

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DAMEC – DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO ENGENHARIA MECÂNICA

JESSICA ROTH DE FREITAS

TESTBED I4.0: PROJETO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2019

JESSICA ROTH DE FREITAS

TESTBED I4.0: PROJETO

Monografia do Projeto de Pesquisa apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso - Tcc2 do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para aprovação na disciplina.

Orientador: Prof. Dr. Walter Luis Mikos

CURITIBA

2019

TERMO DE APROVAÇÃO

Por meio deste termo, aprovamos a monografia do Projeto de Pesquisa TESTBED I4.0: PROJETO, realizado pela aluna Jessica Roth de Freitas, como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Prof. Dr. Walter Luis Mikos
DAMEC, UTFPR
Orientador

Prof. Dr. Luiz Carlos de Abreu Rodrigues
DAMEC, UTFPR
Avaliador

Prof. Me. João Carlos Roso
DAMEC, UTFPR
Avaliador

Curitiba, 28 de novembro de 2019.

A todos que me apoiaram em minha trajetória.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me ensinar a perseverança e comprometimento, fatores imprescindíveis para conclusão dessa etapa.

Ao meu pai pelo amor e exemplo, quem me mostrou que não importa o quê, mas se comprometemos com algo devemos cumprir.

A Universidade que proporcionou o ambiente necessário para meu desenvolvimento.

Ao meu orientador pela paciência e dedicação.

Aos demais professores, pelo seu comprometimento com o ensino de qualidade.

"Você deve lutar mais de uma batalha para se tornar uma vencedora." (Margaret Thatcher, ex-primeira-ministra do Reino Unido).

RESUMO

Freitas, Jessica Roth de. *Testbed* I4.0: Projeto. 69f. Trabalho de Conclusão de Curso – Tcc2, Bacharelado em Engenharia Mecânica, Departamento Acadêmico de Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

O desenvolvimento da humanidade aconteceu através de várias etapas, a última que a população está enfrentando é a digitalização, através da conectividade. Na indústria, não pode ser diferente, esta vivencia a chamada Quarta Revolução Industrial, assim com o crescimento e expansão em ritmo exponencial, o presente trabalho tem o intuito de proporcionar aos futuros profissionais, um ecossistema conectado a essas novas tendências, projetando um *testbed* capaz de auxiliar na transformação digital através de jogos e desafios práticos. O projeto propõe quais etapas são necessárias na transformação gerencial de produção assim como os desafios na gestão de ciclo de vida do produto, sugerindo etapas demonstrativas de adaptação.

Palavras-chave: *Testbed*. Indústria 4.0. Projeto.

ABSTRACT

Freitas, Jessica Roth de. Testbed I4.0: Project. 69f. Undergraduate Thesis, Mechanical Engineering, Academic Department of Mechanical, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

The development of mankind happened through several stages, the last that the population is facing is the digitization, through connectivity, In the industry, it cannot be different, this experience the so-called Fourth Industrial Revolution, as well as growth and expansion at exponential pace, the present study has the intention to provide to the future professionals, an ecosystem connected to these new tendencies, projecting a testbed capable of assisting in the digital transformation, using games and practical challenges. This project propose which steps are necessary to adapt the production system also the challenges in the product life cycle management, suggesting demonstratives steps for adaptation.

Keywords: Testbed. Industry 4.0. Project.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Esquema demonstrando opção de Testbed para a I4.0.....	17
Figura 2 - Laboratório FMS - UTFPR, Câmpus Ecoville	19
Figura 3 - Ilhas disponíveis para conexões na FIBRE pelo país	24
Figura 4 - Arquitetura do FIBRE partilhada em pilhas	24
Figura 5 - Exemplo de blocos para criação de testbed genérico	25
Figura 6 - Pirâmide de automação	26
Figura 7 - Etapas do processo de KDD	31
Figura 8 -Taxonomia do termo Sistema Ciber-físico	35
Figura 9 - Relação entre CPS, IoT, espaços físicos e dispositivos móveis.....	35
Figura 10 - Fluxograma Etapas para metodologia DSR	41
Figura 11 - Preferência na metodologia de ensinios dos alunos da UTFPR.....	41
Figura 12 – Métodos práticos preferidos pelos alunos	42
Figura 13 – Fluxograma etapas de fabricação.....	50
Figura 14 – Kit para montagem carrinhos.....	51
Figura 15 – Chassi para montagem.....	51
Figura 16 – Rodas para montagem carrinhos.....	51
Figura 17 – Motores para montagem carrinhos.....	52
Figura 18 – Carrinho finalizado.....	52
Figura 19 – Projeto esquemática sala <i>testbed</i>	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Exemplos de Classes de problemas e Artefatos	37
Quadro 2 - Métodos para avaliação dos artefatos.	38
Quadro 3 – Resultados segundo Brainstorming	47
Quadro 4 – Resultados segundo Brainstorming a serem mantidos	47
Quadro 5 – Matriz disposição de montagens	56
Quadro 6 – Dispositivos para equipar <i>testbed</i>	57
Quadro 7 – Fichas para critérios comparativos.....	60
Quadro 8 – Ficha avaliativa dispositivos, equipamentos e metodologias.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Matriz de decisão – Primeiro <i>brainstorming</i>	45
Tabela 2 – Matriz de decisão – Segundo <i>brainstorming</i>	48
Tabela 3 – Análise de custos do projeto	58
Tabela 4 - Resultados análise comparativa.....	62
Tabela 5 - Resultados critérios avaliativos.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
AGI	Inteligência Artificial Geral
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
CMfg	<i>Cloud Manufacturing</i>
CNC	Comando Numérico computadorizado
CPS	<i>Cyber Physical systems</i>
D2D	Dispositivo para dispositivo
DSR	<i>Design Science Research</i>
FIBRE	<i>Future Internet Brazilian Environment for Experimentation</i>
I4.0	Indústria 4.0
IA	Inteligência Artificial
IBM	<i>International Business Machines</i>
ID	<i>IDentification</i>
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos ou Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
IoT	<i>Internet of Things</i>
KDD	<i>Knowledge Discovery in Databases</i>
LMD	<i>Laser Metal Deposition</i>
LMF	<i>Laser Metal Fusion</i>
M2M	<i>Machine to machine</i>
MDIC	Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
MEMS	Sistemas microeletromecânicos
MES	<i>Manufacturing execution systems</i>
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Act</i>
PLA	Ácido Poliático
PUC-SP	Pontifícia Universidade Católica - São Paulo
RFID	<i>Radio-Frequency IDentification</i>
RPA	<i>Robotic process automation</i>
SAP	<i>Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung</i>
SMS	<i>Short Message Service</i>
SWOT	Strength, Weakness, Opportunities, Treats
SQL	<i>Structured Query Language</i>
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
WIP	<i>Work in process</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA	14
1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO (ESTADO ATUAL).....	16
1.3 OBJETIVOS (ESTADO FUTURO)	17
1.4 JUSTIFICATIVA	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 O QUE É INDÚSTRIA 4.0?	20
2.2 PROJETOS SEMELHANTES	21
2.3 FERRAMENTAS DA I4.0	24
2.3.1 Manufatura Aditiva.....	25
2.3.2 Inteligência artificial	26
2.3.3 Internet das coisas – IoT.....	28
2.3.4 <i>Data mining</i>	30
2.3.5 Sistemas ciber-físicos.....	32
2.3.6 Biologia sintética.....	35
2.3.7 Síntese principais ferramentas I4.0.....	35
3. METODOLOGIA UTILIZADA.....	36
3.1 <i>DESIGN SCIENCE RESEARCH</i>	36
4. NECESSIDADES DOS ESTUDANTES.....	40
5. PREMISSAS E REQUISITOS	42
6. DESENVOLVIMENTO DE ALTERNATIVAS	44
6.1 <i>BRAINSTORMING</i> – PRIMEIRA RODADA	44
6.2 AVALIAÇÃO ALTERNATIVAS – PRIMEIRO <i>BRAINSTORMING</i>	44
6.3 <i>BRAINSTORMING</i> – SEGUNDA RODADA	46
6.4 AVALIAÇÃO ALTERNATIVAS – SEGUNDO <i>BRAINSTORMING</i>	47
7. DETALHES DO PROJETO.....	49
7.1 ETAPAS DE PRODUÇÃO.....	49
7.2 ETAPAS DE ENSINO – SISTEMA DE PRODUÇÃO.....	51
7.2.1 Fábrica sem sistema de produção definido.....	52
7.2.2 Fábrica com sistema de produção definido.....	52
7.2.3 Fábrica com sistema de produção definido e conectado.....	53
7.2.4 Fatores avaliados na linha produtiva.....	53
7.2.5 Fatores avaliados no produto	54
7.3 PROJETO ESQUEMÁTICO E LISTA DE DISPOSITIVOS.....	55
7.4 ANÁLISE DE CUSTOS	57
8. VALIDAÇÃO E RESULTADOS	59
8.1 VALIDAÇÃO	59
8.2 RESULTADOS	60
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
9.1 LIÇÕES APRENDIDAS.....	63
9.2 ANÁLISE DE RISCOS	64
10. PRÓXIMOS PASSOS	65
REFERÊNCIAS	66

1. INTRODUÇÃO

1.1 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

Todas as revoluções industriais surgiram devido uma nova necessidade, e todas, aparentemente de necessidades da indústria de manufatura, com algumas controvérsias, é claro. Com a Quarta revolução industrial não foi diferente, apesar de muitos dizerem que ao contrário das outras revoluções essa foi proposital e que todos sabem que está acontecendo, ambas surgiram de problemas que precisavam ou precisam ser solucionados, novos jeitos de produção, vindo sempre da necessidade de aumentar o valor agregado, diminuir desperdícios, garantir a qualidade e aumentar a flexibilidade ou seja, a personalização, problemas que o *Lean manufacturing* tenta resolver desde sua base com o sistema Toyota de produção, mas que nunca conseguiram ser completamente sanados.

Agora têm-se as seguintes perguntas, por que surgiram essas novas necessidades? Desde quando elas são esperadas? Como se adequar a elas? Dessa última questão viu-se a importância de se preparar principalmente os engenheiros, já que dentro de várias universidades, apesar de esse assunto já ter sido abordado, como ainda tem-se uma fase de adequação, visto que as mudanças estão ocorrendo durante a escrita deste trabalho, não obtêm-se uma preparação para os futuros profissionais engenheiros que optaram por entrar no universo das indústrias de manufatura, estas sedentas por profissionais que inovem e tragam soluções diferentes.

Assim consegue-se detalhar um pouco mais do problema atual, uma disfunção entre a preparação de engenheiros, que segundo o dicionário etimológico vem do latim, “*ingenium*, isto é, qualidade, talento, genialidade, habilidade” (DICIONÁRIO ETIMOLÓGICO, 2018) e que, para sociedade, deve aplicar sua instrução científica para desenvolver soluções de produtos, serviços ou sistemas e as motivações atuais dessa mesma sociedade.

Entrando mais a fundo pode-se exemplificar essas atuais necessidades com certas mudanças que já estão acontecendo na forma de obter certos serviços desde a velocidade e conectividade dos mesmos, seja na evolução do táxi para Uber, da videolocadora para o Netflix, ou ainda fatores ambientais como as novas normas de emissões de poluentes Euro 6 que já foram suficientes para incentivar a indústria a desenvolver novas alternativas, como o caso da Volvo que já lançou seu primeiro caminhão 100% elétrico. Todas essas mudanças requerem adequações e tais devem ser implementadas da melhor maneira possível para não gerar gastos excessivos ou até mesmo desperdícios. Focando nas dores do Brasil, segundo o site brasileiro de Indústria 4.0:

“Há grandes desafios para a economia brasileira, em especial para a indústria, que enfrentou adversidades recentemente. Apesar disto, os dados apontam a quarta revolução industrial como uma oportunidade para o país.” Ainda complementa “Possuímos países que têm alto potencial para o futuro da indústria, países que lideram o processo, países nascentes no tema e países que possuem um relativo legado industrial, mas estão mais distantes da corrida para a 4^o revolução industrial.

Interessante que o Brasil se situa na interface deste quadrante, possuindo potencial para melhorar sua posição nesta nova economia.” (MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA COMÉRCIO E SERVIÇOS, 2018).

Delimitando ainda mais a raiz do problema, direcionando a visão para dentro da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) cujos propósitos são, citando a página da própria universidade:

“Missão: Desenvolver a educação tecnológica de excelência por meio do ensino, pesquisa e extensão, interagindo de forma ética, sustentável, produtiva e inovadora com a comunidade para o avanço do conhecimento e da sociedade. Visão: Ser modelo educacional de desenvolvimento social e referência na área tecnológica.” (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, 2017).

A universidade ainda possui poucas tecnologias que suportem essa nova fase, apesar de já possuir uma especialização em seu campus Ponta Grossa específico em Indústria 4.0, vem introduzindo o tema com algumas matérias específicas para alguns de seus cursos de Bacharelado, palestras em semanas acadêmicas e ainda outras palestras avulsas visando conscientizar sobre os novos desafios.

Assim, quando se trata de um exemplo prático, a universidade está defasada, necessitando de formas para experimentalmente demonstrar à seus alunos o que é esperado de profissionais que atuem nessa nova fase da indústria e quais afinal, são as ferramentas utilizadas, focando não só na teoria e nos desafios, mas como já dito, em oportunidades de aprender por experiência, aprender errando, como ensinado pelo professor Renato Braga da PUC-SP “Falhe muitas vezes para obter sucesso mais cedo.” (RENATO BRAGA, 20-?).

Buscando referências em testes experimentais surgiu a ideia de construir um *testbed*, sendo esse, conforme tratado na dissertação de Vitor Farias, referenciando *IEEE standard glossary of software engineering terminology*, “Um *testbed* é um ambiente que contém equipamentos, simuladores, instrumentação e outras ferramentas necessárias para conduzir um teste.” (IEEE, 1990, p. 84). Ainda baseado em seu trabalho pode-se conhecer a FIBRE *Future Internet Brazilian Environment for Experimentation*, uma instalação criada com os objetivos de:

“Construir um *testbed* de *Future Internet* no Brasil, federado com outras iniciativas de *testbed* no mundo todo; prover uma plataforma de larga escala para promover a pesquisa da *Future Internet* no Brasil e região; encorajar educadores a usar o *testbed* feito para classes de redes para criar uma nova geração de pesquisadores.” (FIBRE, 201-)

Ou seja, uma empresa que promove a oportunidade de testes experimentais para desenvolvimento de novas tecnologias e aplicabilidade de tais tecnologias em pequena escala, a respeito de algumas ferramentas da I4.0, que serão melhores abordadas em outra etapa deste trabalho.

Identifica-se assim não só a oportunidade, mas o dever de projetar um *testbed* eficiente no preparo dos futuros engenheiros às novas tecnologias e ao novo sistema de gerenciamento de produção ocasionado pela implementação da indústria 4.0.

1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO (ESTADO ATUAL)

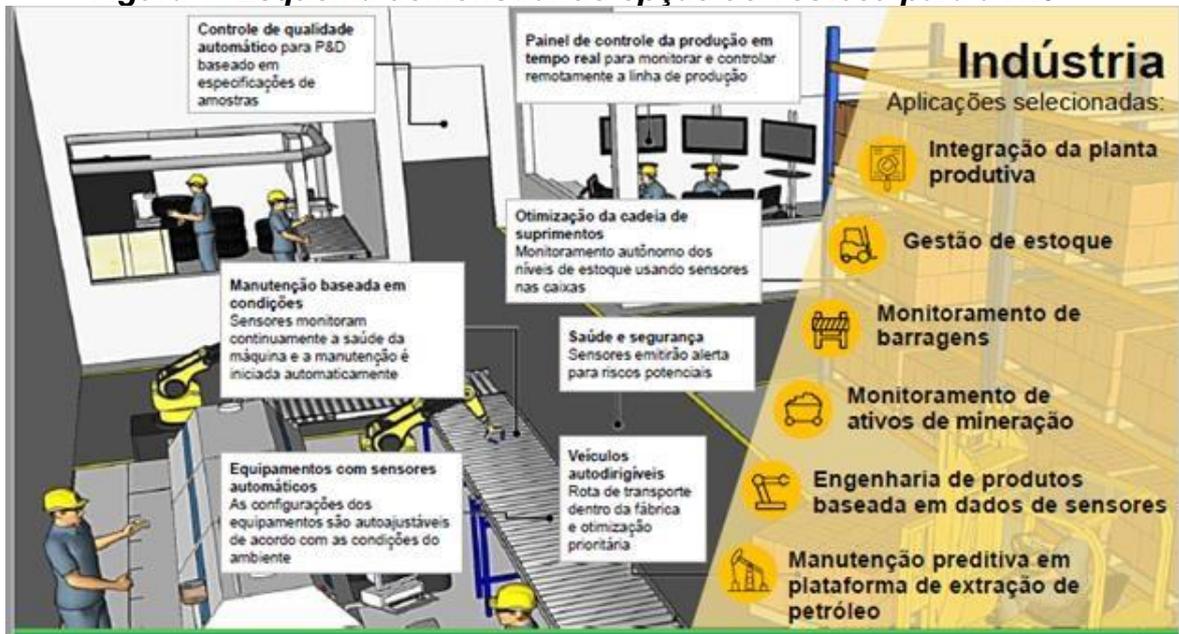
Apesar de sofrer contestações, segundo o site Citisystems, em um artigo feito pelo Diretor da empresa, Cristiano Bertulucci Silveira.

” O termo [Indústria 4.0] foi usado pela primeira vez na Feira de Hannover em 2011. Em Outubro de 2012 o grupo responsável pelo projeto, ministrado por Siegfried Dais (GmbH) e Kagermann (acatech) apresentou um relatório de recomendações para o Governo Federal Alemão, a fim de planejar sua implantação. Então, em Abril de 2013 foi publicado na mesma feira um trabalho final sobre o desenvolvimento da indústria 4.0. Seu fundamento básico implica que conectando máquinas, sistemas e ativos, as empresas poderão criar redes inteligentes ao longo de toda a cadeia de valor que podem controlar os módulos da produção de forma autônoma.” (CRISTIANO BERTULUCCI SILVEIRA, 2017)

Sendo então propagado e aceito em vários países que possuem a intenção de se manterem competitivos no mercado atual.

Usando novamente como referência o site do governo brasileiro a respeito da Indústria 4.0, pode-se situar o estado atual do país em relação a última corrida industrial, o site passa instruções acerca dos passos que devem ser adotados para essa virada tecnológica, a começar pela familiarização a respeito do tema, para então conhecimento do estado atual, ou auto-avaliação, a construção de protótipos, alianças com empresas parceiras, aliança globais e incentivos financeiros, portanto consegue-se notar que ainda encontra-se o país em estado inicial, em que a população ainda precisa habituar-se com o novo conceito. Ainda em sites brasileiros foi encontrado a figura 1, que exemplifica o que seria um *testbed* de I4.0.

Figura 1- Esquema demonstrando opção de Testbed para a I4.0



Fonte: Internet das Coisas: Um plano de ação para o Brasil

Quando restringe-se essa população em um grupo menor, delimitado às Universidades, nota-se a crescente abordagem do tema, com a criação de novos cursos de pós graduação, segundo a Folha de São Paulo em 28 de janeiro de 2018

às 2h, são alguns exemplos as instituições “USP, que desde 2015 oferece o curso de IoT, Internet das coisas e a UFPR, com um programa de Engenharia Industrial 4.0, criado em 2017.” (FOLHA DE SÃO PAULO, 2018). Outro exemplo é a Unicamp que possui um laboratório de simulação e controle com objetivo de estudar máquinas, equipamentos e sistemas de forma integrada.

Já a Universidade base desse projeto, UTFPR campus Curitiba, comprova a necessidade de tais projetos com sua recente aprovação em um edital do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC) e da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) “Fábricas do Futuro”, segundo site do próprio MDIC:

“Essas fábricas funcionam da seguinte maneira: centros de tecnologia de universidades ou empresas desenvolvem projetos de soluções inovadoras para resolver problemas reais. Em seguida, produzem protótipos e realizam testes. Quando a iniciativa está testada e ajustada ao processo produtivo já existente, ela é implantada nas fábricas das empresas que contribuíram com o projeto, acelerando e barateando o processo de inovação.”(MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS, 2018).

Também, segundo site da própria Universidade:

“Proposto em parceria com empresas como a DAF Caminhões, Klabin e Tetrapak, o *testbed* - termo em inglês para designar as chamadas 'Fábricas do Futuros' - da UTFPR tem início a partir da identificação de demandas e necessidades da indústria, sociedade e da própria universidade, com problemáticas que precisam ser solucionadas a partir dos conceitos da Indústria 4.0. Assim, o objetivo geral do projeto é desenvolver uma plataforma educacional digital que irá captar desafios da indústria e da sociedade, com características interdisciplinares e promover o estímulo de novas habilidades para os futuros profissionais.” (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, 2018).

Após todas as análises, a dor das universidades em geral, assim como da universidade detentora deste trabalho pode ser resumida nesta frase:

Como proporcionar um ecossistema educacional capaz de desenvolver e transferir conhecimentos e experiências em um ambiente de imersão e experimentação para melhoria do desempenho?

1.3 OBJETIVOS (ESTADO FUTURO)

Com as diversas vertentes originadas da Indústria 4.0, sendo elas: Manufatura aditiva, IoT (Internet das coisas), sistemas ciber físicos, Inteligência artificial e Biologia Sintética, é necessário um projeto que desenvolva a capacidade analítica, de decisão e de criatividade dos engenheiros a respeito dessas novas tecnologias. Para tanto o objetivo geral deste trabalho é:

1. Projetar um *testbed* que promova a preparação para os papéis dos engenheiros durante e após a 4ª revolução industrial.

Objetivo que será alcançado através dos seguintes objetivos específicos:

1. Analisar a base da indústria 4.0;
2. Analisar como projetar um *testbed*;
3. Pesquisar as ferramentas desenvolvidas pela indústria 4.0 e como implementá-las, bem como possíveis os problemas.

Com a conclusão deste trabalho espera-se disponibilizar a universidade um projeto viável, testado com prova conceito, para um *testbed* que auxilie o desenvolvimento de engenheiros de diversas áreas da engenharia, bem como que promova o estímulo intelectual e exponha-os a algumas tecnologias, como impressoras 3D, sensores, RFID, Big Data, e outras ferramentas que serão abordadas ao longo deste trabalho, tratando-as como suporte ao *Lean manufacturing*, já que esse possui padrões e tratamentos de melhoria contínua que são bases essenciais para a aplicabilidade destas novas ferramentas.

O espaço sugerido para tal preparo é o laboratório de Robótica, localizado no campus Ecoville, que pode ser vislumbrado na figura 2.

Figura 2 - Laboratório FMS - UTFPR, Câmpus Ecoville



Fonte: Autoria própria

Tal laboratório disponibiliza um espaço total de 100 m², com estrutura de *Simulation Lab.* equivalente a 80 m² e ainda *Robotics* de 70 m². O ambiente descrito será preparado, conforme discutido, para possibilitar um ecossistema tecnológico com as novas ferramentas, a serem discutidas nos próximos capítulos que permitam a análise de diversos indicadores de extrema importância para a indústria, então gerando vasto conhecimento aos próximos profissionais da Instituição de ensino.

1.4 JUSTIFICATIVA

Sabendo que segundo levantamento da ABDI (2017), a estimativa anual de redução de custos industriais no Brasil, a partir da migração da indústria para o conceito 4.0, será de, no mínimo, R\$ 73 bilhões/ano, consegue-se estimar o potencial que é enxergado pela indústria em geral quando se aborda o tema de indústria 4.0.

Outro fator importante vem da própria ABDI que em conjunto com o MDIC, como já reportado anteriormente, estão oferecendo apoio financeiro a instituições e

empresas que desenvolvam novas soluções, visto que segundo o próprio site da associação, em 2020 já teremos 50 bilhões de “coisas” conectadas e que até 2018, 85% dos negócios pretendem adotar IoT.

Comprova-se ainda mais a importância deste projeto com o atual estado da universidade, inclusive com sua recente aprovação em edital de chamamento público para o projeto abordado acima, denominado “Fábricas do futuro”, portanto a construção de um protótipo teste, uma apresentação em pequena escala, de uma indústria inteligente, para conhecimento e visualização prática das ferramentas e também concepção de uma visão holística a respeito do papel que deve ser desempenhado pelo engenheiro nessa nova realidade, está no momento ideal de aplicação e desenvolvimento.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para facilitar o entendimento da proposta deste trabalho, este capítulo abordará uma breve introdução ao tema de indústria 4.0, partindo desde a primeira revolução industrial, em seus primórdios seguindo a linha tempo. A partir de então, serão exibidos alguns projetos semelhantes para *benchmarking* e uma breve explicação com alguns exemplos, a respeito das ferramentas contidas no universo da I4.0, vale frisar que apesar de citadas aqui, o trabalho tem como objetivo também entender no aspecto educacional, os fatores necessários e que, portanto, serão implementados para um *testbed* como um ecossistema didático.

2.1 O QUE É INDÚSTRIA 4.0?

Para avançar no assunto dos *testbeds* para indústria 4.0 primeiro é necessário compreender totalmente o que é a indústria, afinal todos os conceitos que serão aqui desenvolvidos e abordados têm como premissa a quarta revolução industrial.

Convém começar com a explicação do caminho tomado até a indústria atingir seu quarto “estado”. A primeira revolução industrial é datada por volta de 1780, na Inglaterra trouxe a substituição do trabalho até então “artesanal”, com linhas descentralizadas com baixo volume de produção quando comparada a revolução seguinte, sendo essas linhas produtoras mecanizadas controladas por um chefe, que gerenciava o processo desde a matéria prima até o cliente final, sendo então quando o conceito chave de produção em massa foi inserido, quando há possibilidade de intercambialidade na montagem de peças. Avançando para final do século XIX, por volta de 1870, aconteceu a Segunda Revolução Industrial, nomeada com a revolução da eletrificação, foi quando as linhas produtivas passaram a aumentar a produção, essas duas revoluções podem ser correlacionadas com a teoria do Fordismo, conhecida pela padronização do trabalho e trabalhos em série, usando o exemplo específico para a Indústria 2.0, pode-se citar a indústria automobilística quando houve a introdução de linhas contínuas de produção, reduzindo o esforço humano, diminuindo tempos de montagem, *setup*, aumentando a produtividade e conseqüentemente, o lucro do dono. Aqui já se começa a notar a mudança no papel das pessoas, pode-se claramente perceber que o trabalho manual diminuiu drasticamente com o passar das revoluções, quando se exigia das pessoas um trabalho especializado, mecanizado e padronizado, sendo antes de grande esforço humano até a substituição de “trabalhos pesados” e de transporte, com as linhas contínuas.

Já no final do século XX, entre o final da Segunda Guerra Mundial, em torno da década de 70, começou a então nomeada Terceira Revolução Industrial, com a automatização das fábricas, instalação de robôs e a revolução digital, o avanço da Internet, e também a ascensão do sistema Toyota de produção, com técnicas conhecidas como o *Just-in-time*, *Kanban*, *Kaizen*, produção puxada, o chamado toyotismo, que com cada vez mais máquinas operando nas fábricas, diversificou o

papel da pessoas e, apesar do Toyotismo não tratar apenas desse aspecto, uma de suas vertentes foi a qualificação dos trabalhadores, maior participação e responsabilidades dentro da fábrica, quando os empregados não eram mais uma mão de obra especializada mas já tinham uma visão holística do negócio. O empoderamento e o chamado protagonismo dos funcionários aumentou ainda mais com a lógica do Volvismo, no qual o bem-estar, desenvolvimento intelectual e criatividade dos funcionários foi cada vez mais valorizado.

Voltando o olhar as fábricas, com o maior avanço da internet e todo o aumento da conectividade das “coisas” e pessoas, iniciaram-se a Quarta Revolução Industrial, a da como dito anteriormente, conectividade das fábricas, as chamadas “fábricas inteligentes”. Agora não só existem fábricas automatizadas, com robôs que gravam dados em sua linha produtiva, mas que também são capazes de analisar esses dados e tomar decisões. Outra mudança foi no aspecto da customização dos produtos, o que na primeira Revolução foi gerenciado com a produção em massa para ganho de custos, redução de desperdícios, foi adaptado ao longo das próximas revoluções com a real necessidade dos clientes finais, necessidades essas que variam de pessoa para pessoa. Assim, apesar da indústria também alimentar a própria indústria, desde a época do toyotismo, já se percebeu a necessidade de adaptar a indústria a essa volatilidade das pessoas (consumidores finais), obviamente sem nunca esquecer a meta de 100% de valor agregado, qualidade e portanto, rentabilidade do negócio. Toda essa explicação também dá origem a atual Indústria 4.0, na chamada “fusão entre o mundo físico, digital e biológico.” (MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS, 201-).

2.2 PROJETOS SEMELHANTES

Avançando no trabalho do projeto para *testbed* de I4.0, foi realizada a busca de projetos semelhantes no mercado, uma espécie de *benchmarking* a respeito de *testbeds* específicos de tecnologias e ferramentas determinadas assim como projetos mais amplos com cobertura de várias dessas ferramentas e análise do conjunto, como também é o objetivo deste trabalho.

O primeiro encontrado foi o *testbed* localizado em Praga, capital da República Checa, na Universidade Técnica da República Checa, no *Czech Institute of Informatics, Cybernetics and Robotics*, tem como base uma linha de produção flexível para vários tipos de produtos e outras variantes, combina diferentes tecnologias como manufatura aditiva, manipulação robótica, sistemas de conexão inteligentes, colaboração homem-robô, almoxarifado automatizado e outros. Esses possuem um sistema e ferramentas de interconexão flexíveis, capazes de executar diferentes operações e definidas conforme a necessidade.

Já na Universidade de Washington, Seattle nos EUA, os estudantes criaram um sistema para explicação da IoT usando RFID, conforme artigo na página da universidade, a construção deste sistema deu-se conforme explicado a seguir.

Primeiro fizeram a instalação de TAG's em voluntários, seja em certas roupas, objetos ou livros de cada voluntário e atrelaram tais TAG's a cada participante

nomeando o objeto e dono. Para o próximo passo da criação desse ecossistema, foram disponibilizados 44 leitores de RFID dentro do espaço a ser conectado (a saber sete andares do prédio de ciência da computação e engenharia com aproximadamente 8000m²), cada um desses leitores conectados em 4 antenas, totalizando 161, posicionados nas entradas, saídas de corredores, de escadas, do prédio, todos ainda conectados através de Gigabit Ethernet com ou sem fio, que transmitia os dados para um servidor central. Sempre que acionados os RFID transmitiam a seguinte mensagem para o servidor: tag ID, antena ID, tempo), todas essas informações alocadas no SQL da microsoft (www.microsoft.com/SQL), cada antena recebeu um nome simbólico, como escada do 4º andar, e os dados foram protegidos usando *Apache's Multipurpose Infrastructure*, e ainda o sistema *Cascadia* para suporte do desenvolvimento e execução. Finalmente todas as ferramentas e aplicativos foram conectados e implementados com o *Google Web Toolkit* (<http://code.google.com/webtoolkit/>) e hospedados no Apache and Tomcat (www.apache.org).

Para o tratamento e melhor visualização dos dados captados, foram utilizadas duas ferramentas, a primeira, *Tag Manager*, permite o usuário acessar de seu notebook e associar várias tag a uma tag master, como uma família, pai e seus filhos e nomeá-los de acordo com a necessidade, ou seja, pessoa X para uma tag, chaves da pessoa X em outra *tag*, assim sucessivamente.

A segunda ferramenta chamada, *Place Manager* proporciona ao usuário a possibilidade de denominar os captadores de sinais com títulos que sejam apropriados para o usuário, ou seja, a antena da entrada do corredor do segundo andar pode ser chamada de "meu escritório", todos esses captadores ficam expostos como um ícone em um aplicativo do *Google Maps* e o usufruidor pode editar, deletar e criar clicando nos ícones exibidos neste display.

Uma terceira ferramenta também foi empregada para a escolha de quais informações foi o usuário tem o desejo de receber, portanto quais serão as informações de maior valor, o *Scenic* que através de ícones em uma linguagem visual seleciona eventos por uma sequência de movimentos entre lugares, por exemplo o indivíduo pode selecionar o ícone que o representa, o que representa suas chaves e o que representa determinado local e combiná-los entre si além com os ícone de "dentro" e "fora", para indicar que entrou ou saiu de determinado local com as chaves.

Com essas programações e definições o usuário tem a chance de criar avisos para notificá-lo através de SMS ou rede social, que deixou o escritório, sem algum objeto que não deveria ser esquecido, como seu notebook, por exemplo. Outras aplicações também são possíveis e em ecossistema conectado com RFIDs já ostenta inúmeras opções.

Outro projeto digno de resumo, é a dissertação de mestrado de Vitor Farias, a respeito de um sistema de gerência para o *testbed* FIBRE, denominado FIBREOSS. O FIBRE *testbed* foi criado em 2010 em parceria com a União Européia, porém com o encerramento do projeto em 2014 o governo brasileiro está incubido pelo cuidado e gerenciamento de toda a infraestrutura. Este *testbed* funciona como laboratório aberto a estudantes e pesquisadores para testes de novas aplicações e modelos de

arquitetura de rede. Possui diversas ilhas inseridas em universidades e centro de pesquisa por todo país e algumas conexões como exterior. Segue o mapa para visualização das ilhas, na figura 3.

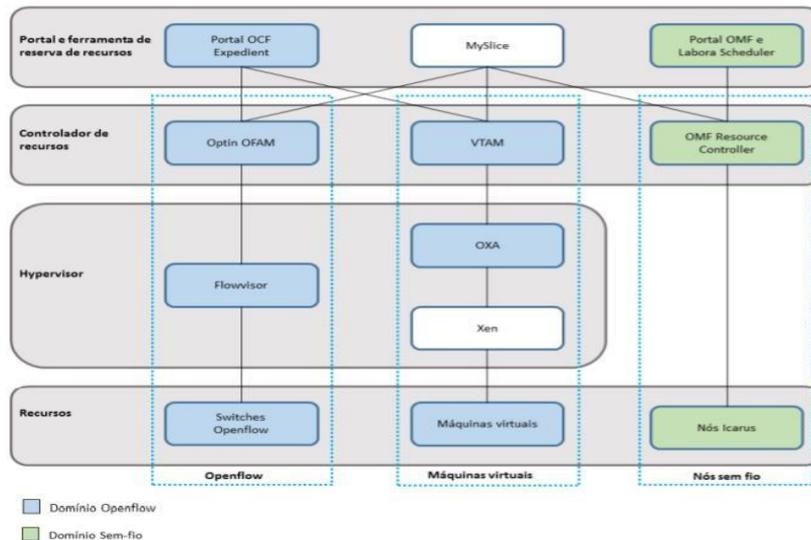
Figura 3 - Ilhas disponíveis para conexões na FIBRE pelo país



Fonte: Farias, 2016.

A próxima imagem, figura 4, exibe a arquitetura do FIBRE partilhada em três pilhas: Recursos *Open-Flow*, máquinas virtuais e nós sem fio, as caixas em coloração azul tratam do domínio *Open-Flow*, enquanto as verdes do sem-fio e as brancas são neutras.

Figura 4 - Arquitetura do FIBRE partilhada em pilhas



Fonte: Farias, 2016.

Para a construção do *testbed* FIBRE foram criados blocos genéricos, federados à outras instituições de pesquisa e com suporte à experimentação, e o

diagrama gerado tem base em inúmeras visualizações em *testbeds* de redes de computadores. Segue diagrama blocos de construção de um *testbed* genérico para redes de computadores:

Figura 5 - Exemplo de blocos para criação de *testbed* genérico



Fonte: Farias, 2016.

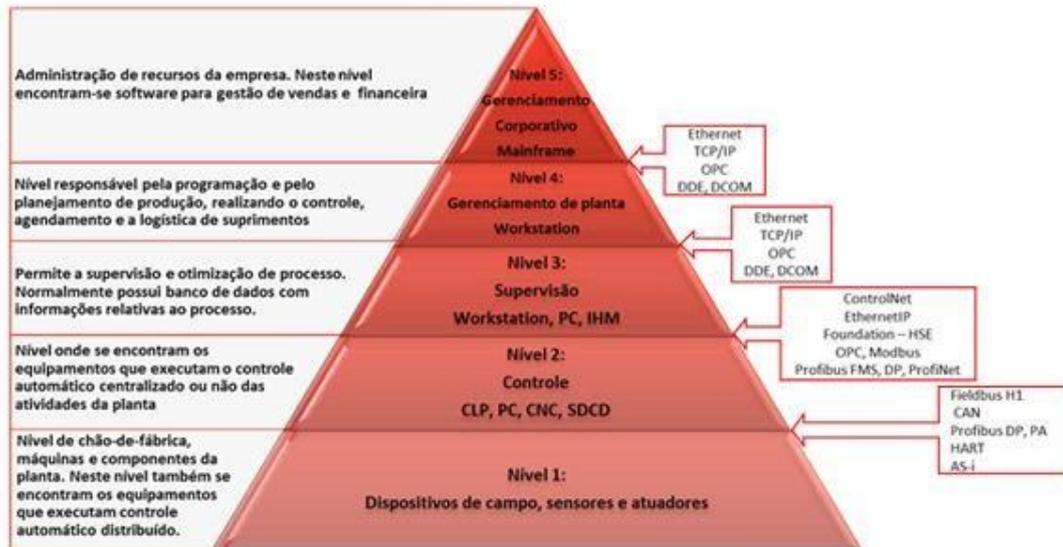
Com este trabalho fica destacada a importância de generalizar as aplicações que são esperadas em um *testbed*, além da necessidade de pesquisar ferramentas já existentes no mercado que permitam a permutação de experiências e informações, sem o apelo para a criação de um instrumento novo.

2.3 FERRAMENTAS DA I4.0

Para iniciar a revisão das ferramentas utilizadas dentro da indústria 4.0, convém separá-las em seus ramos de atuação, sendo eles: Manufatura Aditiva, Inteligência Artificial, Internet das Coisas, Data mining, Sistemas Ciber Físicos e a Biologia sintética.

Além disso é necessária uma síntese a respeito da diferença entre hardware, software. Hardware é a parte física, ou seja, os componentes eletrônicos, como sensores, RFID, circuitos integrados, entre outros, a palavra hardware também se refere ao conjunto de equipamentos acoplados que precisam de posterior processamento. O software, por outro lado, é o programa que interpreta e manipula dados, é composto por uma sequência de instruções, algoritmos, que utilizam esses hardwares para processamento extraíndo informações deles. Softwares podem permitir a interação humana como não, dependendo da sua finalidade e aplicação. Apesar de tratar de temas da indústria 3.0, convém aqui mencionar o triângulo da automação industrial, visto na figura 6 a seguir, pois ele servirá posteriormente para analogia com a informação, processamento da informação na indústria 4.0.

Figura 6 - Pirâmide de automação



Fonte: Automação Industrial, 2017.

2.3.1 Manufatura Aditiva

Começando a exemplificar ferramentas da indústria 4.0 na área de Manufatura aditiva, muito citada e já utilizadas de diversas maneiras, existem as impressoras 3D, não apenas, mas o carro forte da área devido maior notoriedade, hoje inclusive com preços de venda de fácil acesso inclusive para pequenas empresas, dependendo também de qual for a aplicação da máquina. Estas, podem funcionar de diversas formas, através da adição de material por camadas, ou seja, depósito, pela solidificação através de pó específicos e lasers, ou ainda por resinas plásticas combinadas a materiais solúveis.

Todos os modelos na manufatura aditiva são criados a partir de modelos 3D em softwares de CAD, que serão posteriormente interpretados por softwares da própria máquina, para posterior produção. Esse tipo de produção é de grande vantagem e está fortemente ligado ao tema de estudo deste trabalho, pois permite grande variabilidade de produtos, complexidade de formas e grande customização, uma das necessidades e razões da existência da indústria 4.0.

Detalhando um pouco mais a produção na manufatura aditiva, encontra-se o método chamado de *Laser Metal Fusion (LMF)* através de laser e pó metálico, no qual os componentes são fabricados através da fusão em etapas, ou camadas, do pó metálico, com lógica semelhante a uma usinagem CNC, porém acrescentando material ou invés de retirando, assim a máquina vai descendo os níveis dependendo da espessura de camada e o laser vai derretendo o material apenas no caminho que será da peça final.

Outra metodologia é a de LMD - *Laser Metal Deposition*, no qual o material é depositado em camadas a partir de uma espécie de cordão de solda, onde um bico extrusor já terá derretido o pó metálico ou o filamento e depositando-o em camadas também em caminhos pré-determinados para o formato da peça, esse tipo de

manufatura requer cuidados específicos em sua produção, dependendo da máquina a ser utilizada, pois como analogamente a construção de uma casa, sempre irá depender de uma sustentação, ou seja um tijolo inferior que esteja fixado ao “solo” para que o material depositado em camadas superiores não seja derrubado pela gravidade.

Essas fabricações não só apenas realizados com metais, como explicado acima, mas também com filamentos plásticos, como PLA, resinas solúveis, entre outros, as formas de produção são análogas, sendo que cada material utilizado tem suas limitações, como espessura de camada, espessura de parede, variação de cores, rigidez, ductilidade, dureza, resistência à flexão, torção, como em qualquer produto com diferentes matérias primas.

Para essas utilizações são necessários *hardwares* específicos para implementação de uma impressora 3D e como discorrido acima, *software* para interpretação do modelo 3D e adaptação para os *hardwares* da máquina 3D.

2.3.2 Inteligência artificial

Nesse ramo da indústria 4.0, as máquinas passam a tomar decisões, ter poder de analisar e responder em situações de riscos, principalmente em situações nas quais não se conhece um algoritmo específico que solucione a questão diretamente. Interessante citar que o tema começou a ser discutido há mais de 50 anos, inclusive foi projetado um teste, chamado de teste de Turing, que segundo Peter Norvig e Stuart Russell em seu livro *Inteligência Artificial*, tinha como objetivo estabelecer “uma definição operacional satisfatória de inteligência.” (PETER NORVIG, 2013). O computador precisaria ter as seguintes capacidades:

- Processamento de linguagem natural para permitir que ele se comunique com sucesso em um idioma natural;
- Representação de conhecimento para armazenar o que sabe ou ouve.
- Raciocínio automatizado para usar as informações armazenadas com finalidade de responder perguntas e tirar novas conclusões.
- Aprendizado de máquina para se adaptar a novas circunstâncias e para detectar e extrapolar padrões.”

Assim, é possível explicar atualmente a forma com que a IA (Inteligência Artificial) trabalha: cognitiva, conexionista, evolutiva e biológica. Então, softwares conseguem ter padrões específicos e adquirir conhecimento com eles, para posteriormente gerar sucessíveis soluções para determinado problema, sempre otimizada em relação a anterior, análogo ao princípio da seleção natural e variação do código genético, visando sempre reduzir o tempo de aprendizado e resolução.

Dentro da indústria, as técnicas mais utilizadas são a conexionista, dentro dela, mas especificamente de redes neurais, e evolutiva, inclusive a partir de softwares como o MES (*Manufacturing execution systems*), que documenta e rastreia a transformação da matéria prima em produto acabado, ou do SAP de gerenciamento industrial.

Como exemplos práticos existe o reconhecimento facial, realizado pelo Facebook, Instagram, a Siri da Apple, as propagandas direcionadas também do Facebook, focando na indústria, através de manutenções preditivas, nos quais a máquina muda seus parâmetros de produção automaticamente para evitar/postergar uma falha enquanto avisa para troca de peças ou o que for necessário para a manutenção da mesma.

Em pesquisas online, já foram encontrados diversos softwares de IA para aplicações em diversas áreas, para a construção desse trabalho vale citar os exemplos nas divisões de negócios, desenvolvimento e robótica:

Negócios:

- Konduto: Desenvolvida por uma empresa de São Paulo, a solução antifraude de pagamentos estuda a forma como os clientes navegam na internet e qual a intenção ao comprar.
- Gluru: Organiza documentos on-line, calendários, e-mails e lhe dá informações e novos insights.
- x.ai: Uma espécie de “agendador” pessoal que coordena sua agenda, reuniões e horários.
- CrystalKnows: Ajuda você a saber a melhor forma de se comunicar com colegas de trabalho e clientes.
- RecordedFuture: Alavanca o processamento da linguagem natural em larga escala e em tempo real para coletar e compreender mais de 700.000 fontes disponíveis na Web.
- Tamr: Utilizando a IA e aprendizagem de máquina, ajuda empresas ao fazer uma curadoria e análise de grandes quantidades de dados.
- Ross Intelligence: Possibilita mais rapidez e argumentos mais perspicazes para os advogados.
- LegalRobot: Automatiza a revisão de documentos legais de modo que possam ser compreensíveis e úteis para pessoas e empresas.

Desenvolvedores:

- Vicarious: Eles estão construindo a próxima geração de algoritmos de IA e atualmente estão focados em problemas de percepção visual, como reconhecimento, segmentação e análise de cena.
- Soar: Uma arquitetura cognitiva geral para desenvolvimento de sistemas com comportamento inteligente.
- Prediction.io: É um serviço fácil de usar com modelos abertos para uma ampla variedade de trabalhos avançados em IA.
- Jade: Framework Java para simplificar o desenvolvimento de sistemas multiagentes.
- Protégé: Um editor gratuito, open-source com estrutura para a construção de sistemas inteligentes e soluções em áreas tão diversas como a biomedicina, e-commerce, e modelagem organizacional.
- h2o.ai: constrói aplicações mais inteligentes de aprendizado de máquina e IA, que sejam mais rápidas e escaláveis.

- Seldon: Plataforma aberta de aprendizagem de máquina, que agrega inteligência às empresas.
- SigOpt: Executa experimentos e cria melhores produtos com menos tentativa e erro.
- Scaled Inference: Uma nova geração de software inteligente construída por pessoas e comunidades e alimentada por uma plataforma aberta.
- OpenCV: Visão computacional de código aberto e uma biblioteca de funções de programação e de software de aprendizado de máquina.
- OpenCog: Um projeto aberto de software, cujo objetivo é criar um framework open-source para a Inteligência Artificial Geral (AGI).

Robótica:

- Mtrr.net: Constrói veículos voadores movidos por software inteligente.
- Skycatch: Software para sistemas aéreos totalmente autônomos.

2.3.3 Internet das coisas – IoT

A conhecida *Internet of Things*, é o termo utilizado para a conectividade de diversas “coisas” todas essas coletando e enviando dados para uma rede, hoje chamada de nuvem, ou seja, objetos estão conectados à Internet interligando máquinas no nomeado M2M (*machine to machine*), dispositivos (D2D) e ainda usuários a estes dispositivos e máquinas. Utilizando diferentes ferramentas de hardware e software para otimizar e dinamizar a forma de obtenção de dados e, mais importante de tudo, a forma de gerir e tomar decisões. Portanto, de forma rápida um usuário, ou como explicado, uma máquina consegue ter acesso instantâneo à informação e enviar alertas, ou combinado a IA, tomar decisões automáticas e alterar seu padrão de funcionamento.

A IoT pode ter utilizações nas mais variadas áreas como gestão de casas, indústrias, negócios, agenda pessoal, e aqui cabe citar um exemplo genérico de utilização, usando como base o vídeo explicativo da *SalesForce IoT*, sistema o qual conecta todos os aplicativos da *SalesForce*, pesquisa de dados na internet, sensores inteligentes - podendo avisar uma oportunidade de venda, avisar atraso em voo e redirecionar para outros voos enquanto os passageiros ainda estão em trânsito, alertar manutenção preventiva em equipamentos, entre outros.

Alguns dos softwares e hardwares que podem tornar essas ações possíveis, podem ser explicados aqui: RFID, XDK, *middlewares*. O primeiro, RFID (*radio frequency identification* - identificação por radiofrequência), atrela uma tag, um mesmo um chip a determinada pessoa ou objeto e então é capaz de coletar dados de localização e horário quando tal pessoa ou objeto passa em *checkpoint's*, armazenando esses dados na rede. Um exemplo notável que ilustra bem esse funcionamento é o das TAG's utilizadas pela empresa Sem Parar, essas tag são associadas a um veículo específico e a uma conta, sempre que esse veículo passa por locais onde há possibilidade de cobrança, como estacionamento de shoppings, o RFID coleta esses dados, envia a informação de cobrança, data, hora e local de chegada e de saída. Generalizando, uma antena coleta dados da ID tag, ID antena,

tempo, como por exemplo, uma tag “A” é detectada por uma antena “X” no tempo/momento “t”, e posteriormente essa tag “a” é detectada por outra antena “Y” em um tempo “t+deltat”.

A possibilidade de extração de dados e manipulação desses é imensa, como pode-se imaginar, mas para a criação de informação de valor são necessários middlewares que interpretem esses dados e os transformem em informações valiosas, como por exemplo le de WIP (*work in process* - peças em trabalho) em uma indústria, auxiliando na obtenção de diversos indicadores de produção, como *leadtime*, fidelidade de entrega, produtividade.

Outro dispositivo muito completo que é desenvolvido e comercializado pela Bosch é o XDK, um produto de hardware e software integrados o qual possui diversos sistemas microeletromecânicos (MEMS) - a saber: estes micro sistemas, como tudo na indústria 4.0, são sistemas inteligentes em pequena escala, compostos por microssensores, micro atuadores, microeletrônicos e microestrutura, suas dimensões estão na faixa de um micrômetro a vários milímetros, de todos componentes na sua estrutura, os mais interessantes e importantes são os microssensores e micro atuadores, o primeiro converte um sinal mecânico, seja de luz, temperatura ou outros em um sinal elétrico, o segundo é responsável por agir baseado na informação coletada pelo microssensor, para isso a informação deve ter sido processada pelos dispositivos microeletrônicos, exemplo de micro atuadores são eixos, motores, todos, como já mencionado, em pequena escala.

Concluindo, o XDK, aparelho que compreende diversos aparelhos como acelerômetros, magnetômetros e giroscópios, além de sensores de luz, umidade, pressão, temperatura, acústica e digital, trabalha de forma programável e com uma plataforma de prototipagem para qualquer caso de uso de IoT. A respeito do *middleware* explicado, segundo a Microsoft como:

“O software que se encontra entre o sistema operacional e os aplicativos nele executados. Funcionando de forma essencial como uma camada oculta de tradução, o *middleware* permite a comunicação e o gerenciamento de dados para aplicativos distribuídos. Muitas vezes, o *middleware* é chamado de “encanamento” (MICROSOFT, 2018).

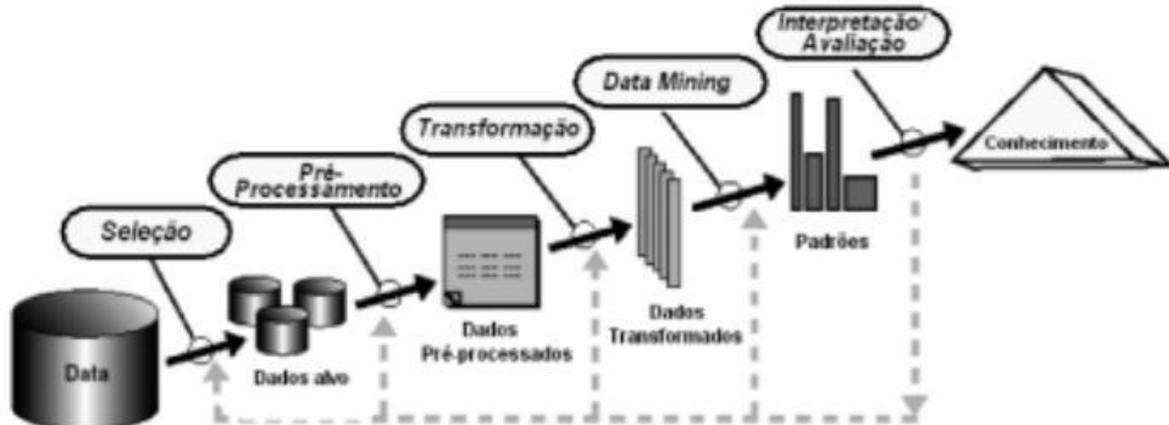
Uma vez que ele conecta dois aplicativos para que os dados e bancos de dados possam ser facilmente transportados através do “cano”. O uso do *middleware* permite que os usuários executem solicitações como enviar formulários em um navegador da Web ou permitir que o servidor Web apresente páginas dinâmicas da web com base no perfil de um usuário.” Já possui diversas ofertas no mercado e para exemplificação pode-se citar o Intel® *IoT Developer Kit*, programável utilizando C e C++ para soluções como: “melhorar o desempenho de aplicativos do sistema e da IoT, otimizar a eficiência energética e acelerar o tempo de comercialização”(INTEL, 2018) com o Intel® System Studio 2018 e “configurar rapidamente esse IDE baseado em nuvem que suporta totalmente as bibliotecas Intel® e as plataformas baseadas em Intel®” (INTEL, 2018) com o *Arduino Create*.

2.3.4 Data mining

Dados são gerados das mais diversas formas, cada momento, cada pesquisa, máquina, pessoa é capaz de gerar inúmeros dados, alguns estudos estimam inclusive, que em 2020 deverá alcançar um total de 44 *zettabytes* de dados coletados. Contudo deve-se diferenciar dados, de informações e de conhecimento, o primeiro tem o propósito de expressar fatos do mundo real que possam ser tratados no mundo digital, a saber um valor financeiro, uma temperatura, um certo tempo, quando dá-se um complemento a este dado, como tempo de viagem para Curitiba de São Paulo, temperatura do freezer, lucro da empresa XYZ, passa-se a ter uma informação, que portanto, já são os dados processados, por último o conhecimento é análise de padrões que relaciona dados e informações, ou seja, é uma regra condicional, se tais condições ocorrem, então tem-se tais conclusões. Ou seja, se vários usuários tiveram um tempo de viagem para Curitiba de São Paulo com média X, deve-se sair no horário Y para chegar no horário necessário, estudando o lucro da empresa XYZ podem-se extrair tendências na Bolsas de valores, por exemplo.

Portanto, a conhecida como a mineração de dados, nada mais é do que uma das etapas da Descoberta de Conhecimento em Bases de Dados (*Knowledge Discovery in Databases - KDD*).

Figura 7 - Etapas do processo de KDD



Fonte: Fayyad et al, 1996b.

A figura 7, retrata as etapas integrantes do processo de KDD segundo Fayyad et al, 1996b, o *Data mining* especificamente, como parte do processo KDD exige o uso de métodos inteligentes para a exploração dos dados e determinação de padrões, segundo a Revista da ciência & Tecnologia, no artigo Conceitos e Aplicações de Data Mining Da Heloisa Sferra e Ângela Corrêa, instruem que para melhor processamentos e análise dos dados o uso de *Data Warehouse* torna mais eficiente e dinâmico o processo, visto que conforme especificado por Addrian & Zantige (1996) *Data Warehouse* é um depósito central de dados em que a informação é orientada a assuntos, não volátil e de natureza histórica, gerando então um ambiente mais organizado para interação.

A mineração dos dados pode ter diversas aplicações e afirmar que existe uma única maneira de realizar essa etapa não está correto, pois cada aplicação exige detalhes e atenções específicas. O objetivo final dessa etapa é a interpretação dos dados e a determinação de padrões, descartando informações que possam ser caracterizadas como ruídos, filtrando a análise para o propósito maior, trazendo como resultado conhecimento pontual e puro que possa ser tratado como regra.

Alguns métodos de *Data mining* são:

- Classificação: parte do princípio de classificar dados em categorias, conforme a similaridade, em categorias pré-definidas, assim um dado pode estar inserido em uma ou mais categoria, mas sempre a partir de uma regra de inclusão, para então derivar tal regra para sempre otimizar essa classificação;
- Modelos de relacionamentos entre variáveis: relaciona os itens através de variáveis independentes, determinando uma relação função entre dados A e B, nota-se que o método dos mínimos quadrados ordinários, de Gauss, segundo Gujarati (2000), tem propriedades que o tornaram um dos métodos mais relevantes na análise de regressão;
- Análise de agrupamento: Essa diferencia-se da primeira porque os dados são classificados a partir dos próprios dados, de forma iterativa, enquanto na primeira são determinados em classes pré-definidas;
- Sumarização: aqui obtém-se uma descrição compacta de conjunto de dados, como por exemplo medidas de variabilidade ou de posição de dados. Um dos métodos mais utilizado para o pré-processamento dos dados, visto sua sintetização e organização;
- Modelo de dependência: aqui faz-se a análise de como um dado está relacionado ao outro conforme uma função de dependência e então gera-se a estruturação da dependência dos dados e o grau de dependência, de forma semelhante a uma árvore genealógica;
- Regras de associação: são obtidas através da separação de dois conjuntos de dados, A e B, nos quais quando interseccionados resultam em um conjunto vazio, porém com uma regra de determinação em que: se A então B, nos quais A é o antecessor de B e por consequência, B será predecessor de A;
- Análise de séries temporais: amarra dados em uma sequência cronológica, modelando um processo e sendo capaz de enxergar, apontar ou ignorar, desvios sazonais, variações cíclicas, irregulares e tendências. Pode ser dividido em intervalos de tempo determinados ou através de uma linha do tempo contínua.

Sugeridas por Rodrigo Santana Ferreira (2011), algumas ferramentas existentes de *Data mining* são:

1. **RapidMiner**: leitura e carregamento dos dados, limpeza e transformação, filtragem, modelagem, aplicação de algoritmos de *Machine Learning* e visualização dos resultados.

O diferencial do RapidMiner é a facilidade e velocidade para criar modelos preditivos já que não é necessário o trabalho de codificação e transformação dos dados. Dessa forma o processo de validação e ajuste do modelo se torna simples. Os três produtos oferecidos são o RapidMiner Studio, RapidMiner Server e RapidMiner Radoop.

- RapidMiner Studio: Utilizado para desenhar os Workflows que mapeiam todo o processo de mineração de dados desde o carregamento dos dados até a visualização dos resultados.
- RapidMiner Server: Utilizado para gerenciar seus modelos, compartilhar com outros usuários.
- RapidMiner Radoop: Utilizado para compilar e executar workflows armazenados no Hadoop.

A plataforma oferece um tipo de licenciamento gratuito que permite a utilização do Rapidminer Studio com uma base de dados de até 10 mil registros.

2. **Wika:** é um projeto open source que significa Waikato Environment for Knowledge Analysis – Ambiente para Análise de Conhecimento Waikato. Foi criado como um projeto de Machine Learning pela universidade de Waikato na Nova Zelândia.

O projeto tem o objetivo de disseminar técnicas de Machine Learning através da disponibilização do software para utilização de pesquisadores, alunos e para resolver problemas reais da indústria além de contribuir com a ciência pelo mundo.

O grande diferencial do Weka além de todo o seu arsenal de métodos e algoritmos é a sua interface gráfica (GUI – *Graphical User Interface*) que torna as tarefas de mineração de dados extremamente fáceis e rápidas.

Através da interface é possível consultar dados em sistemas de bancos de dados, executar métodos de processamento de dados, executar e configurar parâmetros dos algoritmos e visualizar os resultados através de gráficos. Tudo isso sem precisar escrever comandos ou programar.

Tem funcionalidades para manipulação de bases de dados (préprocessamento), interface para visualização de dados, e ainda disponível diversos algoritmos de *machine learning* e *Data Mining*. Fornece também acesso a sua vasta coleção de técnicas e algoritmos via API.

O Weka é uma ferramenta desenvolvida em Java e pode ser baixado e utilizado livremente em diferentes plataformas como Windows, Linux e Mac.

2.3.5 Sistemas ciber-físicos

De forma semelhante ao tratado quando revisada a IoT, mais especificamente quando se refere aos MEMS, os sistemas ciber-físicos são tratados como a gasolina que alimenta o motor da IoT, ou seja, captam dados do mundo real para transformá-los em dados no mundo digital. Aprofundando são sistemas compostos por sensores que captam dados os transformam em informação através de componentes

eletrônicos para por fim, enviar aos atuadores a informação para mudança no comportamento e então a geração de novos dados, como um círculo de PDCA.

Então em quaisquer áreas que necessite a otimização de agentes físicos podem ser implementados os CPS (*cyber-physical systems*), costumam dar suporte e fornecer controle operacional de objetos da IoT, percebe-se então a ironia da conectividade da indústria conectada, é claro que todas as diversas subdivisões da I4.0 estão extremamente relacionadas umas às outras.

Exemplificando a atuação dos CPSs no mundo físico, nos quais os atuadores modificam o ambiente em que os usuários vivem, através do comando gerado devido ao aprendizado do sensores usados para aprender e aprofundar as informações conhecidas ou não do ambiente, pode-se citar: o compartilhamento de informações na cadeia produtiva, entre uma fábrica, seu fornecedor e seu cliente, gerando maior transparência e clareza nas informações, no âmbito da saúde, utilizados para monitorar em tempo real pacientes, exibindo dados como temperatura corporal, e então modificando a temperatura ambiente.

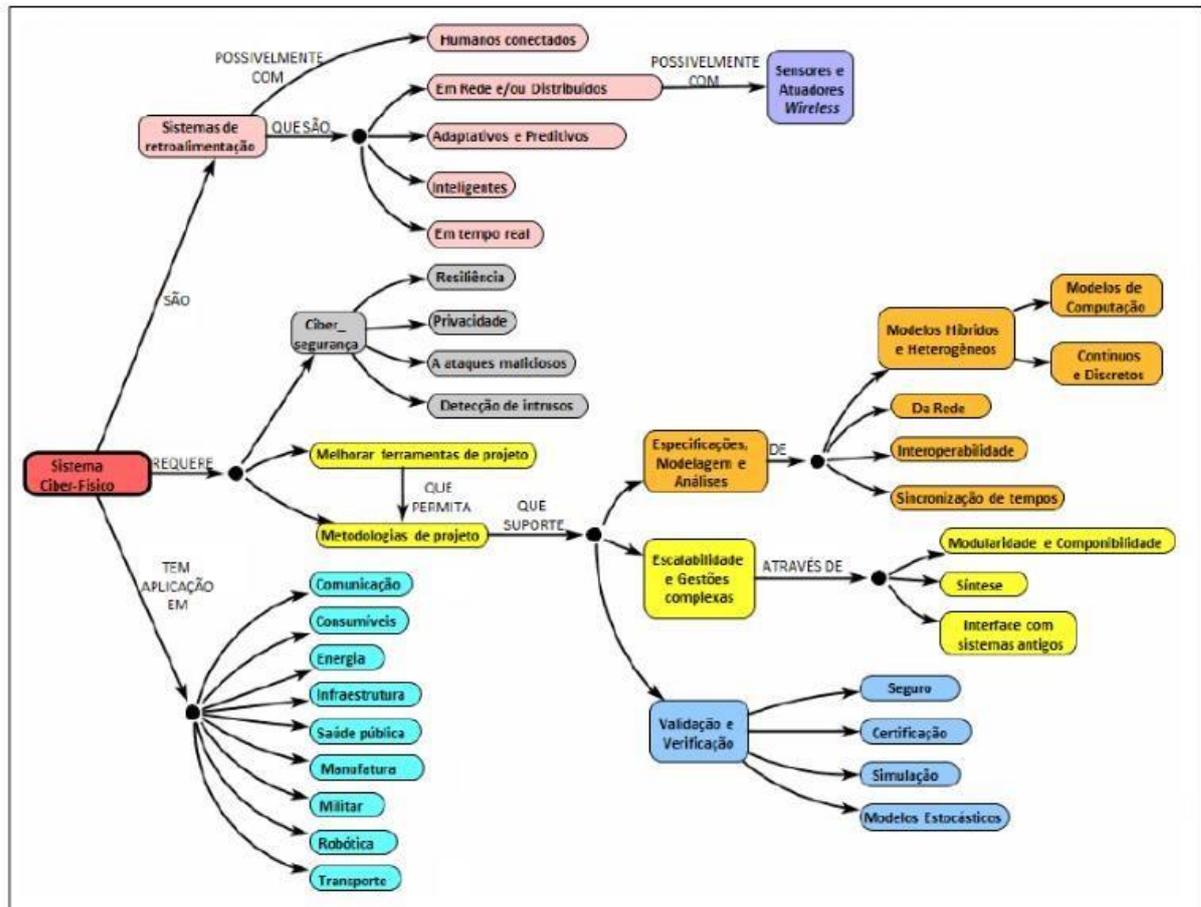
Já no ambiente virtual, pode entender os comportamentos dos sistemas e dos usuários e gerenciar um computador, para economizar energia, deixar *softwares* de maior uso com mais capacidade de processamento.

Os projetos de cidades de inteligentes podem ser vistos também como um CPS de grande escala, conforme artigo no site da IBM, encontra-se o exemplo seguinte.

“*SmartSantander* é um projeto em grande escala que distribui milhares de sensores pela cidade de Santander, na Espanha. O objetivo é desenvolver uma solução inteligente e melhorar vários aspectos da vida na cidade, como redução do tráfego, redução do consumo de energia, melhoria da qualidade do meio ambiente e incentivo à participação dos cidadãos. O projeto também espera compartilhar essas informações ambientais e desenvolver outros aplicativos úteis.”(ALESSANDRO ZANNI, 2015).

A taxonomia do termo Sistema Ciber-Físico é apresentada a seguir, adaptada do mapa conceitual de CPS e retirada do trabalho de Panorama Atual dos sistemas ciber-físicos no contexto da manufatura, na figura 8.

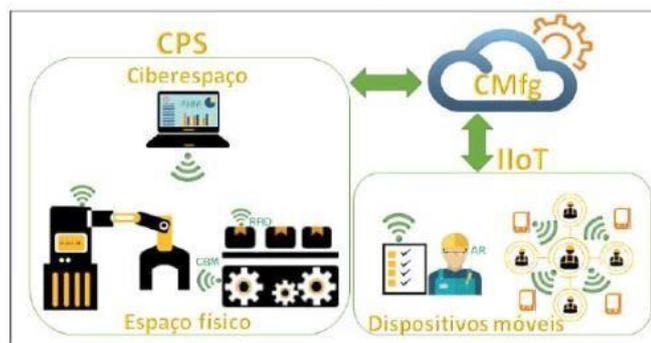
Figura 8 -Taxonomia do termo Sistema Ciber-físico



Fonte: Nunez, 2015.

Para terminar a explicação a respeito dos CPSs e afunilar com a aplicação na manufatura, quando trata-se da conectividade da indústria, as fábricas inteligentes, além do IoT e do CPS, tem-se o armazenamento, compartilhamento e disponibilidade de informações em tempo real de diversas localidades, através de acesso remoto, através das nuvens denominadas nas indústrias de *Cloud Manufacturing (CMfg)*, todos relacionados conforme explica a figura 9 a seguir, adaptada de Lee, 2015:

Figura 9 - Relação entre CPS, IoT, espaços físicos e dispositivos móveis.



Fonte: Lee, 2015.

2.3.6 Biologia sintética

Conforme revisão realizada no artigo de Silva e Paulillo (2015): Biologia sintética: possibilidades e desafios, a Biologia sintética nasceu:

“O primeiro laboratório licenciado para pesquisas com biologia sintética foi criado em 2003, numa instituição dos Estados Unidos da América – Lawrence Berkeley National Laboratory (EASAC, 2011). Todavia, até 2006, a biologia sintética existiu apenas como uma visão informal de como inovar a biologia de sistemas, por exemplo, testando-se a montagem aleatória de elementos genéticos. Finalmente, a partir de 2009, ratificou-se, entre os pesquisadores, uma definição precisa: biologia sintética é a engenharia genética, porém, digital e padronizada (Rabinow e Bennett, 2009). Definida como digital e padronizada, pois, os cientistas utilizam e/ou modificam técnicas de outras áreas biológicas, tais como: engenharia genética, microbiologia e bioinformática, para transformarem microrganismos naturais em sintéticos de modo sistemático (Centro Ecológico, 2009-2010).” (SILVA E PAULILLO, 2015).

Assim quando trabalha-se na modificação de microrganismos naturais para transformá-los em sintéticos, tem-se a possibilidade de criação de novos materiais com propriedades específicas para cada uso, também é possível a melhora em termos ambientais, produtividade e custos de fabricação e de obtenção, pode-se citar como exemplo o plástico feito da fermentação do açúcar e degradado naturalmente com os micro-organismos existentes no solo.

2.3.7 Síntese principais ferramentas I4.0

Diversas ferramentas estão disponíveis para uso, sejam elas *hardwares* ou *softwares*, para proporcionar adaptação de processos ou criação de novos modelos de negócios, todas facilitando a customização de serviços e/ou produtos, visando oferecer uma solução digital para diversos possíveis problemas.

Explicando, com a internet das coisas é possível conectar diversos sistemas de diversos locais, armazenando dados em *Clouds* (dados em nuvem), para a posterior mineração de dados, usado para criar a arquitetura base para a inteligência artificial. Interessante notar que nessa frase consegue-se enxergar de forma clara como estes três pilares estão conectados, sendo base uns para os outros. Ainda nessa junção de funções, adicionam-se os sistemas ciber-físicos, nos quais criam-se a fonte de dados, através de sensores e os quais também são responsáveis por agir através de atuadores, após tomadas de decisões, sejam de inteligência artificial ou decisões humanas.

Em paralelo também foi mencionada a manufatura aditiva, que não só pode ser utilizada para construção de produtos únicos, mas também muito conveniente para ser utilizada em conjunto com o *machine learning*, através da inteligência artificial, gerando por exemplo, novos *designs* após a geração de dados comprovando possíveis otimizações no produto.

3. METODOLOGIA UTILIZADA

Para realizar o projeto do *testbed* conectado para a experimentação e desenvolvimento dos futuros profissionais e validação do mesmo, neste capítulo será discutida a metodologia a ser empregada - a *Design Science Research* (DSR).

3.1 DESIGN SCIENCE RESEARCH

Conhecido por ser o algoritmo que viabiliza a elaboração de conhecimento, adequação ou alteração do mesmo, além de produtos, processos, *softwares* e ainda, métodos, visando a melhora do tema de enfoque. Apenas para uma contextualização, é interessante saber que dentro deste universo existem as chamadas *Design Science* e a *Design Science Research*, enquanto a primeira é responsável pela base epistemológica, a segunda é quem operacionaliza, sendo um processo de projetar artefatos para solucionar problemas, avaliar os mesmos e por fim, comunicar os resultados obtidos (ÇAĞDAŞ; STUBKJÆR, 2011).

O primeiro passo segundo a metodologia é a definição de classes problemas que devem/ deseja-se serem resolvidos, quando se classifica em blocos um, ou mais problemas permite ao desenvolvedor tratar o problema de forma teórica, inclusive quando o enfoque é de testar soluções práticas na teoria, além disso abre a possibilidade de enumerar artefatos, ou seja, soluções já conhecidas a respeito do *cluster* em questão, alguns exemplos aparecem no quadro a seguir.

Classe de problemas	Artefatos
Planejamento e Controle da Produção	Tambor-Pulmão-Corda (GOLDRATT, 1991)
	Jidoka/Kanban (OHNO, 1997)
	CONWIP (SPEARMAN; WOODRUFF; HOPP, 1990)
Mensuração dos Custos	Contabilidade de Ganhos (GOLDRATT, 1991)
	Custeio Baseado em Atividades (COOPER; KAPLAN, 1988)
	Unidades de Esforço de Produção (ALLORA, 1985)

Alinhamento Estratégico	Modelo de Labovitz e Rosansky (1997)
	Balanced Scorecard (KAPLAN; NORTON, 1992)
	Modelo de Hambrick e Cannella Junior (1989)

Quadro 1 - Exemplos de Classes de problemas e Artefatos

Fonte : LACERDA, D. P. et al. p. 741-761, 2013.

A busca por artefatos na literatura deve ser realizada de forma sistemática e de acordo com as divisões das classes, conforme no exemplo anterior. Esses chamados artefatos são a organização de componentes do ambiente interno para atingir objetivos em um determinado ambiente externo (SIMON, 1996). Após encontrados artefatos, pode-se separá-los em: Constructos, Modelos, Métodos e Instanciações (MARCH; SMITH, 1995). O autor SIMON, 1996, ainda sugere que haja a busca de soluções suficientemente boas para um mundo mais próximo ao real a contraposto de soluções ótimas em um mundo ideal.

Assim, os passos de definição dos problemas, clusterização dos mesmos e posterior busca de artefatos já existentes, são a construção do ambiente externo, chamada de etapa de conscientização. A seguir é necessária a construção do ambiente interno, sugestões de soluções que busquem satisfazer as classes de problemas, para a construção de conhecimento generalizável, e que possa ser expandido para outra PDCL (*Plan, Do, Check, Learn*), de certa forma, metodologia análoga a que será praticada neste trabalho.

A próxima etapa deve ser considerada crucial para a validação do projeto, a etapa de Avaliação, pois é nela que verifica o comportamento dos artefatos construídos para o ambiente interno no ambiente externo. Segundo Worren, Moore e Elliott (2002), uma teoria válida deve conter três princípios: “O primeiro componente são proposições explícitas e causais: ‘se você fizer A, então B é provável, em certas condições’”; “O segundo componente consiste em regras que os profissionais podem usar para testar a validade destas afirmações causais”; “O terceiro componente informa que a teoria pragmática precisa conter declarações explícitas de como os resultados são criados”. (WORREN; MOORE; ELLIOTT, 2002, p. 1233). Alguns métodos de validação dos artefatos são sugeridos na tabela 2, propostos por Hevner, March e Park (2004, p. 86).

Forma de Avaliação	Métodos propostos
Observacional	Estudo de Caso: Estudar o artefato existente, ou não, em profundidade no ambiente de negócios. Estudo de Campo: Monitorar o uso do artefato em projetos múltiplos. Esses estudos podem, inclusive, fornecer uma avaliação mais ampla do funcionamento dos artefatos configurando, dessa forma, um método misto de condução da pesquisa.

Analítico	Análise Estatística: Examinar a estrutura do artefato para qualidades estáticas. Análise da Arquitetura: Estudar o encaixe do artefato na arquitetura técnica do sistema técnico geral. Otimização: Demonstrar as propriedades ótimas inerentes ao artefato ou então demonstrar os limites de otimização no comportamento do artefato. Análise Dinâmica: Estudar o artefato durante o uso para avaliar suas qualidades dinâmicas (por exemplo, desempenho).
Experimental	Experimento Controlado: Estudar o artefato em um ambiente controlado para verificar suas qualidades (por exemplo, usabilidade). Simulação: Executar o artefato com dados artificiais
Teste	Teste Funcional (Black Box): Executar as interfaces do artefato para descobrir possíveis falhas e identificar defeitos. Teste Estrutural (White Box): Realizar testes de cobertura de algumas métricas para implementação do artefato (por exemplo, caminhos para a execução).
Descritivo	Argumento informado: Utilizar a informação das bases de conhecimento (por exemplo, das pesquisas relevantes) para construir um argumento convincente a respeito da utilidade do artefato. Cenários: Construir cenários detalhados em torno do artefato, para demonstrar sua utilidade.

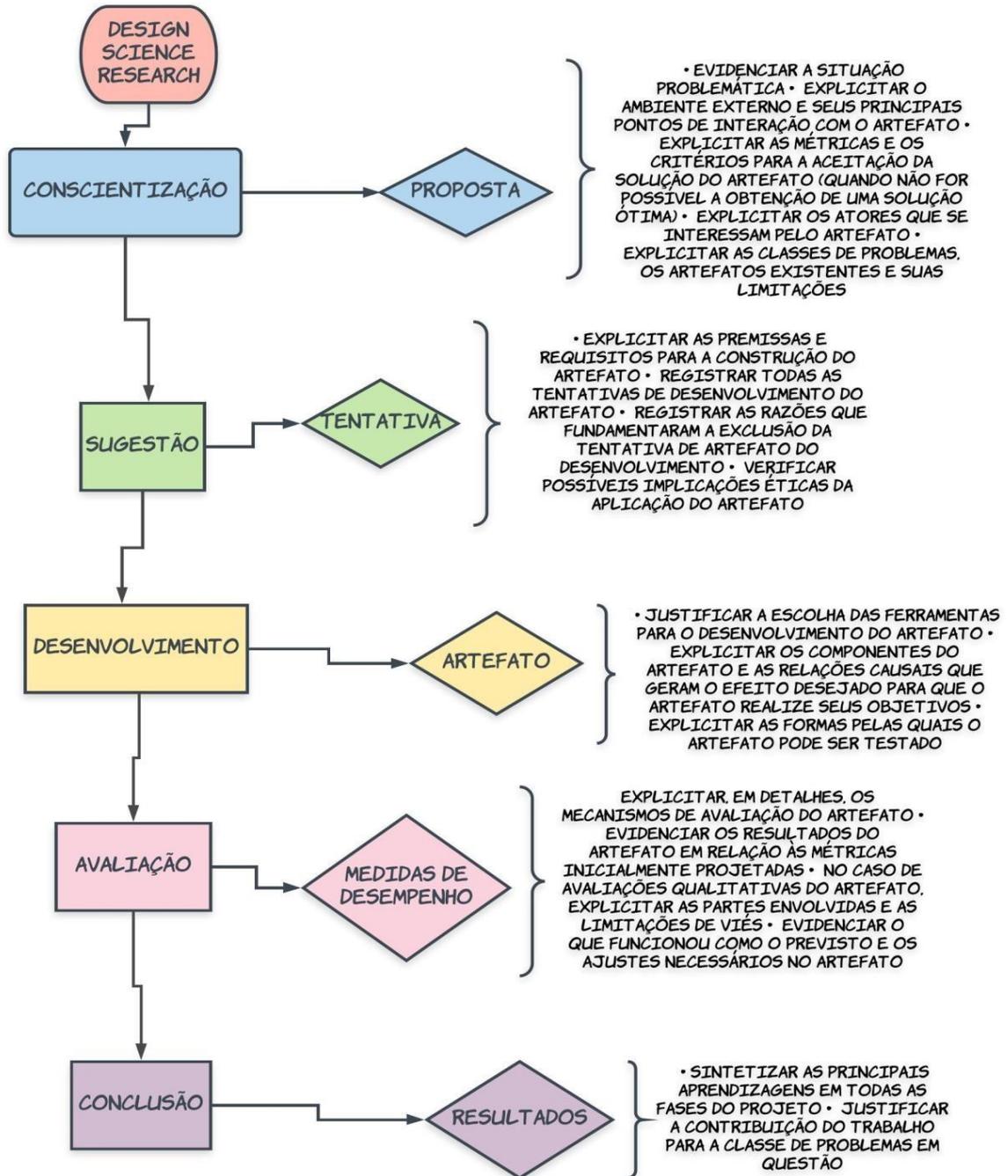
Quadro 2 - Métodos para avaliação dos artefatos.

Fonte: Hevner, March e Park (2004, p. 86).

Por fim, a última etapa é a de conclusão dos resultados, para o resumo das saídas obtidas ao longo do projeto e as principais aprendizagens do mesmo, com isso busca-se ajudar a comunidade acadêmica em seus futuros para projetos semelhantes ao aqui proposto ou de melhoria do mesmo.

Baseado no Quadro 9 de LACERDA, D. P. et al., (2013), foi elaborado o fluxograma dos passos da metodologia de Design Science Research, para síntese da mesma.

Figura 10 - Fluxograma Etapas para metodologia SR



Fonte: Autoria própria. Baseado em: LACERDA, 2013.

4. NECESSIDADES DOS ESTUDANTES

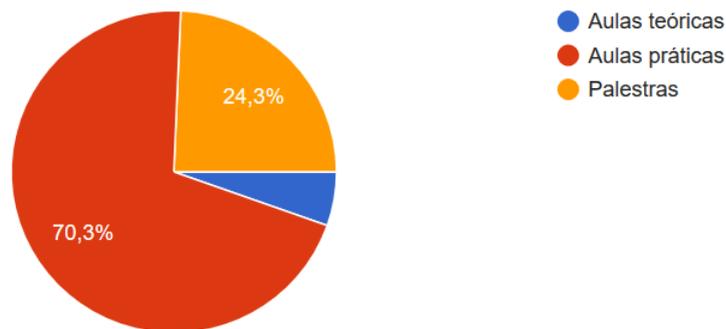
Para saber a real necessidade dos considerados clientes, os estudantes da UTFPR, foi realizada uma pesquisa com os mesmos considerando suas opiniões a respeito de qual seria a melhor forma de aprendizado, validando a necessidade de um ambiente prático para ensino das ferramentas.

De um total de 37 respostas, é possível avaliar a proporcionalidade do que os estudantes enxergam como uma boa oportunidade, dentre esses 26 afirmam que aprenderiam melhor sobre a I4.0 através de aulas práticas, 9 através de palestras e apenas 2 com aulas teóricas, conforme imagem 11.

Figura 11 – Preferência na metodologia de ensinamentos dos alunos da UTFPR.

Na sua opinião qual a melhor forma de aprender sobre as ferramentas da Indústria 4.0?

37 respostas



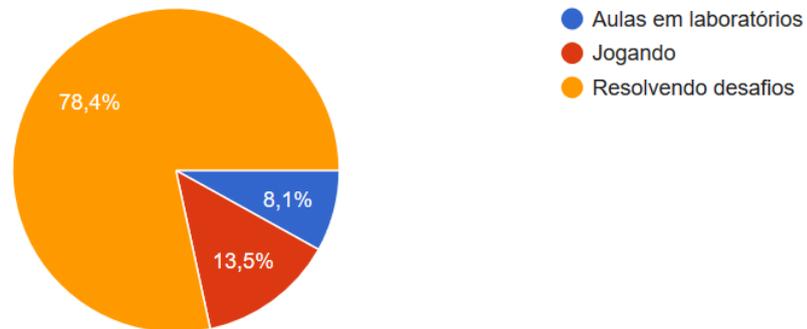
Fonte: Autoria própria.

Interessante lembrar que existe uma disciplina oferecida dentro da universidade, já pelo segundo semestre com foco em indústria 4.0, num primeiro momento mais expositiva do que interativa, na mesma, os alunos participam de diversas palestras com empresas que tem sido desafiada a adequar-se à indústria 4.0, conforme comentado em capítulos anteriores.

Quando falamos de como aprender na prática as raízes de engenheiros falaram mais alto, a maioria prefere resolver problemas na forma de desafios, acima da quantidade de pessoas que votaram na opção de jogos como opção de ensino e acima também da quantidade que escolheu as aulas em laboratório, como exibido na imagem 12 a seguir.

Figura 12 – Métodos práticos preferidos pelos alunos
Na prática, como seria a maneira mais simples de aprender?

37 respostas



Fonte: Autoria própria.

Vários estudantes também ajudaram com opiniões diversas, deixando sugestões anônimas para a melhor maneira de abordar esse tema na Universidade entre as várias, vale a pena ressaltar algumas: “Uma sala com equipamentos especializados para uso supervisionado.” (ANÔNIMO, 2019); “Realidade aumentada: Utilização de óculos 3D, etc.” (ANÔNIMO, 2019); “Um cenário sem ferramentas da indústria 4.0 e após um cenário com as ferramentas mostrando os benefícios e também o que se perde.” (ANÔNIMO, 2019); “Palestras de aplicações reais seguidas de desafios com exemplos da indústria.” (ANÔNIMO, 2019).

Além disso, em conversa com outros estudantes algumas ferramentas específicas foram citadas como importantes nessa jornada pela indústria 4.0, entre elas algumas já discutidas nesse trabalho, como RPA (*robotic process automation*), *Tableau*, sensores presença, sensores de cor, leitores de RFID, RFID, arduínos, microcâmeras, é claro uma rede Wifi de qualidade para suportar tamanha conectividade.

5. PREMISSAS E REQUISITOS

Conforme averiguado no capítulo anterior, conduzir os estudantes através de desafios, sejam eles reais, melhorando a qualidade de serviços da Universidade ou através de jogos sobre a indústria 4.0, é possível auxiliar na manufatura, desenvolvimento de produtos, manutenção e obtenção de informações, estimulando novas ideias e planos de negócios.

A proposta deste capítulo é delimitar algumas premissas e requisitos para o funcionamento do artefato final, conforme mencionado na metodologia escolhida para desenvolvimento do trabalho.

Além da pesquisa com os *stakeholders*, também foi realizada pesquisa em livros de educação através de interações lúdicas, como jogos e desafios, como em “Jogo, brinquedo, brincadeira e a educação – da autora Tizuko Morchida Kishimoto”.

A autora apresenta estudos em que o aprendizado pelo jogo permite vários caminhos para chegada na solução desejada, além de acessar partes diferentes do cérebro permitindo maior desenvolvimento mental e exigência de interações entre processos e pessoas, reafirmando a criatividade na resolução dos desafios.

Sabe-se que o homem constrói conhecimento através de relações, então a partir de jogos e práticas que incentivam o pensamento global, visão holística, consegue-se pular a etapa de entender o que o outro quis dizer e ir direto para a visão real da aplicação, proporcionando o erro rápido para o aprendizado rápido.

Além disso, faz analogia a gestão de projetos, pois na metodologia de jogos existe um começo, um meio e um fim, exigindo do aluno capacidade de manter o foco e ensinando não só a ter iniciativa, mas finalização de projetos. Também trabalha no aluno relações pessoais através de negociações e flexibilidade, ambos são citados como requisitos dos profissionais do futuro em diversos sites de pesquisa, como G1, Época e SKA.

Para sua concretização as seguintes premissas e requisitos devem ser atendidos:

- 1ª Premissa - Utilizar da teoria de aprendizado por jogos para a simulação. Cumprindo alguns requisitos principais:
 - a) Aprendizagem a respeito de tratamento/investigação de dados;
 - b) Aprendizagem a respeito inteligência artificial;
 - c) Aprendizagem sobre *machine learning*;
 - d) Ambiente conectado;
 - e) Ambiente que permita simulações;
 - f) Ambiente que explique como funciona o caminho da informação;
 - g) Possibilidade de pesquisas com os resultados discutidos em reuniões e/ou aulas.
- 2ª Premissa – Professores competentes para auxiliar e desenvolver os estudantes. Requisitos principais:
 - a) Conhecimento em programação;
 - b) Conhecimento em *lean manufacturing*;
 - c) Conhecimento em sistemas;

- d) Conhecimento em simulação e projetos;
- e) Capacidade de instigar e engajar alunos na participação de jogos e desafios.
- 3ª Premissa – Elementos técnicos necessários para adaptação do espaço e real noção de sala conectada:
 - a) Internet e Wifi com qualidade de sinal;
 - b) Fiação de rede;
 - c) Fiação de energia;
 - d) Computadores;
 - e) Software de visualização de dados;
 - f) Softwares de coleta de dados e transferência para nuvem;
 - g) Câmeras para coleta de imagens;
 - h) Softwares de modelagem;
 - i) Softwares de simulação;
 - j) *Digital twin* para relação projeto X vida real.

6. DESENVOLVIMENTO DE ALTERNATIVAS

Para o desenvolvimento de alternativas amplo o suficiente, foi utilizada a técnica de *brainstorming*, empregada para garantir uma grande abrangência, focando na quantidade e não na qualidade das ideias, para garantir a qualidade, em um próximo capítulo será realizada a avaliação das ideias.

Com o intuito de garantir tanto uma estratégia de aprendizado quanto equipamentos para garantir a aprendizagem, foram realizadas duas rodadas de *brainstorming* com estudantes de Engenharia de diversas universidades, entre eles estudantes de Engenharia Mecânica e Engenharia de Produção.

6.1 BRAINSTORMING – PRIMEIRA RODADA

O resultado da primeira rodada, após um *briefing* em relação as premissas e requisitos necessários quanto a forma de ensino, levou as seguintes opções:

1. Ambiente flexível e conectado que permita a simulação de uma mini fábrica para aprendizado e explicação prática do processo de adaptação à Indústria 4.0;
2. Equipamentos disponíveis para montagem dos alunos apresentando situações problema e permitindo que os mesmos realizem pesquisas para encontrar soluções através das ferramentas disponíveis;
3. Brincadeiras usando mensagens em papel, mostrando a diferença entre a possibilidade de conexão e a burocracia do papel;
4. Utilização de lego para montagem de mini robôs e conexão dos mesmos;
5. Utilização de materiais eletrônicos (sensores e atuadores) para programação de arduinos;
6. Aprendizado de máquina criando uma máquina e extraindo dados da mesma para entendimento de *machine learning* e *data analytics*.

6.2 AVALIAÇÃO ALTERNATIVAS – PRIMEIRO BRAINSTORMING

Para avaliação das alternativas levantadas na seção anterior, esta seção irá utilizar a matriz de decisão, listando os principais critérios de avaliação e aplicando peso a cada um deles, conforme relevância em relação as premissas e requisitos. Os resultados obtidos após essa etapa estão na Tabela 1, na qual os membros do *brainstorming* avaliaram cada ideia e as somas das notas estão aplicadas na última linha.

Tabela 1 - Matriz de decisão - Primeiro brainstorming

Critério de avaliação	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3		
	Peso	Nota	Resultado	Nota	Resultado	Nota	Resultado
Facilidade de implementação	1	29	29	28	28	48	48

Concordância com ensino por jogos	4	45	180	39	156	40	160
Potencial de aprendizado	5	42	210	33	165	17	85
Aprendizagem a respeito de tratamento/mineração de dados	3	40	120	34	102	12	36
Aprendizagem a respeito de inteligência artificial	3	34	102	32	96	14	42
Aprendizagem a respeito de <i>machine learning</i>	3	31	93	38	114	12	36
Ambiente conectado	5	48	240	33	165	17	85
Ambiente que permita simulações	5	43	215	47	235	19	95
Ambiente que explique como funciona o caminho da informação	2	49	98	25	50	29	58
Possibilidade de pesquisas com os resultados discutidos em reuniões e/ou aulas	3	45	135	40	120	19	57
Resultado final			1422		1231		702

Continuação tabela 1 - Matriz de decisão - Primeiro brainstorming

Critério de avaliação	Alternativa 4		Alternativa 5		Alternativa 6		
	Peso	Nota	Resultado	Nota	Resultado	Nota	Resultado
Facilidade de implementação	1	43	43	40	40	37	37
Concordância com ensino por jogos	4	37	148	21	84	33	132
Potencial de aprendizado	5	26	130	29	145	40	200
Aprendizagem a respeito de tratamento/mineração de dados	3	23	69	17	51	50	150
Aprendizagem a respeito de inteligência artificial	3	37	111	27	81	47	141
Aprendizagem a respeito de <i>machine learning</i>	3	32	96	38	114	48	144
Ambiente conectado	5	28	140	19	95	44	220
Ambiente que permita simulações	5	41	205	18	90	44	220
Ambiente que explique como funciona o caminho da informação	2	17	34	11	22	36	72
Possibilidade de pesquisas com os resultados discutidos em reuniões e/ou aulas	3	42	126	13	39	48	144
Resultado final			1102		761		1460

Fonte: Autoria própria.

Analisando os resultados obtidos pode-se notar pouca diferença de nota entre a alternativa 1 (ambiente flexível e conectado que permita a simulação de uma mini fábrica para aprendizado e explicação prática do processo de adaptação à Indústria 4.0) e a alternativa 6 (aprendizado de máquina criando uma máquina e extraindo dados da mesma para entendimento de *machine learning* e *data analytics*). Com isso decidiu-se partir para uma solução mais abrangente, unindo um ambiente que simule uma mini fábrica a criação de uma máquina, ampliando para uma solução não apenas de análise de produção ou de fabricação, mas levando em conta análise de produtos,

ou seja, uma gestão de ciclo de vida de produto, desde a concepção linha produtiva até aplicação cliente para aprendizado holístico.

6.3 BRAINSTORMING – SEGUNDA RODADA

Com a definição de como será a simulação/ forma de ensino, foi realizada uma segunda rodada de *brainstorming*, já em relação a composição da mini fábrica a ser projetada, permitindo a pesquisa dos participantes, os resultados estão exibidos no quadro 3, vale ressaltar que foram considerados apenas as cinco soluções mais relevantes para visualização neste trabalho, utilizando de maneira simplificada uma matriz decisão em conjunto com o time.

Requisito	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5
Item para produção	Carro motor elétrico arduíno	Mini sistema de transmissão	Sistema de suspensão	Mini patinete	Caixa de som (sub para veículos)
Critérios avaliados no produto	Alinhamento, cor correta, aceleração	Vibração, desgaste	Carga e pressão	Aceleração, desgaste	Emissão de ruídos, vibração do conjunto
Variante do cliente nos itens produzidos	Cor das rodas	Tamanho engrenagem, potência motor	Rigidez mola, curso do sistema	Material da rodas	Potência
Ferramenta para coleta de dados do produto	Sensor de cor, sensor indutivo, sensor capacitivo	Balaceador dinâmico, câmera	Dinamômetro	Câmera para avaliar desgaste, acelerômetro	App para medição de ruído, balaceador dinâmico

Quadro 3 – Resultados segundo *Brainstorming*
Fonte: Autoria própria.

O quadro 4 também foi resultado do *brainstorming* realizado a respeito dos aspectos técnicos da mini fábrica, mas após análise foi separado dos resultados visando aumentar o conhecimento dos alunos em razão a possibilidade de aplicação das diversas ferramentas exigentes no mercado, ainda assim não estão contempladas todas as possibilidades, visto a enorme gama e combinações possíveis.

Ferramenta para coleta de dados de produção	RFID	Sensor de presença	QR code	GPS	Balança
Ferramenta para coleta de dados de <i>warehouse</i>	Sensor de presença	Balança	RFID	QR code	
Visualização de dados produção	Tableau	Power BI	Oracle BI	Pentaho	Plotly
Visualização de etapas de produção na linha	Mini computadores	Hologramas	Realidade aumentada		
Comunicação cliente X controle de produção	Sistema ERP automático	Email			

Comunicação controle de produção X fábrica	Kanban eletrônico	Kanban físico RFID	Sistema ERP automático		
--------------------------------------------	-------------------	--------------------	------------------------	--	--

Quadro 4 – Resultados segundo *Brainstorming* a serem mantidos

Fonte: Autoria própria.

6.4 AVALIAÇÃO ALTERNATIVAS – SEGUNDO *BRAINSTORMING*

De forma análoga a seção anterior, após esse segundo brainstorming para os detalhes técnicos na produção do ambiente de ensino, foi realizada a matriz de decisão para analisar qual o produto a ser simulado na produção, quais as variantes exigidas pelo cliente na produção, quais os tipos de sensores para coleta de dados, qual o software utilizado para predição a partir dos dados gerados, qual o software para visualização de dados.

A tabela 2 a seguir, foca no primeiro fator determinante, qual o item que será produzido nessa mini fábrica, já no *brainstorming* foram considerados o que poderia ser avaliado do produto para o produto identificado e quais as variantes que o cliente poderia exigir do produto para a linha de produção, tendo em mente algo não muito complexo para facilitar o entendimento e considerando pré-requisitos de semelhança com o curso.

Tabela 2 - Matriz de decisão - Item produção e fatores corroborativos

Critério de avaliação	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3		
	Peso	Nota	Resultado	Nota	Resultado	Nota	Resultado
Potencial de concordância demais disciplinas do curso	2	40	80	45	90	43	86
Facilidade entendimento	4	45	180	32	128	30	120
Potencial de aprendizado	5	41	205	43	215	39	195
Variantes do cliente	3	25	75	23	69	28	84
Potencial dos itens avaliados no produtos	5	39	195	41	205	40	200
Resultado final			735		707		685

Fonte: Autoria própria.

Continuação tabela 2 - Matriz de decisão - Item produção e fatores corroborativos

Critério de avaliação	Alternativa 4		Alternativa 5		
	Peso	Nota	Resultado	Nota	Resultado
Potencial de concordância demais disciplinas do curso	2	34	68	36	72
Facilidade entendimento	4	37	148	31	124
Potencial de aprendizado	5	34	170	35	175
Variantes do cliente	3	30	90	33	99
Potencial dos itens avaliados no produtos	5	32	160	40	200
Resultado final			636		670

Fonte: Autoria própria.

Apesar de resultados bem parelhos, dessa tabela conclui-se que a melhor alternativa de simulação de mini fábrica é a montagem de um carrinho elétrico programado em arduíno.

7. DETALHES DO PROJETO

Com a determinação do caminho a seguir, a próxima etapa irá retratar os detalhes do projeto, frisando as etapas de produção na mini fábrica educativa, as etapas de ensino, os fatores a serem avaliados nos produtos e na linha de produção, os dispositivos necessários para a produção da sala de ensino, e por fim um desenho esquemático da mesma.

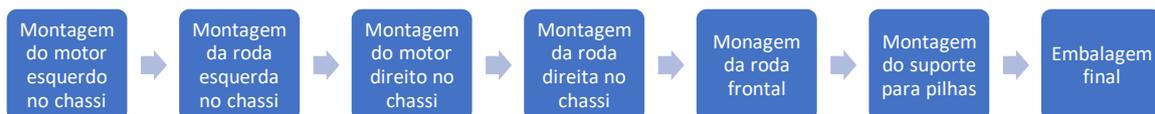
7.1 ETAPAS DE PRODUÇÃO

Antes de determinar as etapas de produção seguem descritos os componentes necessários para a produção dos carrinhos elétricos programados com arduínos:

1. Kit para arduino;
2. Motores com acoplamento de rodas para arduino, abastecimento a pilhas;
3. Suporte para implantação das pilhas;
4. Carcaça do carrinho;
5. Rodas;
6. Parafusos.

Na figura 13 segue um fluxograma para detalhamento das etapas produtivas na fábrica. Observação: a ideia é que a montagem e programação do arduino sejam feitas em momentos separados do processo de simulação de mini fábrica.

Figura 13 – Fluxograma etapas de fabricação



Fonte: Autoria própria.

Abaixo seguem imagens retiradas do blog “Tudo vem da China” que foi base no *brainstorming* para solução de desenvolvimento das alternativas, para ajudar a ilustrar as etapas produtivas em simulação da mini fábrica UTFPR.

Figura 14 – Kit para montagem carrinhos



Fonte: Tudo vem da China. 2015.

Figura 15 – Chassi para montagem



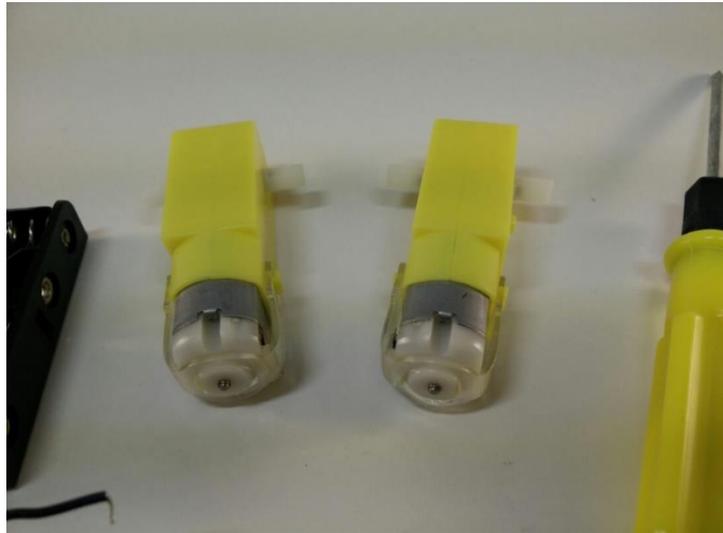
Fonte: Tudo vem da China. 2015.

Figura 16 – Rodas para montagem carrinhos



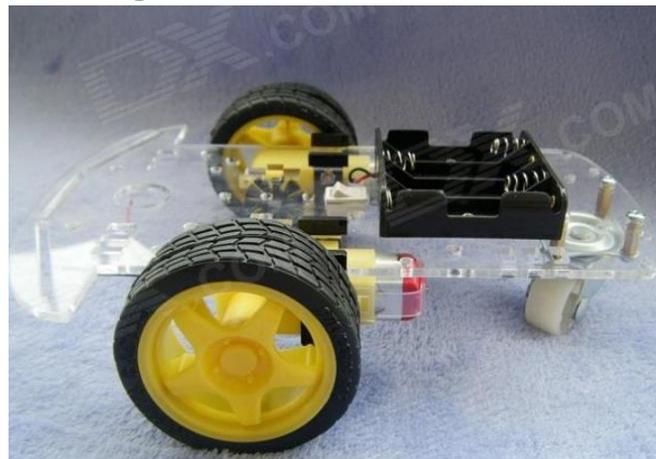
Fonte: Tudo vem da China. 2015.

Figura 17 – Motores para montagem carrinhos



Fonte: Tudo vem da China. 2015.

Figura 16 – Carrinho finalizado



Fonte: DX.com. 2019.

7.2 ETAPAS DE ENSINO – SISTEMA DE PRODUÇÃO

Para passar uma noção de funcionamento de linha produtiva para os alunos de mecânica, não só é necessário mostrar as etapas de produção, mas também uma visão de gerenciamento da mesma, já que um profissional não é requisitado apenas tecnicamente, mas também gerencialmente, sempre olhando para potenciais de redução de desperdícios e, portanto, de custos.

Para tanto, será construída a história de adaptação da linha produtiva, partindo de uma fábrica no caos, para uma fábrica com um sistema de produção definido e, um sistema de produção conectado.

Como o objetivo deste trabalho não é desenvolver especificamente como fazer a transição de cada uma dessas etapas e como explica-las aos estudantes, e sim projetar o *testbed* de indústria 4.0, as etapas de ensino do sistema de produção

constam aqui para requisitos do projeto, sendo citadas apenas para consideração nos elementos do projeto.

7.2.1 Fábrica sem sistema de produção definido

O primeiro cenário de uma fábrica caos, dá-se pelas seguintes premissas:

1. As etapas de produção não seguem uma ordem lógica de produção, ou seja, o *layout* orientado ao fluxo produtivo, gerando desperdícios de transporte e movimentação (que não agregam valor ao produto);
2. Lotes de produção, uma etapa só começa a produção quando receber o lote completo e só passa adiante com o lote completo definido;
3. Desequilíbrio entre o trabalho padronizado das etapas produtivas gerando superprodução em algumas etapas e também espera (tempo ocioso);
4. Sistema de produção empurrado, no qual a fábrica produz antes da demanda do cliente, gerando grande estoques e dificuldade em atendimento ao cliente;
5. Produção produz de acordo com a solicitação do controle de produção;
6. Geram-se estoques intermediários e finais não dimensionados e desconhecidos que precisam ser mensurados todos os dias;
7. Abastecimento da linha feito através de um abastecedor, o material é trazido de acordo com os pedidos do controle de produção.

7.2.2 Fábrica com sistema de produção definido

As premissas para um ambiente de produção com um sistema de produção definido são:

1. Sistema de produção puxada, produz-se de acordo com a demanda do cliente;
2. O controle de produção emite uma lógica de produção baseada no cliente e calcula quais são os produtos com mais saída, chamando-os de *runners* e com menos saídas, os exóticos.
3. Os produtos considerados *runners* são retroalimentados de acordo com a puxada do cliente, sempre alimentando supermercados calculados;
4. A produção é auto gerenciada, seguindo o sistema Kanban, para reposição de itens do supermercado;
5. Os supermercados são dimensionados de acordo com a demanda do cliente e fatores de segurança, sempre visando o atendimento na hora correta e quantidade correta;
6. O abastecimento da linha segue um sistema “duas caixas”, um abastecedor cíclico repete a rota a todo momento e repõe o que é consumido pela linha, na primeira rota recolhe os pedidos do que falta e na segunda abastece.

7. Para confirmar o balanceamento e produtividade da linha são necessários planejadores técnicos que meçam o tempo de ciclo de cada operação.

7.2.3 Fábrica com sistema de produção definido e conectado

Já para um sistema conectado, as premissas são semelhantes ao de um sistema de produção definido, porém otimizadas com ferramentas de conectividade:

1. Sistema de produção puxada, produz-se de acordo com a demanda do cliente, pedido em etapas mais rápidas do processo pode ser desdobrado direto para linha (e-Kanban);
2. Cálculo automático da quantidade de Kanbans necessários para a produção, assim como a determinação de produtos de alta frequência e demanda (*runners*) e de baixa frequência e demanda (exóticos);
3. Apontamento de produção através de RFID em Kanban de produção;
4. Quantidade de supermercado controlada pelo RFID ou no Kanban de produção ou no produto;
5. O abastecimento da linha detectado via sensor de presença, abastecedor cíclico repõe o for detectado como faltante na linha e avisado na *warehouse*;
6. Tempos de operação são verificados por sensores acoplados nos dispositivos de fabricação;
7. Cliente recebe o material através de leitura de identificação dos produtos; sabendo exatamente qual o produto para rastreio e alimentando o sistema para detecção de dados como *lead time*, fidelidade de entrega.
8. Dados coletados em todas as etapas de produção são classificados e visualizados em tempo real na linha, permitindo reação rápida e investigação correta de possíveis falhas no gerenciamento do processo produtivo.

7.2.4 Fatores avaliados na linha produtiva

Indicadores de produção são importantes para medir a saúde do seu negócio e servem para indicar os principais potenciais de melhoria na cadeia de valor, para saber projetar os dados a serem obtidos na mini fábrica UTFPR, alguns indicadores deverão controlados:

1. OEE

$OEE\% = Disponibilidade\% * Produtividade\% * Qualidade\%$

Sendo que:

- a. “ $Disponibilidade\% = ((Tempo\ Produzindo / Tempo\ Disponivel) * 100\%)$ ”
- b. “ $Produtividade\% = (Ciclo\ de\ Producao\ Real * Horas\ de\ Producao\ Real) / (Ciclo\ de\ Producao\ Estimado * Horas\ de\ Producao\ Planejada) * 100\%$ ”
- c. “ $Qualidade\% = (Producao\ Correta / Producao\ Total) * 100\%$ ”

2. Lead time

- Tempo de produção até a entrega ao cliente de cada pedido.
3. Reclamações do cliente
Itens identificados como falhos pelo controle de qualidade do cliente.
 4. Fidelidade de entrega
Itens entregues até o prazo definido pelo cliente.
 5. Peças em processo (WIP)
Quantidade de peças dentro do processo produtivo, exceto *warehouse* que não foram entregues ao cliente.

7.2.5 Fatores avaliados no produto

Para simular o *machine learning* e *data analytics* não só de um processo produtivo, como discutido anteriormente, serão avaliados critérios técnicos dos produtos. Após a simulação da mini fábrica, contando a história da adaptação da indústria, os produtos serão testados avaliando situações OK e Não OK para passar perspectivas de aprendizado de máquinas e análise de dados.

Do conceito e design projetado, desenvolvido e vendido, o objetivo será criar um gêmeo virtual, nesse gêmeo virtual alguns critérios de aplicação do veículo serão testados e serão otimizados, através de softwares de simulação para critérios de cargas, vida em fadiga, aplicação em túneis de vento, após essas análises será possível determinar um design otimizado, e esse poderá ser impresso em 3D, utilizando o conceito de manufatura aditiva, para então substituir a velha e ultrapassada caraça.

A diferença 4.0 nestes testes estão principalmente na fonte de dados, que não serão dados aproximados, mas sim dados de campos, gerando o chamado *deep learning* capaz de otimizar o projeto de acordo com o uso.

Já olhando a predição de máquina, ao descobrir quando o motor irá falhar, a proposta é em separado, após simulação da mini fábrica, montar carrinhos elétricos em situações limites, rodas mal acopladas, pilhas fracas, desalinhamento das rodas, com essas situações colocar o carrinho em uso e avaliar, por exemplo a aceleração final do carrinho elétrico, como pode-se visualizar no quadro 5, demonstrando as possíveis combinações de falhas a serem montadas no carrinho.

	Acoplamento rodas	Qualidade pilhas	Alinhamento rodas	Potência motor
Carrinho 1	OK	OK	OK	OK
Carrinho 2	OK	OK	Não OK	OK
Carrinho 3	OK	Não OK	OK	OK
Carrinho 4	Não OK	OK	OK	OK
Carrinho 5	Não OK	Não OK	OK	OK
Carrinho 6	OK	Não OK	Não OK	OK
Carrinho 7	Não OK	OK	Não OK	OK
Carrinho 8	Não OK	Não OK	Não OK	OK
Carrinho 9	OK	OK	OK	Não OK

Carrinho 10	OK	OK	Não OK	Não OK
Carrinho 11	OK	Não OK	OK	Não OK
Carrinho 12	Não OK	OK	OK	Não OK
Carrinho 13	Não OK	Não OK	OK	Não OK
Carrinho 14	OK	Não OK	Não OK	Não OK
Carrinho 15	Não OK	OK	Não OK	Não OK
Carrinho 16	Não OK	Não OK	Não OK	Não OK

Quadro 5 – Matriz disposição montagens

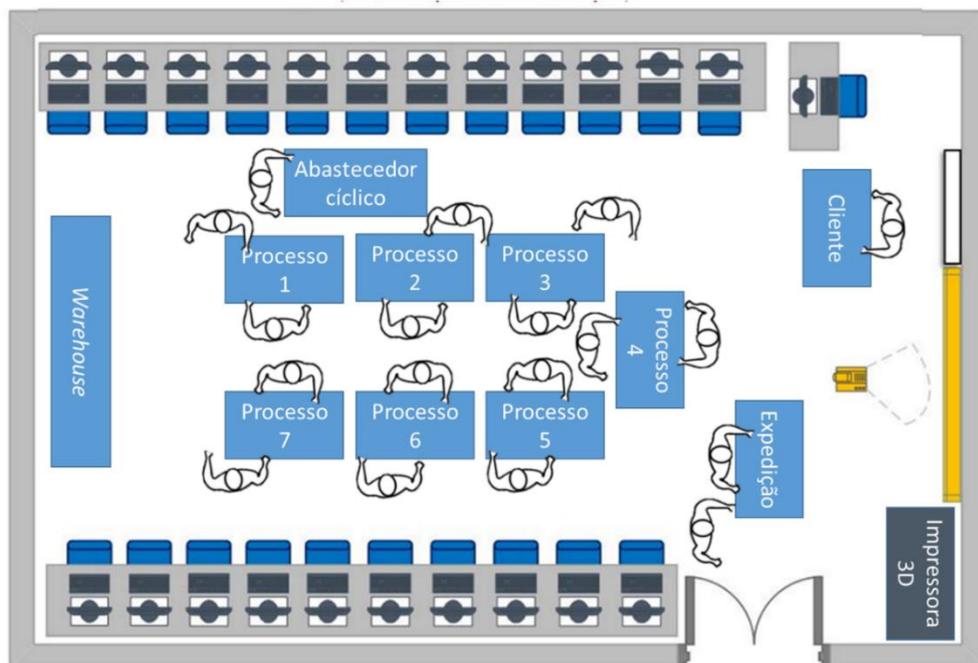
Fonte: Autoria própria.

Recolhendo esses dados reais para avaliar a aceleração, como mencionado acima, pode-se ensinar o software o pode estar errado para causar uma queda na aceleração do carrinho, quais os critérios mais críticos e enviar mensagem de alerta ao para correção dos desvios. Os desvios citados acima de *hardwares* os mesmos requerem uma intervenção manual para correção, porém vale ressaltar que diferenças erradas na potência motor (caso programado para trabalhar abaixo do suportado) pode ser corrigido pelo próprio software e ajustado a potência padrão permitida pelo motor.

7.3 PROJETO ESQUEMÁTICO E LISTA DE DISPOSITIVOS

Especificamente no que se trata do *design* para o *testbed* de indústria 4.0 para a sala conectada, tem-se em detalhe a figura 14 com uma visão esquemática para uma noção de espaço físico e quantidade de alunos suportados para o aprendizado, em cada rodada de simulação.

Figura 14 – Projeto esquemático *testbed*



Fonte: Autoria própria.

Para equipar a sala são necessários os seguintes dispositivos, expostos no quadro 6 abaixo.

Dispositivo/Software	Quantidade
Medidor de carga pilha	5
Pilhas A3	240
Rodas Verdes	160
Rodas Azuis	160
Rodas Vermelhas	160
Kit De Chassis De Carro Robô Inteligente Para Arduino	80
Tela Touch	7
Computador	33
Leitor NFC	3
Leitor RFID	3
Gravador Tag RFID	3
TAG RFID	200
Projetor	1
Impressora Zebra	1
Etiqueta para impressora zebra	10
Filtros de linha	33
Sensor Indutivo	3
Sensor Capacitivo	30
Sensor de cor	4
Controladores para sensor de cor	4
Sensor fotoelétrico	1
Sinalizadores	15
Controlador	1
Licença CLP + IHM	1
Alimentação de Barramento	2
Cartão 16 entradas digitais	1
Cartão 16 saídas digitais	2
Distribuidor Ethercat 8 canais	4
Extensão EtherCAT	1
Cabo EtherCAT 7m M8-M8	7
Cabo EtherCAT 7m RJ45-M8	10
Monitor 18"	9
Parafusadeira elétrica	6
Mesas com rodas (adaptáveis para layout)	10
Usuário rede + tableau	23
Servidor Web + SQL	1
Licença Altair para softwares de simulação (análise multi física)	23
Impressora 3D por depósito de compósito	1
Licença software de modelagem	23
Licença software RapidMiner para inteligência artificial	23

Quadro 6 – Dispositivos para equipar *testbed*

Fonte: Autoria própria.

Alguns comentários sobre os *softwares* escolhidos acima ajudam ser citados, segundo site da companhia, o RapidMiner, é um software que visa o uso de inteligência artificial através de uma plataforma de ciência de dados aberta e extensível, foi feito para utilização de equipes de análise, visa unificar o ciclo de vida

da ciência de dados, desde a preparação dos dados até o aprendizado de máquina até a implantação preditiva do modelo. Dentro do próprio ainda existem vídeos-aulas que auxiliam no uso do software de forma intuitiva e prática.

Outros softwares de análise vêm da revendedora Altair, segundo site da empresa a Altair oferece soluções durante todo o ciclo de vida do produto, desde o design conceitual até a operação em serviço, com abordagem orientada por simulação alimentada por um conjunto integrado de software que otimiza o desempenho do projeto em várias disciplinas, incluindo estruturas, movimento, fluidos, gerenciamento térmico, eletromagnética, modelagem de sistema e sistemas embarcados, além de fornecer análise de dados e confiabilidade visualização e renderização da vida.

Já a respeito do *software* visualizador de dados escolhido Tableau, já utilizado dentro da própria universidade, ou seja, ferramenta ideal para continuar facilitando a gestão de dados do dia a dia. O plano para esse *software*, é conexão em servidor SQL que trará os dados recolhidos na linha de produção e os disponibilizará para visão no projetor da sala, de maneira online, para isso uma primeira implementação deverá ser feita, criando em *dashboard* com os dados listados na seção 10.2.4 Fatores avaliados na linha produtiva.

Para a escolha da impressora 3D, o critério foi a agilidade de impressão e facilidade de compreensão, como a impressão 3D por depósito de material é o tipo mais disseminado, mais conhecido e com menor custo. Além disso a maioria é adaptável para vários programas de impressão de livre acesso, os chamados códigos abertos e *softwares* livres.

7.4 ANÁLISE DE CUSTOS

Na implementação do projeto alguns custos estão embutidos, principalmente para aquisição de materiais, *softwares*, *hardwares* e mão de obra para a instalação. Considerando estes custos, segue a análise aproximada de verba necessária para preparo da sala na tabela 3 a seguir.

Tabela 3 – Análise custos projeto

Descrição	Quantidade	Custo total [reais]
Medidor de carga pilha	5	R\$300,00
Pilhas A3	240	R\$1.248,00
Rodas Verdes	160	R\$1.600,00
Rodas Azuis	160	R\$1.600,00
Rodas Vermelhas	160	R\$1.600,00
Kit De Chassis De Carro Robô Inteligente Para Arduino	80	R\$4.247,20
Tela Touch	7	R\$13.300,00
Computador	33	R\$95.535,00
Leitor NFC	3	R\$2.296,80
Leitor RFID	3	R\$15.000,00
Gravador Tag RFID	3	R\$7.500,00

TAG RFID	200	R\$2.110,00
Projektor	1	R\$4.500,00
Impressora Zebra	1	R\$7.713,42
Etiqueta para impressora zebra	10	R\$2.268,60
Filtros de linha	33	R\$1.501,50
Sensor Indutivo	3	R\$266,97
Sensor Capacitivo	30	R\$13.742,40
Sensor de cor	4	R\$8.226,96
Controladores para sensor de cor	4	R\$7.312,84
Sensor fotoelétrico	1	R\$382,31
Sinalizadores	15	R\$705,60
Controlador	1	R\$4.650,00
Licença CLP + IHM	1	R\$3.500,00
Alimentação de Barramento	2	R\$389,00
Cartão 16 entradas digitais	1	R\$540,00
Cartão 16 saídas digitais	2	R\$340,00
Distribuidor Ethercat 8 canais	4	R\$720,00
Extensão EtherCAT	1	R\$1.972,00
Cabo EtherCAT 7m M8-M8	7	R\$555,00
Cabo EtherCAT 7m RJ45-M8	10	R\$1.532,28
Monitor 18"	9	R\$4.500,00
Parafusadeira elétrica	6	R\$5.148,00
Mesas com rodas (adaptáveis para layout)	10	R\$11.124,00
Usuário rede + tableau	23	R\$8.441,00
Servidor Web + SQL	1	R\$59.205,45
Licença Altair para softwares de simulação (análise multi física)	23	Estudante- gratuito
Impressora 3D por decomposição de compósito	1	R\$4.746,18
Licença Solid Edge (para modelagem)	23	Estudante- gratuito

Fonte: Autoria própria.

Os custos apresentados estão em reais, vale ressaltar que alguns valores eram originalmente em dólar e variam conforme a cotação diária, a taxa de câmbio no dia da ponderação estava em R\$4,14 o dólar americano.

O valor total atingiu o custo de aproximadamente R\$300.500,00, podendo ser reduzido com parceiras com as empresas fornecedoras de *software* e *hardwares*, adicional a este valor ainda seria necessário orçar mão de obra de instalação, custo que também pode ser reduzido com o aproveitamento de conhecimento de alunos e professores.

8. VALIDAÇÃO E RESULTADOS

8.1 VALIDAÇÃO

Com o intuito de validar a proposta, foi realizado um *pitch*, ferramenta utilizada por empreendedores para tentar atrair potenciais investidores, um conceito disseminado também como discurso de elevador, o tempo de apresentação deve ser curto (aproximadamente entre 3 a 10 minutos) e trazer informações importantes sobre o projeto.

É importante frisar que pelo tempo reduzido de apresentação é necessário que a estrutura e planejamento do *pitch* seja capaz de passar a mensagem de forma assertiva trazendo os seguintes pontos: contextualização, o problema que está se propondo uma solução, quais ações serão executadas para atingir o resultado, qual é o resultado esperado e como o ouvinte se torna necessário para isso.

Tendo em mente esses passos de estruturação de um bom *pitch*, foram abordados os seguintes temas: contexto do mercado e da universidade, necessidades dos estudantes, requisitos da sala proposta, sugestão de trabalhar parte de sistema de produção e de engenharia de produto através de simulação de uma mini linha de produção, a partir da teoria de ensino por jogos, ensinando na prática gestão de vida de produto e sistema de produção conectado. Ainda em comentários foram citados alguns softwares utilizados.

Foram recebidos feedbacks pré-execução em relação a proposta de trabalho com os quais foi possível adiantar alguns pontos críticos que poderiam aparecer no processo de execução.

Os entrevistados, avaliadores deste projeto foram profissionais engenheiros de uma empresa que desenvolveu um método semelhante para capacitação de seus funcionários, através deste conhecimento, de não apenas engenheiros mecânicos, mas também de produção, pode-se atingir um critério de efetividade melhor na avaliação. Como a definição de critérios e alternativas de resolução do problema e avaliação das mesmas, apresentadas no capítulo anterior, foram realizadas em conjunto com alunos da instituição, esta validação também procurou olhar externos que não estivessem apaixonados pela ideia, para manter a objetividade da avaliação, por profissionais com domínio e experiência.

A solução para se definir os resultados alcançados foi baseada em duas formas de questionamentos, comparação e nota. Comparação: comparar o formato proposto ao formato usual; nota: pontuação de 1 a 10, sendo 1 para RUIM e 10 para ÓTIMO.

O quadro 7 abaixo traz as perguntas feitas aos *stakeholders* tendo em vista a comparação do estado usual de aprendizagem com o projeto proposto neste trabalho.

Descrição	Nota
Quanto ao nível de aprendizado apresentado utilizando jogos em relação ao método de aulas por apresentação de <i>Powerpoint</i> , sua nota é?	

Comparando a interação prática com as ferramentas e processos da I4.0 em relação a teoria apresentada através de vídeos e fotos, sua nota é?	
Quanto a utilização de ferramentas que permitem o reconhecimento e análise de dados em tempo real em relação a ferramentas que armazenam informações para análise futura, sua nota é?	

Quadro 7 – Ficha para critérios comparativos

Fonte: Autoria própria.

Já o quadro 8, apresenta a segunda avaliação a ser feita pelos stakeholders do projeto, avaliando critérios de eficiência na escolha dos equipamentos e dispositivos utilizados.

Descrição	Nota
Como você avalia os a dinâmica de ensino para sistemas de produção	
Como você avalia o item proposto para produção	
Como você avalia a proposta de mini fábrica para aprendizados de I4.0	
Como você avalia o software <i>Tableau</i> escolhido para visualização de dados e resultados na simulação	
Como você avalia os softwares <i>Altair</i> para simulação de produto e otimização do mesmo	
Como você avalia o software <i>RapidMiner</i> escolhido para predição e <i>machine learning</i>	
Como você avalia a escolha de produção de “produtos defeituosos” para aprendizado de máquina	

Quadro 8– Ficha avaliativa para dispositivos, equipamentos e metodologias

Fonte: Autoria própria.

Ambos os quadros acima foram formulados baseados na problemática das diversas vertentes originadas da Indústria 4.0, citadas na revisão bibliográfica, Manufatura aditiva, IoT (Internet das coisas), sistemas ciber físicos, Inteligência artificial e *Data mining*, avaliando se o projeto desenvolve a capacidade analítica, de decisão e de criatividade dos engenheiros a respeito dessas novas tecnologias.

8.2 RESULTADOS

Os resultados foram obtidos através da entrevista com cinco *stakeholders* diferentes, sendo que em caso de notas menores que 5 (totalizando menos do que 25 na somatória) em algum dos critérios, o item deveria ser reavaliado e adequado no projeto para posterior implementação.

A tabela 4 mostra os resultados obtidos na ficha exibida no quadro 6, levando em consideração as formas usuais de ensino e de tratativas versus as metodologias propostas neste trabalho.

Tabela 4 - Resultados análise comparativa

Descrição	Avaliador 1	Avaliador 2	Avaliador 3	Avaliador 4	Avaliador 5	Resultado
Quanto ao nível de aprendizado apresentado utilizando jogos em relação ao método de aulas por apresentação de <i>Powerpoint</i> , sua nota é?	10	9	8	9	10	46
Comparando a interação prática com as ferramentas e processos da I4.0 em relação a teoria apresentada através de vídeos e fotos, sua nota é?	10	9	9	10	9	47
Quanto a utilização de ferramentas que permitem o reconhecimento e análise de dados em tempo real em relação a ferramentas que armazenam informações para análise futura, sua nota é?	9	10	10	10	10	49
Resultado final						142

Fonte: Autoria própria.

A tabela 5 analogamente ao comentado a respeito da tabela 3, traz os resultados da ficha de avaliação do quadro 8, avaliando sem comparações as escolhas feitas neste trabalho em vista de atender os requisitos e premissas do artefato em questão.

Tabela 5 - Resultados critérios avaliativos

Descrição	Avaliador 1	Avaliador 2	Avaliador 3	Avaliador 4	Avaliador 5	Resultado
Como você avalia os a dinâmica de ensino para sistemas de produção	9	7	8	9	8	41
Como você avalia o item proposto para produção	8	7	8	10	10	43
Como você avalia a proposta de mini fábrica para aprendizados de I4.0	8	10	8	10	10	46
Como você avalia o software <i>Tableau</i> escolhido para visualização de dados e resultados na simulação	10	10	10	10	8	48
Como você avalia os softwares <i>Altair</i> para simulação de produto e otimização do mesmo	8	7	8	10	9	42

Como você avalia o software <i>RapidMiner</i> escolhido para predição e <i>machine learning</i>	7	8	10	7	8	40
	7	8	9	8	9	41
Como você avalia a escolha de produção de “produtos defeituosos” para aprendizado de máquina	10	10	9	9	8	46

Fonte: Autoria própria.

Também de forma análoga ao critério anterior, notas abaixo de 5 totalizando uma somatória abaixo de 25 em algum dos critérios na descrição seriam reavaliados e substituídos no projeto.

Com as altas notas encontradas nas avaliações vale destacar que toda a tratativa de diferentes referenciais teóricos propostos para uma educação 4.0 referem-se a estratégia de ensino centrada na participação efetiva dos estudantes na construção do processo de aprendizagem, de forma flexível e interligada.

Como todos os critérios foram atendidos no ponto de vista dos *stakeholders*, a autora considera o projeto aprovado para futura aplicação prática e implementação.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como o tema de indústria 4.0 apesar de não tão recente ainda é atual em relação a universidade e estudantes tema de estudo deste trabalho, com a execução desse projeto foi possível elencar diversos fatores aprendidos, como a metodologia de ensino, funcionamento da indústria 4.0, ferramentas disponíveis e potenciais de uso das mesmas, além de possíveis riscos para implementação do mesmo, em trabalhos futuros, para isso, as lições aprendidas e a análise de riscos para implementação serão discutidas nas próximas sessões.

9.1 LIÇÕES APRENDIDAS

Como o tema de indústria 4.0 apesar de não tão recente ainda é atual em relação a universidade e estudantes tema de estudo deste trabalho, com a execução desse projeto foi possível elencar diversos fatores aprendidos, como a metodologia de ensino, funcionamento da indústria 4.0, ferramentas disponíveis e potenciais de uso das mesmas.

Para desenvolver este trabalho foi utilizada a metodologia de *Design Science Research*, classificando os problemas em blocos específicos, avaliando o ambiente externo e explicitação os principais pontos de interação com o *testbed* (artefato) que foi desenvolvido. Após essa etapa para começar a desenhar a sugestão de projeto a ser desenvolvido, foi importante deixar claro quais eram requisitos e premissas do projeto e registrar quais foram as tentativas encontradas, então com a definição da solução, foi desenvolvido o projeto em si, considerando mini avaliações em cada etapa de desenvolvimento, resultante dos *brainstormings* realizados. E, por fim, para garantir a efetividade do trabalho, o mesmo foi avaliado pelos *stakeholders* garantindo o atendimento as premissas e objetivos deste trabalho, de é projetar um *testbed* que promova a preparação para os papéis dos engenheiros durante e após a 4ª revolução industrial, cumprindo inclusive seus objetivos específicos: analisar a base da indústria 4.0; analisar como projetar um *testbed*; pesquisar as ferramentas desenvolvidas pela indústria 4.0 e como implementá-las, bem como possíveis os problemas; pesquisar as dificuldades encontradas pelos atuais engenheiros ao lidar com as novas ferramentas de I4.0 existentes.

Em relação a metodologia de ensino, ou as formas de aprendizagem propostas, foi interessante descobrir que embora seja uma técnica antiga e mais usualmente aplicada em crianças, quanto propõe-se um ambiente de ensino que remeta a parte lúdica dos estudantes os potenciais e grau de aceitação são enormes, nota-se ser uma técnica menosprezada que deveria ser mais utilizada em instituições de ensino superior, principalmente em novos engenheiros que precisam ser qualificados para atenderem as novas demandas da indústria, profissionais com as chamadas *soft skills*: trabalho em equipe, flexibilidade, resolução de problemas e inovação.

Tratando a respeito da indústria 4.0 e seu funcionamento, ficou claro que a inovação trazida por esta era está na conectividade de tudo, não só conectando a

indústria e dispositivos, mas também pessoas, com isso a indústria passa não só a vender seus produtos, como também o conhecimento por de trás dele, tudo com alta exigência de rapidez e flexibilidade, portanto dados e informações gerados em larga escala devem ser tratados e aproveitados para gerar conhecimento e lucro (agregar valor) ao produto final oferecido em cada companhia. Assim além de agregar valor, a conectividade tornou-se essencial para redução de custos de fabricação/produção em empresas, facilitando análise de potenciais desperdícios e possibilitando reação rápida na tomada de decisão, prevenindo quebra e falhas através da predição e inteligência artificial, aprendendo diretamente dos dados obtidos no *data mining* e conectados pela IoT.

Ainda no desenvolvimento deste projeto foi notável a gama de soluções ofertadas para a disseminação da indústria 4.0, principalmente em respeito a softwares que auxiliam no desenvolvimento da inteligência artificial e *machine learning*, portanto mostrou também a necessidade de desenvolver uma noção de programação e estatística para acompanhar a evolução digital.

Vale ainda ressaltar que a continuidade deste trabalho, discutida no próximo capítulo, é de imensa relevância para a preparação dos futuros engenheiro, visto a contemporaneidade e importância do tema.

9.2 ANÁLISE DE RISCOS

Como o projeto visa atender a maior gama de possibilidades para o aprendizado de indústria 4.0, e não trata de partes pedagógicas específicas, um próximo trabalho deve atentar-se ao risco de densidade de conteúdo, considerando qual a divisão apropriada para explicação das ferramentas, carga horária necessária dentro e fora de aula, para execução de possíveis trabalhos. Além disso, deve fazer uma análise específica da forma de ensino e quantidade ensinada por disciplina, para cada público alvo, sendo eles graduandos, alunos de extensão, pós-graduandos, técnicos ou mesmo mestrandos, já que um dos riscos identificados é a evasão de alunos durante o decorrer da disciplina.

Outro risco identificado para a implementação deste projeto são os custos atrelados e, portanto, os investimentos necessários, que podem ser mitigados através de parcerias com empresas fornecedoras ou mesmo empresas com interesse em desenvolver os futuros profissionais, também existem incentivos do Governo e editais específicos para este desenvolvimento no qual este projeto poderia ser aplicado, por fim há a possibilidade de aproveitamento do conhecimento interno oferecido dentro da Universidade.

10. PRÓXIMOS PASSOS

Este trabalho entregou um projeto viável e validado para um ambiente de ensino, *testbed* de novas tecnologias da indústria 4.0, um dos próximos passos é a aplicação prática deste projeto, implementando a metodologia proposta para ensino os passos para uma didática aplicada.

Como durante o mapeamento de riscos um dos riscos enxergado foi a possível não adequação ao ambiente físico escolhido, portanto não foi delimitado nesse trabalho dimensões específicas das mesas e outros itens não adaptáveis, portanto um dos próximos passos no momento de aplicação do projeto é confirmar o espaço e adequar medidas de mesas e dispositivos físicos. Além disso, este trabalho apesar de orçar custos, não se preocupou com o valor total de projeto, sendo talvez necessárias restrições ou adequações no momento de implementação caso o mesmo acabe por ser um limitante, apesar de que os maiores custos seriam para aquisição de *softwares* e estes, por se tratar de uma universidade e, portanto, sem fins lucrativos, podem ser oferecidos em parceria para o ambiente de ensino.

Outro próximo passo seria a confirmação do tamanho de aula planejado para atender a todos os objetos de estudos implementados neste trabalho. Para tanto, será necessário produzir um plano de ensino detalhado considerando os passos listados, vale lembrar que todos os requisitos constam descrito no projeto detalhado, assim como no capítulo de premissas e requisitos. Também caberá à continuação deste trabalho, a programação inicial para os cálculos necessários de monitoramento e adaptação de estrutura.

Assim, após todas as confirmações, o primeiro passo seria a confirmação de primeiro público alvo (graduandos, mestrandos, alunos de extensão, ou técnicos) para a construção pedagógica de uma disciplina piloto utilizando a sala projetada, assim caso o público alvo seja mais restrito e o projeto pedagógico utilize apenas parte do potencial deste projeto, o mesmo pode ser implementado em partes.

Com essa determinação será necessário garantir a verba necessária para aquisição dos equipamentos necessários e para tanto, a confirmação dos valores e ajustes devido a correções anuais, além da confirmação de parcerias, visando reduzir os custos. Depois de todas as revisões, será necessária a aquisição de equipamentos e instalação dos mesmos, para posterior implementação e validação prática.

REFERÊNCIAS

ALTAIR. **About Altair**. Disponível em: < <https://www.altair.com/about/>>. Acesso em: 7 out. 2019.

ANJOS DO BRASIL. **Como fazer um pitch**. Disponível em: < <https://www.anjosdobrasil.net/pitch.html/>>. Acesso em: 17 set. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INTERNET INDUSTRIAL. **Home**. Disponível em: <<https://www.abii.com.br/>>. Acesso em: 27 set. 2018.

AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL. **A pirâmide da automação industrial**. Disponível em: <<https://www.automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacao-industrial/>>. Acesso em: 03 out. 2018.

BLOG LUZ. **Cálculo do Índice OEE (Overall Equipment Effectiveness)**. Disponível em: <<https://blog.luz.vc/o-que-e/calculo-indice-oee-overall-equipment-effectiveness/>>. Acesso em: 09 out. 2019.

COELHO, Pedro Miguel Nogueira. Rumo à Indústria 4.0. **Dissertação (Mestrado em Engenharia e gestão Industrial)**, Coimbra, jul. 2016.

CZECH INSTITUTE OF INFORMATION, ROBOTICS, AND CYBERNETICS. **Testbed for industry 4.0**. Disponível em: <<https://www.ciirc.cvut.cz/testbed/>>. Acesso em: 27 set. 2018.

EUAX CONSULTING. **Brainstorming: o que é e como aplicar na geração de novas ideias**. Disponível em: <<https://www.euax.com.br/2018/09/brainstorming/>>. Acesso em: 27 set. 2019.

FAC - UNICAMP. **Laboratório de simulação e controle**. Disponível em: <<http://www.fca.unicamp.br/portal/our-services/38-fca/pesq/298-simu-controle.html>>. Acesso em: 01 out. 2018.

FARIAS, Vitor. dos. S. **FIBREOSS – Um sistema de gerência para o testbed FIBRE**. 2016. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Telecomunicações) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2016.

FÓRUM IOTA BRASIL. **Sensor programável e uma plataforma de prototipagem para qualquer caso de uso iot que você possa imaginar**. Disponível em: <<http://forumiotabrasil.com.br/bosch-xdk-ferramenta-de-prototipagem-para-internetdas-coisas-iot-que-usa-iota/>>. Acesso em: 13 out. 2018.

FUTURE INTERNET BRAZILIAN ENVIRONMENT FOR EXPERIMENTATION. **FIBRE'S HISTORY**. Disponível em: <<https://fibre.org.br/>>. Acesso em: 08 out. 2018.
 FUTURE INTERNET BRAZILIAN ENVIRONMENT FOR EXPERIMENTATION. **Local testbeds**. Disponível em: <<https://fibre.org.br/>>. Acesso em: 05 out. 2018.

IBM. **Sistemas cyber-físicos e cidades inteligentes**. Disponível em: <<https://www.ibm.com/developerworks/br/library/ba-cyber-physical-systems-and-smart-cities-iot/index.html>>. Acesso em: 16 out. 2018.

IMASTERS. **10 ferramentas e bibliotecas para trabalhar com data mining e big data – parte 02**. Disponível em: <<https://imasters.com.br/data/10-ferramentas-e-bibliotecas-para-trabalhar-com-data-mining-e-big-data-parte-02>>. Acesso em: 16 out. 2018.

INDÚSTRIA 4.0. **Indústria 4.0**. Disponível em: <<http://www.industria40.gov.br>>. Acesso em: 30 set. 2018.

LACERDA, D. P. et al. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão da produção**, São Carlos, v. 2, p. 741-761, out. 2013.

MEMS & NANOTECHNOLOGY EXCHANGE. **What is mems technology?**. Disponível em: <<https://www.mems-exchange.org/mems/what-is.html>>. Acesso em: 08 out. 2018.

MICROSOFT AZURE. **O que é middleware?** Disponível em: <<https://azure.microsoft.com/pt-br/overview/what-is-middleware/>>. Acesso em: 09 out. 2018.

MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS. **Governo anuncia primeiras 10 'fábricas do futuro' do país**. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/index.php/noticias/3605-governo-anuncia-primeiras-10-fabricas-do-futuro-do-pais>>. Acesso em: 01 out. 2018.

NORVIG, Peter; RUSSELL, Stuart J. **Inteligência artificial**. 3 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. 1324 p.

NUNEZ, David Lira; BORSATO, Milton. PANORAMA ATUAL DOS SISTEMAS CIBER-FÍSICOS NO CONTEXTO DA MANUFATURA. **10º Congresso Brasileiro de Gestão da Inovação e Desenvolvimento de Produtos**, Itajubá, set. 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/282349174_PANORAMA_ATUAL_DOS_SISTEMAS_CIBER-FISICOS_NO_CONTEXTO_DA_MANUFATURA>. Acesso em: 21 out. 2018.

O FUTURO DAS COISAS. **42 ferramentas práticas de inteligência artificial que você pode usar hoje**. Disponível em: <<https://ofuturodascoisas.com/42ferramentas-praticas-de-inteligencia-artificial-que-voce-pode-usar-hoje/>>. Acesso em: 05 out. 2018.

RAPID MINER. **Why Rapid Miner**. Disponível em: <<https://rapidminer.com/why-rapidminer/>>. Acesso em: 01.out.2019

SALES FORCE. **Sales force**. Disponível em: <<https://www.salesforce.com/br/form/conf/iot-demo/>>. Acesso em: 07 out. 2018.

SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial**: -. 1 ed. Alemanha: Edipro, 2016. 160 p.

SFERRA, HELOISA HELENA; CORRÊA, ÂNGELA M. C. JORGE. Conceitos e Aplicações e Data Mining. **Revista de Ciência e tecnologia**, Piracicaba, v. 11, n. 22, p. 19-34, jul./dez. 2003.

SILVA, Jossan Borba Gomes; PAULILLO, Luis Cesar Maffei Sartini. Biologia Sintética: possibilidades e desafios. **Revista da Biologia**, Salvador, v. 14, n. 13339, jul. 2015.

SOFTWARE INTEL. **Innovate system & iot apps**. Disponível em: <<https://software.intel.com/pt-br/system-studio>>. Acesso em: 15 out. 2018.

SOUZA, Thiago Lima; CARVALHO, Telma De. INTERNET DAS COISAS (IOT) EM BIBLIOTECAS UNIVERSITÁRIAS BRASILEIRAS: DIAGNÓSTICO SITUACIONAL. **XXVII Congresso Brasileiro de Biblioteconomia e Documentação**, Fortaleza, p. 1-5, out. 2017. Disponível em: <<https://portal.febab.org.br/anais/article/view/1825>>. Acesso em: 07 out. 2018.

TABLEAU. **Missão da Tableau**. Disponível em: <<https://www.tableau.com/pt-br/about/mission>>. Acesso em: 05 out. 2019.

THIESSE, Frédéric; MICHAHELLES, Florian. Building the Internet of Things Using RFID. **IEEE INTERNET COMPUTING**, Seattle, p. 48-55, mai./jun. 2009.

TI INSIDE ONLINE SERVICES. **Inteligência artificial e a indústria 4.0**. Disponível em: <<http://tiinside.com.br/tiinside/services/27/07/2017/inteligencia-artificial-eindustria-4-0/>>. Acesso em: 05 out. 2018.

TUDO VEM DA CHINA. **Carrinho com motores para projetos com Arduíno.** Disponível em: < <http://www.tudovemdachina.com/carrinho-com-motores-para-projetos-com-arduino/>>. Acesso em: 21 out. 2019.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. **Palestra sobre indústria 4.0 será transmitida para todos os câmpus.** Disponível em: <<http://portal.utfpr.edu.br/institucional>>. Acesso em: 29 set. 2018.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. **Institucional.** Disponível em: <<http://portal.utfpr.edu.br/institucional>>. Acesso em: 28 set. 2018.

WOOD, Thomaz; JR. FORDISMO, TOYOTISMO E VOLVISMO: OS CAMINHOS DA INDÚSTRIA EM BUSCA DO TEMPO PERDIDO. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, p. 6-18, set./out. 1992.