

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

LUCAS DE OLIVEIRA TRINDADE

**S.C.M – SISTEMA CONECTOR DE MÁQUINAS PARA USO EM
PROJETOS DE INDÚSTRIA 4.0**

CURITIBA

2018

LUCAS DE OLIVEIRA TRINDADE

**S.C.M – SISTEMA CONECTOR DE MÁQUINAS PARA USO EM PROJETOS DE
INDÚSTRIA 4.0**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná como requisito à obtenção do grau de Engenheiro.

Orientador: Prof. Dr. Edson José Pacheco

CURITIBA

2018

TERMO DE APROVAÇÃO

LUCAS DE OLIVEIRA TRINDADE

SCM – SISTEMA CONECTOR DE MAQUINAS PARA USO EM PROJETOS DE INDÚSTRIA 4.0

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal do Paraná como requisito à obtenção do grau
Engenheiro Eletricista, pela seguinte banca examinadora:**

Orientador: Prof. Dr. Edson José Pacheco
Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR

Prof. M.Sc. John Jairo
Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR

Prof. M.Sc. Waldomiro Soares Yuan
Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR

CURITIBA
2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por toda a força, ânimo e coragem que me permitiu alcançar meus objetivos.

Agradeço a minha mãe que sempre que possível me incentivou a nunca desistir e sempre lutar pelos meus sonhos.

Agradeço ao orientador Prof. Dr. Edson José Pacheco pela oportunidade de me orientar nesse trabalho, pela paciência, incentivo e todo suporte prestado.

Agradeço os Professores da Universidade Federal do Paraná que sempre estiverem ao meu lado, entendendo minhas dificuldades e se disponibilizando a ajudar sempre que preciso.

Agradeço a minha namorada, Kerlly, pelas noites mal dormidas e finais de semana em casa estudando junto comigo.

RESUMO

A conectividade já é realidade na sociedade contemporânea. A forma como se trabalha, se locomove e se comunica está cada vez mais conectada. Na indústria não poderia ser diferente. O conceito de fábricas inteligentes e conectadas tem sido tema cada vez mais recorrente nos últimos anos. Vive-se, atualmente, a quarta revolução industrial, também conhecida como “Indústria 4.0”, que tem como objetivo conectar toda cadeia produtiva a fim de reduzir desperdícios, otimizar processos e auxiliar tomada de decisões. Sabe-se, porém, que a indústria brasileira ainda é composta por uma base industrial de máquinas antigas, com idade média de 17 anos. Dessa forma entende-se que, a conexão desses equipamentos é uma tarefa complexa, uma vez que quando construídas não existia demandas para conexão e coleta de dados. Esse trabalho apresenta um sistema conector de máquinas (SCM), capaz de conectar, coletar, armazenar e transmitir variáveis de máquinas CNC para um ambiente de *Big Data*. A arquitetura do SCM atende os diversos protocolos de comunicação existentes para conexão com máquinas CNC. Uma versão de teste foi desenvolvida e implementada em um estudo de caso, a fim de validar os conceitos da arquitetura do SCM. Os resultados obtidos foram satisfatórios. As principais variáveis, relativas ao funcionamento da máquina, foram coletadas, enviadas para um ambiente de *Big Data* e monitoradas. Ao final desse trabalho, conclui-se que grande parte das máquinas utilizadas na indústria podem ser conectadas, através do conceito do SCM, sendo necessário apenas o desenvolvimento de um novo conector para o novo protocolo de comunicação a ser utilizado.

Palavras-chave: Indústria 4.0, conectividade, máquinas CNC, conectividade

ABSTRACT

Connectivity is already a reality in contemporary society. The way we work, move and communicate is increasingly connected. And in the industry, it could not be different. The concept of intelligent and connected factories has been an increasingly recurring theme in recent years. We are currently living in the fourth industrial revolution, also known as "Industry 4.0", which aims to connect the entire production chain in order to reduce waste, optimize processes and assist decision making. It is known, however, that Brazilian industry is still composed of an industrial base of old machines, with an average age of 17 years. Due to this fact the connection of these equipment becomes a complex task, since when they were built there were no demands for connection and data collection. This work proposes the creation of a machine connector system (SCM), capable of connecting, collecting, storing and transmitting CNC machine variables to a Big Data. The SCM architecture meets the various communication protocols available for connection to CNC machines. A test version was developed and implemented in a case study to validate SCM architecture concepts. The results were satisfactory. The main variables related to the operation of the machine were collected, sent to a Big Data and monitored. At the end of this work it is concluded that most of the machines used in the industry can be connected through the concept of the SCM, being necessary only the development of a new connector for the new communication protocol to be used.

Keywords: Industry 4.0, Connectivity, CNC Machines, Connectivity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Previsão de Investimentos em tecnologias Digitais para 2018.....	14
Figura 2 – Foco do uso de Tecnologias Digitais (%)	14
Figura 3 – Utilização tecnologias digitais.....	15
Figura 4 – Fatores que influenciam migração para indústria 4.0	16
Figura 5 – Resumo das principais características das Revoluções Industriais.....	18
Figura 6 – Os nove Pilares da Indústria 4.0.....	26
Figura 7 - Benefícios da utilização da Internet das Coisas (IoT).....	27
Figura 8- Diagrama de blocos máquina CNC genérica	34
Figura 9 – Modelos de máquinas CNC	36
Figura 10 – Arquitetura básica de interação entre sistemas utilizando modelo OSI .	38
Figura 11 – Especificações V2.4	39
Figura 12 – Modos de transmissão comunicação Ethernet.....	40
Figura 13 – Comparação entre as camadas do modelo OSI e TCP/IP	42
Figura 14 – Conceito MACRO do SCM	46
Figura 15 – Arquitetura do SCM	46
Figura 16 – Arquitetura para conexão de 3 maquinas com protocolos de conexão distintos.....	47
Figura 17 – Diagrama de blocos arquitetura conector e interface padrão	48
Figura 18 – Diagrama de blocos de funcionamento SCM	48
Figura 19 – Fluxograma das etapas para o desenvolvimento do estudo de caso	51
Figura 20 – Torno Emag com CNC Siemens utilizado no estudo de caso	53
Figura 21 – Composição painel principal (IHM).....	53
Figura 22 – Estrutura interna de funcionamento da IHM Siemens.	54
Figura 23 – Dados disponibilizados pelo Servidor DDE	55
Figura 24 – Formato padrão dos arquivos INI utilizados pela Siemens.....	56
Figura 25 – Subdivisão dos dados.....	56
Figura 26 - Proposta da arquitetura do SCM para o estudo de caso.....	58
Figura 27 – Etapas para desenvolvimento do conector.....	58
Figura 28 – Etapas para desenvolvimento da interface de recepção de dados.....	60
Figura 29 – Janela programa NCDDE.exe	61
Figura 30 – Endereço onde as variáveis do CNC são encontradas	61

Figura 31 – Teste da variável temperatura na ferramenta DDE Test	62
Figura 32 – Instalação dos arquivos ver010.exe 3 ver010.ini.....	62
Figura 33 – Pasta contendo os arquivos ver010.exe e ver010.ini	63
Figura 34 – Estrutura arquivo ver010.ini.....	64
Figura 35 – Temperatura servomotores eixo Z e C.	66
Figura 36 – Número de alarmes e mensagens gravadas	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRAMAN	Associação Brasileira de Manutenção
CNC	Controle Numérico computadorizado
CNI	Confederação Nacional das Industrias
CLP	Controle Lógico Programável
FOCAS	Fanuc Open CNC API Specifications
IoT	Internet of Things
NC	Numerical Control
MIT	Massachusetts Institute of Technology
IHM	Interface Homem Máquina
OSI	Open Systems Interconnection
MAC	Media Access Control
TCP	Transmission Control Protocol
IP	Internet Protocol
FTP	File Transfer Protocol
MCP	Machine Control Panel
MPI	Multi Point Interface
IRQ	Interrupt Request Line
OP	Operation Panel
MMC	Man Machine Control
SRAM	Static Random Access Memory
NCDDE	Numerical Control Dynamic Data Exchange
OEM	Original Equipment Manufacturer
VB6	Visual Basic 6
SCM	Sistema conector de máquinas

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. OBJETIVOS	12
1.1.1. Objetivo Geral	12
1.1.2. Objetivo Especifico.....	12
1.2. JUSTIFICATIVA.....	13
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1. REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS.....	18
2.1.1. Primeira Revolução Industrial	19
2.1.2. Segunda Revolução Industrial	19
2.1.3. Terceira Revolução Industrial.....	22
2.2. QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL – A INDÚSTRIA 4.0.....	24
2.2.1. Pilares para Implantação da Industria 4.0.....	25
2.2.2. Internet das Coisas	27
2.2.3. Big Data	28
2.2.4. Cloud Computing	30
2.3. MÁQUINAS CNC	32
2.3.1. História CNC	32
2.3.2. Primeiros Fabricantes	33
2.3.3. Estrutura de máquinas CNC	34
2.3.4. Funcionamento de uma Máquina CNC.....	35
2.3.5. Tipos máquinas CNC	36
2.4. INTERFACES DE COMUNICAÇÃO COM MÁQUINAS CNC.....	37
2.4.1. Modelo OSI	37
2.4.2. Interface Serial V2.4 ou RS 232.....	38
2.4.3. Comunicação Ethernet.....	40
2.4.4. Interfaces Dedicadas	43
3. DESENVOLVIMENTO	45
3.1. ARQUITETURA DO SCM	45
3.1.2. Detalhes do Funcionamento do SCM	48

3.2. ESTUDO DE CASO	50
3.2.1. Escolha do equipamento.....	52
3.2.2. Dados técnicos CNC Siemens	54
3.2.3. Desenvolvimento do conector.....	58
3.2.4. Desenvolvimento da interface padrão.....	59
3.2.5. Instalação e testes do conector.....	60
3.2.6. Instalação e testes da interface padrão	64
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	66
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69
5.1. TRABALHOS FUTUROS	70
REFERÊNCIAS	71
ANEXO I	74

1 INTRODUÇÃO

O setor industrial sempre foi essencial para o desenvolvimento econômico dos países. Desde 1750, com a 1ª revolução, a indústria tem passado por inúmeras transformações na forma como produz e comercializa seus produtos. Essas revoluções podem ser divididas em 4 fases conforme descrito a seguir:

A primeira revolução industrial se iniciou na Inglaterra no final do século XVIII, caracterizada pelo surgimento das máquinas a vapor e das locomotivas, consequência da descoberta do carvão como fonte de energia. Também se iniciou a substituição da mão de obra manual por meios de produção mecanizados.

A partir da década de 1870 inicia-se a segunda revolução industrial, que segundo Almeida (2005), foi caracterizada pela utilização da energia elétrica e do petróleo como fontes de energia. A utilização dos conceitos de Taylor da Administração Científica e criação das linhas de produção em massa, por Henry Ford, auxiliaram no desenvolvimento do trabalho estruturado e proporcionando ganhos de produtividade. (LIPIETZ, 1989)

A terceira revolução industrial, também conhecida como “Revolução Tecnológica”, viabilizou o desenvolvimento de atividades produtivas que utilizam tecnologia de ponta. Com a forte utilização da eletrônica e da tecnologia da informação foi possível automatizar processos, reduzindo os custos de produção e aumentando o desempenho da indústria.

Segundo SCHWAB (2016), a proposta da quarta revolução industrial é conectar máquinas, sistemas e pessoas aos processos produtivos, através da virtualização da manufatura. Porém, a quarta revolução industrial não se caracteriza apenas por máquinas e sistemas conectados. Ocorrem simultaneamente avanços tecnológicos em diversas áreas que estão se difundindo com muito mais rapidez do que nas revoluções anteriores (SCHWAB, 2016). Com a utilização de tecnologias habilitadoras como o *Big*

Data, computação em nuvem e inteligência artificial é possível o acesso e a análise de dados em tempo real.

Segundo a CNI (2017), para a estruturação de uma economia mais produtiva, inovadora e integrada ao mercado internacional, é preciso atuar no desenvolvimento de competências para construir o futuro, o que requer iniciativas como o aumento da capacidade de inovação das empresas e a inserção na Indústria 4.0. (WOLKE, 2018).

Para a realidade do setor industrial brasileiro há dificuldades em implementar os conceitos da indústria 4.0, devido à utilização de uma base industrial de máquinas CNC antigas, visto que grande parte desses equipamentos não está preparada para a conexão e extração de dados, característica fundamental para a digitalização dos processos produtivos.

Portanto, propõe-se o estudo e desenvolvimento de uma solução capaz de atender as demandas da indústria 4.0, reutilizando as máquinas CNC existentes na indústria. O sistema deve ser capaz de conectar, armazenar e disponibilizar os dados coletados desses equipamentos em um *Big Data*. Porém, devido à diversidade de protocolos de comunicação, utilizados por esses equipamentos, o desenvolvimento se dará de maneira conceitual. Por fim, propõe-se um estudo de caso a fim de implementar e testar o conceito criado e o real funcionamento do SCM.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolvimento de um sistema conector de maquinas CNC capaz de obter, armazenar e transmitir os dados coletados para o *Big Data*.

1.1.2 Objetivo específico

Para o alcance do objetivo geral, estratificam-se o seguinte conjunto de objetivos específicos:

- Levantamento da literatura;

- Definição da arquitetura do conector;
- Desenvolvimento do conceito do sistema conector de máquina;
- Desenvolvimento um estudo de caso, utilizando uma máquina CNC com comando Siemens a fim de coletar algumas variáveis e monitorá-las a fim de validar o sistema.

1.2 JUSTIFICATIVA

Uma das premissas da indústria 4.0 é a digitalização das informações relacionadas aos processos produtivos, a fim de auxiliar a tomada de decisões e otimizar processos, tornando possível a análise estatística desses dados através de simulação computacional utilizando dados coletados em tempo real. (SANTOS, 2017)

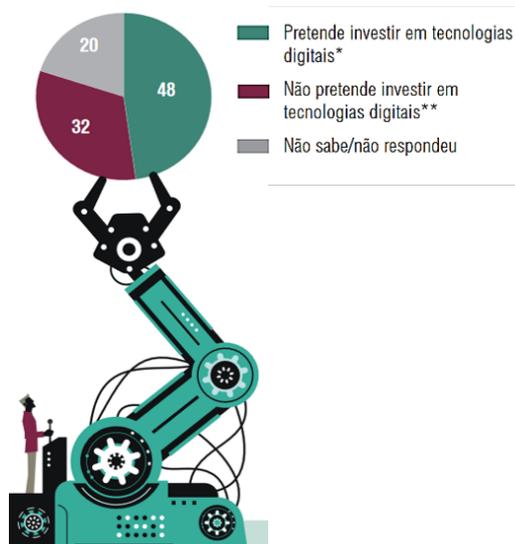
Segundo Merker (2018), de acordo com a CNI, o Brasil tem cerca de 700 mil indústrias, somando mais de 5 milhões de equipamentos, sendo que 95% não são conectados à internet. Outro fator relevante, é que a idade média desses equipamentos é de 17 anos de uso no Brasil, enquanto em países desenvolvidos como a Alemanha e Estados Unidos é de cinco e sete anos, respectivamente. (ABRAMAN, 2013)

As desvantagens destas máquinas não estarem conectadas são inúmeras para as indústrias, dentre elas destaca-se:

- Perda de competitividade com mercado internacional;
- Baixa da produtividade;
- Redução da disponibilidade dos equipamentos;
- Alto volume de desperdícios;

A Figura 1 ilustra os resultados da pesquisa realizada pela CNI, onde podemos observar que aproximadamente 48% das empresas possuem previsão de investimento, ainda para o ano de 2018, em tecnologias digitais a fim de implantar a indústria 4.0.

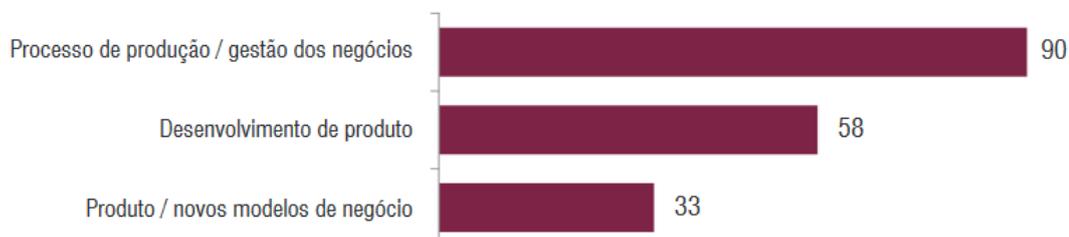
Figura 1 – Previsão de Investimentos em tecnologias Digitais para 2018



Fonte: (CNI, 2018)

Na transição para a Indústria 4.0, as indústrias brasileiras priorizam tecnologias para aumentar a eficiência do processo de produção e melhorar a gestão dos negócios. Entre as grandes empresas que utilizam tecnologias digitais, a grande maioria (90%) usa pelo menos uma tecnologia voltada para o processo de produção e/ou a gestão dos negócios, como se pode observar na Figura 2 (CNI, 2018, p. 14).

Figura 2 – Foco do uso de Tecnologias Digitais (%)



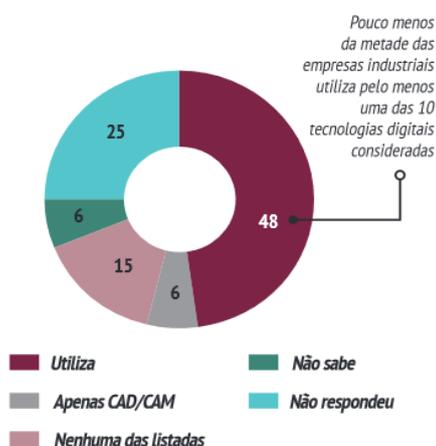
Fonte: (CNI, 2018)

Segundo McKinsey (2015) estima-se que até 2025 os processos relacionados à indústria 4.0 poderão:

- Reduzir de 10% a 40% nos custos de manutenção de equipamentos;
- Reduzir entre 10% e 20% do consumo energético;
- Aumentar de 10% a 25% da eficiência do trabalho.

Ainda segundo a CNI (2016), o uso de tecnologias digitais na indústria brasileira é pouco difundido. Do total das indústrias, 58% conhecem a importância dessas tecnologias para a competitividade da indústria e menos da metade as utiliza como pode ser observado na Figura 3.

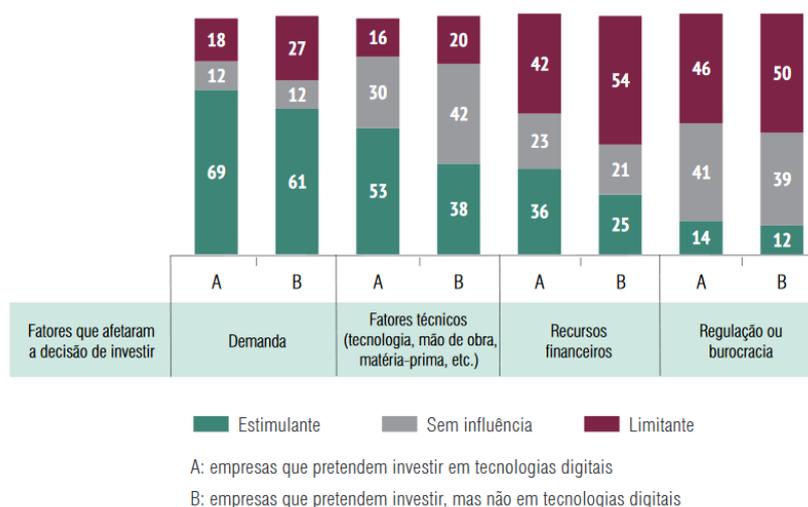
Figura 3 – Utilização tecnologias digitais



Fonte: (CNI, 2016)

Segundo Alvares (2017), algumas máquinas CNC já possuem placas para comunicação que permitem aos aparelhos conversarem entre si. Necessita-se então, desenvolver um protocolo que facilite a conexão e extração de dados destes equipamentos. Como se observa na Figura 4, o fator que mais afeta a decisão da migração para a indústria 4.0 é o financeiro, enquanto a demanda é o mais estimulante.

Figura 4 – Fatores que influenciam migração para indústria 4.0



Fonte: (CNI, 2018)

Portanto, o trabalho em questão visa atender uma necessidade do setor industrial brasileiro, adaptando a indústria 4.0 à realidade das empresas, com o objetivo de conectar toda cadeia produtiva a fim de reduzir desperdícios, aperfeiçoar processos e auxiliar a tomada de decisões, sem investimentos estratosféricos em um prazo curto de tempo.

1.3 ESTRUTURAS DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em seis capítulos:

1. O primeiro capítulo faz uma introdução ao tema abordado, expondo o problema, os objetivos a serem atingidos e a justificativa.
2. A Fundamentação Teórica dá a base da teoria envolvida na sequência do trabalho. Explica-se sobre as revoluções industriais, a Indústria 4.0, principais características das máquinas CNC, protocolos de comunicação mais utilizados.
3. O capítulo Desenvolvimento explana a respeito da arquitetura do conector. São apresentadas suas principais características e funcionalidades, juntamente com o diagrama de blocos a respeito do seu funcionamento.

Também é apresentado um estudo de caso a fim de testar e validar o conceito criado para o SCM.

4. No capítulo Resultados e Discussões, são mostrados os resultados adquiridos através da metodologia proposta no capítulo 3;
5. Finalmente, o capítulo Conclusões e Trabalhos Futuros sintetizam os resultados obtidos de forma a responder se o objetivo principal proposto pelo trabalho foi alcançado. Neste capítulo, também se propõe possíveis desenvolvimentos futuros a cerca do tema.

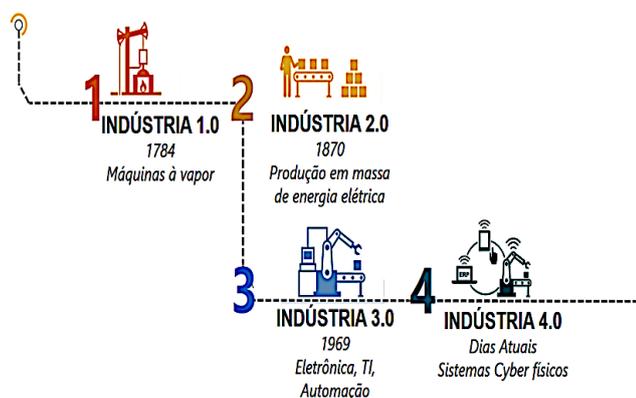
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, serão apresentadas as teorias envolvidas no desenvolvimento de do sistema conector de máquinas produtivas e as necessárias para a realização do estudo de caso.

2.1 REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS

As revoluções industriais não se caracterizaram apenas pelas invenções ou descobertas de novas fontes de energias, materiais ou métodos de produção, mas, sem dúvida, esses foram fatores fundamentais no desenvolvimento da economia nos últimos dois séculos e meio (DATHEIN, 2003). O crescimento da substituição da mão de obra humana e animal por outras fontes inanimadas que tinham eficiência multiplicada, o desenvolvimento de novos métodos de elaboração e obtenção de matérias primas, criação de novos métodos de produção e a descoberta de novas fontes de energia são fatores comuns a todas as revoluções.

Figura 5 – Resumo das principais características das Revoluções Industriais



Fonte: (DATHEIN, 2003)

2.1.1 Primeira revolução industrial

O setor industrial sempre teve papel importante para o desenvolvimento econômico dos países. Desde o fim do séc. XVIII, a indústria tem passado por transformações que revolucionaram a maneira como os produtos são produzidos e trouxeram vários benefícios, como por exemplo, o aumento da produtividade (SANTOS, ALBERTO, *et al.*, 2018).

A primeira revolução industrial (1780 – 1830) caracterizou-se, principalmente, pelo uso de novas fontes de energia, pela utilização de máquinas movidas a vapor e pela divisão e especialização do trabalho (DECICINO, 2012). Ela também foi responsável pelas mudanças econômicas e sociais da época, com a evolução dos processos produtivos e uma nova concepção entre o trabalho humano e as máquinas (MANTOUX, 1928).

Segundo Cipolla (1974), a descoberta da máquina a vapor gerou um grande impacto na forma de produzir e se locomover utilizadas na época, com a substituição dos métodos artesanais de produção e a criação da locomotiva a vapor. A indústria têxtil foi uma das pioneiras na aplicação do maquinismo na década de 70, a fim de aperfeiçoar os teares de tecer e obter maior rapidez em seus processos (DATHEIN, 2003).

A indústria do ferro cresceu, exponencialmente, com o surgimento da máquina a vapor e das estradas de ferro, o que fez sua produção passar de 68 mil toneladas, em 1788, para 250 mil, em 1804 (MANTOUX, 1928, p. 306). Segundo Conceição (2012, p. 95), “a indústria do ferro cresceu a partir das inovações que permitiram melhorar a qualidade com redução do custo de produção, levando assim, a um novo impulso da indústria metalúrgica no século XVIII”.

2.1.2 Segunda revolução industrial

A partir da última metade do século XIX, pode-se considerar como o início da segunda revolução industrial que, diferentemente da primeira, baseia-se na eletricidade,

no aço. O aço desenvolveu-se no século XIX, e assumiu papel fundamental na indústria, devido à melhoria no seu processo de fabricação, que possibilitou uma redução de cerca de 80 a 90% do seu preço entre os anos 1860 e 1895 (LANDES, 1969a). Esse fato ocasionou uma intensa substituição do ferro pelo aço nas ferrovias, construções navais e fabricação de armas. Moraes e Fadel (2008, p. 2) destacam o surgimento de “[...] uma radical modificação na divisão do trabalho, o que coincidiu, justamente, com a descoberta de novos materiais, como o aço e o petróleo, a energia elétrica, o motor à combustão, o telégrafo, o telefone, entre outros”.

As descobertas no âmbito da eletricidade atravessaram o século XIX, tais como: a bateria química de volta em 1800, o eletromagnetismo em 1820 e o desenvolvimento do dínamo em 1832, que permitia converter energia mecânica em elétrica (LANDES, 1969a). Mais tarde os dinâmicos seriam acoplados as máquinas a vapor, rodas hidráulicas ou turbinas tornando possível o uso da eletricidade, como energia para a indústria, a iluminação e o transporte (CIPOLLA, 1974). Uma das primeiras utilizações da energia elétrica foi nas telecomunicações, sendo aplicada no telégrafo eletromagnético, no telefone e, futuramente, no telégrafo sem fio revolucionou a maneira de se comunicar em longas distâncias, o que permitia as gestões industriais mais afastadas de suas matrizes (DATHEIN, 2003).

Descobriu-se também uma nova e revolucionária fonte de energia: o petróleo. Com o desenvolvimento das formas para o refino e extração, surgiram diversas aplicações para o petróleo e seus derivados como o motor a combustão e a gás em 1860 e o motor 4 tempos desenvolvido por N. Otto em 1876 (CIPOLLA, 1974, p. 55). Mesmo com a grande chance dos motores elétricos e a combustão substituírem os motores a vapor, o fato de o carvão continuar com baixo preço, fez com que esse mantivesse sua hegemonia por muito tempo. A fim de comparação, em 1860 cerca de 98% da energia produzida provinha do carvão, em 1900 era um total de 92%, em 1950 já era aproximadamente 57% e somente na década de 1960 é que a energia do petróleo superou a proveniente do carvão (CIPOLLA, 1974, p. 54). Estas novas fontes de energia, materiais e processos, juntamente com as mudanças no processo de trabalho e produção, moldaram a civilização e a indústria do século XIX.

Taylorismo

Nas últimas décadas do século XIX, Frederick Winslow Taylor, desenvolveu a ideia de gerência científica dos métodos e organização do trabalho, cuja proposta era de aplicar os métodos científicos aos problemas complexos a respeito do controle do trabalho nas empresas capitalistas em expansão (RIBEIRO, 2015). Para Taylor, quem deve garantir eficiência dos processos era a gerência e assim criavam-se os métodos padronizados de execução, que deveriam otimizar a relação entre tempo e movimento, onde o trabalhador apenas executava sua tarefa sem interferir nas metodologias de otimização dos processos.

Sempre existiram métodos experimentais aplicados ao trabalho, inclusive, os próprios trabalhadores nas oficinas buscavam, através da experimentação, a melhor maneira de realizar o seu trabalho, o elemento inovador é que o estudo do trabalho, na perspectiva de Taylor, deveria ser feito por aqueles que administram e em favor deles. (BRAVERMAN, 1987)

Ao separar, em diferentes esferas, a execução e concepção do trabalho, o modelo de Taylor assegura o controle do processo de trabalho pela gerência e, conseqüentemente, reduz o custo com mão de obra que poderia ser menos qualificada.

Fordismo

Segundo Ribeiro (2015), com objetivos parecidos e a fim de complementar o Taylorismo, Henry Ford cria o modelo chamado de Fordismo, cuja grande novidade é a implementação de esteiras rolantes que automatizam o transporte dos produtos aos trabalhadores. Devido a essa grande descoberta aumentos dramáticos de produtividade são percebidos o que não significou apenas a criação de um novo modelo de organização do trabalho, mas sim de um novo modo de vida.

Com a implementação da esteira rolante, Henry Ford conseguiu impor um ritmo de trabalho de forma automatizada e intensa, condição tão sonhada por Taylor, anteriormente. A rotatividade dos trabalhadores da indústria, nessa época, começou então a aumentar, existindo também certa resistência por não aceitarem a forma de controle e gerência do trabalho (RIBEIRO, 2015).

A indústria Ford exige uma discriminação, uma qualificação, para os seus operários que as outras indústrias ainda não (GRAMSCI, 1976) exigem; um tipo

de qualificação diferente, nova, uma forma de consumo de força de trabalho e uma quantidade de força consumida no mesmo tempo médio mais onerosa e extenuante do que as outras empresas, força que o salário não consegue reconstituir em todos os casos, nas condições determinadas pela sociedade. (GRAMSCI, 1976, p. 406)

Foi então que Ford precisou implementar medidas, a fim de conquistar a adesão da classe trabalhadora, sendo uma delas o aumento salarial. Conclui-se que o Fordismo se configurou como um novo padrão de produção que demorou quase meio século para se expandir e teve consequências marcantes para o sistema capitalista de produção, criando, além de um padrão de organização do trabalho, um estilo de vida (RIBEIRO, 2015).

2.1.3 Terceira revolução industrial

Conforme Pena (2017), a terceira revolução industrial, também chamada de revolução Tecno-Científica, foi marcada pelos avanços da informática, robótica, telecomunicações e também dos novos meios de transportes que foram surgindo no decorrer dos anos. Neste período houve a substituição do trabalho humano pelo do computador e a difusão do autosserviço, compreendido pela crescente transferência de uma série de operações das mãos de colaboradores que atendem ao público para o próprio usuário. (SINGER, 1996)

Castells (1999, p. 69) afirma que:

A tecnologia da informação é para esta revolução o que as novas fontes de energia foram para as revoluções industriais sucessivas do motor a vapor à eletricidade, aos combustíveis fósseis e até mesmo à energia nuclear, visto que a geração e distribuição de energia foi o elemento principal na base da sociedade industrial.

Caracteriza-se também, nessa época, uma profunda mudança nos modelos de produção, adotados pelas grandes potências industriais. Em contrapartida aos modelos clássicos de produção, os novos métodos de produção, como o Toyotismo, por exemplo, inovaram ao propor modelos em que a produção é flexibilizada de acordo com a demanda e com alto grau tecnológico. (RIBEIRO, 2015)

Toyotismo

Em contrapartida da crise dos EUA, que ameaçava sua hegemonia no mercado econômico, o Japão começava a despontar com um crescimento fabuloso, sustentado por altos índices de produtividade do trabalho. (DRUCK, 1999) Após o Japão ter saído, destruído, da segunda guerra mundial, houve por parte do governo, um apelo ao trabalho para a reconstrução do país e reerguer a economia. Esse quadro cultural contribuiu para o surgimento de um novo modelo de produção denominado Toyotismo, nascido na Toyota e que, rapidamente, se espalhou para as grandes companhias do Japão. (RIBEIRO, 2015)

Segundo Druck (1999), dentre as características mais importantes do Toyotismo estão:

- O sistema de emprego adotado pelas grandes empresas constituído pelo chamado emprego vitalício;
- A promoção por tempo de serviço;
- A admissão do trabalhador para um cargo determinado, que correspondia a um salário.
- Sistema de organização e gestão do trabalho proposto pelo Just-in-time - produzir no tempo certo e na quantidade exata;
- Kanban – controle de atividades através do planejamento de peças, mão de obra e equipamentos;
- Qualidade total – Envolvimento dos trabalhadores para a melhoria da produção.
- O sistema de representação sindical e o sistema de relação Inter empresas, no qual ocorrem subcontratações de pequenas e microempresas extremamente precárias e insustentáveis;

No Toyotismo o controle sobre o tempo evidencia-se através da aplicação das ferramentas como Just-in-time que, visando otimizar os tempos de produção, defendia a produção no tempo certo e na quantidade correta. Independente do modelo de

produção estudado percebe-se que todos incorporam traços dos seus sucessores, sendo complementares entre si. (RIBEIRO, 2015)

2.2 QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL – A INDÚSTRIA 4.0

Mesmo após 3 revoluções industriais, que impactaram a indústria na forma de produzir e comercializar seus produtos, o desenvolvimento da tecnologia não parou de avançar. Percebe-se o aumento na maneira com que as pessoas estão conectadas em todas as suas atividades diárias. E na indústria, esse conceito de conectividade vem sendo cada dia mais explorado como cita Schwab:

A quarta revolução industrial, no entanto, não é apenas sobre máquinas e sistemas inteligentes e conectados. Seu escopo é muito mais amplo. Ocorrem simultaneamente ondas de avanços adicionais em áreas que vão desde o sequenciamento genético à nanotecnologia, de energias renováveis à computação quântica. É a fusão dessas tecnologias e sua interação entre os domínios físico, digital e biológico que tornam a quarta revolução industrial fundamentalmente diferente das revoluções anteriores (SCHWAB, 2016, p. 12).

O termo indústria 4.0 teve origem na feira de Hannover no ano de 2011, cujo objetivo era promover a informatização da manufatura, a fim de aumentar a competitividade da indústria, através de tecnologias digitais e também proporcionar a todo ecossistema produtivo mais rapidez, autonomia e agilidade. (SCHWAB, 2016). Utilizando tecnologias como inteligência artificial (AI), internet das coisas (IoT) e *cloud computing*, a indústria 4.0 tem como objetivo a conexão de diversas áreas da cadeia produtiva por meio de dados em tempo real que ajudem na tomada de decisões e na agilidade dos processos.

Os processos serão conectados desde a produção até a logística juntamente com os departamentos de marketing e vendas, onde máquinas, ferramentas, peças e seres humanos trocarão informações através de meio cyber-físicos. “Na “cadeia de valor” existem atividades que trabalham juntas para fornecer valor aos clientes, constituindo um sistema integrado de fornecedores e distribuidores” (PORTER, 1989).

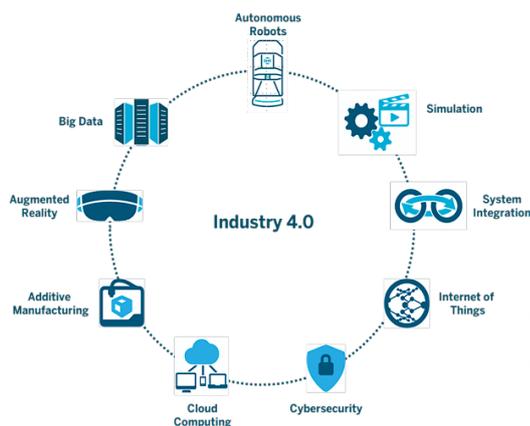
Segundo Hermann *et al.* (2015), existem 06 princípios de desenvolvimento da Indústria 4.0, sendo eles:

- I. Interoperabilidade – Capacidade de um sistema se comunicar de forma transparente com outro sistema, semelhante ou não;
- II. Virtualização – Capacidade de um sistema monitorar processos físicos de forma virtual;
- III. Descentralização – Capacidade de um sistema de tomar decisões próprias, através de computadores embarcados conversando com o sistema CPS;
- IV. Operação ou Trabalho em Tempo Real – Rastreamento e análise contínua da operação, reagindo rapidamente contra algum desvio;
- V. Orientação a Serviços – Disponibilidade dos serviços da empresa também para outros participantes do processo, interna e externamente, através da IoS (Internet, Tecnologia de produção, Personalização etc.);
- VI. Sistema Modular – Flexibilidade em se adaptar às mudanças de requisitos, substituindo ou expandindo módulos individuais, facilmente adaptados em casos de flutuações sazonais ou mudança de características do produto, baseados em interfaces padronizadas de software e hardware.

2.2.1 Pilares para Implantação da Indústria 4.0

Com toda essa integração de ecossistemas produtivos, o planejamento e controle da produção passarão a acontecer em tempo real, com ajustes muito mais rápidos e precisos, possibilitando, inclusive, a otimização de processos através da análise dos dados gerados. As próprias máquinas poderão tomar decisões, como aumento ou diminuição da produção, de acordo com a matéria-prima disponível ou o número de vendas já realizadas. Dessa forma, é possível otimizar a mão de obra, reduzir o estoque e também consumir menos energia elétrica.

Figura 6 – Os nove Pilares da Indústria 4.0



Fonte: (SANTOS, 2017)

Segundo Santos (2017), existem 9 pilares da Indústria 4.0, sendo eles:

- I. Robôs Autônomos
- II. Manufatura Aditiva
- III. Internet das Coisas (IOT)
- IV. Cyber Segurança
- V. Simulação
- VI. Big Data Analytics
- VII. Sistemas Integrados
- VIII. Computação na Nuvem
- IX. Realidade aumentada

Enquanto nas revoluções anteriores, os protagonistas foram as novas formas de energia, como carvão e petróleo, na quarta revolução industrial o grande destaque é a extração de dados, que quando correlacionados, geram informações e auxiliam no rápido poder de resposta nos processos. (ALMEIDA, 2005)

Três elementos ganham destaque nesse processo de implementação da indústria 4.0, que são a *Big Data*, *Cloud Computing* e Internet das Coisas. Para que dois objetos troquem informações entre si podem ser utilizadas aplicações e dispositivos baseados em computação na nuvem, que permitem a virtualização dos dados e disponibilidade em tempo real.

2.2.2 Internet das coisas

A internet das coisas (em inglês, IoT – *Internet of Things*) nada mais é que a conexão, por meio de dispositivos eletrônicos embarcados, entre rede de objetos físicos, ambientes, veículos e máquinas permitindo a coleta e troca de informações. Na Figura 7 podem-se visualizar os benefícios dessa interatividade.

Figura 7 - Benefícios da utilização da Internet das Coisas (IoT)



Fonte: Autor, 2018 (Adaptada).

Segundo Santaella *et al*, (2013) a IOT está fundamenta nas seguintes tecnologias preexistentes:

- A máquina de Turing (modelo abstrato do computador);
- Arquitetura de Von Neumann (base para os computadores modernos)
- Internet (a rede mundial de computadores).

Essas redes têm a característica de conectar não apenas humanos a humanos, mas também humanos a objetos e objetos a objetos. A Internet das Coisas corresponde à fase atual da internet em que os objetos se relacionam com objetos humanos. Nesse sentido, os objetos tendem a assumir o controle de uma série de ações do dia a dia, sem necessidade de que as pessoas estejam atentas e no comando (SANTAELLA *et al*, 2013).

Aplicada à indústria 4.0, a IoT representa inúmeras tecnologias que anteriormente não estavam conectadas e que agora estão interligadas por meio de uma rede baseada em IP (*Internet Protocol*).

O termo surgiu em um grupo de pesquisas denominado *Auto-ID Labs*, do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) em 2003, os pesquisadores estavam desenvolvendo um método para que equipamentos pudessem se auto identificar dentro de uma rede de Rádio Frequência (RFID), com o objetivo de automatizar, reduzir erro e aumentar a eficiência de processos industriais (SUNDMAEKER *et al*, 2010).

2.2.3 Big Data

O papel da Big Data é a Análise e gestão de grandes quantidades de dados o que está permitindo maior performance de otimização de processos industriais, melhorando o consumo de energia e qualidade de produção nas fábricas que estão sabendo como fazer este paradigma tecnológico. É possível, portanto, identificar falhas nos processos, tornando mais eficiente a utilização de todos os recursos.

Não existe um conceito consensual quando se trata do conceito atual de Big Data, pois cada organização considera esse fenômeno por perspectivas diferentes. (CANARY, 2013). A tabela abaixo mostra alguns conceitos importantes a respeito do Big Data:

Tabela 1 – Conceitos de Big Data.

MANYKA, J; et. al. (2011) (McKinsey Global Institute)	“Big Data refere-se a conjuntos de dados cujo tamanho é além da capacidade de ferramentas de software de banco de dados típicos para capturar, armazenar, gerenciar e analisar.”
MCAFEE, A; et. al. (2012) (Harvard Business Review)	“Big Data como uma forma essencial para melhorar a eficiência e a eficácia das organizações de vendas e marketing. Ao colocar Big Data no coração de vendas e marketing, os insights podem ser aproveitados para melhorar a tomada de decisão e inovar no modelo de vendas da empresa, o que pode envolver a utilização de dados para orientar ações em tempo real.”
DEMIRKAN, et. al. (2012) (Decision Support Systems)	“Há o desafio de gerenciar grandes quantidades de dados (Big Data), que está ficando cada vez maior por causa do armazenamento mais barato e evolução dos dados digitais e dispositivos de coleta de informações, como telefones celulares, laptops, e sensores.”
PHELAN, Mike (2012) (Forbes)	“O fenômeno surgiu nos últimos anos devido à enorme quantidade de dados da máquina que está sendo gerado hoje - [...] - juntamente com as informações adicionais obtidas por análise de todas essas informações, que por si só cria outro conjunto de dados enorme.”
Gartner Group (2012)	“Big Data, em geral, é definido como ativos de alto volume, velocidade e variedade de informação que exigem custo-benefício, de formas inovadoras de processamento de informações para maior visibilidade e tomada de decisão.”
International Data Corporation	“as tecnologias de Big Data descrevem uma nova geração de tecnologias e arquiteturas projetadas para extrair economicamente o valor de volumes muito grandes e de uma grande variedade de dados, permitindo alta velocidade de captura, descoberta, e/ou análise.”

Fonte: (CANARY, 2013)

Como se pode perceber, os conceitos a respeito de Big Data não são iguais, porém todos envolvem de alguma maneira a questão da quantidade de dados. (CANARY, 2013). O *Big Data*, de maneira simplificada, é um conceito que descreve um grande volume de dados estruturados e não estruturados, que são gerados por diversas fontes a todo instante (NASCIMENTO, 2017).

De acordo com Jaime (2014), para caracterizado realmente como Big Data os dados precisam necessariamente possuir cinco características conforme descrito a seguir:

1. **Volume:** É necessária a existência de um grande volume de dados concentrados;

2. **Variedade:** O volume de dados precisa ter uma variedade considerável, ou seja, devem indicar características diversas de um mesmo sistema;
3. **Velocidade:** A velocidade com que os dados são trocados aumenta exponencialmente. É preciso saber lidar com esse fator para que algumas operações de análise não sejam afetadas.
4. **Veracidade:** Não se deve trabalhar com uma base de dados não confiáveis, pois ao analisar esse tipo de dado, informações falsas podem ser obtidas.
5. **Valor:** O dado gerado deve agregar valor ao ambiente onde será utilizado.

Portanto o que existe por traz do conceito de Big Data é a necessidade de gerar valor aos negócios onde é utilizado. A possibilidade de cruzar dados e gerar informações, de maneira rápida e eficiente, são fundamentais para atender as necessidades do mercado nos dias de hoje. Conforme cita Nascimento:

O diferencial do *Big Data* está justamente atrelado à possibilidade e oportunidade em cruzar esses dados por meio de diversas fontes para obtermos *insights* rápidos e preciosos. A exigência dos consumidores e o aumento da competitividade em todos os mercados nos forçam a inovar e ter esse caminho como premissa básica nos negócios (NASCIMENTO, 2017).

2.2.4 Cloud Computing

A principal vantagem deste elemento é facilidade de acessar todas as informações de um banco de dados de qualquer lugar do mundo, fornecendo, portanto, uma grande redução de custo, tempo e eficiência, principalmente, para as indústrias. Desta maneira, pode-se acelerar o desenvolvimento e inovação do produto além de melhorar a agilidade e capacidade de resposta.

O aumento da confiabilidade e velocidade das conexões via internet nos anos 90, possibilitou a algumas empresas acessar suas aplicações de negócios gerenciadas por empresas terceiras, de maneira remota (GIRALDO, 2018). O conceito de *cloud computing* (computação em nuvem), segundo o mesmo autor, pode ser definido como a tecnologia que permite a utilização remota dos recursos de computação através da internet.

Através do *cloud computing* é possível acessar remotamente, de qualquer lugar, *softwares*, arquivos, processamento de dados, sem a necessidade de utilizar a conexão com outro computador ou servidor de dados.

Segundo Harris (2017) para concretizar esse ideal, a computação na nuvem compreende os seguintes recursos:

- Serviço *Self-Service* - O consumidor pode solicitar ou dispensar capacidades de computação, tais como o tempo do servidor, a capacidade de armazenamento, ou outros, conforme necessário e de forma automática.
- Acesso à rede em banda larga – Todas as funcionalidades são acessíveis por meio de mecanismos *standard*, estando disponíveis através da rede que promovem o uso de plataformas-cliente heterogêneas.
- Pool de recursos - Os recursos de computação de cada fornecedor são concebidos para servir vários clientes com diferentes recursos físicos e virtuais, distribuídos e alocados dinamicamente. Existe uma sensação de independência devido ao fato de que o cliente não tem nenhum controle sobre a localização exata dos recursos. Exemplos de recursos incluem o armazenamento, processamento, memória, largura de banda de rede, máquinas virtuais, entre outros.
- Elasticidade – Os recursos podem ser rapidamente alocados e, em alguns casos, de forma automática, para aumentar as capacidades disponíveis ou para descartá-las quando já não são forem necessárias. Para o cliente, os recursos de alocação têm inúmeras possibilidades, podendo ser adquiridos em qualquer quantidade e a qualquer momento.
- Mensurável – Os sistemas em *cloud* devem controlar e otimizar a utilização dos recursos de forma automática, efetuando a medição da utilização, de forma adequada ao tipo de serviço. O uso dos recursos deve ser monitorizado e controlado de forma transparente, tanto para o fornecedor, como para o consumidor do serviço utilizado.

A partir dos conceitos explanados percebe-se que a computação em nuvem já é realidade nos dias atuais através das mídias, redes sociais e todos os recursos digitais

presente em nosso dia a dia. A tendência natural é o crescimento na utilização dessa tecnologia uma vez que toda sociedade esta cada vez mais conectada.

2.3 MÁQUINAS CNC

2.3.1 História CNC

Outro grande fato que auxiliou o desenvolvimento da indústria e seus processos produtivos foi a descoberta do CNC, pois durante muitos anos as máquinas produtivas utilizadas eram manuais. O controle numérico (CN), como era conhecido inicialmente, é o controle dos movimentos de uma máquina por meio de interpretação direta de instruções na forma de números e letras. Segundo Marcicano (2005), o primeiro protótipo de uma maquina CN, construído em 1952 no MIT, era uma fresadora vertical utilizada no fresamento frontal de alumínio. Nesse primeiro experimento, os dados para controle dos eixos foram fornecidos através de fitas perfuradas, que continham as instruções que auxiliaram na fabricação destas peças de forma repetitiva e sem intervenção do operador.

O CNC é a evolução do CN, pois o controle via hardware foi substituído por um software muito mais rápido e preciso, com opções de interpolação e diversas outras funcionalidades adicionais (FILHO, 2009). Os programas das máquinas CNC podem ser preparados e simulados em ambientes externos, sendo possível verificar eventuais problemas que podem ocorrer durante o processo real de usinagem e otimizar os programas para serem executados no menor tempo possível.

Marcicano (2005) cita que, quando comparada às maneiras convencionais de usinagem, as máquinas CNC apresentam as seguintes vantagens:

1. Flexibilidade de operação com boa precisão e repetitividade;
2. Em alguns casos o custo de ferramenta é diminuído;
3. Calibração facilitada por dispositivos eletrônicos;
4. Tempo de “setup” menor;
5. Os programas podem ser preparados rapidamente;

6. Não há dependência de habilidades do operador;

As máquinas CNC são amplamente utilizadas na indústria e tem papel importante no desenvolvimento e produção de produtos na indústria da transformação, facilitando o dia a dia e trazendo mais rapidez aos processos.

2.3.2 Primeiros fabricantes

A Fanuc, desde sua criação em 1956 pelo Dr. Seiueemon Inaba, descobriu o conceito de controle numérico (NC), e a partir daí, tem liderado a revolução mundial ao nível de fábrica. E o início deste desenvolvimento se deu quando Dr. Inaba inventou o primeiro motor de impulso elétrico, programou um controle numérico para o mesmo e colocou numa máquina ferramenta (FANUC, 2015). Procurando, constantemente, ultrapassar os limites da automação, aumentar a produtividade e reduzir os custos, o seguinte passo do Dr. Inaba foi a criação de um robô que empregava os mesmos princípios, para carregar uma máquina-ferramenta. Sessenta anos após a fundação e com mais de 4 milhões de controles CNC e 550 mil robôs instalados em todo o mundo, a FANUC é o fabricante de automação industrial líder no mercado global. (FANUC, 2015).

Assim como a sua concorrente Japonesa, a Siemens, lança nos anos 60 seu primeiro modelo analógico de NC industrial denominado Sinumerik. Alguns anos após, em 1973, foi lançado o Sinumerik 500C que, pela primeira vez, é baseado em um computador com microprocessador, que foi um importante passo em direção ao CNC. (BERND, 2010)

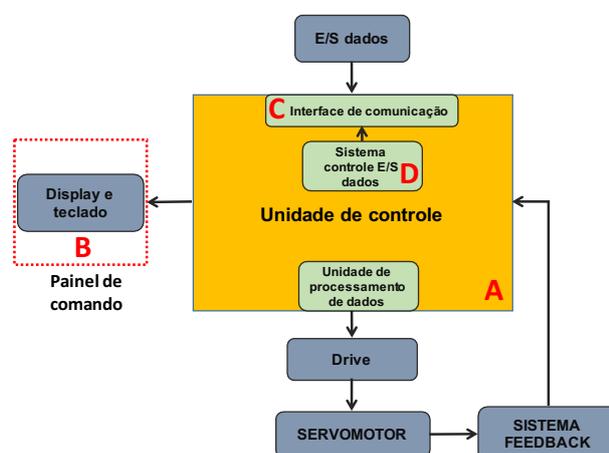
EM 1981 o novo Sinumerik System 3 foi lançado como o mais novo CNC Siemens com tecnologia multicanal, que permitia controle de diversos eixos, separadamente, e também com CLP integrado. Logo nos anos seguintes, por volta de 1984, também seria lançada a família 800 de CNC Siemens, que foi a primeira a possuir IHM gráfica para controle, programação e visualização das principais operações da máquina. (BERND, 2010)

Ainda segundo BERND (2010), em 1994 a Siemens divulga o lançamento do seu primeiro comando digital, denominado Sinumerik 840D, para aplicações de alto desempenho. Desenvolvido em uma base com Windows 95, o novo sistema 840D, traz toda a versatilidade que um comando CNC deveria possuir com opções de integração com diversos outros hardwares disponíveis em mercado. A partir deste comando, foram desenvolvidos todos os outros que vieram na sequência, assim como o Sinumerik 840D SL e o Sinumerik 828D que se diferenciam pelo número de eixos opcionais, rapidez de processamento de instruções e atualizações de hardware.

2.3.3 Estrutura de máquinas CNC

A grande maioria das máquinas CNC possui o mesmo conceito quanto ao seu funcionamento e construção. Sabe-se, que por motivos de concorrência, os fabricantes desenvolvem tecnologias dedicadas a fim de dificultar a integração com outros fabricantes. Elas são compostas por um painel de comando principal, uma unidade central de controle, drives e servomotores conforme Figura 8:

Figura 8- Diagrama de blocos máquina CNC genérica



Fonte: Adaptado de (MISHRA, 2017).

A unidade de controle (A) é responsável pelo movimento dos eixos, execução dos programas de peça, controle de entrada e saída de dados. Devido a essa característica, normalmente, essa unidade é composta por um computador com sistema

operacional embarcado, no qual se concentram inúmeras informações, referentes ao funcionamento da máquina, tais como arquivos de configuração, variáveis de processo, variáveis de manutenção e dados relativos ao funcionamento da máquina. (MISHRA, 2017)

O painel de comando (B) é constituído por itens que possibilitam o controle do equipamento, tais como display e teclados. Também é possível a visualização e modificações dos programas de peças, ajuste de parâmetros e diagnóstico de falhas da máquina. (MISHRA, 2017)

Outra característica encontrada nas máquinas CNC é a presença de interfaces de comunicação externas (C), servindo para entrada e a saída de dados, e que podem possuir protocolos de comunicação distintos, dependendo do fabricante.

Segundo Filho (2009), dentro da unidade de controle existe também um sistema de gerenciamento para entrada e saída de dados (D). Ela tem como objetivo controlar as conexões de equipamentos externos com os dados utilizados pelas aplicações do CNC, a fim de evitar acesso indevido a variáveis, e controlar o fluxo de dados a fim de evitar problemas de desempenho.

2.3.4 Funcionamento de uma máquina CNC

O funcionamento de uma máquina CNC divide-se, basicamente, em ler e interpretar as instruções presentes nos programas de usinagem e movimentar os eixos de acordo com os comandos programados pelo operador.

Segundo Filho (2009):

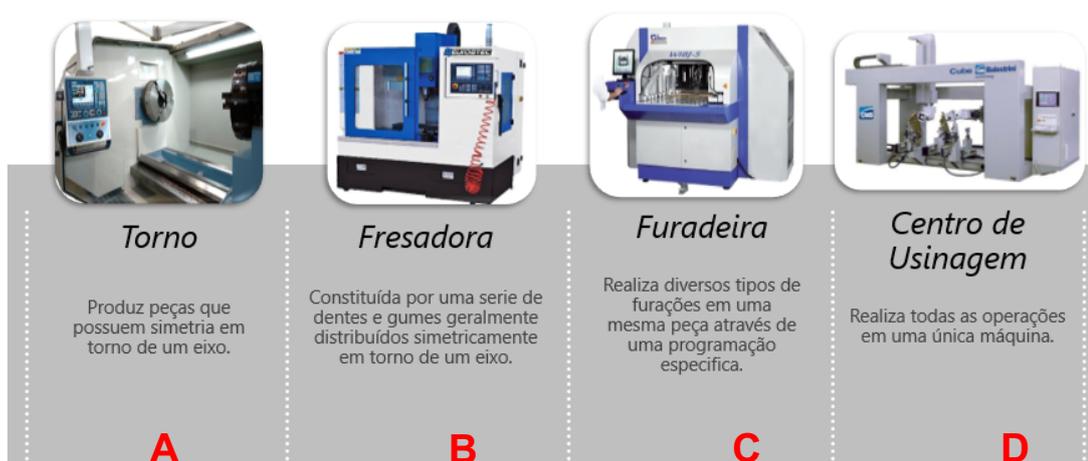
A função mais básica de qualquer máquina CNC é o controle de movimento automático, preciso e consistente. Todos os equipamentos CNC que tenha duas ou mais direções de movimento, são chamados eixos. Estes eixos podem ser precisos e automaticamente posicionados ao longo dos seus movimentos de translação. Os dois eixos mais comuns são lineares e rotativos. Em vez de serem movimentadas virando manivelas manualmente como é feito em máquinas ferramentas convencionais, as máquinas CNCs têm seus eixos movimentados sob controle de servo motores.

A partir da leitura da linha de comando presente no programa de peças, o CNC recebe a posição desejada para posicionamento dos eixos. O servomotor é acionado de acordo com a quantidade correspondente de giros, para alcançar tal posição com uma velocidade adequada. Um dispositivo de realimentação, fixado na parte mecânica do eixo, confirma se realmente o cálculo do CNC estava correto e o eixo está posicionado no local desejado. (MARCICANO, 2005)

2.3.5 Tipos de máquinas CNC

As máquinas CNC podem ser divididas em diferentes modelos, dependendo das suas características. A Figura 9 apresenta os diferentes tipos de máquinas CNC e suas principais funcionalidades.

Figura 9 – Modelos de máquinas CNC



Fonte: Próprio autor, 2018.

Segundo Azevedo (2008), os tornos CNC (A) são ideais para produzirem peças que possuem simetria em torno de um eixo, devido a sua geometria. Normalmente, os tornos são controlados em no mínimo 2 eixos X e Z, sendo que, geralmente, a ferramenta de corte é fixa e a peça gira em torno do seu próprio eixo.

Outro modelo é a fresadora CNC (B), na qual a ferramenta de corte rotativa é a fresa, constituída por uma série de dentes e gumes distribuídos, simetricamente, em torno de um eixo. Suas principais funções são moldar, perfurar, rotar, entre outros. (MISHRA, 2017)

A furadeira CNC (C) é outro modelo de máquina CNC, que diferentemente das convencionais, pode realizar diversos tipos de furações em uma mesma peça através de uma programação específica, eliminando a necessidade de a operação ser feita em outras máquinas. Também é possível a operação simultânea em diferentes peças. (MISHRA, 2017)

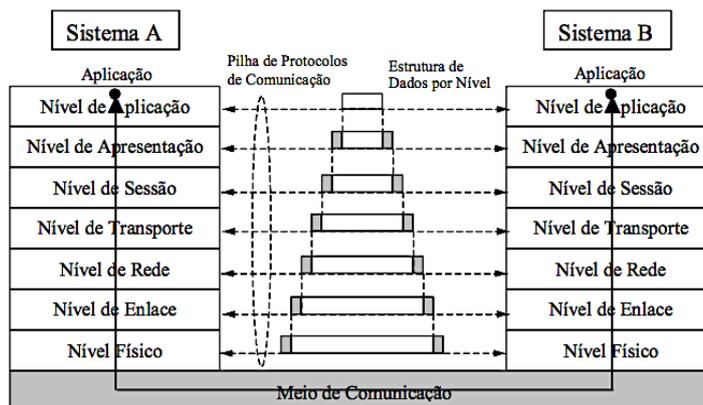
O centro de usinagem (D), conforme explanado por Azevedo (2008), é um modelo mais completo de máquina CNC, podendo realizar todas as operações de torneamento, fresamento, furação em um único equipamento. Ela possui um magazine rotativo que pode conter até 100 ferramentas diferentes, que são trocadas durante o ciclo trazendo benefícios como agilidade, flexibilidade e produtividade.

2.4 INTERFACES DE COMUNICAÇÃO COM MÁQUINAS CNC

2.4.1 Modelo OSI

O modelo de referência para conexões de sistemas abertos é chamado de modelo OSI (*Open Systems Interconnections*) e visa facilitar a interação desses sistemas com os outros. Sua principal característica é a arquitetura, em níveis que funcionam de maneira isoladas entre si, possuindo serviços e funções específicas, na qual os serviços de uma camada são disponibilizados para a camada superior (TAVARES, 2015). Para estabelecer conexão entre dois sistemas é definido um meio de comunicação, localizado logo abaixo dos níveis físicos conforme ilustrado na Figura 10:

Figura 10 – Arquitetura básica de interação entre sistemas utilizando modelo OSI



Fonte: (TAVARES, 2015)

O fluxo de dados ocorre nos dois sentidos, chamado de duplex, passando através das camadas do sistema de envio, seguindo pelo meio de comunicação, atravessando novamente as camadas do sistema de destino e finalmente chegando à aplicação B.

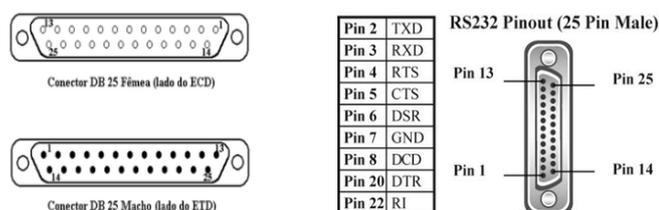
A grande maioria dos protocolos utilizados nas interfaces de comunicação utiliza a estrutura do modelo OSI por ser mais bem estruturado e possuir bem definida as diferenças entre serviços, interfaces e protocolos (ROESLER, 2018).

2.4.2 Interface Serial V2.4 ou RS 232

Em termos físicos, para transmissão de um sinal de um ponto ao outro, se necessita que parâmetros elétricos, mecânicos e funcionais sejam bem especificados. A interface V2.4/V2.8 do ITU-T, possui recomendações elétricas e funcionais a respeito de como a camada de enlace, busca os serviços da camada física (ROESLER, 2018). Apesar de possuir 25 pinos ao todo, a comunicação utilizada é considerada serial, pois existe apenas uma linha para transmissão e outra para recepção de dados. As especificações físicas são adotadas para assegurar que equipamentos de diferentes fabricantes possam ser conectados, tanto mecânica quanto eletricamente. Na V2.4/2.8 foi definida a utilização de um conector de 25 pinos macho no lado do ETD (Equipamento Terminal de Dados). No lado do ECD (Equipamento de Comunicação de Dados) deve ser do tipo fêmea conforme a Figura 11. Em termos elétricos, são

especificados os níveis de tensão de +3V a +25V para representar o “0” lógico e -3V a -25V para o “1” lógico (SANTOS, 2017).

Figura 11 – Especificações V2.4



Fonte: (ROESLER, 2018)

A seguir apresentam-se os principais pinos utilizados, bem como suas funcionalidades de acordo com (SANTOS, 2017):

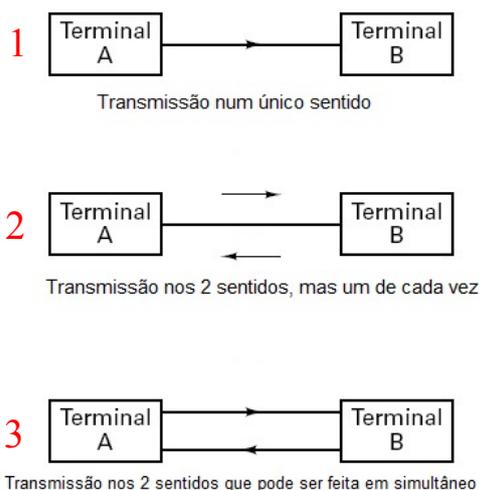
- **TX:** pino 2 - é a linha utilizada para transmissão de dados;
- **RX:** pino 3 - é a linha utilizada para recepção dos dados;
- **GND:** pino 7 - terra lógico do conector. Todos os níveis de tensão utilizam como referência esta linha;
- **RTS:** pino 4 - *Request To Send*: pedido do DTE para o DCE para transmitir dados. Utilizado quando existe a necessidade de se efetuar uma transmissão;
- **CTS:** pino 5 - *Clear To Send*: permissão do DCE para o início da transmissão;
- **DSR:** pino 6 - *Data Set Ready*: indica que o DCE está pronto e energizado. Após ligar o equipamento, esta linha é ativada e assim permanece;
- **DTR:** pino 20 - *Data Terminal Ready*: indica que o DTE está pronto e energizado. Após ligar o equipamento, esta linha é ativada e assim permanece;
- **DCD:** pino 8 - *Data Carrier Detect*: indica que o DCE detectou portadora e deve começar a receber dados;

O protocolo de comunicação serial utilizado pelas máquinas CNC, segue o mesmo princípio de funcionamento do protocolo v2.4/2.8. Existem variações com relação aos padrões físicos, porém para envio e recepção de dados a padronização do protocolo é mantida.

2.4.3 Comunicação Ethernet

A rede ethernet surgiu em 1973, no laboratório da Xerox, com taxa inicial de transferência de 2.94 Mbs, no qual a falta de padronização dificultou o avanço das pesquisas e a consolidação deste protocolo (MEIRA, 2013). Os modos de transmissão utilizados podem ser *Simplex*, *Half duplex* ou *Full duplex* conforme ilustrados na Figura 12:

Figura 12 – Modos de transmissão comunicação Ethernet



Fonte: (MEIRA, 2013)

1. **Simplex (1):** Caracteriza uma ligação onde os dados circulam em apenas um sentido, ou seja, do emissor para o receptor;
2. **Half duplex (2):** Os dados circulam de um sentido para o outro, mas não simultaneamente.
3. **Full duplex (3):** Cada uma das estações presentes na rede transmite e recebem dados, podendo haver transmissão simultânea.

Nos últimos anos é crescente o interesse da indústria pela rede Ethernet como uma possível alternativa no chão de fábrica e no controle de processo. Contudo, esta pesquisa se baseia nas aplicações da Ethernet controle de processos com utilização de máquinas CNC (Computer Numerical Control). Onde são amplamente utilizados na indústria de transformação para produzir peças mais precisas e complexas. (MEIRA, 2013)

A Ethernet funciona com base na ideia de pontos da rede, enviando mensagens, na qual cada ponto tem uma chave de 48 bits, globalmente única, chamada de endereço MAC (*Media Access Control*) o que assegura que todos os sistemas em uma ethernet tenham endereços diferentes. A comunicação dos dados via Ethernet utiliza-se do protocolo TCP/IP, que como muitos outros modelos de protocolos, podem ser visto como um grupo de camadas baseado no modelo OSI, na qual cada uma delas fornece um serviço bem definido para os protocolos da camada superior (MEIRA, 2013). Estas camadas mais altas estão mais próximas do usuário e, por utilizarem dados mais abstratos, confiam nos protocolos das camadas mais baixas para disponibilizar esses dados em um formato que pode ser transmitido fisicamente.

O TCP/IP é um conjunto dos protocolos TCP (*Transmission Control Protocol*) e o protocolo IP (*Internet Protocol*) e tem o mesmo objetivo do modelo OSI no qual se define um modelo padrão de camadas para implementar camadas de arquiteturas de rede (LOPEZ, 2016).

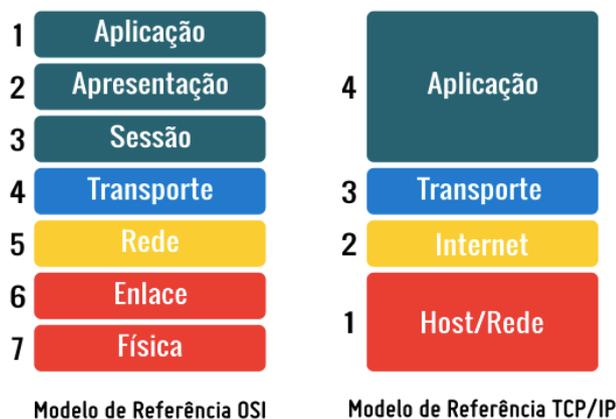
O TCP localiza-se na camada de transmissão do modelo OSI e, por ser um protocolo orientado a conexão, provê uma conexão segura para a troca de dados entre hosts diferentes. Com esse protocolo, todos os pacotes são sequenciados e identificados e, um circuito virtual é estabelecido para comunicações (LEWIS, 1999).

Conforme (DIOGENES, 2004), os principais objetivos da criação do Protocolo TCP/IP foram:

- Obter um protocolo que fosse compatível com todos os tipos de redes;
- Possuísse características Inter operável entre todos os fabricantes;
- Possuísse uma comunicação robusta, escalonável e que suportasse o crescimento das redes de uma forma segura e confiável;
- Perfil dinâmico e de fácil configuração.

A arquitetura do TCP/IP também possui camadas divididas assim como o modelo OSI, com diferença na quantidade de camadas, possuindo apenas 4. Na Figura 13 é possível comparar as camadas entre os dois modelos.

Figura 13 – Comparação entre as camadas do modelo OSI e TCP/IP



Fonte: (SANTOS, 2017)

De acordo com SANTOS (2017), entre os benefícios do TCP/IP destacam-se:

- **Padronização:** O TCP/IP é o protocolo disponível mais aceito e completo, atualmente. Todos os sistemas operacionais modernos oferecem suporte para o TCP/IP e a maioria das grandes redes se baseia em TCP/IP para a maior parte de seu tráfego.
- **Interconectividade:** O TCP/IP possui uma tecnologia para conectar sistemas não similares. Muitos utilitários padrões de conectividade estão disponíveis para acessar e transferir dados entre esses sistemas não similares, incluindo FTP (*File Transfer Protocol*) e Telnet (*Terminal Emulation Protocol*).
- **Roteamento:** O TCP/IP permite que as tecnologias mais antigas se conectem a Internet. Utiliza protocolos de linha como PPP (*Point to Point Protocol*) permitindo conexão remota a partir de linha discada ou dedicada.
- **Protocolo Robusto:** Protocolo escalável, multiplataforma e com estrutura para ser utilizada em sistemas operacionais cliente/servidor. Permite também a utilização de aplicações desse porte entre dois pontos distantes.

2.4.4 Interfaces dedicadas

Além das interfaces e protocolos tradicionais, alguns fabricantes utilizam sua própria forma de comunicação com seus equipamentos. O FOCAS (*Fanuc Open CNC API Specifications*) e a interface MPI (*Multi Point Interface*), são exemplos de interfaces dedicadas, desenvolvidas pela Fanuc e Siemens, respectivamente.

FOCAS é um conjunto de arquivos de biblioteca (*dll*), que quando embutidos dentro de um aplicativo Visual Studio, podem acessar quase todas as informações dentro do CNC. As bibliotecas Fanuc FOCAS acessam o CNC usando Ethernet no qual diversos programas usam essas bibliotecas para acessar informações diretamente do CNC (INVENTCOM, 2016).

Segundo Inventcom (2016), as principais características da biblioteca são as seguintes:

- CNC: Leitura e escrita de dados relacionados aos eixos controlados; Esses dados incluem a posição absoluta, posição relativa, posição da máquina, distância restante a percorrer, velocidade real de avanço, etc;
- CNC: Operações relacionadas ao programa CNC em execução;
- CNC: Leitura e escrita de dados no arquivo CNC; Esses dados incluem dados de correção da ferramenta, dados de correção do ponto de referência da peça de trabalho, parâmetros, configurações.
- CNC: Leitura / escrita de dados de gerenciamento de vida da ferramenta
- CNC: Histórico de dados. Esses dados incluem dados do histórico de operação e dados do histórico de alarmes. Esses dados incluem dados de estado contínuo, dados de diagnóstico, dados de conversão A / D, informações de alarme e mensagens do operador, etc.

A interface MPI é uma interface de comunicação utilizada, exclusivamente, para equipamentos Siemens. Devido a todos os direitos de propriedade, poucas informações, a respeito do funcionamento desse protocolo, são encontradas em manuais. Sabe-se que ela foi desenvolvida pela Siemens e sua tecnologia de

transmissão utiliza como base a transmissão RS485. A velocidade é opcional, partindo de 187,5 KBit/s até 1,5 MBit/s devendo possuir pelo menos um master na rede para gerenciar o fluxo de dados. A interface MPI utilizando pedidos de interrupções IRQ 10 e área de memória CC00H até CCFFH. (SIEMENS-AG, 2003)

3 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo são apresentados os detalhes do desenvolvimento do sistema conector de máquinas - SCM. Esse sistema apresenta-se de maneira conceitual, através da utilização de diagrama de blocos, para representar sua arquitetura e funcionamento. Após toda explanação, o sistema conector é levado a uma esfera superior, através da aplicação dos seus conceitos em um estudo de caso. O mesmo é realizado em uma máquina pertencente a uma empresa do ramo de autopeças, localizada em Curitiba. Nessa etapa ocorreu o desenvolvimento físico do sistema, utilizando softwares específicos para sua criação. Alguns dados, no entanto, não poderão ser disponibilizados, como, por exemplo, códigos fonte e detalhes de configuração. Isso se deve a necessidade de sigilo industrial exigida pela empresa, conforme documento localizado no anexo I.

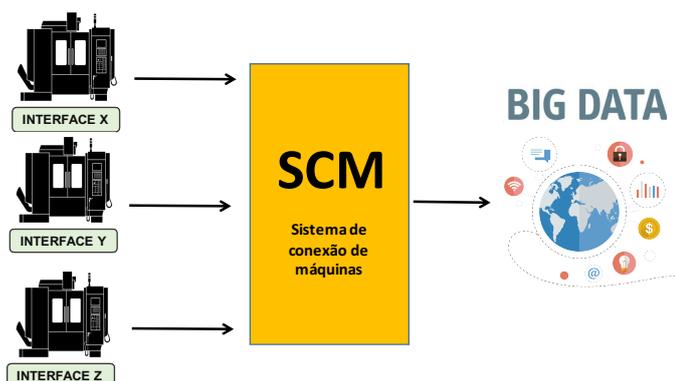
3.1 ARQUITETURA DO SCM

O conceito do SCM foi desenvolvido levando em consideração os seguintes fatores:

1. As demandas da Indústria 4.0 pela conexão da manufatura;
2. A obsolescência do parque fabril brasileiro;
3. A existência de diversas interfaces de comunicação com máquinas CNC;

Juntando esses fatores, criou-se uma solução chamada de sistema conector de máquinas SCM. O conceito desse sistema é ser capaz de conectar, armazenar e enviar os dados das máquinas produtivas para um *Big Data*, independente da interface de comunicação utilizada pelo equipamento. A Figura 14 apresenta um conceito macro do SCM:

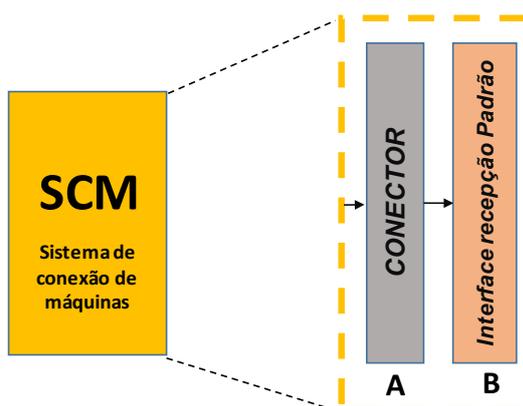
Figura 14 – Conceito MACRO do SCM



Fonte: Autor

Conforme ilustrado na Figura 14, no ambiente fabril existem diferentes modelos de máquinas que se utilizam de diferentes interfaces de comunicação. Independentemente disso, o conceito do SCM trata-se de um sistema capaz de se conectar com qualquer equipamento, extrair as informações necessárias e enviar tudo para um *Big Data*. Isso é possível com a utilização de um componente, que pode ser substituído, de acordo com o protocolo de comunicação, chamado conector. Através da Figura 15 é possível enxergar a arquitetura explodida do SCM, onde se percebe a presença de 2 componentes internos: o conector e a Interface de recepção padrão.

Figura 15 – Arquitetura do SCM



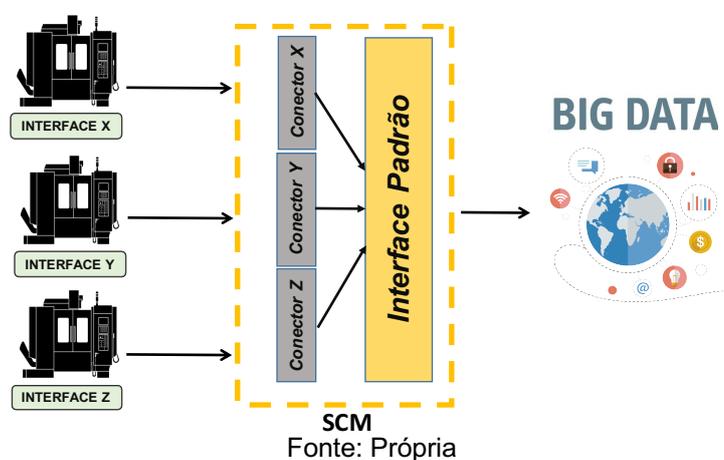
Fonte: Autor

O conector (Figura 15-A) é o componente responsável pela conexão com o equipamento de onde serão coletadas as informações e deve ser compatível com o seu

protocolo. Já a interface de recepção padrão (Figura 15-B) é responsável em receber os dados do conector, padronizar e enviar os mesmos para um *Big Data*, onde se encontram tecnologias como inteligência artificial e softwares estatísticos.

A cada nova necessidade de conexão, pode-se criar outros modelos de conectores, com protocolos distintos de conexão, aumentando as chances de conectar as máquinas produtivas na indústria. A Figura 16 ilustra como seria a arquitetura do conector para a conexão de três máquinas com protocolos diferentes.

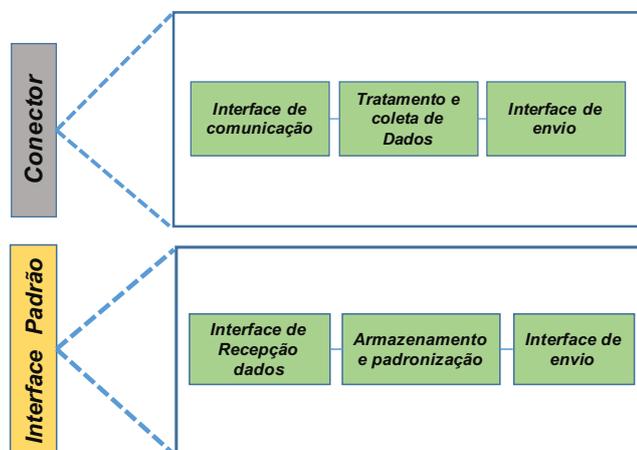
Figura 16 – Arquitetura para conexão de 3 máquinas com protocolos de conexão distintos



Conforme arquitetura apresentada na Figura 16, a interface padrão é única e não depende do protocolo de comunicação utilizado pelo equipamento. Como esse problema já foi solucionado pelo conector, ela se preocupa apenas com o tratamento dos dados que dependendo do equipamento pode ser coletado fora dos padrões normalmente utilizados. Um exemplo disso é a unidade utilizada para temperatura em máquinas que não são produzidas no Brasil, que em muitos casos pode se encontrar em °K (Graus Kelvin) e não em °C (graus Celsius) conforme se utiliza. Nesse caso, a interface receberá esses dados não “fora de padrão” e padroniza os mesmos de acordo com as suas configurações.

A Figura 17 apresenta o diagrama de bloco detalhado a respeito da composição do conector e da interface padrão.

Figura 17 – Diagrama de blocos arquitetura conector e interface padrão

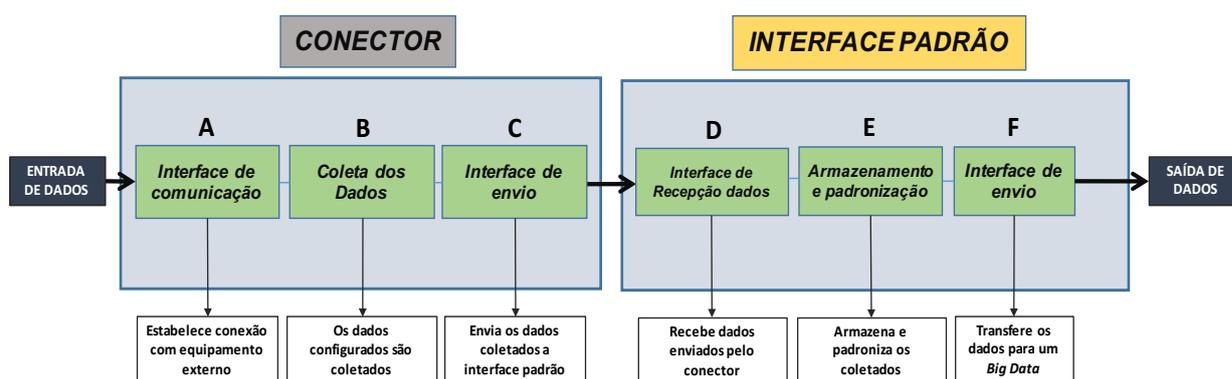


Fonte: Autor

3.1.2 Detalhes do funcionamento do SCM

Cada um dos componentes do SCM tem um princípio de funcionamento. O diagrama de blocos da Figura 18 apresenta um resumo do funcionamento de cada uma dessas etapas presentes no conector e na interface padrão.

Figura 18 – Diagrama de blocos de funcionamento SCM



Fonte: Autor, 2018

A interface de comunicação (A) é a responsável pela comunicação com a máquina a ser conectada. Ela deve seguir os padrões físicos e elétricos, estabelecidos pelo fabricante quanto ao protocolo utilizado, informação que pode ser encontrada nos manuais do usuário.

Na etapa da coleta de dados (B), as variáveis configuradas são coletadas e armazenadas, temporariamente, até serem enviadas à interface padrão.

A interface de envio de variáveis (C) estabelece comunicação com a interface de recepção padrão e envia os dados coletados.

A interface de recepção de dados (D) estabelece conexão com o conector, recebendo as variáveis coletadas.

Na etapa seguinte (E), de armazenamento, os dados recebidos são padronizados de acordo com as configurações estabelecidas pelo usuário e armazenados em um banco de dados local para posteriormente serem enviadas ao *Big Data*.

A terceira etapa (F) verifica a disponibilidade de acesso ao Big Data e realiza o envio das variáveis.

Algoritmo de funcionamento do conector:

1. O programa conector é executado
2. Comunicação com o equipamento é estabelecida
3. Interface de coleta e tratamento de dados é inicializada
4. Verifica-se espaço no disco local
5. Variáveis a serem coletadas são localizadas
6. Coleta das variáveis é iniciada
7. Coleta das variáveis é finalizada
8. Gravação das variáveis no banco local
9. Comunicação com a interface padrão é estabelecida
10. Envio das variáveis para a interface padrão é iniciado

11. Envio das variáveis para a interface padrão é finalizado

Algoritmo de funcionamento da interface padrão:

1. O programa da interface padrão é iniciado;
2. Verificação de espaço na base de dados local
3. Comunicação com o programa conector é inicializada
4. Comunicação com o programa conector é estabelecida
5. Início da recepção de dados
6. Fim da recepção de dados
7. Início da gravação dos dados no banco local
8. Fim da gravação dos dados no banco local
9. Comunicação com o *big data* é inicializado
10. Comunicação com o *big data* é estabelecida
11. Verificação de espaço na base de dados do *big data*
12. Início do envio das variáveis para o *big data*
13. Fim do envio das variáveis para o *big data*

A partir dos conceitos apresentados nesse capítulo, possibilita-se a integração da maioria das máquinas CNC existentes na indústria, atualmente. O único componente do sistema que precisa ser modificado dependendo do protocolo utilizado pelo equipamento é o conector. A ideia é que a interface padrão se mantenha a mesma após o desenvolvimento do primeiro projeto, por isso é necessário padronizar a comunicação entre ela e o conector.

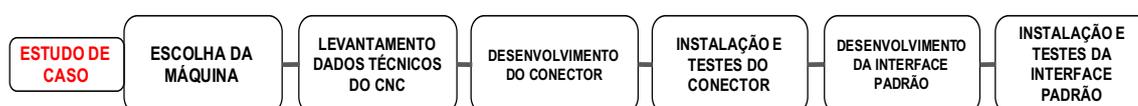
3.2 ESTUDO DE CASO

Visando aplicar os conceitos propostos no desenvolvimento do SCM e testar suas funcionalidades, propõe-se nesse capítulo a realização de um estudo de caso em um ambiente industrial utilizando-se de uma máquina CNC para os testes. Conforme citado no capítulo 3.1, a cada novo projeto de conexão de uma máquina, deve-se criar um novo conector, que atenda as especificações físicas e elétricas do protocolo de

comunicação utilizado por ela. A interface padrão também será desenvolvida, porém essa pode ser reaproveitada em projetos futuros.

A metodologia do estudo de caso seguiu o fluxograma apresentado na Figura 19, na qual se podem identificar, as etapas necessárias para o desenvolvimento do estudo de caso.

Figura 19 – Fluxograma das etapas para o desenvolvimento do estudo de caso



Fonte: Autor, 2018

A seguir apresentam-se os detalhes individuais de cada etapa presente no fluxograma da Figura 19:

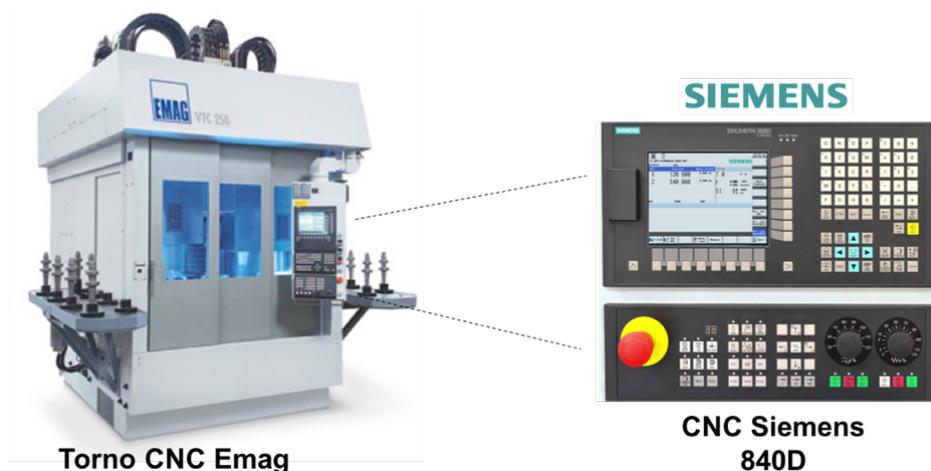
- **Escolha do equipamento:** Nesta etapa foi escolhido um equipamento com base na quantidade de máquinas semelhantes, no qual o sistema poderia ser replicado, pois a empresa possui outras 15 máquinas do mesmo modelo.
- **Levantamento dos dados técnicos do CNC:** Com a definição da máquina ser conectada, fez-se necessário realizar o levantamento dos dados técnicos do CNC utilizado pela mesma. Foram analisados aspectos como: protocolos de comunicação utilizados, tipo de sistema operacional embarcado, estruturação dos dados, entre outros.
- **Desenvolvimento do conector:** A partir da consulta dos dados técnicos, foi possível avançar para a etapa de desenvolvimento do conector necessário para o projeto. Nesta etapa, as características necessárias para o funcionamento do conector tais como: protocolo de comunicação, localização e o modo de acesso as variáveis já estavam definidas sendo necessária a implementação do conector.

- **Instalação e testes do conector:** Depois de desenvolvido o conector, foi testado no próprio equipamento. Foram preparados os arquivos de configuração e o conector instalado na IHM. Testes de aquisição de dados também foram realizados.
- **Desenvolvimento da interface padrão:** Aqui, a interface padrão foi desenvolvida levando em consideração as características do conector. O protocolo de comunicação entre o conector e a interface de recepção de dados foi definido, assim como a metodologia de envio e recepção de dados. Definiu-se também, a forma de armazenamento dos dados no banco local e o formato de envio desses para o *Big Data*.
- **Instalação e testes da Interface Padrão:** E na última etapa, realizou-se a instalação e os testes da interface padrão. A estrutura de hardware necessária para a conexão com o conector foi instalada (computador de coleta e cabo de comunicação). Testes com o servidor externo também foram realizadas.

3.2.1 Escolha do equipamento

O equipamento escolhido consiste em um torno CNC, fabricado pela empresa alemã Emag, que está localizado em uma indústria de autopeças, situada na Cidade Industrial de Curitiba. A máquina data de 1995, sendo utilizada no processo de usinagem de bombas injetoras de diesel e possui CNC Siemens modelo 840D PL (*PowerLine*) conforme ilustrado na Figura 20:

Figura 20 – Torno Emag com CNC Siemens utilizado no estudo de caso



Fonte: Autor, 2018

O CNC Siemens possui um painel de operação principal, também conhecido como IHM, que funciona como interface principal do CNC no qual ocorre o controle e operação do equipamento. A IHM também se subdivide em 3 componentes, conforme ilustra a Figura 21. Ela é composta por um painel de operação (OP), computador industrial dedicado e um painel de controle de movimentos (MCP).

Figura 21 – Composição painel principal (IHM)



Fonte: Autor, 2018

O painel de operação, Figura 21-2, possui um teclado alfanumérico e um display gráfico que contém as principais informações a respeito do funcionamento da máquina.

Com ele o operador consegue acessar telas como: edição de programas, parâmetros de usinagem e diagnóstico de falhas.

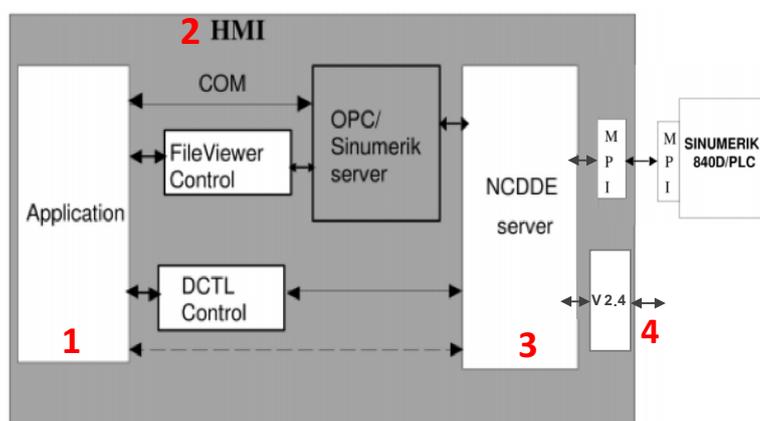
O computador industrial (2), denominado MMC (*Man Machine Communication*) é o computador central do CNC responsável por todo controle lógico do equipamento, no qual se localizam as variáveis. O modelo presente nesse torno possui um processador de 200MHz, 64MB de memória do tipo SRAM (*Static Random Access Memory*), cerca de 256KB de memória cache e seu sistema operacional é o Windows 95.

O MCP (3) é um teclado dedicado à execução de movimentos manuais e controle do equipamento. Nele podem ser feitos diversos ajustes, como, por exemplo, aumento da velocidade de trabalho e/ou o cancelamento da execução de um programa de usinagem.

3.2.2 Dados técnicos CNC Siemens

Para o desenvolvimento do conector, fez-se necessário a análise da estrutura e os princípios de funcionamento do CNC 840D. Para isso, consultou-se a documentação técnica fornecida pelo fabricante e examinou-se a estrutura básica dos seus componentes. Neste modelo de CNC, a IHM é responsável por todo o gerenciamento de troca de dados entre as aplicações, conforme ilustrado na Figura 22:

Figura 22 – Estrutura interna de funcionamento da IHM Siemens.



Fonte: Autor (adaptada), 2018.

O Acesso aos dados localizado nas aplicações (1), localizadas na estrutura da IHM (2), é necessária a utilização do servidor *NCDDE* (*Numerical Control Dynamic Data Exchange*) (3), que funciona como um gerenciador de troca de dados entre aplicativos. Seu funcionamento segue os mesmos princípios do servidor DDE (*Data Dynamic Exchange*) nativo do Windows que utiliza o modelo cliente-servidor para troca de dados, no qual a conexão é estabelecida pelo cliente e a comunicação é especificada, de acordo com protocolos internos do Windows. (SIEMENS-AG, 2003)

Conforme a Figura 23, através do servidor NCDDE, pode-se acessar diversos tipos de dados do CNC, tais como: parâmetro de programas, valores atuais relativos ao funcionamento da máquina, parâmetros de configuração, entre outros.

Figura 23 – Dados disponibilizados pelo Servidor DDE

Grupo de dados	Tipo dos dados		
Dados de máquina	Dados da máquina Global dados de máquina específicos do canal dados de máquina específicos do eixo		
Dados de configuração	Dados de configuração globais Dados de configuração específicos do canal Dados de configuração específicos dos eixos		
Parâmetros de programa	Correções de ferramenta Parâmetros do usuário		
Valores atuais	Valores atuais de posicionamento do eixos Valores atuais de avanço Valores do fuso Configurações de avanço		
Dados do CLP	Entradas Saídas Marcadores Temporizadores	Contadores DB's / DBL's Clock do PLC	Mensagens / alarmes Estado do sistema
Arquivos	Programa de peças Subprogramas Dados de ferramenta		

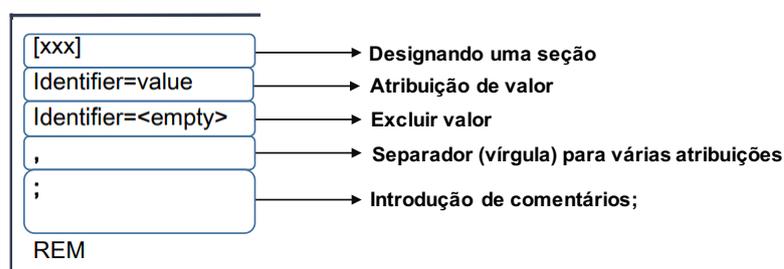
Fonte: Autor, 2018

O sistema operacional utilizado como base do CNC Siemens é o Windows 95. A Siemens se utilizou dos arquivos de configuração de perfil, "INI" (*Initialization files*), na estruturação de desenvolvimento das suas aplicações. Os arquivos INI e o Registro do Windows têm um papel importante na atuação do sistema operacional, pois são nesses arquivos que o sistema busca as informações armazenadas.

Os arquivos INI são arquivos de inicialização e são herança dos velhos tempos dos 16 bits. Existem dois tipos de arquivos INI: os arquivos de sistema (*System INI files*) tal como o WIN.INI e os arquivos privados (*Privates INI files*) que são usados por outras aplicações além do Windows.

O registro do Windows existe desde a versão 3.1, na qual era usado para armazenar informação sobre como a aplicação iria abrir e imprimir arquivos. Com a chegada do Windows 95 o registro foi eleito para armazenar informação sobre a configuração do hardware, dos perfis dos usuários e do software (SIEMENS-AG, 2003). Os arquivos INI utilizados pela Siemens possui estrutura conforme figura 25:

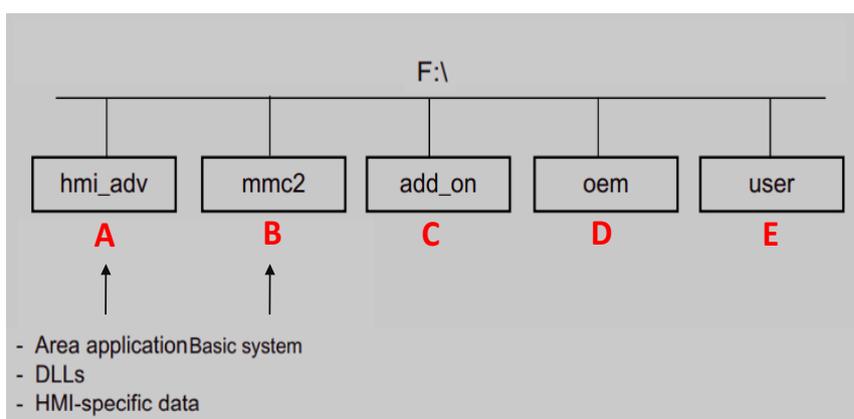
Figura 24 – Formato padrão dos arquivos INI utilizados pela Siemens



Fonte: Autor, 2018

A estrutura dos dados está subdividida em diretórios, conforme os apresentados na Figura 25:

Figura 25 – Subdivisão dos dados



Fonte: Autor, 2018

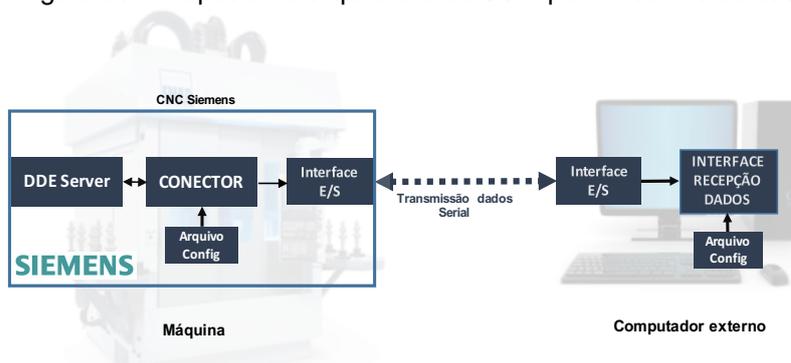
Os diretórios contidos no drive F:\ contêm os seguintes conteúdos:

- **hmi_adv:** O diretório contém aplicativos locais, DLLs e dados específicos da IHM.
- **mmc2:** Diretório do sistema do software da IHM.
- **add_on:** Diretório para produtos adicionais da Siemens
- **oem:** Diretório para fabricantes de máquinas e usuários OEM (*Original Equipment Manufacturer*), nos quais aplicativos OEM internos estão localizados.
- **User:** Diretório do usuário, no qual as diferenças do cliente dos arquivos INI fornecidos, são armazenadas. Alterações na aparência da interface do usuário, que podem ser feitas pelo usuário por meio de configurações na interface de usuário da IHM, também são armazenados aqui (por exemplo, configuração de idioma, seleção de arquivos, visualização do gerenciador de arquivos, etc.).

Com base nos dados acima descritos, já é possível entender o conceito de funcionamento e estruturação dos dados no CNC Siemens. Resumidamente, os dados estão concentrados dentro da IHM, que possui um gerenciador de entrada e saída de dados denominado servidor DDE, que também se utiliza de arquivos INI para ser configurado. Como a IHM possui uma interface serial V2.4, pode-se utilizar o protocolo serial para estabelecer comunicação com a mesma, e conseqüentemente, com o servidor DDE.

A partir da análise técnica do equipamento propõe-se uma arquitetura para o SCM composta de um arquivo conector, localizado dentro da IHM do CNC Siemens e uma interface de recepção de dados instalada em um computador externo. A Figura 26 mostra a estrutura do SCM proposta para o estudo de caso.

Figura 26 - Proposta da arquitetura do SCM para o estudo de caso

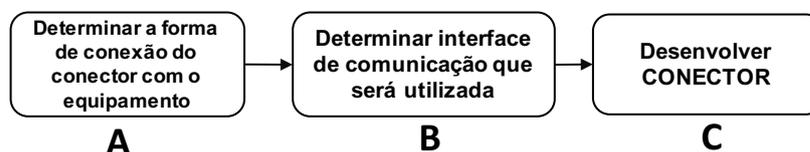


Fonte: Autor, 2018

3.2.3 Desenvolvimento do conector

As fases para o desenvolvimento do conector são apresentadas na Figura 27. Mesmo com a mudança de protocolo utilizado por outras máquinas, as etapas descritas podem ser as mesmas nos desenvolvimentos de outros projetos.

Figura 27 – Etapas para desenvolvimento do conector



Fonte: Autor, 2018

O conector desenvolvido, para esse estudo de caso, atende as especificações de comunicação **serial** com máquinas que utilizem CNC Siemens modelo 840D, utilizando-se do servidor DDE para o acesso e coleta dos dados.

O detalhamento de cada etapa se encontra a seguir:

- A. A plataforma utilizada pelo CNC Siemens é o Windows 95. A característica desse tipo de aplicação é a utilização de arquivos com formato INI, utilizados para configurar as aplicações durante sua primeira inicialização, conforme Figura 22. Devido a essa característica, faz-se necessário a instalação do conector dentro

do sistema operacional da máquina, utilizando um arquivo INI para sua configuração.

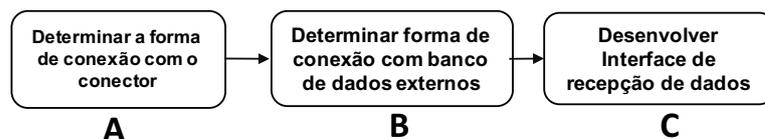
- B. A interface de comunicação utilizada pelo Windows, para troca de dados entre os programas, é chamada de servidor NCDDE no qual é possível acessar uma vasta variedade de dados utilizados pelo CNC tais como: alarmes, tempo de ciclo, etc.
- C. O ambiente de desenvolvimento escolhido foi o Microsoft Visual Basic 6.0 (VB6), devido à compatibilidade com componentes do Windows 95 e também pela sua compatibilidade com sistemas operacionais atuais. O programa apresenta interface gráfica e se trata de uma aplicação do tipo Windows Forms. Na programação do conector, a opção escolhida para comunicação da aplicação com o servidor DDE foi o emprego de objetos do tipo *Label* posicionados na tela. São 44 *labels* reservados para *hotlinks*, um reservado para leitura periódica e outro para escrita. Os *hotlinks* são definidos durante a inicialização da aplicação e a partir daí o servidor DDE atualiza a propriedade *Caption* com os dados mais recentes. A aplicação varre, periodicamente, todos os *labels* e envia ao conector os valores que mudaram, desde o último *scan*. A consulta ao servidor DDE é síncrona, tornando a leitura via *hotlinks* muito superior em termos de desempenho.

Para a comunicação com a interface padrão foi utilizada a porta serial V2.4 disponível junto a MMC da máquina. Utilizando o objeto *MSComm*, a porta serial é definida e aberta durante a inicialização da aplicação. A recepção de dados é feita por uma rotina de *callback* atrelada à chegada de dados no buffer da porta serial.

3.2.4 Desenvolvimento da interface padrão

As etapas para desenvolvimento da interface de recepção de dados são apresentadas na figura 29:

Figura 28 – Etapas para desenvolvimento da interface de recepção de dados.



Fonte: Autor, 2018

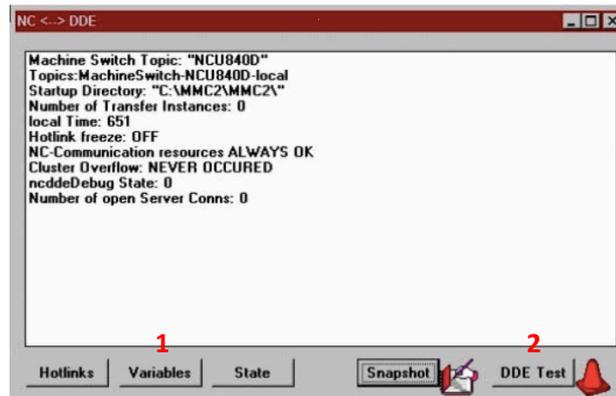
- A. Conforme apresentado na seção 3.2.2, a IHM Siemens utiliza-se de uma interface serial para comunicação com dispositivos externos. Então, para conexão com o conector desenvolvido, definiu-se a utilização desse protocolo de comunicação.
- B. O banco utilizado para testes será local, a fim de testar o funcionamento da interface padrão. Para isso, será utilizado o SGBD (Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados) da Microsoft, o SQL (*Structured Query Language*) Server.
- C. O programa da interface padrão foi escrito em Microsoft C# 2015. A linguagem foi escolhida por ser a padrão da empresa para esse tipo de desenvolvimento. Sua interface foi configurada para comunicação serial com o conector, e o gerenciador utilizado para o banco de dados foi o SQL Server da Microsoft.

3.2.5 Instalação e testes do conector

Antes da instalação e configuração do conector fez-se necessário a utilização de uma ferramenta disponibilizada pela Siemens chamada de NCDDE.exe, para testar e localizar das variáveis dentro do CNC. A seguir, serão apresentados os passos utilizados para o uso dessa ferramenta.

Primeiramente, localizar e executar o programa NCDDE.exe, dentro da pasta "C:\MMC2\OEM". Uma janela igual ilustrada na Figura 29 irá abrir.

Figura 29 – Janela programa NCDDE.exe

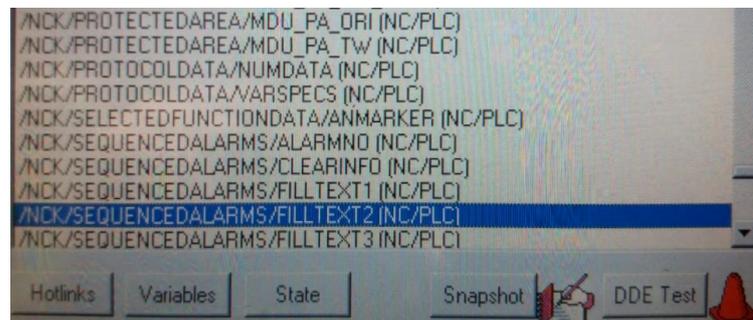


Fonte: (SIEMENS-AG, 2003).

As 5 funções disponíveis destinadas, principalmente, à depuração no ambiente do Servidor NCDDE. Para localização e testes das variáveis foram utilizadas as seguintes funções:

1. **Variables:** Mostra as variáveis às quais o servidor NCDDE está vinculado, nas quais elas estão localizadas. A Figura 30 mostra exemplos de algumas variáveis e suas localizações.

Figura 30 – Endereço onde as variáveis do CNC são encontradas

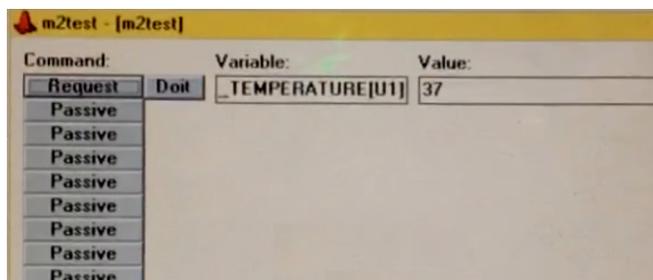


Fonte: Autor, 2018

2. **DDE Test:** Pressionando esse botão, inicia-se um programa chamado "DDETEST.EXE", no qual podemos inserir o caminho onde localizam-se as variáveis e verificar se o valor associado a ela está correto. No exemplo da Figura 31, inseriu-se a variável relativa à temperatura do servomotor do eixo "X", localizada em "NCK\MAC_ACC\MD_MOTOR_TEMPERATURE

[U1]”. Utilizando o comando *Request* o valor de 37° foi lido o que corresponde ao mesmo valor visualizado na tela de diagnósticos.

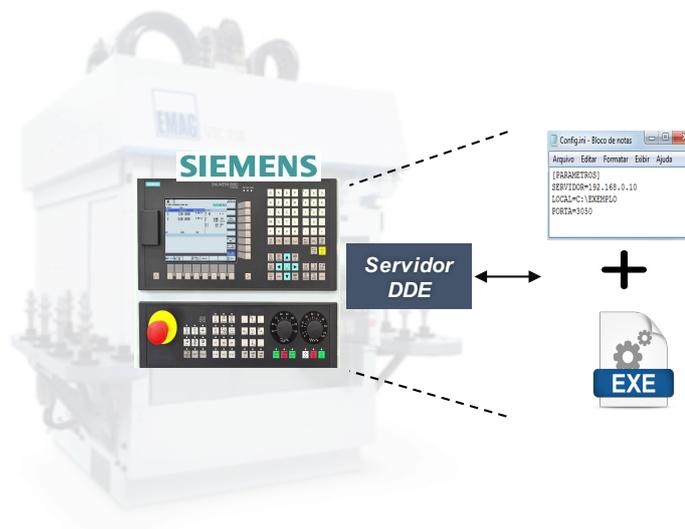
Figura 31 – Teste da variável temperatura na ferramenta DDE Test



Fonte: Autor, 2018.

Após esse processo, a instalação e configuração do coletor na IHM foi feito através da cópia dos dois arquivos necessários para o seu funcionamento, denominados ver010.exe e ver010.ini conforme a Figura 32.

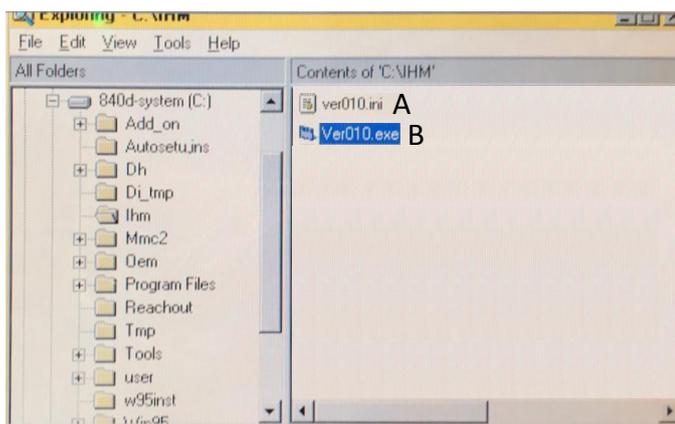
Figura 32 – Instalação dos arquivos ver010.exe e ver010.ini



Fonte: Autor, 2018

Foi criada uma nova pasta com nome de Conector, logo abaixo do drive “C:\” e copiado os arquivos, conforme ilustrados na Figura 33.

Figura 33 – Pasta contendo os arquivos ver010.exe e ver010.ini



Fonte: Autor, 2018

O arquivo .INI, Figura 33-A, contém os parâmetros de configuração, utilizados pelo arquivo executável durante sua primeira inicialização. A IHM, também foi configurada de maneira a que o conector inicialize, juntamente com o Windows, pois, em alguns casos, a máquina pode ser reiniciada fazendo com que o programa pare de coletar os dados. O arquivo ver010.exe utiliza-se dos parâmetros contidos no arquivo de configuração ver010.ini para comunicar-se com o servidor NCDDE e localizar as variáveis configuradas.

Conforme se explanou no item 3.2.2, os arquivos INI têm uma configuração padrão quando utilizado nos sistemas Siemens e, devido a isso, o arquivo ver010.ini seguiu o padrão de configuração, conforme observa-se na Figura 34. Nas linhas 1,2 e 3 da Figura 34, por exemplo, ocorrem as atribuições do nome e localização para as variáveis “GUD8”, “TOOLnR01” E “toolLifeR01”. Essas variáveis são referentes ao gerenciamento de ferramentas da máquina. Com esses parâmetros é possível, utilizando o servidor NCDDE, acessar os valores que essas variáveis possuem.

Figura 34 – Estrutura arquivo ver010.ini

```

Ver010.ini
File Edit Search Help
GUD8 = c:\tntp\gd8.nsk, /NC/ N.CH.GD8.ACC, trans, 2, 33,
1 → ToolNr01 = Numero da ferramenta 1 = MachineSwitch = /Acc.
2 → ToolLifeR01 = Vida atual da ferramenta 1 = MachineSwitch
3 → ToolLifeP01 = Vida prevista da ferramenta 1 = MachineSwi
ToolLifeN01 = Nova vida prevista da ferramenta 1 = Machi
ToolNr02 = Numero da ferramenta 2 = MachineSwitch = /Acc.
ToolLifeR02 = Vida atual da ferramenta 2 = MachineSwitch
ToolLifeP02 = Vida prevista da ferramenta 2 = MachineSwi
ToolLifeN02 = Nova vida prevista da ferramenta 2 = Machi

```

Fonte: Autor, 2018

3.2.6 Instalação e testes da interface padrão

A instalação do software da interface padrão foi feita em um computador modelo Liva X2 N3060, com Windows 10, placa de rede Wi-Fi e uma porta serial disponível.

A instalação da interface consiste nos seguintes passos:

1. Configurar o computador.
2. Instalar o .NET Framework.
3. Instalar o SQL Server.
4. Instalar os arquivos necessários.
5. Configurar a interface.

A configuração do computador: nessa etapa, configurou-se a interface de rede Ethernet e programou-se a partida automática do conector após a partida do computador. Esses passos são executados da maneira usual no Windows. O endereço IP do PC auxiliar foi liberado pela área de informática da empresa.

Instalação do .NET framework: a versão do .NET framework adequada é a 4.6. Os arquivos devem ser obtidos no site da Microsoft. A instalação não requer nenhuma configuração especial.

Instalação dos arquivos: os arquivos devem ser copiados para a pasta c:\ihm. Os itens necessários são os seguintes: Arquivo “release” do computador de desenvolvimento e o arquivo de inicialização do conector (ser001.ini)

Instalação do SQL Server: o conector é compatível com, praticamente, qualquer versão e edição do SQL Server. Neste estudo, utilizou-se o Express 2016 que pode ser obtido do site da Microsoft. Também foi preciso instalar o Management Studio, correspondente à versão escolhida, para que se possa criar o banco de dados. Após a instalação, criam-se o banco de dados e depois as tabelas necessárias por meio de scripts.

Configurar interface: a interface de recepção de dados é configurada por meio de um arquivo de configuração, denominado ser008.ini. O arquivo foi configurado de acordo com a aplicação desejada, possuindo variáveis como: a porta serial a ser usada, o número de grupos de variáveis existentes, o endereço IP do PC, a velocidade da porta serial (em bps (bit por segundo), declaração do banco de dados, declaração dos *webservices*, etc.

A *string* de conexão para o banco de dados externo deve seguir as convenções do gerenciador do banco. A versão atual foi testada com Microsoft SQLServer Express versões 2012 e 2016.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

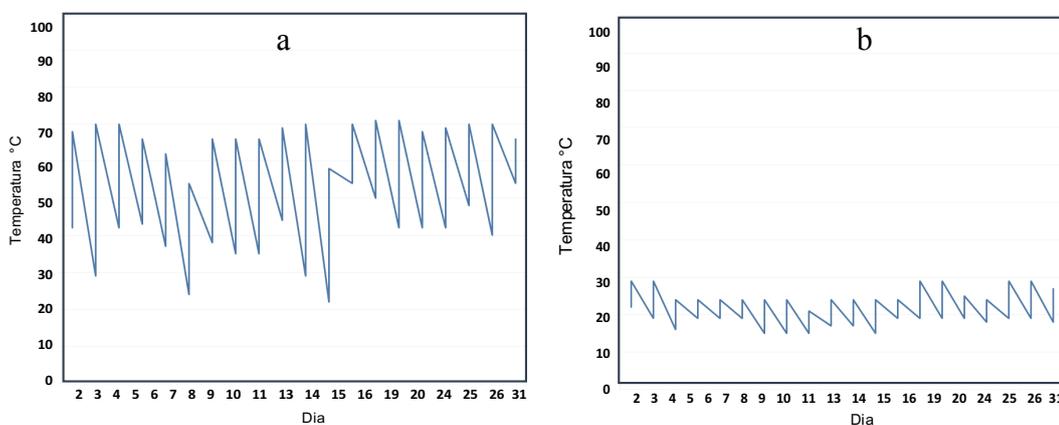
Com a implementação do SCM, na máquina escolhida para o estudo de caso, foi possível conectar, armazenar e disponibilizar em um banco local, alguns dados previamente estabelecidos, relacionados ao funcionamento da máquina. Os dados escolhidos foram:

1. Temperatura de 2 servomotores (eixos Z e C);
2. Alarmes e mensagens;

A partir da utilização de uma plataforma de análise de dados, foi possível acessar o banco de dados e monitorar o comportamento das variáveis ao longo de 20 dias.

A figura 36, abaixo, ilustra o gráfico do comportamento da temperatura no mês de setembro de 2018.

Figura 35 – Temperatura servomotores eixo Z e C.



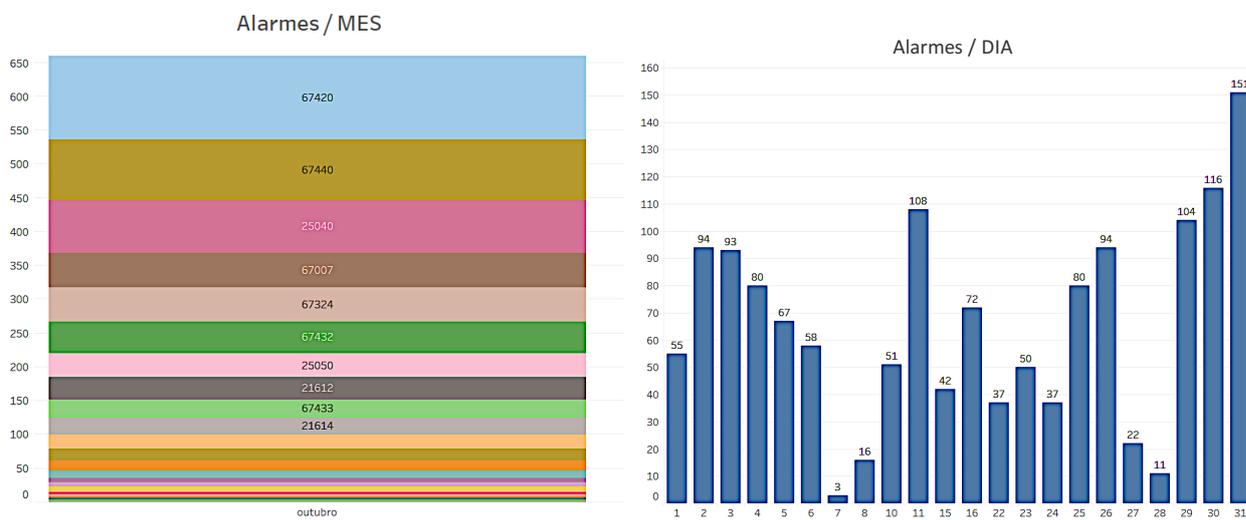
Fonte: Autor, 2018

Percebe-se na figura 36-a que a temperatura de trabalho do servomotor do eixo C se mantém entre 20 e 70°C. Já o gráfico da figura 37-b a temperatura oscila entre 17 a 29°C.

As variáveis, com o número dos alarmes e das mensagens que ocorrem nas máquinas, também foram coletada durante um periodo de 22 dias no mês de Outubro.

A figura 37-a apresenta, em ordem crescente, o gráfico do alarme que mais ocorreu em Outubro de 2018. Já a figura 37-b apresenta o número de alarmes que ocorreram durante os dias de Outubro.

Figura 36 – Número de alarmes e mensagens gravadas



Fonte: Autor, 2018

Percebe-se, pela análise do gráfico da figura 37-a, que o alarme 67420 foi o mais recorrente no mês em questão. No gráfico da figura 37-b, no dia 31/10, ocorreram 151 falhas/mensagens nesse equipamento.

Com a análise dos dados coletados pelo SCM, podem-se obter informações importantes a respeito do funcionamento das máquinas e seus desvios. Esse cruzamento de informações traz benefícios a todos os processos da cadeia produtiva, como, por exemplo:

1. Redução do tempo de parada dos equipamentos;
2. Otimização de processos;
3. Comparação de performance de máquinas iguais;
4. Aumento da disponibilidade;
5. Redução do desperdício de energia elétrica;

Por fim, conclui-se que os resultados obtidos foram satisfatórios, uma vez que os resultados obtidos foram satisfatórios.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Visto que a indústria 4.0 e o conceito de fábricas inteligentes e conectadas têm sido tema cada vez mais recorrente nos últimos anos, torna-se necessário o desenvolvimento de instrumentos, tais como o SCM, que possam se adaptar à realidade e atender uma necessidade do setor industrial brasileiro.

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou uma análise, de como o sistema conector de máquinas (SCM), pode melhorar a produção das indústrias com a finalidade de conectar toda cadeia produtiva, a fim de reduzir desperdícios, otimizar processos e auxiliar a tomada de decisões.

O trabalho consistiu no desenvolvimento de um sistema conector de máquinas CNC capaz de obter, armazenar e transmitir os dados coletados para o *Big Data*, bem como a realização de um estudo de caso, verificando a funcionalidade do SCM. A metodologia utilizada foi o estudo da literatura, desde as revoluções industriais até o funcionamento das máquinas CNC, a fim de chegar ao conceito do SCM e a realização de estudo de caso.

Ao realizar o estudo de caso, verificou-se que é possível realizar o aproveitamento das máquinas antigas existentes nas indústrias brasileiras, visto que a vida média das mesmas é de 17 anos, e também que o conceito atende todos os protocolos de comunicação utilizados pelas máquinas CNC. Permitindo assim, que os objetivos propostos, inicialmente, tenham sido alcançados.

Ao final desse trabalho, conclui-se, que grande parte das máquinas utilizadas na indústria podem ser conectadas através do conceito do SCM, sendo necessário apenas, o desenvolvimento de um novo conector para o novo protocolo de comunicação a ser utilizado, atingindo desta forma os objetivos propostos.

5.1 TRABALHOS FUTUROS.

Os futuros trabalhos relacionados a este tema poderiam incluir o desenvolvimento de um conector para um novo protocolo de comunicação, como por exemplo o ethernet. O conceito do SCM poderia ser mantido, utilizando-se a mesma metodologia adotada e a mesma interface padrão. Outra possibilidade seria o desenvolvimento de um SCM híbrido, que tenha seja desenvolvido para se conectar com os protocolos mais utilizados de comunicação com máquinas CNC. Com o desenvolvimento desse sistema seria possível conectar uma gama considerável de equipamentos, sendo possível coletar e analisar esses dados em um *Big Data*.

REFERÊNCIAS

ABRAMAN. **A SITUAÇÃO DA MANUTENÇÃO NO BRASIL**. Salvador: ABRAMAN 2013.

ALMEIDA, P. R. **O Brasil e a nanotecnologia: rumo à quarta revolução industrial**. Maringá: Espaço Acadêmico, 2005.

ALVARES. alvarestech. **alvarestech**, 2017. Disponível em: <http://alvarestech.com/temp/InternetOfThings/e-book_-_manufatura_avanpdf>. Acesso em: 15 Outubro 2018.

AZEVEDO, A. L. D. **Os Primórdios do controle numérico. mundocnc**, 2008. Disponível em: <<https://www.mundocnc.com.br/historico.php>>. Acesso em: 18 nov. 2018.

BERND, H. **The Magazine for CNC Automation**. Siemens. Alemanha. 2010.

BOLTANSKI, L.; CHIAPELLO, E. **O novo espírito do capitalismo**. São Paulo: WMF, 2009.

BRAVERMAN, H. **Trabalho e capital monopolista: a degradação do trabalho no século XX**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1987.

CASTELLS, M. **A Sociedade em Rede: Do Conhecimento à Ação Política**. [S.I.]: Imprensa Nacional - Casa da Moeda, 1999.

CIPOLLA, C. M. **História Econômica da População Mundial**. Rio de Janeiro: Zahar, 1974.

CNI. **Sondagem especial: indústria 4.0**, 2016. Disponível em: <<http://www.cni.com.br/sondespecial>>. Acesso em: 16 nov. 2018.

CNI. INVESTIMENTOS EM INDÚSTRIA 4.0. **Portal da Indústria**, Brasília, p. 33, 2018. Disponível em: <https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/med/investimentos_em_industria_40_junho2018.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2018.

CONCEIÇÃO, C. S. D. **Da revolução industrial à revolução da informação: uma análise evolucionária da industrialização da América Latina**. [S.I.]: [s.n.], 2012.

DATHEIN, R. **Inovação e Revoluções Industriais: uma apresentação das mudanças tecnológicas determinantes nos séculos XVIII e XIX**. DECON/UFRGS. Porto Alegre. 2003.

DECICINO, R. **Terceira Revolução Industrial: Atividades empregam alta tecnologia**, 2012. Disponível em: <<http://educacao.uol.com.br/geografia/terceira-revolucao-industrialtecnologia.jhtm>>. Acesso em: 05 out. 2018.

DIOGENES, Y. **Certificação Cisco**. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2004.

DRUCK, M. D. G. **Terceirização: (Des)Fordizando a Fábrica: um estudo do complexo petroquímico da Bahia**. São Paulo: Boitempo, 1999.

FANUC. **FANUC History**. Fanuc, 2015. Disponível em: <<https://www.fanuc.eu/uk/en/who-we-are/fanuc-history>>. Acesso em: 17 set. 2018.

FILHO, J. D. M. **PESQUISA SOBRE MÁQUINAS CNC (CONTROLE NUMÉRICO COMPUTADORIZADO)**. UNESP. São Paulo. 2009.

GRAMSCI, A. **Americanismo e Fordismo**. São Paulo: Civilização Brasileira, 1976.

HOBBSAWM, E. J. **A Era das Revoluções: 1789-1848**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1961.

INVENTCOM. Fanuc Open CNC. **INVENT**, 2016. Disponível em: <<https://www.inventcom.net/fanuc-focas-library/general/fwlib32>>. Acesso em: 5 nov. 2018.

KLINGENBERG, C. O. **Industry 4.0: what makes it a revolution?**. Polytechnic School, Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Unisinos, p. 12. 2017.

LANDES, D. S. **Progreso Tecnológico y Revolucion Industrial**. Madrid: Editorial Tecnos, 1969a.

LEWIS, C. **Cisco TCP/IP Routing Professional Reference**. Nova York: McGraw-Hill, 1999.

LIPIETZ, A. **Fordismo, fordismo periférico e metropolização**. Ensaio FEE, 1989. 303-335.

LOPEZ, R. G. **IP Security**, 2016. Disponível em: <www.gta.ufrj.br>. Acesso em: 01 nov. 2018.

MANTOUX, P. **A Revolução Industrial no Século XVIII**. São Paulo: HUCITEC, 1928.

MARCICANO, J. P. P. **Introdução ao Controle Numérico**. USP. São Paulo. 2005.

MCKINSEY, G. I. **Unlocking the potencial of the internet of things.**, 2015. Disponível em: <<http://www.mckinsey.com/businessfunctions/business-technology/ou>>. Acesso em: 29 out. 2018.

MEIRA, F. B. **Rede Ethernet Focos em Máquinas CNC**. redeethernetmaquinscnc, 2013. Disponível em: <<http://redeethernetmaquinscnc.blogspot.com/>>. Acesso em: 04 out. 2018.

MERKER, J. Bosch adapta indústria 4.0 no Brasil. **Baguete**, 2018. Disponível em: <<https://www.baguete.com.br/noticias/20/08/2018/bosch-adapta-industria-4-0-no-brasil>>. Acesso em: 05 nov. 2018.

MISHRA, P. **What is CNC Machine – Main Parts, Working, Block Diagram.** mechanicalbooster, 2017. Disponível em: <<http://www.mechanicalbooster.com/2017/01/what-is-cnc-machine.html>>. Acesso em: 22 out. 2018.

MORAES, C. R. B.; FADEL, B. **As Tecnologias da informação e a cultura organizacional: suas implicações no ambiente informacional das organizações.** n: ENCONTRO DE PESQUISADORES DO UNI-FACEF. [S.I.]. 2008.

PENA, R. F. A. Terceira Revolução Industrial. **Brasil Escola**, 2017. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/terceira-revolucao-industrial.htm>>. Acesso em: 17 nov. 2018.

PORTER, M. **Vantagem competitiva: criando e sustentando um desempenho superior.** Rio de Janeiro: Campus, 1989.

RIBEIRO, A. D. F. **Taylorismo, fordismo e toyotismo.** UFBA. Salvador, p. 15. 2015.

ROESLER. **Transmissão de sinais no nível físico com a interface digital V.24/V.28 do ITU-T (ou RS232 da EIA1).** UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Rio Grande do Sul, p. 13. 2018.

SANTOS, A. H. O. Arquitetura de Redes TCP/IP. **União Geek**, 2017. Disponível em: <<https://www.uniaogeek.com.br/arquitetura-de-redes-tcpip/>>. Acesso em: 15 out. 2018.

SANTOS, B. P. et al. **INDÚSTRIA 4.0: DESAFIOS E OPORTUNIDADES.** Universidade da Beira Interior. Covilhã. 2018.

SANTOS, G. OS PILARES DA INDÚSTRIA 4.0. **ESSS**, 2017. Disponível em: <<https://www.esss.co/blog/os-pilares-da-industria-4-0/>>. Acesso em: 29 set. 2018.

SCHWAB, K. **A Quarta Revolução Industrial.** 1. ed. [S.I.]: Edipro, 2016.

SIEMENS-AG, A. **HMI Programming Package Part 1.** Alemanha: Siemens, 2003.

SINGER, P. **Desemprego e exclusão social.** São Paulo: São Paulo em perspectiva, 1996.

TAVARES. **Como funciona a interface serial RS232-C.** Caderno de laboratórios, 2015. Disponível em: <<https://cadernodelaboratorio.com.br/2015/07/03/como-funciona-a-interface-serial-rs232-c/>>. Acesso em: 15 set. 2018.

WOLKE, V. Indústria aponta os caminhos para o crescimento sustentado. **Portal da Indústria**, 2018. Disponível em: <<http://www.portaldaindustria.com.br/cni/canais>>. Acesso em: 21 Agosto 2018.

WOLKE, V. Indústria aponta os caminhos para o crescimento sustentado. **Portal da Indústria**, 2018. Disponível em: <<http://www.portaldaindustria.com.br/>>. Acesso em: 02 nov. 201

ANEXO 1 - Declaração empresa sobre o desenvolvimento do projeto



DECLARAÇÃO

Declaro para os devidos fins, que o colaborador *Lucas de Oliveira Trindade* EDV 92831306, participou do desenvolvimento do projeto de coleta de dados da máquina Emag. A empresa autoriza a divulgação dos dados não confidenciais na elaboração de seu trabalho de conclusão de curso apresentado a Universidade Federal do Paraná. Informações como código fonte e detalhes do desenvolvimento devem ser considerados confidenciais e não deverão ser divulgados.

Curitiba, 26 de novembro de 2018.

Elcio José Gogola
EDV 92603133
CIP/TEF31

Elcio Gogola – Chefe de manutenção