416,72400
0,61957	-2373,59000	-363,36300	0,62287	-2378,17000	-398,25200	0,62468	-2380,50000	-417,40100
0,61961	-2373,65000	-363,80800	0,62289	-2378,20000	-398,52400	0,62473	-2380,57000	-418,00800
0,61966	-2373,72000	-364,33500	0,62292	-2378,24000	-398,85500	0,62478	-2380,63000	-418,47600
0,61970	-2373,78000	-364,76400	0,62295	-2378,28000	-399,16100	0,62482	-2380,68000	-418,91100
0,61974	-2373,84000	-365,18222	0,62300	-2378,35000	-399,71300	0,62486	-2380,72000	-419,30246
0,61979	-2373,91000	-365,72000	0,62304	-2378,40000	-400,11400	0,62491	-2380,78000	-419,81900
0,61983	-2373,97000	-366,14000	0,62308	-2378,45000	-400,48900	0,62500	-2380,90000	-420,78800
0,61987	-2374,02000	-366,54200	0,62311	-2378,49000	-400,80800	0,62506	-2380,98000	-421,50000
0,61990	-2374,07000	-366,90900	0,62317	-2378,57000	-401,48600	0,62510	-2381,03000	-421,92000
0,62000	-2374,21000	-367,93800	0,62322	-2378,64000	-402,02800	0,62516	-2381,10000	-422,53800
0,62006	-2374,31000	-368,62700	0,62327	-2378,70000	-402,53700	0,62520	-2381,15000	-422,98000
0,62016	-2374,44000	-369,57200	0,62332	-2378,77000	-403,07300	0,62524	-2381,20000	-423,37600
0,62038	-2374,75000	-371,90200	0,62337	-2378,83000	-403,54300	0,62528	-2381,25000	-423,78200
0,62060	-2375,07000	-374,27500	0,62341	-2378,88000	-403,99500	0,62533	-2381,31000	-424,31800
0,62066	-2375,16000	-374,93300	0,62345	-2378,94000	-404,44300	0,62537	-2381,36000	-424,73200

Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)
0,62540	-2381,40000	-425,11100	0,62740	-2383,75000	-446,20400	0,62877	-2385,29000	-460,75700
0,62545	-2381,45000	-425,56100	0,62743	-2383,79000	-446,52500	0,62880	-2385,32000	-461,05300
0,62551	-2381,53000	-426,21800	0,62745	-2383,82000	-446,80100	0,62887	-2385,38000	-461,72400
0,62557	-2381,60000	-426,84500	0,62748	-2383,85000	-447,08429	0,62891	-2385,44000	-462,21900
0,62562	-2381,66000	-427,39900	0,62751	-2383,88000	-447,38400	0,62895	-2385,48000	-462,67100
0,62565	-2381,70000	-427,75800	0,62754	-2383,91000	-447,67000	0,62900	-2385,53000	-463,12200
0,62569	-2381,74000	-428,10614	0,62756	-2383,94000	-447,92630	0,62904	-2385,58000	-463,63500
0,62572	-2381,78000	-428,42400	0,62758	-2383,97000	-448,16800	0,62909	-2385,62000	-464,05400
0,62575	-2381,82000	-428,76100	0,62761	-2383,99000	-448,43800	0,62912	-2385,66000	-464,42800
0,62578	-2381,85000	-429,05700	0,62764	-2384,03000	-448,81200	0,62915	-2385,70000	-464,78000
0,62581	-2381,89000	-429,35200	0,62740	-2383,75000	-446,20400	0,62919	-2385,73000	-465,14500
0,62540	-2381,40000	-425,11100	0,62743	-2383,79000	-446,52500	0,62922	-2385,76000	-465,47200
0,62545	-2381,45000	-425,56100	0,62745	-2383,82000	-446,80100	0,62926	-2385,81000	-465,88600
0,62551	-2381,53000	-426,21800	0,62748	-2383,85000	-447,08429	0,62930	-2385,85000	-466,28800
0,62557	-2381,60000	-426,84500	0,62751	-2383,88000	-447,38400	0,62933	-2385,88000	-466,65000
0,62562	-2381,66000	-427,39900	0,62754	-2383,91000	-447,67000	0,62936	-2385,92000	-466,99300
0,62565	-2381,70000	-427,75800	0,62756	-2383,94000	-447,92630	0,62940	-2385,96000	-467,39300
0,62569	-2381,74000	-428,10614	0,62758	-2383,97000	-448,16800	0,62944	-2386,00000	-467,78244
0,62572	-2381,78000	-428,42400	0,62761	-2383,99000	-448,43800	0,62946	-2386,02000	-468,03900
0,62575	-2381,82000	-428,76100	0,62764	-2384,03000	-448,81200	0,62949	-2386,05000	-468,30400
0,62578	-2381,85000	-429,05700	0,62769	-2384,09000	-449,31100	0,62951	-2386,07000	-468,52000
0,62581	-2381,89000	-429,35200	0,62772	-2384,12000	-449,61800	0,62953	-2386,09000	-468,76400
0,62583	-2381,92000	-429,65100	0,62787	-2384,28000	-451,15600	0,62956	-2386,12000	-469,06000
0,62586	-2381,95000	-429,94800	0,62796	-2384,40000	-452,20282	0,62959	-2386,16000	-469,42000
0,62589	-2381,99000	-430,23900	0,62802	-2384,46000	-452,83200	0,62962	-2386,19000	-469,74400
0,62592	-2382,02000	-430,51900	0,62814	-2384,59000	-454,01700	0,62965	-2386,22000	-470,06600
0,62594	-2382,05000	-430,75900	0,62819	-2384,65000	-454,61200	0,62968	-2386,26000	-470,39800
0,62596	-2382,07000	-430,98600	0,62823	-2384,69000	-455,00200	0,62972	-2386,30000	-470,82800
0,62598	-2382,10000	-431,23400	0,62826	-2384,73000	-455,37900	0,62976	-2386,34000	-471,19000
0,62601	-2382,14000	-431,55545	0,62830	-2384,77000	-455,72879	0,62979	-2386,37000	-471,53600
0,62604	-2382,17000	-431,85144	0,62833	-2384,80000	-456,03100	0,62983	-2386,41000	-471,95000
0,62608	-2382,21000	-432,22700	0,62835	-2384,83000	-456,32400	0,62987	-2386,45000	-472,32600
0,62624	-2382,41000	-433,97700	0,62840	-2384,88000	-456,85300	0,62990	-2386,48000	-472,67300
0,62658	-2382,81000	-437,58600	0,62845	-2384,93000	-457,34700	0,62993	-2386,51000	-472,95900
0,62681	-2383,07000	-439,93700	0,62848	-2384,97000	-457,70900	0,62996	-2386,54000	-473,31700
0,62685	-2383,12000	-440,37100	0,62853	-2385,01000	-458,12900	0,62998	-2386,57000	-473,57500
0,62689	-2383,17000	-440,82132	0,62857	-2385,06000	-458,58200	0,63000	-2386,59000	-473,74100
0,62693	-2383,21000	-441,22600	0,62861	-2385,10000	-458,99700	0,63002	-2386,61000	-473,97700
0,62696	-2383,26000	-441,62000	0,62864	-2385,14000	-459,29100	0,63004	-2386,63000	-474,18700
0,62708	-2383,39000	-442,79900	0,62866	-2385,16000	-459,56300	0,63007	-2386,66000	-474,45990
0,62715	-2383,47000	-443,58600	0,62869	-2385,19000	-459,82000	0,63010	-2386,69000	-474,79100
0,62725	-2383,59000	-444,67300	0,62871	-2385,21000	-460,06600	0,62987	-2386,45000	-472,32600
0,62734	-2383,69000	-445,61203	0,62874	-2385,25000	-460,42300	0,62990	-2386,48000	-472,67300

Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)
0,63013	-2386,72000	-475,12500	0,63192	-2388,49000	-494,01800	0,63330	-2389,77000	-508,63500
0,63016	-2386,75000	-475,43811	0,63196	-2388,53000	-494,44931	0,63332	-2389,79000	-508,86319
0,63019	-2386,78000	-475,75000	0,63199	-2388,57000	-494,84000	0,63337	-2389,84000	-509,40700
0,63022	-2386,81000	-476,04184	0,63202	-2388,59000	-495,14801	0,63342	-2389,88000	-509,92400
0,63024	-2386,84000	-476,32200	0,63205	-2388,62000	-495,46200	0,63346	-2389,92000	-510,40400
0,63028	-2386,87000	-476,68200	0,63209	-2388,66000	-495,82700	0,63351	-2389,96000	-510,89400
0,63030	-2386,90000	-476,95000	0,63212	-2388,69000	-496,15900	0,63354	-2389,99000	-511,23800
0,63033	-2386,92000	-477,19700	0,63215	-2388,71000	-496,47700	0,63358	-2390,02000	-511,60400
0,63035	-2386,95000	-477,47200	0,63218	-2388,74000	-496,78476	0,63361	-2390,05000	-511,95900
0,63039	-2386,98000	-477,82800	0,63221	-2388,78000	-497,17160	0,63367	-2390,11000	-512,59700
0,63042	-2387,01000	-478,14700	0,63224	-2388,80000	-497,44700	0,63371	-2390,14000	-512,95500
0,63045	-2387,04000	-478,46700	0,63227	-2388,83000	-497,73200	0,63373	-2390,16000	-513,24054
0,63048	-2387,08000	-478,79900	0,63229	-2388,85000	-498,01300	0,63377	-2390,19000	-513,63700
0,63050	-2387,10000	-479,07800	0,63233	-2388,88000	-498,35000	0,63380	-2390,21000	-513,90500
0,63053	-2387,13000	-479,33600	0,63236	-2388,91000	-498,65921	0,63382	-2390,23000	-514,13900
0,63055	-2387,15000	-479,60000	0,63239	-2388,94000	-499,04200	0,63384	-2390,26000	-514,42900
0,63058	-2387,18000	-479,86400	0,63243	-2388,97000	-499,41700	0,63387	-2390,28000	-514,72998
0,63062	-2387,22000	-480,31200	0,63247	-2389,01000	-499,86900	0,63391	-2390,31000	-515,11000
0,63066	-2387,26000	-480,71200	0,63250	-2389,04000	-500,17800	0,63394	-2390,34000	-515,46700
0,63069	-2387,29000	-480,99600	0,63254	-2389,08000	-500,60500	0,63398	-2390,38000	-515,89700
0,63072	-2387,31000	-481,30300	0,63257	-2389,11000	-500,95100	0,63405	-2390,43000	-516,57200
0,63074	-2387,34000	-481,55200	0,63261	-2389,14000	-501,32100	0,63409	-2390,47000	-517,02200
0,63076	-2387,36000	-481,80069	0,63265	-2389,18000	-501,75000	0,63413	-2390,51000	-517,44700
0,63095	-2387,55000	-483,80000	0,63267	-2389,20000	-502,00400	0,63418	-2390,55000	-518,00800
0,63099	-2387,59000	-484,24600	0,63270	-2389,23000	-502,27200	0,63423	-2390,59000	-518,48600
0,63103	-2387,63000	-484,67700	0,63272	-2389,25000	-502,54400	0,63430	-2390,65000	-519,21300
0,63107	-2387,67000	-485,06400	0,63275	-2389,27000	-502,82312	0,63438	-2390,72000	-520,07700
0,63125	-2387,84000	-486,92984	0,63277	-2389,30000	-503,09900	0,63444	-2390,77000	-520,68400
0,63132	-2387,92000	-487,70500	0,63281	-2389,33000	-503,51200	0,63456	-2390,87000	-522,02832
0,63138	-2387,97000	-488,31134	0,63289	-2389,40000	-504,29100	0,63461	-2390,91000	-522,48600
0,63143	-2388,02000	-488,82400	0,63292	-2389,43000	-504,64400	0,63464	-2390,94000	-522,78800
0,63145	-2388,05000	-489,14200	0,63294	-2389,45000	-504,88700	0,63466	-2390,96000	-523,03700
0,63149	-2388,08000	-489,53833	0,63297	-2389,48000	-505,18900	0,63489	-2391,15000	-525,52600
0,63153	-2388,12000	-489,88600	0,63300	-2389,50000	-505,47300	0,63500	-2391,24000	-526,62400
0,63156	-2388,15000	-490,23000	0,63302	-2389,53000	-505,75500	0,63505	-2391,28000	-527,15100
0,63159	-2388,18000	-490,55400	0,63305	-2389,55000	-505,97800	0,63509	-2391,31000	-527,61100
0,63162	-2388,21000	-490,88800	0,63307	-2389,57000	-506,25900	0,63513	-2391,35000	-528,04400
0,63166	-2388,25000	-491,33200	0,63310	-2389,60000	-506,57600	0,63516	-2391,37000	-528,32100
0,63170	-2388,28000	-491,69400	0,63313	-2389,62000	-506,87400	0,63519	-2391,39000	-528,63000
0,63173	-2388,31000	-492,00300	0,63317	-2389,65000	-507,25000	0,63522	-2391,42000	-528,92395
0,63179	-2388,37000	-492,67000	0,63321	-2389,69000	-507,68300	0,63525	-2391,44000	-529,25700
0,63184	-2388,42000	-493,26700	0,63323	-2389,71000	-507,92395	0,63530	-2391,48000	-529,76900
0,63188	-2388,46000	-493,65600	0,63326	-2389,74000	-508,22400	0,63533	-2391,51000	-530,18750

Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)
0,63540	-2391,57000	-530,89200	0,63749	-2393,16000	-552,96900	0,63930	-2394,39000	-572,06200
0,63545	-2391,60000	-531,35900	0,63752	-2393,18000	-553,30800	0,63933	-2394,41000	-572,36500
0,63564	-2391,76000	-533,43800	0,63756	-2393,21000	-553,71800	0,63935	-2394,43000	-572,65700
0,63571	-2391,82000	-534,19100	0,63760	-2393,24000	-554,10100	0,63939	-2394,45000	-573,07700
0,63578	-2391,87000	-534,91300	0,63763	-2393,26000	-554,45600	0,63944	-2394,48000	-573,60700
0,63585	-2391,93000	-535,64200	0,63766	-2393,29000	-554,79400	0,63948	-2394,51000	-574,02400
0,63590	-2391,96000	-536,13100	0,63770	-2393,31000	-555,15500	0,63952	-2394,53000	-574,42700
0,63596	-2392,02000	-536,84200	0,63773	-2393,33000	-555,47900	0,63955	-2394,56000	-574,79700
0,63601	-2392,05000	-537,34900	0,63777	-2393,36000	-555,91700	0,63959	-2394,58000	-575,14400
0,63606	-2392,09000	-537,88400	0,63780	-2393,39000	-556,28600	0,63963	-2394,60000	-575,56604
0,63611	-2392,13000	-538,33400	0,63785	-2393,42000	-556,74300	0,63966	-2394,62000	-575,92000
0,63614	-2392,16000	-538,74200	0,63789	-2393,45000	-557,24800	0,63969	-2394,64000	-576,25500
0,63618	-2392,18000	-539,12300	0,63799	-2393,51000	-558,21200	0,63972	-2394,66000	-576,55500
0,63626	-2392,24000	-539,93800	0,63806	-2393,57000	-559,01700	0,63975	-2394,68000	-576,90918
0,63630	-2392,27000	-540,36700	0,63810	-2393,59000	-559,38300	0,63979	-2394,70000	-577,23100
0,63635	-2392,31000	-540,92000	0,63814	-2393,62000	-559,85900	0,63981	-2394,72000	-577,50700
0,63638	-2392,34000	-541,27300	0,63817	-2393,64000	-560,17000	0,63984	-2394,73000	-577,75531
0,63642	-2392,37000	-541,70100	0,63820	-2393,66000	-560,47400	0,63987	-2394,75000	-578,08700
0,63646	-2392,40000	-542,13800	0,63823	-2393,69000	-560,85100	0,63989	-2394,77000	-578,39000
0,63653	-2392,45000	-542,84300	0,63826	-2393,70000	-561,13900	0,63992	-2394,79000	-578,70700
0,63660	-2392,50000	-543,50700	0,63839	-2393,79000	-562,44000	0,63995	-2394,80000	-579,00708
0,63666	-2392,55000	-544,15100	0,63843	-2393,82000	-562,91100	0,63999	-2394,82000	-579,33500
0,63671	-2392,59000	-544,72800	0,63847	-2393,84000	-563,30900	0,64000	-2394,83000	-579,49600
0,63676	-2392,63000	-545,26001	0,63850	-2393,87000	-563,65600	0,64002	-2394,84000	-579,68100
0,63679	-2392,65000	-545,56300	0,63854	-2393,89000	-564,09000	0,64004	-2394,85000	-579,87085
0,63682	-2392,67000	-545,86000	0,63858	-2393,92000	-564,44800	0,64005	-2394,86000	-580,05700
0,63685	-2392,69000	-546,18600	0,63861	-2393,94000	-564,78000	0,64007	-2394,87000	-580,23000
0,63689	-2392,72000	-546,61400	0,63866	-2393,98000	-565,36500	0,64009	-2394,88000	-580,43100
0,63692	-2392,75000	-546,96167	0,63872	-2394,01000	-565,94100	0,64012	-2394,90000	-580,73700
0,63695	-2392,77000	-547,27100	0,63875	-2394,04000	-566,31500	0,64014	-2394,92000	-581,03200
0,63697	-2392,79000	-547,52600	0,63879	-2394,06000	-566,69100	0,64018	-2394,94000	-581,36676
0,63700	-2392,80000	-547,79400	0,63882	-2394,08000	-567,05200	0,64021	-2394,96000	-581,68600
0,63703	-2392,83000	-548,11300	0,63886	-2394,11000	-567,47900	0,64024	-2394,97000	-581,99000
0,63706	-2392,85000	-548,40100	0,63890	-2394,13000	-567,88800	0,64026	-2394,99000	-582,26239
0,63711	-2392,88000	-548,92500	0,63894	-2394,16000	-568,28600	0,64029	-2395,01000	-582,54600
0,63716	-2392,92000	-549,43800	0,63898	-2394,19000	-568,72400	0,64031	-2395,02000	-582,81400
0,63720	-2392,95000	-549,89801	0,63906	-2394,24000	-569,59600	0,64033	-2395,03000	-583,03900
0,63724	-2392,98000	-550,35600	0,63910	-2394,26000	-569,99400	0,64036	-2395,05000	-583,29200
0,63730	-2393,02000	-550,92600	0,63913	-2394,28000	-570,32196	0,64038	-2395,06000	-583,54100
0,63732	-2393,04000	-551,22290	0,63916	-2394,30000	-570,63600	0,64042	-2395,09000	-583,96800
0,63736	-2393,07000	-551,57100	0,63919	-2394,32000	-570,91600	0,64045	-2395,10000	-584,29100
0,63741	-2393,10000	-552,11000	0,63922	-2394,34000	-571,23200	0,64048	-2395,12000	-584,58500
0,63745	-2393,14000	-552,58000	0,63926	-2394,37000	-571,66900	0,64051	-2395,14000	-584,85083

Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)
0,64055	-2395,16000	-585,24800	0,64245	-2396,20000	-605,41156	0,64433	-2397,06000	-625,18100
0,64058	-2395,18000	-585,58600	0,64248	-2396,21000	-605,72200	0,64436	-2397,07000	-625,46400
0,64060	-2395,19000	-585,89000	0,64251	-2396,22000	-605,96600	0,64438	-2397,09000	-625,75200
0,64064	-2395,21000	-586,22500	0,64253	-2396,24000	-606,22000	0,64440	-2397,09000	-625,97700
0,64067	-2395,23000	-586,52800	0,64255	-2396,25000	-606,47600	0,64443	-2397,11000	-626,28100
0,64070	-2395,24000	-586,83300	0,64259	-2396,26000	-606,81720	0,64446	-2397,12000	-626,52100
0,64072	-2395,26000	-587,10400	0,64263	-2396,28000	-607,22000	0,64448	-2397,13000	-626,77000
0,64074	-2395,27000	-587,35700	0,64266	-2396,30000	-607,60900	0,64452	-2397,14000	-627,16300
0,64078	-2395,29000	-587,72400	0,64270	-2396,32000	-607,96600	0,64456	-2397,16000	-627,63500
0,64081	-2395,31000	-588,08100	0,64273	-2396,33000	-608,31200	0,64460	-2397,18000	-628,05700
0,64085	-2395,33000	-588,47500	0,64276	-2396,35000	-608,66400	0,64464	-2397,19000	-628,46900
0,64089	-2395,36000	-588,86900	0,64282	-2396,38000	-609,24000	0,64476	-2397,24000	-629,69700
0,64092	-2395,38000	-589,25000	0,64286	-2396,40000	-609,65300	0,64482	-2397,26000	-630,32800
0,64097	-2395,40000	-589,68500	0,64292	-2396,43000	-610,27600	0,64488	-2397,29000	-630,97600
0,64100	-2395,42000	-590,06200	0,64299	-2396,46000	-611,07900	0,64493	-2397,31000	-631,47600
0,64105	-2395,45000	-590,58000	0,64306	-2396,50000	-611,83300	0,64496	-2397,32000	-631,82300
0,64110	-2395,48000	-591,13300	0,64313	-2396,53000	-612,52500	0,64499	-2397,33000	-632,17800
0,64131	-2395,59000	-593,28900	0,64318	-2396,55000	-613,04800	0,64503	-2397,34000	-632,53000
0,64141	-2395,65000	-594,40600	0,64322	-2396,57000	-613,47800	0,64506	-2397,36000	-632,93042
0,64152	-2395,71000	-595,51500	0,64326	-2396,59000	-613,88031	0,64510	-2397,37000	-633,28300
0,64156	-2395,73000	-596,00769	0,64330	-2396,61000	-614,29400	0,64513	-2397,39000	-633,64800
0,64161	-2395,76000	-596,51200	0,64334	-2396,63000	-614,79000	0,64517	-2397,40000	-634,06897
0,64165	-2395,78000	-596,94600	0,64338	-2396,65000	-615,20752	0,64521	-2397,41000	-634,44000
0,64169	-2395,80000	-597,36800	0,64343	-2396,67000	-615,68600	0,64525	-2397,43000	-634,85900
0,64173	-2395,82000	-597,80900	0,64348	-2396,69000	-616,21500	0,64527	-2397,44000	-635,11300
0,64178	-2395,85000	-598,26200	0,64353	-2396,71000	-616,79500	0,64529	-2397,45000	-635,33500
0,64185	-2395,89000	-599,07800	0,64358	-2396,74000	-617,27100	0,64534	-2397,47000	-635,86499
0,64191	-2395,92000	-599,62700	0,64362	-2396,75000	-617,72100	0,64537	-2397,48000	-636,18500
0,64194	-2395,93000	-599,97400	0,64366	-2396,77000	-618,16300	0,64540	-2397,49000	-636,44220
0,64197	-2395,95000	-600,29700	0,64372	-2396,80000	-618,70700	0,64543	-2397,50000	-636,82800
0,64201	-2395,97000	-600,69400	0,64377	-2396,82000	-619,31400	0,64548	-2397,52000	-637,29600
0,64204	-2395,99000	-601,07000	0,64381	-2396,84000	-619,71900	0,64551	-2397,53000	-637,65700
0,64209	-2396,01000	-601,52600	0,64385	-2396,86000	-620,13000	0,64556	-2397,55000	-638,17500
0,64212	-2396,03000	-601,89100	0,64389	-2396,87000	-620,54500	0,64559	-2397,56000	-638,49800
0,64216	-2396,05000	-602,25600	0,64397	-2396,91000	-621,37600	0,64562	-2397,57000	-638,80400
0,64219	-2396,06000	-602,62700	0,64403	-2396,94000	-622,04900	0,64565	-2397,58000	-639,08800
0,64222	-2396,08000	-602,96100	0,64410	-2396,97000	-622,76200	0,64567	-2397,59000	-639,32900
0,64225	-2396,10000	-603,28200	0,64414	-2396,98000	-623,16000	0,64572	-2397,61000	-639,89000
0,64228	-2396,11000	-603,59400	0,64417	-2397,00000	-623,55200	0,64577	-2397,62000	-640,35000
0,64231	-2396,12000	-603,87100	0,64421	-2397,01000	-623,91400	0,64581	-2397,64000	-640,77700
0,64234	-2396,14000	-604,17200	0,64424	-2397,02000	-624,23800	0,64591	-2397,67000	-641,81200
0,64237	-2396,16000	-604,51600	0,64427	-2397,04000	-624,56800	0,64595	-2397,69000	-642,30000
0,64243	-2396,18000	-605,09600	0,64430	-2397,05000	-624,88562	0,64599	-2397,70000	-642,74100

Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)
0,64604	-2397,71000	-643,16800	0,64809	-2398,33000	-664,84500	0,65000	-2398,72000	-684,89800
0,64609	-2397,73000	-643,70400	0,64812	-2398,33000	-665,16500	0,65001	-2398,73000	-684,98700
0,64613	-2397,75000	-644,16400	0,64817	-2398,35000	-665,68700	0,65003	-2398,73000	-685,20500
0,64617	-2397,76000	-644,59900	0,64822	-2398,36000	-666,14300	0,65006	-2398,73000	-685,49100
0,64627	-2397,79000	-645,61400	0,64826	-2398,37000	-666,54900	0,65008	-2398,74000	-685,72400
0,64632	-2397,81000	-646,15900	0,64829	-2398,38000	-666,92100	0,65011	-2398,74000	-685,99700
0,64636	-2397,82000	-646,57600	0,64833	-2398,38000	-667,28600	0,65013	-2398,74000	-686,24500
0,64640	-2397,84000	-646,96500	0,64836	-2398,39000	-667,61676	0,65016	-2398,75000	-686,56781
0,64642	-2397,84000	-647,24900	0,64838	-2398,40000	-667,91333	0,65019	-2398,75000	-686,92000
0,64645	-2397,85000	-647,54400	0,64841	-2398,40000	-668,18400	0,65022	-2398,76000	-687,24400
0,64647	-2397,86000	-647,79000	0,64843	-2398,41000	-668,43900	0,65026	-2398,77000	-687,64400
0,64650	-2397,87000	-648,01700	0,64846	-2398,42000	-668,67700	0,65030	-2398,77000	-688,02000
0,64652	-2397,88000	-648,25600	0,64848	-2398,42000	-668,92500	0,65033	-2398,78000	-688,36100
0,64654	-2397,88000	-648,47100	0,64850	-2398,43000	-669,17400	0,65038	-2398,78000	-688,93300
0,64656	-2397,89000	-648,72400	0,64853	-2398,43000	-669,42700	0,65048	-2398,80000	-689,92500
0,64659	-2397,90000	-648,97937	0,64856	-2398,44000	-669,80800	0,65053	-2398,80000	-690,45600
0,64662	-2397,91000	-649,29100	0,64877	-2398,49000	-671,93100	0,65058	-2398,81000	-691,01200
0,64666	-2397,92000	-649,78100	0,64887	-2398,51000	-673,02400	0,65063	-2398,82000	-691,47700
0,64672	-2397,94000	-650,33400	0,64894	-2398,52000	-673,74000	0,65066	-2398,82000	-691,88000
0,64677	-2397,96000	-650,91300	0,64900	-2398,54000	-674,41400	0,65070	-2398,83000	-692,19700
0,64697	-2398,02000	-653,03800	0,64905	-2398,55000	-674,89300	0,65073	-2398,83000	-692,60200
0,64720	-2398,08000	-655,40500	0,64910	-2398,56000	-675,40100	0,65077	-2398,84000	-693,00000
0,64727	-2398,10000	-656,15300	0,64917	-2398,57000	-676,12900	0,65080	-2398,84000	-693,28300
0,64732	-2398,12000	-656,73400	0,64924	-2398,59000	-676,89447	0,65083	-2398,84000	-693,59600
0,64738	-2398,14000	-657,29700	0,64929	-2398,60000	-677,43300	0,65086	-2398,85000	-693,97900
0,64743	-2398,15000	-657,90600	0,64934	-2398,61000	-678,01200	0,65090	-2398,85000	-694,32900
0,64749	-2398,17000	-658,47900	0,64939	-2398,61000	-678,45400	0,65094	-2398,86000	-694,81400
0,64760	-2398,20000	-659,64000	0,64943	-2398,62000	-678,87900	0,65099	-2398,86000	-695,25400
0,64764	-2398,21000	-660,03418	0,64947	-2398,63000	-679,37207	0,65102	-2398,87000	-695,56200
0,64767	-2398,22000	-660,35400	0,64951	-2398,64000	-679,79718	0,65105	-2398,87000	-695,93200
0,64769	-2398,22000	-660,63739	0,64955	-2398,65000	-680,19700	0,65110	-2398,88000	-696,41300
0,64772	-2398,23000	-660,91900	0,64962	-2398,66000	-680,87000	0,65114	-2398,88000	-696,92200
0,64775	-2398,24000	-661,19928	0,64967	-2398,67000	-681,42200	0,65119	-2398,89000	-697,39200
0,64777	-2398,24000	-661,45800	0,64970	-2398,67000	-681,73200	0,65123	-2398,89000	-697,82000
0,64780	-2398,25000	-661,71875	0,64973	-2398,68000	-682,08100	0,65129	-2398,90000	-698,43700
0,64782	-2398,26000	-661,95900	0,64977	-2398,69000	-682,53100	0,65134	-2398,90000	-698,95800
0,64785	-2398,26000	-662,27500	0,64980	-2398,69000	-682,82800	0,65138	-2398,91000	-699,40400
0,64788	-2398,27000	-662,59300	0,64984	-2398,70000	-683,19600	0,65141	-2398,91000	-699,74707
0,64792	-2398,28000	-662,98100	0,64987	-2398,70000	-683,54895	0,65144	-2398,91000	-700,05500
0,64795	-2398,29000	-663,32074	0,64991	-2398,71000	-683,91700	0,65147	-2398,92000	-700,35600
0,64799	-2398,30000	-663,74300	0,64994	-2398,71000	-684,26300	0,65150	-2398,92000	-700,60900
0,64803	-2398,31000	-664,14600	0,64997	-2398,72000	-684,58900	0,65152	-2398,92000	-700,85700
0,64806	-2398,32000	-664,51000	0,64999	-2398,72000	-684,83400	0,65155	-2398,92000	-701,16600

Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)
0,65158	-2398,93000	-701,48300	0,65377	-2399,02000	-724,46600	0,65632	-2403,23000	-751,38500
0,65162	-2398,93000	-701,87900	0,65381	-2399,02000	-724,90448	0,65640	-2403,50000	-752,24200
0,65165	-2398,93000	-702,24353	0,65385	-2399,02000	-725,32700	0,65646	-2403,69000	-752,86900
0,65168	-2398,94000	-702,57400	0,65388	-2399,02000	-725,61200	0,65649	-2403,79000	-753,18750
0,65171	-2398,94000	-702,88200	0,65392	-2399,02000	-726,00900	0,65653	-2403,93000	-753,60900
0,65174	-2398,94000	-703,16626	0,65395	-2399,02000	-726,39100	0,65657	-2404,05000	-754,01800
0,65177	-2398,94000	-703,48300	0,65399	-2399,02000	-726,80426	0,65661	-2404,19000	-754,44700
0,65179	-2398,95000	-703,73100	0,65403	-2399,01000	-727,21400	0,65666	-2404,34000	-754,92800
0,65182	-2398,95000	-703,98600	0,65408	-2399,01000	-727,68300	0,65670	-2404,48000	-755,36100
0,65185	-2398,95000	-704,29300	0,65411	-2399,01000	-727,99800	0,65673	-2404,59000	-755,73700
0,65188	-2398,95000	-704,65600	0,65417	-2399,01000	-728,70200	0,65677	-2404,71000	-756,11300
0,65192	-2398,96000	-705,08200	0,65424	-2399,01000	-729,39800	0,65681	-2404,83000	-756,50116
0,65196	-2398,96000	-705,52100	0,65476	-2398,99000	-734,88600	0,65683	-2404,92000	-756,78900
0,65199	-2398,96000	-705,82500	0,65482	-2398,98000	-735,48600	0,65686	-2405,01000	-757,07600
0,65202	-2398,96000	-706,14400	0,65493	-2398,98000	-736,61200	0,65689	-2405,10000	-757,35730
0,65206	-2398,97000	-706,53500	0,65500	-2398,97000	-737,32400	0,65692	-2405,20000	-757,69000
0,65208	-2398,97000	-706,77100	0,65504	-2398,97000	-737,79100	0,65695	-2405,30000	-757,99900
0,65211	-2398,97000	-707,02063	0,65511	-2398,97000	-738,53500	0,65697	-2405,39000	-758,29900
0,65214	-2398,97000	-707,37300	0,65515	-2398,96000	-738,93800	0,65700	-2405,49000	-758,59200
0,65216	-2398,97000	-707,63100	0,65518	-2399,12000	-739,26400	0,65702	-2405,56000	-758,82100
0,65219	-2398,97000	-707,85100	0,65523	-2399,41000	-739,82400	0,65705	-2405,64000	-759,08600
0,65222	-2398,98000	-708,17600	0,65526	-2399,55000	-740,12500	0,65719	-2406,10000	-760,56700
0,65224	-2398,98000	-708,44600	0,65529	-2399,69000	-740,43900	0,65729	-2406,44000	-761,64100
0,65227	-2398,98000	-708,73800	0,65534	-2399,91000	-740,94500	0,65741	-2406,82000	-762,86000
0,65231	-2398,98000	-709,11100	0,65538	-2400,08000	-741,40271	0,65745	-2406,98000	-763,37207
0,65234	-2398,98000	-709,43800	0,65544	-2400,31000	-742,05600	0,65751	-2407,16000	-763,95200
0,65237	-2398,99000	-709,75100	0,65548	-2400,44000	-742,47400	0,65756	-2407,32000	-764,45500
0,65240	-2398,99000	-710,09100	0,65552	-2400,55000	-742,83100	0,65760	-2407,47000	-764,94900
0,65244	-2398,99000	-710,53800	0,65555	-2400,68000	-743,24200	0,65764	-2407,61000	-765,39000
0,65250	-2398,99000	-711,09900	0,65560	-2400,82000	-743,69104	0,65768	-2407,72000	-765,74000
0,65257	-2399,00000	-711,86084	0,65563	-2400,94000	-744,08300	0,65773	-2407,89000	-766,28400
0,65263	-2399,00000	-712,54600	0,65569	-2401,11000	-744,62400	0,65777	-2408,04000	-766,75200
0,65267	-2399,00000	-712,97600	0,65573	-2401,28000	-745,14917	0,65782	-2408,19000	-767,24400
0,65274	-2399,00000	-713,69300	0,65578	-2401,42000	-745,61200	0,65787	-2408,37000	-767,80400
0,65280	-2399,01000	-714,35300	0,65582	-2401,56000	-746,04200	0,65792	-2408,54000	-768,36000
0,65294	-2399,01000	-715,72644	0,65587	-2401,71000	-746,52300	0,65797	-2408,69000	-768,83728
0,65300	-2399,01000	-716,38400	0,65590	-2401,83000	-746,92100	0,65801	-2408,81000	-769,23400
0,65306	-2399,01000	-717,04800	0,65594	-2401,95000	-747,31200	0,65805	-2408,96000	-769,70500
0,65314	-2399,01000	-717,83000	0,65602	-2402,21000	-748,13100	0,65809	-2409,10000	-770,14800
0,65321	-2399,02000	-718,63000	0,65608	-2402,42000	-748,78300	0,65812	-2409,21000	-770,50300
0,65328	-2399,02000	-719,37700	0,65614	-2402,61000	-749,41800	0,65817	-2409,34000	-770,93900
0,65333	-2399,02000	-719,91000	0,65619	-2402,80000	-749,99700	0,65821	-2409,47000	-771,35400
0,65373	-2399,02000	-724,00300	0,65625	-2402,98000	-750,58600	0,65824	-2409,58000	-771,70200

Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)
0,65827	-2409,68000	-772,01900	0,65970	-2414,70000	234,69600	0,66142	-2420,95000	227,43300
0,65830	-2409,77000	-772,31600	0,65972	-2414,78000	234,60500	0,66145	-2421,05000	227,32200
0,65832	-2409,84000	-772,53900	0,65974	-2414,86000	234,51000	0,66147	-2421,13000	227,22600
0,65834	-2409,92000	-772,77594	0,65976	-2414,94000	234,41700	0,66149	-2421,21000	227,13700
0,65838	-2410,05000	-773,18400	0,65979	-2415,04000	234,30200	0,66151	-2421,29000	227,04400
0,65842	-2410,20000	-773,67300	0,65983	-2415,18000	234,14600	0,66154	-2421,37000	226,94500
0,65846	-2410,31000	-774,02900	0,65986	-2415,30000	234,00300	0,66156	-2421,47000	226,83960
0,65849	-2410,43000	-774,41200	0,65990	-2415,43000	233,85300	0,66158	-2421,55000	226,74200
0,65852	-2410,53000	-774,74100	0,65994	-2415,58000	233,67700	0,66160	-2421,62000	226,65900
0,65857	-2410,67000	-775,19200	0,65998	-2415,71000	233,51900	0,66163	-2421,72000	226,54200
0,65860	-2410,78000	-775,52600	0,66000	-2415,80000	233,41900	0,66166	-2421,81000	226,43500
0,65863	-2410,89000	-775,87300	0,66002	-2415,88000	233,32200	0,66169	-2421,93000	226,30600
0,65865	-2410,97000	-776,13200	0,66004	-2415,96000	233,23000	0,66174	-2422,13000	226,07000
0,65869	-2411,08000	-776,49900	0,66007	-2416,04000	233,14400	0,66180	-2422,34000	225,82600
0,65873	-2411,21000	-776,91700	0,66009	-2416,11000	233,05700	0,66186	-2422,54000	225,59300
0,65876	-2411,33000	-777,29200	0,66011	-2416,19000	232,96637	0,66191	-2422,72000	225,38900
0,65880	-2411,46000	-777,71100	0,66013	-2416,27000	232,87300	0,66193	-2422,80000	225,29000
0,65885	-2411,61000	238,30400	0,66016	-2416,37000	232,75600	0,66196	-2422,91000	225,17100
0,65888	-2411,75000	238,14700	0,66027	-2416,77000	232,28900	0,66198	-2423,00000	225,06300
0,65892	-2411,87000	238,00000	0,66034	-2417,03000	231,99000	0,66203	-2423,17000	224,86200
0,65895	-2412,00000	237,84700	0,66061	-2418,01000	230,84800	0,66208	-2423,35000	224,65700
0,65898	-2412,10000	237,73400	0,66071	-2418,39000	230,41100	0,66215	-2423,60000	224,36700
0,65901	-2412,19000	237,62825	0,66076	-2418,57000	230,20000	0,66222	-2423,85000	224,08100
0,65903	-2412,29000	237,50800	0,66080	-2418,72000	230,02800	0,66229	-2424,10000	223,79100
0,65906	-2412,40000	237,37941	0,66084	-2418,84000	229,88300	0,66244	-2424,67000	223,12900
0,65909	-2412,50000	237,26900	0,66087	-2418,96000	229,75000	0,66251	-2424,91000	222,85500
0,65912	-2412,59000	237,15800	0,66090	-2419,07000	229,61200	0,66257	-2425,13000	222,60400
0,65914	-2412,70000	237,03900	0,66092	-2419,15000	229,52300	0,66263	-2425,34000	222,35800
0,65917	-2412,78000	236,94300	0,66094	-2419,23000	229,43600	0,66269	-2425,56000	222,10000
0,65919	-2412,87000	236,83800	0,66097	-2419,31000	229,34100	0,66275	-2425,79000	221,83700
0,65922	-2412,95000	236,73800	0,66099	-2419,40000	229,23500	0,66281	-2425,99000	221,60500
0,65928	-2413,18000	236,47500	0,66102	-2419,49000	229,13400	0,66284	-2426,11000	221,46500
0,65932	-2413,34000	236,28200	0,66104	-2419,58000	229,02800	0,66287	-2426,20000	221,36200
0,65937	-2413,53000	236,06800	0,66109	-2419,75000	228,83000	0,66289	-2426,28000	221,26800
0,65942	-2413,70000	235,87100	0,66112	-2419,85000	228,71200	0,66291	-2426,34000	221,17981
0,65946	-2413,86000	235,68400	0,66114	-2419,95000	228,59500	0,66294	-2426,35000	221,06100
0,65950	-2414,00000	235,51619	0,66117	-2420,05000	228,48100	0,66296	-2426,25000	220,96019
0,65954	-2414,12000	235,37500	0,66120	-2420,14000	228,37600	0,66321	-2415,96000	220,11900
0,65957	-2414,24000	235,24100	0,66122	-2420,23000	228,27100	0,66325	-2412,78000	220,01000
0,65960	-2414,33000	235,13000	0,66124	-2420,32000	228,16600	0,66331	-2408,04000	219,86000
0,65962	-2414,43000	235,01800	0,66130	-2420,53000	227,92600	0,66339	-2401,41000	219,65200
0,65965	-2414,53000	234,90400	0,66136	-2420,72000	227,70200	0,66344	-2397,14000	219,52000
0,65967	-2414,61000	234,80200	0,66140	-2420,88000	227,52000	0,66348	-2394,01000	219,42300

Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)
0,66351	-2391,66000	219,35022	0,66527	-2186,33000	-1116,46000	0,66677	-1124,81000	-825,69600
0,66353	-2389,51000	219,28400	0,66531	-2159,04000	-1109,85000	0,66679	-1112,36000	-821,89600
0,66356	-2387,68000	219,22800	0,66536	-2122,36000	-1102,18000	0,66682	-1099,20000	-817,90332
0,66358	-2386,02000	219,17700	0,66540	-2087,56000	-1095,63000	0,66685	-1083,94000	-813,30426
0,66361	-2383,43000	219,09800	0,66543	-2061,09000	-1090,91000	0,66687	-1070,73000	-809,34500
0,66363	-2381,12000	219,02800	0,66546	-2029,63000	-1085,46000	0,66690	-1057,04000	-805,27100
0,66366	-2378,70000	218,95433	0,66550	-1998,76000	-1080,17000	0,66692	-1045,62000	-801,89300
0,66369	-2376,37000	218,88400	0,66553	-1971,00000	-1075,46000	0,66695	-1031,82000	-797,83600
0,66373	-2373,42000	218,79500	0,66557	-1936,37000	-1069,63000	0,66699	-1014,85000	-792,88031
0,66376	-2370,52000	218,70800	0,66561	-1904,35000	-1064,30000	0,66702	-999,02100	-788,29700
0,66380	-2367,33000	218,61300	0,66565	-1877,31000	-1059,83000	0,66707	-973,53186	-780,99292
0,66383	-2364,19000	218,51900	0,66568	-1846,19000	-1054,75000	0,66711	-957,01500	-776,31073
0,66387	-2361,49000	218,43900	0,66571	-1821,14000	-1050,69000	0,66714	-942,16600	-772,13600
0,66390	-2358,97000	218,36500	0,66575	-1794,25000	-1046,37000	0,66729	-877,33200	-754,29900
0,66392	-2356,52000	218,29300	0,66578	-1769,07000	-1039,50000	0,66740	-828,30300	-741,24500
0,66397	-2353,04000	218,19100	0,66582	-1737,79000	-1028,07000	0,66756	-766,49600	-725,34436
0,66400	-2350,11000	218,10553	0,66586	-1709,24000	-1017,73000	0,66761	-743,05896	-719,48200
0,66404	-2347,14000	218,01900	0,66590	-1680,74000	-1007,49000	0,66765	-728,24600	-715,82600
0,66407	-2344,09000	217,93100	0,66593	-1653,82000	-997,89100	0,66770	-710,76900	-711,56200
0,66410	-2341,29000	217,85100	0,66597	-1628,82000	-989,04800	0,66776	-687,78700	-706,03700
0,66413	-2339,01000	217,78600	0,66600	-1606,15000	-981,08429	0,66779	-677,18700	-703,52000
0,66416	-2336,90000	217,72551	0,66603	-1581,27000	-972,40800	0,66782	-667,26400	-701,18300
0,66418	-2334,82000	217,66600	0,66607	-1553,98000	-962,97200	0,66784	-658,92400	-699,23300
0,66420	-2332,76000	217,60817	0,66610	-1533,68000	-956,00000	0,66787	-649,92500	-697,14270
0,66423	-2330,84000	217,55400	0,66613	-1515,34000	-949,74600	0,66789	-641,03100	-695,09200
0,66426	-2328,45000	217,48700	0,66615	-1497,23000	-943,60200	0,66792	-632,55100	-693,15000
0,66428	-2326,21000	217,42400	0,66618	-1479,61000	-937,66300	0,66806	-583,98400	-682,29700
0,66431	-2323,54000	217,35000	0,66621	-1457,95000	-930,40802	0,66812	-561,98800	-677,53400
0,66434	-2320,82000	217,27400	0,66626	-1425,26000	-919,56000	0,66819	-542,53100	-673,40200
0,66438	-2318,00000	217,19600	0,66630	-1398,46000	-910,76001	0,66824	-525,86500	-669,92500
0,66441	-2315,32000	217,12200	0,66633	-1379,98000	-904,73822	0,66828	-513,77900	-667,44000
0,66444	-2312,75000	217,05200	0,66636	-1362,82000	-899,18400	0,66831	-504,86200	-665,62700
0,66448	-2309,22000	216,95600	0,66639	-1341,02000	-892,17500	0,66833	-499,10600	-664,46500
0,66456	-2302,38000	216,77100	0,66643	-1319,12000	-885,19500	0,66835	-491,68200	-467,51300
0,66463	-2295,73000	216,59400	0,66647	-1295,30000	-877,66400	0,66838	-484,94300	-466,11500
0,66470	-2289,78000	216,43800	0,66652	-1265,12000	-868,21900	0,66841	-475,90800	-464,25800
0,66476	-2284,25000	216,29400	0,66657	-1234,20000	-858,65800	0,66843	-468,33800	-462,71600
0,66482	-2279,37000	216,16800	0,66661	-1214,01000	-852,47600	0,66847	-459,19700	-460,87400
0,66493	-2269,75000	215,92300	0,66664	-1196,42000	-847,13000	0,66850	-449,97500	-459,03500
0,66499	-2264,24000	215,78500	0,66667	-1179,85000	-842,13200	0,66853	-441,48100	-457,36000
0,66508	-2253,74000	215,61800	0,66669	-1166,38000	-838,09100	0,66856	-435,26400	-456,14500
0,66517	-2234,21000	-1132,97000	0,66673	-1147,29000	-832,40600	0,66858	-428,73500	-454,87900
0,66522	-2212,09000	-1124,07000	0,66674	-1137,55000	-829,52100	0,66860	-422,45800	-453,67300

Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)
0,66863	-414,10199	-452,08200	0,67052	-51,37620	-336,74100	0,67253	128,91100	-302,23000
0,66867	-405,62400	-450,48600	0,67056	-46,29890	-335,36800	0,67256	130,79900	-302,16100
0,66869	-400,54900	-449,53900	0,67060	-41,63120	-334,11800	0,67259	132,25900	-302,11676
0,66872	-391,45200	-447,85900	0,67063	-36,53140	-332,76600	0,67262	133,70600	-302,08000
0,66876	-382,54306	-446,23500	0,67068	-31,15850	-331,35800	0,67265	135,21600	-302,05100
0,66879	-373,60400	-443,37400	0,67073	-25,37480	-329,86200	0,67268	136,78600	-302,03000
0,66886	-356,69000	-437,05100	0,67076	-20,89793	-328,71800	0,67273	139,42200	-302,01900
0,66889	-349,21800	-434,27900	0,67080	-15,86521	-327,44700	0,67277	141,41900	-302,03000
0,66892	-343,25200	-432,07600	0,67084	-11,36800	-326,32500	0,67281	143,06700	-302,05368
0,66894	-337,80400	-430,07100	0,67088	-7,24362	-325,30900	0,67284	144,54900	-302,08600
0,66898	-328,88000	-426,80307	0,67091	-3,96130	-324,50800	0,67287	145,93100	-302,12600
0,66901	-320,71200	-423,82900	0,67094	-0,52202	-323,67800	0,67290	147,26300	-302,17400
0,66905	-313,01100	-421,04000	0,67097	2,83686	-322,87500	0,67292	148,56400	-302,23000
0,66908	-305,81900	-418,44900	0,67099	5,52104	-322,24000	0,67296	149,98500	-302,30200
0,66911	-299,15600	-416,06000	0,67102	9,00918	-321,42200	0,67299	151,61911	-302,39900
0,66913	-293,76700	-414,13600	0,67105	11,91250	-320,74881	0,67303	153,04400	-302,49700
0,66916	-288,18800	-412,15200	0,67110	17,19670	-319,54100	0,67306	154,23400	-302,58900
0,66918	-282,54100	-410,15200	0,67114	21,66210	-318,53900	0,67308	155,39400	-302,68700
0,66923	-272,54500	-406,63100	0,67118	25,85630	-317,61300	0,67311	156,37400	-302,77700
0,66928	-261,39300	-402,73300	0,67122	29,31580	-316,86200	0,67314	157,62800	-302,90300
0,66933	-252,22847	-399,55500	0,67127	34,98280	-315,65500	0,67318	159,21300	-303,07800
0,66939	-239,34400	-395,12600	0,67132	39,61740	-314,69100	0,67322	160,93500	-303,29000
0,66945	-227,94600	-391,24600	0,67137	44,09340	-313,78100	0,67328	162,94500	-303,56900
0,66948	-220,27100	-388,65400	0,67144	50,42350	-312,53100	0,67338	166,50200	-304,15100
0,66952	-213,18515	-386,27600	0,67149	54,90580	-311,67300	0,67346	169,19700	-304,67600
0,66956	-206,86200	-384,16700	0,67152	57,96109	-311,10200	0,67353	171,61700	-305,21700
0,66960	-199,15800	-381,61400	0,67156	61,35120	-310,48100	0,67361	173,94342	-305,80700
0,66963	-192,34407	-379,37100	0,67160	64,31560	-309,95105	0,67378	179,00900	-307,36700
0,66967	-186,06500	-377,31700	0,67163	66,97470	-309,48500	0,67386	181,19200	-308,17700
0,66971	-177,50737	-374,53700	0,67166	69,56690	-309,04007	0,67389	181,85000	-308,44000
0,66977	-167,40500	-371,28700	0,67170	72,47821	-308,55200	0,67393	182,77300	-308,82600
0,66982	-159,30500	-368,70600	0,67179	80,39860	-307,28600	0,67396	183,67900	-309,22300
0,66989	-146,17400	-364,56900	0,67191	89,21000	-305,99600	0,67401	184,88147	-309,78186
0,66996	-134,42000	-360,91864	0,67197	93,23920	-305,45100	0,67452	194,72197	-316,26900
0,67000	-128,31000	-359,04100	0,67201	96,41650	-305,04361	0,67466	196,79985	-318,32400
0,67003	-124,01600	-357,73056	0,67205	98,79980	-304,75100	0,67478	198,29200	-320,05500
0,67005	-119,79100	-356,44800	0,67207	100,88700	-304,50400	0,67488	199,51100	-321,68100
0,67009	-113,74500	-354,62400	0,67211	103,30100	-304,23000	0,67494	200,12400	-322,58800
0,67013	-108,33800	-353,00600	0,67213	104,74556	-304,07300	0,67497	200,52900	-323,22900
0,67032	-79,70960	-344,64400	0,67215	106,30100	-303,90800	0,67501	200,89000	-323,83100
0,67039	-69,00150	-341,61100	0,67232	116,57200	-302,96800	0,67505	201,27400	-519,86500
0,67044	-62,04180	-339,66925	0,67238	120,27800	-302,69809	0,67508	201,63100	-520,43200
0,67048	-56,35870	-338,10200	0,67244	124,03833	-302,46500	0,67512	201,95500	-520,97100

Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)
0,67515	202,25500	-521,49500	0,67663	205,91900	-550,51900	0,67813	195,89600	-584,03500
0,67519	202,61322	-522,15200	0,67669	205,71900	-551,80500	0,67816	195,64100	-584,65600
0,67526	203,27800	-523,48500	0,67672	205,61500	-552,42300	0,67819	195,26900	-585,55400
0,67532	203,76600	-524,57900	0,67675	205,50700	-553,04300	0,67823	194,91600	-586,39600
0,67537	204,09800	-525,39000	0,67678	205,37352	-553,77700	0,67827	194,58000	-587,19043
0,67542	204,44700	-526,32200	0,67682	205,23500	-554,50400	0,67831	194,19899	-588,08500
0,67549	204,83500	-527,46600	0,67686	205,04700	-555,44900	0,67834	193,84552	-588,90600
0,67553	205,07300	-528,24500	0,67690	204,85400	-556,37100	0,67838	193,47800	-589,75300
0,67558	205,32500	-529,14500	0,67694	204,67400	-557,19600	0,67841	193,11900	-590,57500
0,67582	206,25300	-533,78200	0,67698	204,50300	-557,95575	0,67844	192,82500	-591,24300
0,67599	206,59600	-537,15500	0,67701	204,33600	-558,67400	0,67846	192,59600	-591,76000
0,67604	206,65200	-538,17572	0,67706	204,07000	-559,77400	0,67849	192,37300	-592,26100
0,67609	206,68300	-539,06500	0,67710	203,81000	-560,80600	0,67853	191,93100	-593,24700
0,67613	206,70000	-539,89800	0,67715	203,53400	-561,86500	0,67857	191,52500	-594,14700
0,67616	206,70300	-540,61500	0,67722	203,11900	-563,39200	0,67860	191,23600	-594,78300
0,67621	206,69400	-541,57300	0,67727	202,77700	-564,59845	0,67863	190,90000	-595,51900
0,67624	206,67600	-542,29900	0,67732	202,44300	-565,73877	0,67877	189,40200	-598,74600
0,67628	206,64900	-543,05896	0,67737	202,12500	-566,79400	0,67880	189,09500	-599,39600
0,67634	206,58700	-544,24100	0,67740	201,91100	-567,48900	0,67882	188,81400	-599,99100
0,67639	206,50200	-545,44400	0,67743	201,69900	-568,16800	0,67885	188,49700	-600,65900
0,67645	206,39856	-546,62000	0,67746	201,49700	-568,80300	0,67888	188,12800	-601,43158
0,67515	202,25500	-521,49500	0,67749	201,29900	-569,41700	0,67894	187,53700	-602,65900
0,67519	202,61322	-522,15200	0,67751	201,10500	-570,01300	0,67898	187,10800	-603,54600
0,67526	203,27800	-523,48500	0,67754	200,90900	-570,60600	0,67918	184,77800	-608,27600
0,67532	203,76600	-524,57900	0,67758	200,65100	-571,37400	0,67923	184,19700	-609,43700
0,67537	204,09800	-525,39000	0,67761	200,35100	-572,25769	0,67928	183,68200	-610,45800
0,67542	204,44700	-526,32200	0,67765	200,08300	-573,03200	0,67933	183,11100	-611,58400
0,67549	204,83500	-527,46600	0,67770	199,65000	-574,26100	0,67937	182,63500	-612,52000
0,67553	205,07300	-528,24500	0,67774	199,34200	-575,11900	0,67940	182,28200	-613,21000
0,67558	205,32500	-529,14500	0,67777	199,06000	-575,89500	0,67943	181,90400	-613,94600
0,67582	206,25300	-533,78200	0,67780	198,79600	-576,61100	0,67946	181,59700	-614,54100
0,67599	206,59600	-537,15500	0,67783	198,55500	-577,25900	0,67948	181,35200	-615,01600
0,67604	206,65200	-538,17572	0,67786	198,31100	-577,90900	0,67951	181,00800	-615,68000
0,67609	206,68300	-539,06500	0,67788	198,11264	-578,43100	0,67953	180,72000	-616,23700
0,67613	206,70000	-539,89800	0,67791	197,92000	-578,93500	0,67933	183,11100	-611,58400
0,67616	206,70300	-540,61500	0,67793	197,73600	-579,41500	0,67937	182,63500	-612,52000
0,67621	206,69400	-541,57300	0,67795	197,53598	-579,93000	0,67940	182,28200	-613,21000
0,67624	206,67600	-542,29900	0,67797	197,33800	-580,43700	0,67943	181,90400	-613,94600
0,67628	206,64900	-543,05896	0,67799	197,14600	-580,92511	0,67946	181,59700	-614,54100
0,67634	206,58700	-544,24100	0,67802	196,92800	-581,47900	0,67948	181,35200	-615,01600
0,67639	206,50200	-545,44400	0,67805	196,65400	-582,16500	0,67951	181,00800	-615,68000
0,67645	206,39856	-546,62000	0,67807	196,42000	-582,74800	0,67953	180,72000	-616,23700
0,67652	206,25000	-548,01947	0,67810	196,15300	-583,40500	0,67956	180,40300	-616,84600

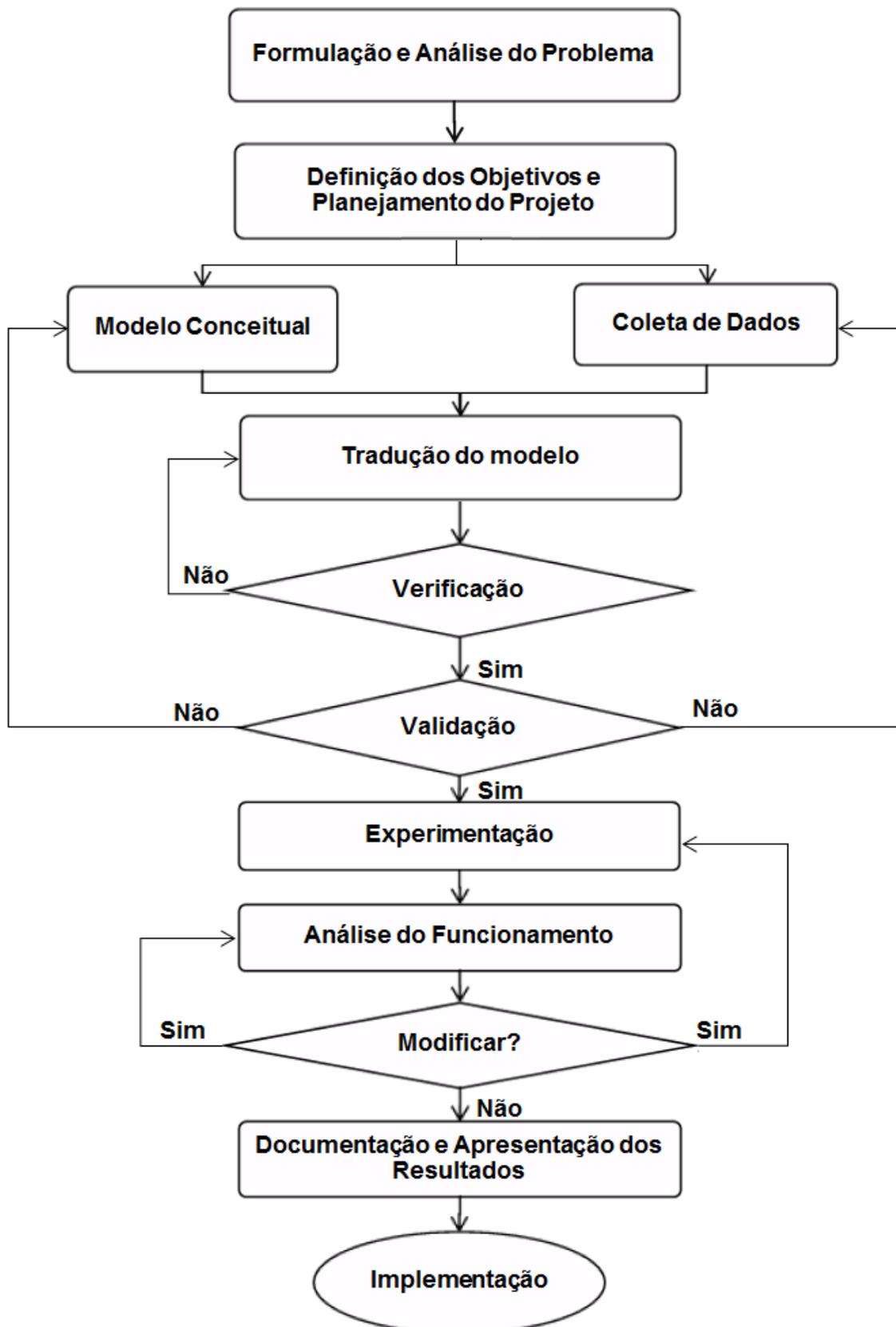
Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)
0,67958	180,15400	-617,32400	0,68222	148,84000	-818,50100	0,68431	126,81500	-858,38700
0,67960	179,92000	-617,77100	0,68228	148,19899	-819,69800	0,68436	126,37600	-859,16900
0,67963	179,60141	-618,37900	0,68234	147,56900	-820,87200	0,68452	124,75200	-862,06400
0,67966	179,22400	-619,09668	0,68240	146,92100	-822,07700	0,68458	124,12000	-863,19519
0,67969	178,87800	-619,75400	0,68244	146,47000	-822,91400	0,68463	123,63400	-864,06427
0,67972	178,44400	-620,57600	0,68247	146,14000	-823,52300	0,68467	123,31900	-864,62800
0,67975	178,06800	-621,28600	0,68250	145,84465	-824,07000	0,68471	122,90900	-865,36200
0,67980	177,56200	-622,23800	0,68253	145,54800	-824,61800	0,68475	122,55800	-865,99100
0,67983	177,15100	-623,00800	0,68256	145,18000	-825,29700	0,68478	122,25100	-866,54300
0,67987	176,73700	-623,78200	0,68260	144,81500	-825,96900	0,68481	121,97500	-867,03800
0,67990	176,31500	-624,56900	0,68263	144,40100	-826,73000	0,68483	121,70200	-867,52900
0,67995	175,75700	-625,60500	0,68267	143,99700	-827,47200	0,68488	121,23900	-868,36100
0,67998	175,30700	-626,43900	0,68271	143,56100	-828,27200	0,68492	120,87400	-869,01800
0,68000	175,11203	-626,79900	0,68275	143,16700	-828,99300	0,68497	120,41000	-869,85400
0,68002	174,91500	-627,16300	0,68278	142,79700	-829,67100	0,68508	119,38000	-871,71100
0,68003	174,70400	-627,55188	0,68281	142,47600	-830,25800	0,68515	118,71700	-872,90900
0,68005	174,45163	-628,01600	0,68285	142,13900	-830,87300	0,68519	118,36470	-873,54700
0,68008	174,11300	-628,63900	0,68288	141,80100	-831,49000	0,68523	117,99231	-874,22100
0,68011	173,81800	-629,17900	0,68290	141,50000	-832,03700	0,68526	117,67500	-874,79700
0,68013	173,48410	-629,79100	0,68293	141,22100	-832,54500	0,68532	117,12400	-875,79500
0,68019	172,73600	-631,15600	0,68296	140,94000	-833,05700	0,68536	116,73200	-876,50800
0,68022	172,38500	-631,79600	0,68298	140,65900	-833,56600	0,68540	116,37900	-877,14900
0,68026	171,99600	-632,50238	0,68301	140,38000	-834,07400	0,68544	116,08000	-877,69300
0,68028	171,65500	-633,12000	0,68305	139,98700	-834,78600	0,68548	115,66333	-878,45200
0,68031	171,31600	-633,73400	0,68341	136,09300	-841,81700	0,68553	115,18000	-879,33374
0,68035	170,82700	-634,61800	0,68359	134,21400	-845,18900	0,68557	114,83100	-879,97100
0,68039	170,39600	-635,39300	0,68366	133,49700	-846,47300	0,68561	114,48900	-880,59400
0,68041	170,09500	-635,93500	0,68370	133,12100	-847,14600	0,68567	113,96500	-881,55400
0,68043	169,81200	-636,44300	0,68372	132,84800	-847,63300	0,68573	113,46000	-882,47800
0,68045	169,57200	-636,87400	0,68375	132,55900	-848,15100	0,68579	112,93058	-883,44800
0,68047	169,34100	-637,28800	0,68378	132,25700	-848,69000	0,68582	112,60300	-884,05100
0,68049	169,11200	-637,69800	0,68382	131,80500	-849,49800	0,68587	112,17627	-884,83400
0,68054	168,54900	-638,70400	0,68386	131,44600	-850,13900	0,68593	111,66700	-885,77000
0,68058	168,07900	-639,54200	0,68389	131,11700	-850,72500	0,68599	111,15992	-886,70500
0,68063	167,35400	-640,83100	0,68392	130,83078	-851,23600	0,68604	110,70300	-887,54900
0,68068	166,75200	-641,89917	0,68394	130,62200	-851,60900	0,68609	110,24926	-888,38700
0,68073	166,14400	-642,97500	0,68396	130,38800	-852,02600	0,68615	109,76200	-889,28800
0,68078	165,49000	-644,13000	0,68399	130,12100	-852,50100	0,68619	109,45900	-889,84900
0,68132	158,96000	-655,52200	0,68401	129,88800	-852,91700	0,68626	108,81200	-891,05000
0,68148	156,90500	-659,06300	0,68404	129,54700	-853,52400	0,68633	108,24700	-892,10022
0,68187	152,65800	-811,28500	0,68411	128,86600	-854,73761	0,68639	107,70700	-893,10498
0,68202	151,11500	-814,21900	0,68422	127,78500	-856,66200	0,68644	107,36700	-893,73800
0,68211	150,10700	-816,12100	0,68426	127,33200	-857,46698	0,68647	107,07600	-894,28100

Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)
0,68650	106,80500	-894,78800	0,68882	89,61740	-927,90900	0,69108	76,10410	-955,75800
0,68653	106,55800	-895,25000	0,68885	89,38300	-928,37600	0,69113	75,81330	-956,37900
0,68656	106,31000	-895,71400	0,68889	89,15530	-928,83100	0,69118	75,55850	-956,92400
0,68660	106,03000	-896,23800	0,68892	88,94420	-929,25300	0,69123	75,28920	-957,50200
0,68663	105,77900	-896,70752	0,68895	88,73610	-929,67000	0,69129	74,99540	-958,13200
0,68668	105,35400	-897,50500	0,68898	88,50680	-930,12900	0,69134	74,73645	-958,68800
0,68673	104,92500	-898,31000	0,68903	88,22050	-930,70343	0,69138	74,48850	-959,22200
0,68676	104,68700	-898,75824	0,68907	87,91920	-931,30800	0,69145	74,15416	-959,94300
0,68679	104,43634	-899,23000	0,68912	87,65750	-931,83500	0,69151	73,84820	-960,60400
0,68683	104,17300	-899,72522	0,68916	87,34810	-932,45800	0,69156	73,59500	-961,15200
0,68686	103,87500	-900,28700	0,68923	86,93700	-933,28700	0,69160	73,36260	-961,65500
0,68690	103,56400	-900,87384	0,68926	86,74860	-933,66800	0,69164	73,14890	-962,11900
0,68693	103,31000	-901,35400	0,68932	86,33890	-934,49600	0,69180	72,38190	-963,78700
0,68696	103,09200	-901,76600	0,68938	85,99790	-935,18700	0,69184	72,16340	-964,26400
0,68699	102,85157	-902,22100	0,68942	85,69500	-935,80188	0,69190	71,85650	-964,93500
0,68702	102,62600	-902,64900	0,68947	85,37880	-936,44458	0,69194	71,65540	-965,37500
0,68705	102,41200	-903,05300	0,68955	84,91870	-937,38100	0,69197	71,50080	-965,71400
0,68707	102,23200	-903,39500	0,68961	84,54550	-938,14300	0,69200	71,35760	-966,02771
0,68710	101,97400	-903,88600	0,68966	84,20410	-938,84100	0,69204	71,15400	-966,47467
0,68715	101,60500	-904,58551	0,68970	83,98520	-939,28800	0,69209	70,93230	-966,96200
0,68719	101,30700	-905,15200	0,68974	83,76450	-939,74100	0,69213	70,74247	-967,38000
0,68723	101,01281	-905,71300	0,68977	83,55670	-940,16700	0,69215	70,60610	-967,68000
0,68727	100,66000	-906,38562	0,68981	83,32130	-940,65000	0,69218	70,47560	-967,96800
0,68732	100,33600	-907,00500	0,69000	82,18100	-943,00000	0,69221	70,34180	-968,26300
0,68735	100,04200	-907,56600	0,69012	81,47580	-944,45900	0,69223	70,23170	-968,50600
0,68739	99,77250	-908,08100	0,69020	81,00830	-945,43000	0,69226	70,11940	-968,75500
0,68742	99,52230	-908,56012	0,69031	80,35360	-946,79300	0,69228	69,98230	-969,05780
0,68746	99,23850	-909,10400	0,69036	80,07190	-947,38100	0,69230	69,88160	-969,28064
0,68749	98,99120	-909,57900	0,69041	79,80980	-947,92900	0,69233	69,76660	-969,53500
0,68753	98,73008	-910,08000	0,69047	79,42210	-948,74100	0,69237	69,57430	-969,96100
0,68756	98,46520	-910,58900	0,69054	79,04690	-949,52800	0,69240	69,41930	-970,30600
0,68760	98,20680	-911,08600	0,69060	78,71890	-950,21759	0,69244	69,22130	-970,74500
0,68764	97,90210	-911,67300	0,69065	78,45760	-950,76770	0,69251	68,92690	-971,40000
0,68767	97,63890	-912,18100	0,69068	78,25430	-951,19600	0,69256	68,65139	-972,01400
0,68775	97,07700	-913,26600	0,69072	78,03537	-951,65800	0,69260	68,47570	-972,40700
0,68779	96,79130	-913,81800	0,69077	77,78050	-952,19700	0,69264	68,30800	-972,78100
0,68785	96,35560	-914,66200	0,69081	77,55365	-952,67688	0,69271	68,00070	-973,46900
0,68790	95,94390	-915,46106	0,69085	77,34450	-953,12000	0,69276	67,77160	-973,98300
0,68794	95,68060	-915,97300	0,69088	77,18120	-953,46600	0,69280	67,55180	-974,47600
0,68830	93,09710	-921,02100	0,69091	77,00860	-953,83300	0,69289	67,16970	-975,33500
0,68863	90,87630	-925,40500	0,69094	76,83720	-954,19700	0,69294	66,93910	-975,85500
0,68874	90,12330	-926,90100	0,69098	76,60110	-954,69900	0,69302	66,57930	-976,66748
0,68879	89,79640	-927,55200	0,69103	76,38570	-955,15800	0,69306	66,40270	-977,06700

Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)
0,69309	66,24855	-977,41600	0,69541	56,94190	-999,18500	0,69715	51,07110	-1012,81000
0,69315	66,01430	-977,94700	0,69545	56,76840	-999,60498	0,69719	50,92270	-1012,96000
0,69319	65,82170	-978,38400	0,69550	56,59000	-1000,04000	0,69724	50,78820	-1013,10000
0,69322	65,66340	-978,74400	0,69556	56,37670	-1000,55000	0,69728	50,66470	-1013,23000
0,69326	65,51104	-979,09100	0,69561	56,22200	-1000,93000	0,69731	50,54980	-1013,35000
0,69333	65,19050	-979,82100	0,69565	56,07780	-1001,28000	0,69737	50,38060	-1013,52000
0,69340	64,88530	-980,51800	0,69568	55,95550	-1001,58000	0,69742	50,22190	-1013,69000
0,69347	64,57730	-981,22290	0,69571	55,84480	-1001,85000	0,69745	50,13050	-1013,78000
0,69355	64,25840	-981,95400	0,69574	55,74560	-1002,09000	0,69748	50,04150	-1013,88000
0,69360	64,05500	-982,42100	0,69577	55,64724	-1002,33000	0,69751	49,95507	-1013,97000
0,69363	63,92794	-982,71400	0,69580	55,53980	-1002,59000	0,69756	49,80060	-1014,13000
0,69366	63,79960	-983,00900	0,69583	55,43260	-1002,86000	0,69762	49,61590	-1014,32000
0,69368	63,67820	-983,28800	0,69587	55,28800	-1003,21000	0,69767	49,45229	-1014,49000
0,69371	63,55940	-983,56250	0,69590	55,17170	-1003,49000	0,69774	49,26050	-1014,69000
0,69376	63,35820	-984,02700	0,69593	55,06880	-1003,75000	0,69778	49,14210	-1014,82000
0,69380	63,20240	-984,38700	0,69596	54,96170	-1004,01000	0,69781	49,02879	-1014,94000
0,69388	62,87420	-985,14600	0,69599	54,87030	-1004,23000	0,69793	48,69130	-1015,29000
0,69391	62,72470	-985,49292	0,69602	54,78307	-1004,45000	0,69796	48,59340	-1015,40000
0,69397	62,48800	-986,04200	0,69605	54,67700	-1004,71000	0,69800	48,49500	-1015,50000
0,69401	62,32840	-986,41400	0,69608	54,57690	-1004,96000	0,69803	48,39780	-1015,60000
0,69405	62,14860	-986,83200	0,69611	54,44910	-1005,27000	0,69809	48,21370	-1015,80000
0,69431	61,12360	-989,22800	0,69616	54,29430	-1005,65000	0,69816	48,02322	-1016,00000
0,69434	60,99580	-989,52700	0,69619	54,18670	-1005,92000	0,69827	47,70140	-1016,34000
0,69437	60,87320	-989,81500	0,69622	54,07460	-1006,19000	0,69837	47,43280	-1016,63000
0,69440	60,75890	-990,08400	0,69625	53,97270	-1006,45000	0,69843	47,25250	-1016,82000
0,69443	60,64390	-990,35500	0,69629	53,85600	-1006,74000	0,69849	47,09150	-1017,00000
0,69447	60,46400	-990,77800	0,69632	53,75005	-1007,00000	0,69857	46,86890	-1017,24000
0,69452	60,27960	-991,21300	0,69636	53,61910	-1007,32000	0,69861	46,74720	-1017,37000
0,69455	60,15020	-991,51800	0,69639	53,50520	-1007,61000	0,69865	46,64440	-1017,48000
0,69459	59,99410	-991,88800	0,69642	53,41020	-1007,84000	0,69867	46,57690	-1017,55000
0,69463	59,86620	-992,19000	0,69648	53,21860	-1008,32000	0,69870	46,50256	-1017,63000
0,69466	59,75500	-992,45300	0,69653	53,06310	-1008,70000	0,69873	46,41650	-1017,73000
0,69468	59,64420	-992,71600	0,69657	52,92850	-1009,04000	0,69876	46,33390	-1017,82000
0,69472	59,51750	-993,01600	0,69661	52,80360	-1009,35000	0,69879	46,25640	-1017,90000
0,69475	59,38700	-993,32600	0,69665	52,65740	-1009,72000	0,69882	46,17200	-1017,99000
0,69482	59,11734	-993,96700	0,69669	52,53030	-1010,04000	0,69886	46,07460	-1018,10000
0,69489	58,85590	-994,59000	0,69672	52,41400	-1010,33000	0,69889	45,99280	-1018,19000
0,69499	58,48720	-995,47000	0,69676	52,28250	-1010,66000	0,69892	45,91350	-1018,28000
0,69507	58,17960	-996,20600	0,69680	52,16790	-1010,94000	0,69895	45,81250	-1018,39000
0,69515	57,87060	-996,94700	0,69683	52,06370	-1011,21000	0,69899	45,72485	-1018,48000
0,69524	57,54440	-997,73100	0,69686	51,96650	-1011,45000	0,69904	45,58410	-1018,64000
0,69533	57,22810	-998,49400	0,69689	51,86960	-1011,69000	0,69909	45,45370	-1018,78000
0,69537	57,08140	-998,84800	0,69709	51,24420	-1012,63000	0,69915	45,29240	-1018,96000

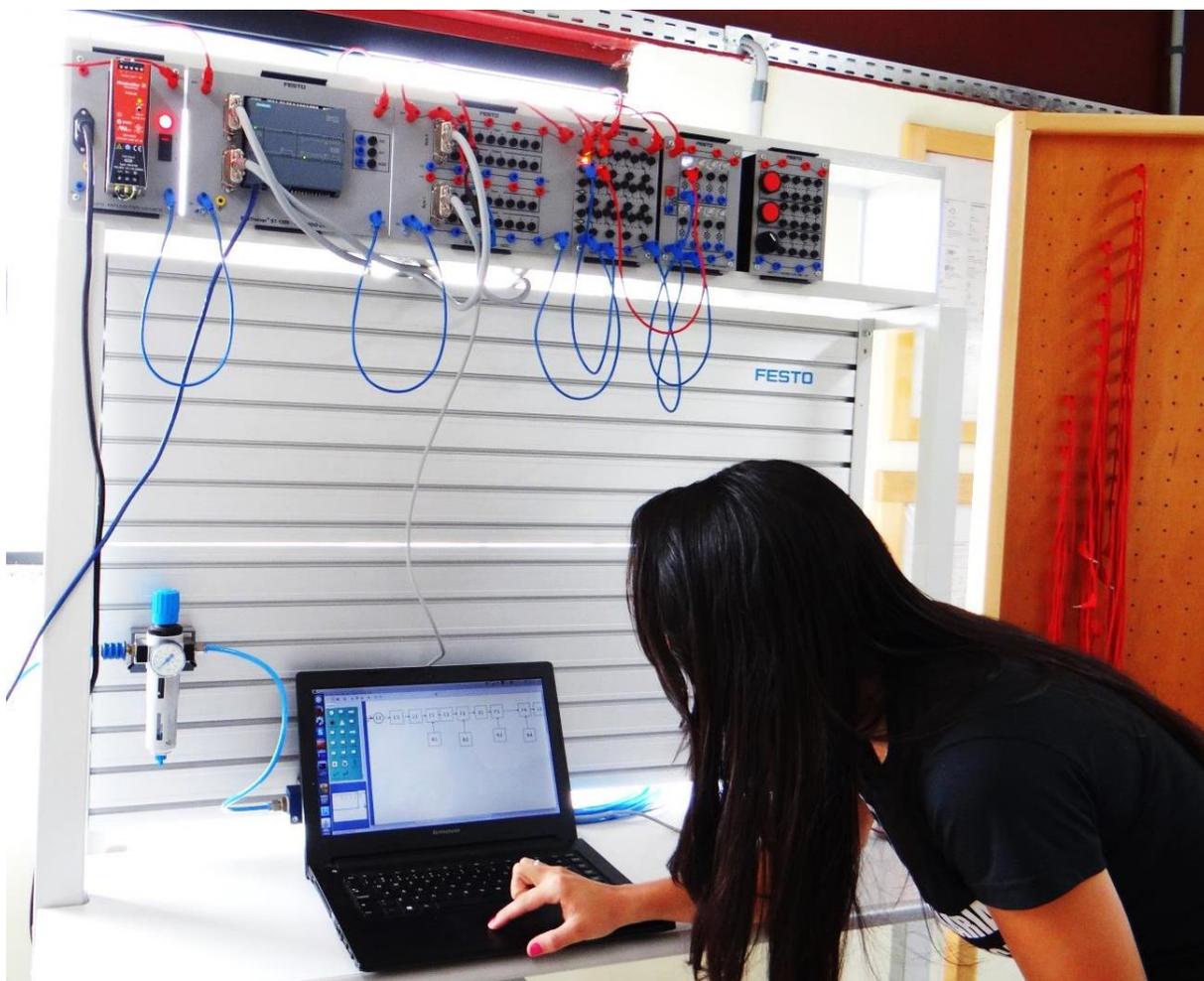
Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)	Tempo (s)	Velocidade (mm/s)	Força[Y] (N)
0,69923	45,08600	-1019,19000	0,69943	44,57680	-1019,76000	0,69959	44,17770	-1020,21000
0,69931	44,87830	-1019,42000	0,69946	44,49900	-1019,85000	0,69962	44,08470	-1020,31000
0,69935	44,76530	-1019,55000	0,69950	44,40280	-1019,96000	0,69999	43,17160	-1021,35000
0,69940	44,64810	-1019,68000	0,69954	44,28560	-1020,09000	0,70000	43,15630	-1021,37000

Fonte: Adaptada de Software Inventor®

ANEXO A - ESCOPO DE UM PROJETO DE SIMULAÇÃO

Fonte: Banks *et al.* (2009)

**ANEXO B - LABORATÓRIO DE HIDRÁLICA E PNEUMÁTICA DA
UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES - CAMPOS DOS
GOYTACAZES/RJ**



Fonte: Elaboração própria