

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA ELÉTRICA, MECÂNICA E DE COMPUTAÇÃO
ENGENHARIA MECÂNICA

LAYS BARBOSA DE SOUZA

ESTUDO DA ADEQUAÇÃO DE UMA MÁQUINA DE MANUFATURA PARA REDE
DE COMUNICAÇÃO ETHERNET

GOIÂNIA

2019

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR
VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES
NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinadas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: [] Dissertação [] Tese [x] Monografia

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

Nome completo do autor: Lays Barbosa de Souza

Título do trabalho: **ESTUDO DA ADEQUAÇÃO DE UMA MÁQUINA DE MANUFATURA PARA REDE DE COMUNICAÇÃO ETHERNET**

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento [x] SIM [] NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.

Lays Barbosa de Souza
Assinatura do(a) autor(a)²

Ciente e de acordo:

João Paulo da Silva Fonseca
Assinatura do(a) orientador(a)²

Data: 19 / 07 / 2019

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

² A assinatura deve ser escaneada.

LAYS BARBOSA DE SOUZA

**ESTUDO DA ADEQUAÇÃO DE UMA MÁQUINA DE MANUFATURA PARA REDE
DE COMUNICAÇÃO ETHERNET**

Monografia do projeto final de curso apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Goiás.

Orientador: Prof. Dr. João Paulo da Silva Fonseca

GOIÂNIA

2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Barbosa de Souza, Lays

Estudo da adequação de uma máquina de manufatura para rede
de comunicação ethernet [manuscrito] / Lays Barbosa de Souza. -
2019.

58 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. João Paulo da Silva Fonseca.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade
Federal de Goiás, Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de
Computação (EMC), Engenharia Mecânica, Goiânia, 2019.

Bibliografia. Apêndice.

Inclui siglas, fotografias, abreviaturas, lista de figuras.

1. Indústria 4.0. 2. ROMI D600. 3. Sinumerik 828D. 4. Ethernet. I.
da Silva Fonseca, João Paulo, orient. II. Título.

CDU 621.03

LAYS BARBOSA DE SOUZA

**ESTUDO DA ADEQUAÇÃO DE UMA MÁQUINA DE MANUFATURA PARA
REDE DE COMUNICAÇÃO ETHERNET**

Monografia do projeto final de curso
apresentado como requisito parcial à obtenção do
título Bacharel em Engenharia Mecânica pela
Universidade Federal de Goiás.

Goiânia, 15 de julho de 2019

BANCA EXAMINADORA

João Paulo da Silva Fonseca

Prof. Dr. João Paulo da Silva Fonseca
Universidade Federal de Goiás

Daniel Fernandes da Cunha

Prof. Dr. Daniel Fernandes da Cunha
Universidade Federal de Goiás

Demóstenes Ferreira Filho

Prof. Dr. Demóstenes Ferreira Filho
Universidade Federal de Goiás

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre se mostrar presente na minha vida de todas as maneiras possíveis.

Agradeço também à minha família, por todo apoio e carinho durante toda essa jornada.

Gratidão especial à minha avó Linda por ser meu suporte nessa longa caminhada e meu exemplo de vida.

Toda minha gratidão aos meus parentes de Goiânia, que me receberam e me apoiaram durante esses longos anos de faculdade.

Agradeço aos Professores da Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação por compartilharem seus conhecimentos, ajudando de toda forma possível no meu crescimento profissional e pessoal.

Agradeço também aos técnicos do Laboratório de Materiais e Fabricação por contribuírem para a realização dos experimentos.

O meu muito obrigada ao Professor Dr. Daniel Fernandes da Cunha, por ter entendido a minha situação nesse último semestre e me indicado um novo tema de projeto final e orientador.

Ao Professor Dr. João Paulo da Silva Fonseca toda minha gratidão. Primeiro por me dar a honra de trabalhar em um tema atual e fora da minha zona de conforto; segundo por toda paciência e apoio; terceiro, por não ser apenas orientador, mas sim parceiro durante todo o trabalho e por último por todo esforço em obter resultados satisfatórios.

Aos meus amigos de escola, de faculdade e da vida, que sempre contribuíram me dando forças para continuar e me aconselhando nos momentos difíceis. Não conseguiria citar todos aqui, mas a quem esteve sempre comigo o meu muito obrigada!

A todos que contribuíram direto ou indiretamente não somente neste trabalho, como durante todos esses anos dedicados a minha realização profissional.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de monitoramento e supervisão para um torno CNC	14
Figura 2 - Arquitetura de um Sistema de Monitoramento e Controle Remoto de um CNC ROMI D800 com controlador Sinumerik 828D	15
Figura 3 - Conceito de um sistema de monitoramento para um CNC de arquitetura aberta....	16
Figura 4 - Fotografia do Centro de Usinagem ROMI D600 disponível no LAMAF/UFG.....	19
Figura 5 - Painel de comando do Centro de Usinagem ROMI D600.....	19
Figura 6 - Fotografia do painel de comando do Centro de Usinagem ROMI D600	20
Figura 7 - Portas de comunicação Ethernet	28
Figura 8 – Fotografia da porta X130 para comunicação em uma rede corporativa	28
Figura 9 - Configuração das propriedades do TCP/IP no PC externo	29
Figura 10 – Parâmetros de rede mostrados no <i>prompt</i> de comando.....	30
Figura 11 - Interface de configuração dos parâmetros de rede do TCP/IP.....	31
Figura 12 - Diagnóstico da comunicação entre controlador e PC	32
Figura 13 - Parâmetros dos <i>drivers</i> 2 e 3 do controlador	34
Figura 14 - Função <i>Remote Diagnostics</i> (RCS)	36
Figura 15 - Configuração do UltraVNC Viewer no PC cliente.....	37
Figura 16 - Fotografia da ferramenta utilizada para a usinagem das amostras	39
Figura 17 - Variáveis selecionadas para registro no <i>Trace</i>	39
Figura 18 - Arquitetura de rede implantada para o ROMI D600	41
Figura 19 - Diagnóstico de TCP/IP na rede corporativa através da porta X130	42
Figura 20 - Acesso remoto ao servidor sendo habilitado	43
Figura 21 - Status da conexão do UltraVNC instalado no PC1 com o controlador	43
Figura 22 - Projeção da HMI do Sinumerik 828D em um PC conectado à rede Ethernet	44
Figura 23 - Acesso remoto à HMI da máquina pelo PC na sala técnica do LAMAF	44
Figura 24 - Pastas compartilhadas na rede para troca de dados com o Sinumerik 828D.....	46
Figura 25 - Arquivos da pasta REDE acessada no PC1	46
Figura 26 - Diagrama do comportamento das variáveis durante a usinagem da peça de ferro fundido.....	47
Figura 27 - Diagrama do comportamento das variáveis durante a usinagem da peça de alumínio	48
Figura 28 - Diagrama da variação da <i>active power</i> do <i>spindle</i> na usinagem do ferro fundido	49
Figura 29 - Diagrama da variação da <i>active power</i> do <i>spindle</i> na usinagem do alumínio	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CLP	Controlador Lógico Programável
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
CNC	Comando Numérico Computadorizado
DDE	<i>Data Dinamic Exchange</i>
DHCP	<i>Dynamic Host Configuration Protocol</i>
FTP	<i>File Transfer Protocol</i>
HMI	<i>Human Machine Interface</i>
HSM	<i>High Speed Machine</i>
HTTP	<i>Hipertext Transferer Protocol</i>
IOS	<i>Internet of Service</i>
IOT	<i>Internet of Things</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
LAMAF	Laboratório de Materiais e Fabricação
NC	Numérico Computadorizado
OPC	<i>Open Platform Communications</i>
PC	<i>Personal Computer</i>
PPU	<i>Panel Processing Unit</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Aquisition</i>
SMTP	<i>Simple Mail Transfer Protocol</i>
TCP	<i>Transmisson Control Protocol</i>
TCP/IP	<i>Transmisson Control Protocol / Internet Protocol</i>
TI	Tecnologia da Informação
USB	Universal Serial Bus
XML	<i>Extensible Markup Language</i>

RESUMO

Este projeto consiste no estudo da adequação de uma máquina ferramenta à rede de comunicação Ethernet, o Centro de Usinagem ROMI D600 com controlador Siemens Sinumerik 828D embarcado, disponível no Laboratório de Materiais e Fabricação (LAMAF) da Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação da Universidade Federal de Goiás. O objetivo é implementar um sistema de comunicação da máquina de manufatura na rede Ethernet, e para isto contextualiza-se o projeto nos conceitos da Indústria 4.0 através da configuração da máquina para comunicação na rede e implementação de um sistema de supervisão, controle remoto e troca de dados. A arquitetura implementada foi definida com base nos recursos disponibilizados pelo próprio fabricante, complementando-a com alguns requisitos de software, hardware e protocolos de rede necessários para tal. Funções características como a ferramenta *Trace*, *Drivers* lógicos, pastas compartilhadas na rede, protocolo Ethernet TCP/IP e software de acesso remoto UltraVNC Viewer compõem a arquitetura de comunicação do Centro de Usinagem ROMI D600 do laboratório. Os resultados decorrentes da arquitetura instalada na rede corporativa disponível no LAMAF são: a conectividade da máquina na rede para comunicação com outros dispositivos; possibilidade de troca de dados; monitoramento de variáveis e processos; bem como acesso e controle remoto do Sinumerik 828D em tempo real. A arquitetura configurada atende aos interesses descritos neste trabalho, pois é possível observar características da Indústria 4.0, tais como: interconectividade entre os dispositivos, troca de dados na rede, supervisão e controle remoto. Para os trabalhos conseguintes espera-se melhorar os processos implementados, adequar a arquitetura ao protocolo OPC-UA e obter um maior alcance para a comunicação na rede.

Palavras-chave: Indústria 4.0, ROMI D600, Sinumerik 828D, Ethernet.

ABSTRACT

This project consists on the study of suitability of a machine tool to the Ethernet communication network, ROMI D600 Machining Center with Siemens Sinumerik 828D embedded controller, available at the Materials and Manufacturing Laboratory (LAMAF) of the School of Electrical, Mechanical and Computing Engineering of the Federal University of Goiás. The objective is to implement a communication system of the manufacturing machine in the Ethernet network, and in order to do this it contextualizes the project in concepts of Industry 4.0 through configuration of the machine for communication in the network and implementation of a supervision system, remote control and data exchange. The implemented architecture was defined based on the resources made available by the manufacturer, complementing it with some necessary software, hardware and network protocol requirements. Features such as the Trace tool, Logical Drivers, shared folders on the network, Ethernet TCP/IP protocol and UltraVNC Viewer remote access software make up the communication architecture of ROMI D600 Machining Center in the lab. Results of the architecture installed in the corporate network available in LAMAF are: connectivity of the machine in the network for communication with other devices; possibility of data exchange; monitoring of variables and processes; as well as access and remote control of Sinumerik 828D in real time. Architecture configured meets the objective described in this work, because it's possible to observe characteristics of Industry 4.0, such as: interconnectivity between devices, data exchange in the network, supervision and remote control. For future works, it is expected that implemented processes be improved, UA and also obtain a greater reach for the communication in the network.

Keywords: Industry 4.0, ROMI D600, Sinumerik 828D, Ethernet.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1 MOTIVAÇÃO.....	12
1.2 OBJETIVOS.....	12
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
3.1 INDÚSTRIA 4.0.....	17
3.2 SISTEMAS SUPERVISÓRIOS	18
3.3 CENTRO DE USINAGEM ROMI D600	18
3.3.1 SIEMENS SINUMERIK 828D	20
3.4 COMUNICAÇÃO DE DADOS.....	21
3.4.1 REDES	21
3.4.2 PROTOCOLOS DE REDE	21
3.4.3 ENDEREÇAMENTO DE IP.....	23
4. MÉTODOS E PROCESSOS.....	23
5. ARQUITETURA DE COMUNICAÇÃO DA MÁQUINA NA REDE ETHERNET	24
5.1 TENTATIVA DE ADEQUAÇÃO DA MÁQUINA PARA COMUNICAÇÃO NA REDE UTILIZANDO O PADRÃO OPC	25
5.2 COMPARTILHAMENTO EM REDE.....	27
5.2.1 HABILITANDO A COMUNICAÇÃO DA MÁQUINA COM UM PC EXTERNO VIA ETHERNET	27
5.2.2 ELABORAÇÃO DE PASTAS COMPARTILHADAS NA REDE PARA TROCA DE DADOS ENTRE OS DISPOSITIVOS	32
5.3 ACESSO REMOTO À MÁQUINA UTILIZANDO O ULTRAVNC VIEWER.....	34
5.4 FUNÇÃO SERVO TRACE.....	38
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40

6.1 CONECTIVIDADE NA REDE ETHERNET.....	41
6.2 ACESSO E CONTROLE REMOTO DO CONTROLADOR SINUMERIK 828D	42
6.3 TROCA DE DADOS ENTRE OS DISPOSITIVOS NA REDE ETHERNET.....	45
6.4 MONITORAMENTO DE VARIÁVEIS DO CONTROLADOR SINUMERIK 828D	47
7. CONCLUSÃO.....	51
8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	52
REFERÊNCIAS	53
APÊNDICE A - PLANO DE TRABALHO.....	56

1. INTRODUÇÃO

O avanço da tecnologia de informação (TI) tem se mostrado cada vez mais presente nos processos industriais, o ideal de se obter pleno controle dos processos, flexibilidade na produção, interconectividade entre os dispositivos e rápida comunicação entre os sistemas, fomenta o início de uma quarta revolução industrial (DELOITTE, 2015). Nesse contexto, surge a chamada Indústria 4.0, baseada na utilização dos recursos tecnológicos para a criação de fábricas que possuam sistemas inteligentes para dar embasamento às decisões da cadeia corporativa (OLIVEIRA; ÁLVARES, 2018).

Da necessidade de controle e monitoramento dos processos, surgem os sistemas de Controle de Supervisão e Aquisição de Dados, conhecidos por SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), os quais possibilitam o acompanhamento de todas as etapas da cadeia produtiva através de interfaces gráficas em computadores localizados em uma central de controle industrial (FERRAZ, 2002). Além disso, os sistemas supervisórios permitem a detecção de possíveis falhas na planta industrial antes que elas ocorram de fato, conforme descrito por Jurizato e Pereira (2003).

A utilização dos recursos tecnológicos nos processos industriais baseando-se nos pilares da Indústria 4.0 já é realidade, principalmente quando se fala em máquinas-ferramentas a Comando Numérico Computadorizado (CNC). Os sistemas supervisórios são possíveis para tais máquinas devido a sua construção e a existência de controladores de arquitetura aberta em seu mecanismo interno, ou seja, dispositivos de interfaces abertas para comunicação (DEL CONTE, 2007).

De acordo com Del Conte (2007), as máquinas CNC utilizadas para usinagem a alta velocidade geralmente possuem uma interface de comunicação homem-máquina, os chamados PCs de HMI (*Human Machine Interface*), que permitem a interação do operador com o processo ocorrendo em tempo real. Tal inovação aliada à construção de sistemas de supervisão e aquisição de dados de máquinas-ferramenta são características da incorporação de um ambiente industrial à Indústria 4.0, e este processo é viabilizado quando o CNC possui um sistema de arquitetura aberta compatível à integração de protocolos para comunicação na rede.

1.1 MOTIVAÇÃO

Segundo Silva e Villani (2010), a necessidade de monitoramento em máquinas CNC tem aumentado devido a exigência do mercado por equipamentos cada vez mais potentes, com melhor desempenho e menos falhas. Com a implantação de um ambiente industrial embasado no princípio da manufatura virtual, conceito primordial para a Indústria 4.0, os processos produtivos podem ser monitorados e simulados virtualmente desde a fase de desenvolvimento do produto até sua fabricação, resultando assim em processos mais confiáveis (SOUZA et al., 2002).

A necessidade da indústria de ter pleno controle de todos os seus processos aliada ao ideal da quarta revolução industrial de implementar fábricas inteligentes, diminui a lacuna entre os processos ocorrendo em si e as exigências dos consumidores por produtos e/ou serviços mais seguros, confiáveis e no menor tempo possível (COELHO, 2016). Visando adequar o maquinário ao novo ambiente da Indústria 4.0 os fabricantes de máquinas-ferramentas CNC são compelidos a fornecer meios cabíveis para comunicação e integração do sistema inteligente da máquina à rede, disponibilizando assim opções de interfaces para serem criadas e exploradas a critério do usuário.

Nesse contexto, este trabalho visa a adequação de uma máquina-ferramenta CNC aos conceitos da Indústria 4.0, por meio da implementação de um sistema de supervisão e controle remoto de um Centro de Usinagem ROMI D600, localizado no Laboratório de Materiais e Fabricação (LAMAF) da Universidade Federal de Goiás, com um comando Siemens Sinumerik 828D, versão 4.4. Para isso, será definida uma arquitetura de comunicação via rede Ethernet, baseando-se nos conceitos da Indústria 4.0, e especificando requisitos de software, hardware e protocolos de rede necessários para tal.

1.2 OBJETIVOS

Alguns objetivos específicos deste trabalho são:

- Levantar requisitos para adequação do Centro de Usinagem ROMI D600 à rede de comunicação, seguindo os conceitos da Indústria 4.0;
- Definir uma arquitetura de comunicação cliente-servidor fundamentada nos recursos tecnológicos disponíveis no CNC, e utilizando requisitos de software e hardware que possibilitem a integração da máquina na rede;

- Desenvolver um sistema de supervisão e controle remoto para o controlador Siemens Sinumerik 828D, disponível no Centro de Usinagem ROMI D600;
- Definir um sistema para monitoramento e aquisição de variáveis de processo;
- Disponibilizar uma estação de controle para acesso remoto e monitoramento dos processos;
- Designar um meio para transferência de dados, via Ethernet, do computador pessoal para a máquina e vice-versa.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente documento é composto por sete tópicos, os quais serão expostos a seguir com uma rápida abordagem do conteúdo específico destes. Sua estrutura é acrescida das referências bibliográficas, as quais são a base didática deste trabalho.

O tópico 1 é composto pela motivação, os objetivos e a estrutura organizacional do referido trabalho, que em conjunto dão base para a introdução.

No tópico 2 são apresentados os trabalhos que fundamentam a revisão bibliográfica da pesquisa realizada. Neste tópico são citados alguns sistemas supervisórios elaborados para o monitoramento de máquinas-ferramenta CNC.

A fundamentação teórica no tópico 3 descreve os principais conceitos abordados neste trabalho, de modo a elucidar os pilares da Indústria 4.0, a definição dos sistemas supervisórios, as principais características do Centro de Usinagem ROMI D600 e seu controlador Siemens Sinumerik 828D e as particularidades da comunicação de dados na rede.

O tópico 4 descreve brevemente a metodologia utilizada, enquanto o tópico 5 detalha como foi implementada a Arquitetura de comunicação na rede Ethernet para o Centro de Usinagem ROMI D600.

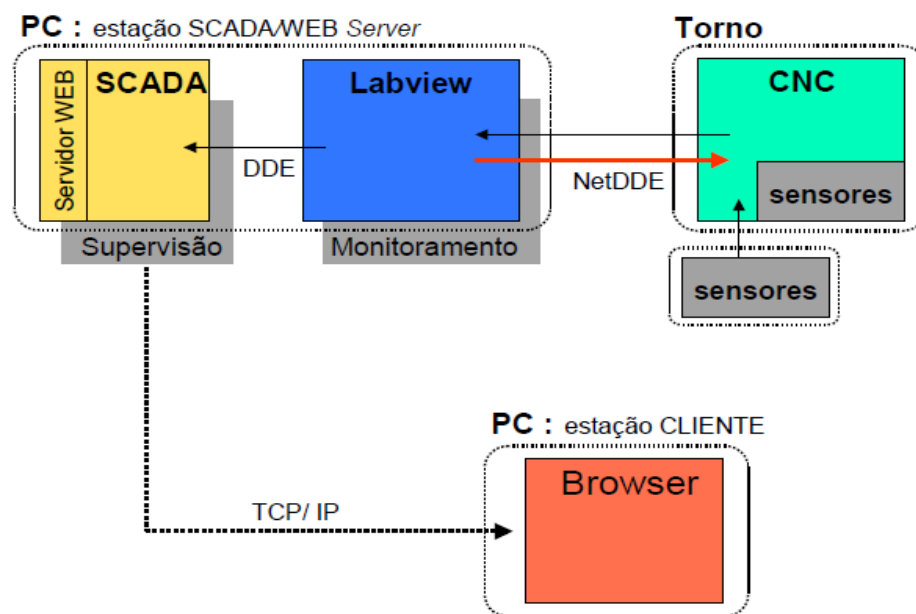
Os resultados da arquitetura proposta são exibidos no tópico 6. Nele são mostrados os detalhes da estrutura estabelecida para a comunicação da máquina com outros dispositivos via rede corporativa disponível no LAMAF.

Por fim, no último tópico é exposta a conclusão deste trabalho, destacando-se as vantagens e limitações da adequação da máquina de manufatura à rede Ethernet. Além disso, são propostas sugestões para os trabalhos conseguintes, visando a melhoria da arquitetura desenvolvida.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Ferraz (2002) desenvolveu um sistema de supervisão *on-line* e um sistema de monitoramento dos desgastes das ferramentas de corte de um torno CNC com Siemens 810D (Figura 1). Ferraz (2002) programou em Labview um sistema que comunica com a PPU (*Panel Processing Unit*) Sinumerik 810D via rede com padrão Fast-Ethernet, utilizando o protocolo NetDDE. A partir da aquisição das variáveis no Labview, por meio de um PC (*Personal Computer*) com o software SCADA/WEB instalado, é possível a visualização gráfica dos dados do CNC. Por meio deste supervisório pode-se identificar o momento propício para troca das ferramentas desgastadas e analisar o desempenho da máquina.

Figura 1 - Sistema de monitoramento e supervisão para um torno CNC



Fonte: Ferraz (2002).

Silva e Villani (2010) desenvolveram um sistema de monitoramento e controle remoto de uma máquina CNC modelo ROMI D800, que utiliza um controlador Siemens Sinumerik 828D. O trabalho desenvolvido consiste em um sistema que monitora o deslocamento e a velocidade de movimentação dos eixos motores da máquina, durante seu funcionamento. Para implementação de tal sistema, Silva e Villani (2010) utilizaram um pacote de aplicativos da Siemens, denominado *Startup tools*, o qual possibilita comunicação via protocolo DDE. O sistema foi programado no software Visual Basic 6.0 e a comunicação é realizada através da porta Ethernet X127.

O resultado foi uma Interface disponível em um PC para interação e monitoramento do operador. A arquitetura do sistema desenvolvido por Silva e Villani (2010) é mostrada na Figura 2.

Figura 2 - Arquitetura de um Sistema de Monitoramento e Controle Remoto de um CNC ROMI D800 com controlador Sinumerik 828D



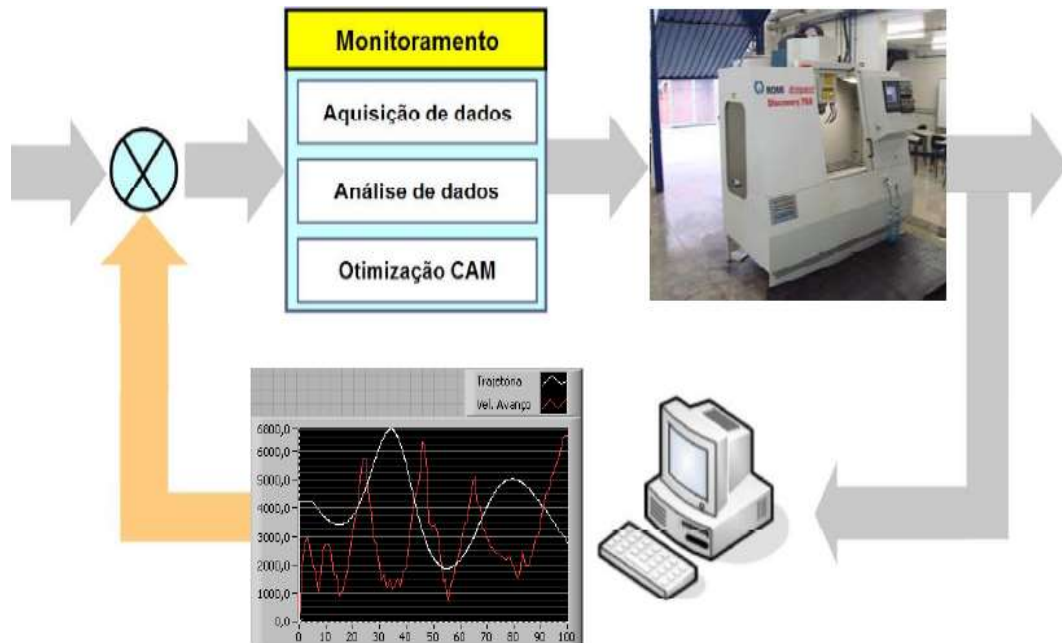
Fonte: Silva e Villani (2010).

Del Conte (2007) mostra a implementação de um sistema de monitoramento da velocidade de avanço e aceleração de eixos de um CNC de arquitetura aberta que utiliza um controlador Siemens 810D, conforme pode ser visualizado na Figura 3.

O sistema supervisor foi desenvolvido em Labview utilizando o protocolo DDE (*Data Dynamic Exchange*), e a partir dele foi possível adquirir e analisar os dados para identificar os melhores parâmetros. Além disso, Del Conte (2007) aplicou o mesmo sistema em outro controlador Siemens Sinumerik, o 840D, comparando os dados obtidos para ambos. Os resultados foram disponibilizados em interfaces gráficas.

A arquitetura desenvolvida por Del Conte (2007) consiste em um sistema de malha fechada para monitoramento da máquina, através da aquisição de variáveis, análise de dados e otimização dos processos. A partir da visualização gráfica do comportamento das variáveis adquiridas, pode-se identificar os melhores parâmetros e realizar as devidas modificações nos dados da máquina. Um conceito da arquitetura do sistema supervisor desenvolvido é mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Conceito de um sistema de monitoramento para um CNC de arquitetura aberta



Fonte: Del Conte (2007).

Oliveira e Álvares (2018) foram além e desenvolveram um sistema baseado em protocolos mais atuais, o OPC-UA e o MTConnect. A ideia principal do trabalho foi implementar um supervisor de teleoperação e monitoramento para máquinas-ferramentas CNC através da internet e respaldado nos conceitos da Indústria 4.0. O sistema foi aplicado a um CNC Fanuc Focas-18ti. A escolha dos protocolos é estratégica pois ambos permitem a aplicação dos recursos da Indústria 4.0, como a computação em nuvem e integração com dispositivos utilizando protocolo padrão.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo Neto (2008), a necessidade de fabricação de peças com superfícies complexas em moldes de materiais resistentes, aliada à busca do mercado por processos de qualidade realizados no menor tempo possível, deu início a Usinagem a alta velocidade, conhecida por *High Speed Machine* (HSM). Tal processo utiliza a programação numérica computadorizada (NC) para comandar um maquinário de alto desempenho na produção de moldes e matrizes.

Conforme descrito por Del Conte (2007), é notório que o aumento dos processos de automação na indústria tem obrigado os fabricantes de máquinas-ferramentas a aumentar o nível de segurança dos seus equipamentos, utilizando, para isso, sistemas supervisórios baseados em conceitos de TI e aplicados na Indústria 4.0. É fato também que este conceito pode

ser aplicada a todas as máquinas industriais de um modo geral, pois geralmente é um meio propício a aplicação dos recursos tecnológicos.

3.1 INDÚSTRIA 4.0

Segundo Coelho (2016), a Indústria 4.0 reflete o ideal das fábricas futuristas, onde todos os processos industriais são monitorados desde o chão de fábrica até o nível corporativo. A Indústria 4.0 se firma, principalmente, nos conceitos dos Sistemas *Cyber Físicos* (*Cyber-physical Systems*, CPS), *Big Data Analytics* e Internet das Coisas e Serviços.

O avanço dessa nova era digital e tecnológica possibilita o desenvolvimento de mecanismos para processamento de dados cada vez mais rápidos e que ocupam espaços cada vez menores. De acordo com Coelho (2016) e Oliveira e Álvares (2018), o resultado do aumento da produção de tais dispositivos, aliado à redução de custos para concepção dos mesmos, foi a criação de sistemas integrados, denominados de *Cyber Físicos*. Estes sistemas são fruto da interação entre os meios físico e virtual, o avanço das redes de comunicação e microprocessadores extremamente ágeis e com tamanho suficiente para serem embutidos em outros equipamentos.

A idealização de controle de todos os processos industriais utilizando os recursos tecnológicos impacta diretamente na quantidade de dados gerados em tempo real. A partir disso surge o conceito de *Big Data Analytics*, o qual concebe a ideia do armazenamento seguro e eficaz dos dados originados a partir dos processos industriais, e disponibilizados em rede para futuro processamento dos mesmos em informações significantes e interpretáveis a nível administrativo (COELHO, 2016).

A internet se encontra inserida diretamente no contexto da Indústria 4.0, que almeja aumentar potencialmente os recursos tecnológicos no meio industrial, de modo a permitir que todas as coisas estejam inseridas e integradas na rede. Nessa concepção, a *Internet of things* (IoT) visa aproveitar todas as conveniências proporcionadas pela maior conectividade das coisas na rede, ou seja, dispositivos e máquinas interagindo mutuamente, por meio de protocolos de comunicação, para a construção de sistemas inteligentes que permitam reconhecimento, acompanhamento, supervisão e aprimoramento das entidades envolvidas (OLIVEIRA; ÁLVARES, 2018).

Conforme Oliveira e Álvares (2018), através da Indústria 4.0 deseja-se integrar os serviços à internet, na mesma perspectiva prevista para a IoT. O advento da *Internet of Service* (IoS) proveniente do aperfeiçoamento da IoT, propõe a inserção dos serviços em uma rede

inteligente, para que estes possam ser gerenciados e otimizados à conveniência dos principais interessados no processo, seja a nível corporativo ou cliente.

3.2 SISTEMAS SUPERVISÓRIOS

Os sistemas de supervisão foram desenvolvidos dada a necessidade de monitorar os processos ao longo da cadeia produtiva, permitindo maior integração entre o corporativo e o chão de fábrica. Por este motivo, os desenvolvedores da área de TI têm projetado interfaces de aquisição de dados e monitoramento que se comunicam diretamente com os dispositivos embarcados nas máquinas. Tais sistemas são conhecidos por SCADA (JURIZATTO; PEREIRA, 2003).

Da necessidade de conectar as máquinas aos sistemas de controle e supervisão, os fabricantes de CNC têm se empenhado em permitir que seus produtos tenham arquitetura livre para comunicação com outros dispositivos, ou até mesmo tem disponibilizado softwares com tais funcionalidades. Um exemplo disso são os controladores Siemens embarcados nas máquinas CNC, os quais permitem comunicação e troca de dados com outros servidores instalados em um PC, desde que sejam especificados apenas alguns requisitos de hardware e software (cabos, drivers, protocolos de rede, etc.) (SIEMENS AG, 2018).

3.3 CENTRO DE USINAGEM ROMI D600

O ROMI D600 (Figura 4) é um Centro de Usinagem CNC para execução de operações de fabricação de peças. Máquinas por comando numérico computadorizado caracterizam-se por possuírem sistemas automatizados, onde dispositivos eletroeletrônicos gerenciam todos os processos durante seu funcionamento.

A partir de um desenho, do programa de comando para a fabricação e da especificação das ferramentas a serem utilizadas, a peça é fabricada no Centro de Usinagem CNC (INDÚSTRIAS ROMI S/A, 2019). Operações de furação, fresamento e desbaste podem ser realizados por meio do ROMI D600.

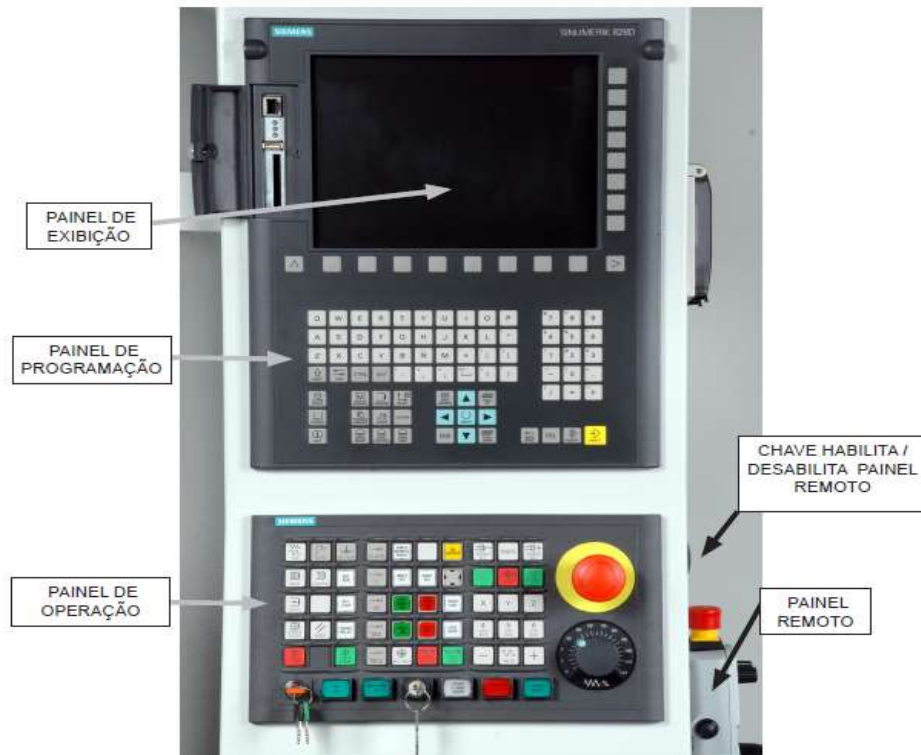
O CNC ROMI é composto por uma PPU, isto é, um painel de operação, um painel de programação e um painel de exibição para comando e controle dos programas de usinagem, conforme pode ser visualizado na Figura 5.

Figura 4 - Fotografia do Centro de Usinagem ROMI D600 disponível no LAMAF/UFG



Fonte: Elaborado pelo própria autora.

Figura 5 - Painel de comando do Centro de Usinagem ROMI D600



Fonte: INDÚSTRIAS ROMI S/A (2019).

Os processos executados em uma máquina ferramenta CNC são realizados por pequenos dispositivos de hardware com entradas e saídas de sinais, denominados controladores.

No caso do Centro de Usinagem ROMI D600 o controlador responsável pelo controle dos processos é o modelo Siemens Sinumerik 828D mostrado na Figura 6 (INDÚSTRIAS ROMI S/A, 2019).

Figura 6 - Fotografia do painel de comando do Centro de Usinagem ROMI D600



Fonte: Elaborado pelo própria autora.

3.3.1 SIEMENS SINUMERIK 828D

Os controladores Siemens têm ganhado bastante destaque na indústria por serem dispositivos de arquitetura aberta para troca de dados, e, por este motivo, se tornam soluções simples, produtivas e potentes para as máquinas CNC utilizadas no chão de fábrica. Destacam-se entre eles a linha Sinumerik, uma excelente opção quando se requer alta produtividade, flexibilidade, eficiência e qualidade. Os modelos Sinumerik 808D, 828D e 840D são exemplos de controladores Siemens de maior aplicação nas máquinas-ferramentas CNC (SIEMENS AG, 2018).

Os controladores Siemens Sinumerik possuem uma interface simples e compacta para interação entre o operador e os comandos da máquina, denominada *Panel Processing Unit* (PPU). O painel frontal do Sinumerik 828D, controlador integrado a ROMI D600, possui acessibilidade para transferência de dados, pois é equipado com entradas para o uso de dispositivos USB, cartão *compact flash* e conector RJ45 para rede Ethernet (SIEMENS AG,

2018). O modelo 828D disponibiliza portas de comunicação para troca de dados entre a PPU e um PC externo através da Ethernet (rede local para comunicação), via transferência direta ponto-a-ponto, através da porta X127 com IP fixo, ou via comunicação multiponto, disponibilizando acesso em uma rede corporativa interna por meio da porta X130.

3.4 COMUNICAÇÃO DE DADOS

Para estabelecer comunicação são necessárias duas características fundamentais: primeiro, a presença de dois ou mais indivíduos, objetos, dispositivos, onde um trabalha como transmissor e o outro como receptor, e segundo, a determinação de um meio para que haja troca de informações. De acordo com Forouzan (2006) essa comunicação pode ser presencial, de tal modo que o receptor e o transmissor se encontrem no mesmo ambiente, ou pode ser remota, ocorrendo a longa distância.

A comunicação de dados envolve a transferência de informações, através de um meio, entre dois ou mais dispositivos, envolvidos em um sistema de comunicação composto por um meio físico (*hardware*) e programas (*software*). Para que a informação seja transmitida e a comunicação seja eficiente é necessário que haja pelo menos: uma mensagem (dados transferidos), um transmissor, um receptor, um meio e um protocolo, que é designado como um conjunto de regras para que os dispositivos se comuniquem (FOROUZAN, 2006).

3.4.1 REDES

Segundo Forouzan (2006), o agrupamento de dispositivos conectados por nós caracteriza uma rede. Esses nós (ou *links* de comunicação) são os dispositivos que trocam informações, podendo ser qualquer aparato de hardware: um PC, um CLP, uma impressora, etc. Essa comunicação pode ser feita de maneira direta, isto é, ponto-a-ponto, onde há um meio dedicado especialmente para a comunicação entre os dois dispositivos, ou pode ainda haver uma comunicação multiponto, onde um link é compartilhado por mais de dois dispositivos.

3.4.2 PROTOCOLOS DE REDE

Um protocolo de rede especifica os requisitos fundamentais para que haja comunicação entre dois ou mais dispositivos. O protocolo determina a ordem e forma que os dados são transferidos e estabelece como será realizada a comunicação entre receptor e transmissor (KUROSE; ROSS, 2013).

Alguns exemplos de protocolos de rede comumente utilizados são: HTTP (*Hipertext Transfer Protocol*), FTP (*File Transfer Protocol*), SMTP (*Simple Mail Transfer Protocol*), TCP/IP (*Transmission Control Protocol / Internet Protocol*), DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*), dentre outros. Segundo Rios (2011), quando se pesquisa uma página na internet, ou quando um download é realizado ou ainda quando um e-mail é enviado são utilizados serviços de rede que são governados por protocolos, como o HTTP, FTP e SMTP, respectivamente.

De acordo com Franciscatto et al (2014) e Siemens AG (2006a), o protocolo DHCP tem a incumbência de auxiliar na configuração e operação dos clientes em uma rede, disponibilizando endereços virtuais, chamados de endereços de IP, e outros parâmetros de rede dinamicamente.

Os protocolos TCP e IP, juntos, formam a base de comunicação de dados na internet. A arquitetura do protocolo é formada por camadas com determinadas funções, desde a conectividade dos dispositivos na rede, o transporte, transferência de dados e aplicação na rede para integração dos clientes. De acordo com Franciscatto et al (2014) e Rios (2011), o TCP/IP, protocolo de controle de transmissão/protocolo da internet, é definido como um conjunto de protocolos que permite a troca de dados para diferentes aplicações na internet, utilizando um sistema de transferência e transmissão de informações bem definido.

Quando se pensa em troca de dados entre máquinas de chão de fábrica e os sistemas de supervisão existente nas salas de controle, protocolos como o DDE e suas derivações estão entre os mais utilizados. O protocolo DDE é regularmente aplicado para sistemas operacionais Windows, e funciona de modo a regulamentar a transferência de dados entre dispositivos distintos. Além disso, o protocolo possui ainda algumas derivações para aplicações na rede, como o NetDDE, O FastDDE e o AdvanceDDE. Apesar das versões melhoradas do protocolo, o DDE não é recomendado para aplicações onde é altamente desejável qualidade e velocidade na troca de dados (FERRAZ, 2002). Por este motivo, protocolos como o OPC (*Open Platform Communications*) têm ganhado força no mercado das tecnologias de informação (OPC FOUNDATION, 2019).

Segundo a OPC Foundation (2019) e Ferraz (2002), OPC consiste em um protocolo construído para troca de dados e integração entre os variados dispositivos e plataformas de comunicação e controle de processos, o qual tem ganhado bastante força devido a sua grande versatilidade. A evolução e adaptação do protocolo OPC permitiu uma maior integração entre as necessidades dos diferentes dispositivos de chão de fábrica e as decisões estratégicas do corporativo da indústria. As melhorias realizadas pela OPC Foundation no clássico protocolo

OPC garante uma maior conectividade na rede entre as várias plataformas de diferentes fornecedores, a partir da criação de um protocolo de arquitetura aberta e unificada, o OPC UA (OLIVEIRA; ÁLVARES, 2018).

3.4.3 ENDEREÇAMENTO DE IP

Para que a comunicação entre os dispositivos na rede seja possível é necessário que cada terminal, conhecido por *host* (hospedeiro), possua um nome e endereço relativo (MORIMOTO, 2007). Segundo Kurose e Ross (2013), o protocolo IP é responsável por especificar as informações relativas aos pacotes de dados trocados na rede. Atualmente ele possui duas versões: o IPv4 e o IPv6, sendo este último uma atualização para a garantia de uma maior disponibilidade de endereços.

O endereço de IP é formado por 4 agrupamentos de octetos, ou seja, 4 blocos de 8 *bits* (menor unidade para troca de dados). Os octetos dos endereços de IP são divididos de forma que uma parte representa o endereço da rede e a outra o endereço do dispositivo ou entidade conectada na rede (MORIMOTO, 2007). O IP 192.168.215.17, por exemplo, pertence à classe de endereços usualmente utilizada em redes locais, onde os três primeiros octetos, 192.168.215, identificam a rede, enquanto o último octeto, 17, caracteriza o *host*, ou seja, o dispositivo conectado à rede.

4. MÉTODOS E PROCESSOS

Este trabalho visa familiarização com os principais conceitos da Indústria 4.0, especificando, para isso, os requisitos necessários para a adequação de uma máquina ferramenta à rede Ethernet local. A pesquisa exploratória serve como base para identificação e análise do comportamento de variáveis que serão monitoradas no processo de usinagem de alta velocidade.

O trabalho em questão foi desenvolvido no Laboratório de Materiais e Fabricação do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Goiás, tendo como objeto de estudo o Centro de Usinagem ROMI D600 equipado com a PPU do controlador Siemens Sinumerik 828D versão 4.4.

A finalidade da pesquisa é a especificação dos recursos necessários para implementar uma arquitetura que possibilite a supervisão e controle das variáveis de processo da máquina via rede de comunicação Ethernet. Além disso, espera-se a especificação de meios cabíveis para

obter troca de dados entre a máquina e outros dispositivos conectados à rede corporativa disponível *in loco*.

Utiliza-se como método de abordagem a pesquisa qualitativa como forma de analisar os benefícios da arquitetura de comunicação na rede e monitorar o comportamento de variáveis que influenciam nos processos de usinagem. Além disso, a arquitetura implementada permite o acesso e controle remoto do objeto de estudo, com o propósito de monitorar e supervisionar os processos em andamento na máquina-ferramenta.

Para a coleta de dados e projeto do sistema proposto, utiliza-se a metodologia da pesquisa de campo com desenvolvimento experimental em laboratório, embasada na revisão bibliográfica de quatro artigos científicos e trabalhos acadêmicos publicados entre 2002 e 2018.

5. ARQUITETURA DE COMUNICAÇÃO DA MÁQUINA NA REDE ETHERNET

A arquitetura implementada para adequação do Centro de Usinagem à rede Ethernet, disponibilizando-o para comunicação e troca de dados com outros dispositivos, tem como base a utilização das propriedades do protocolo TCP/IP, cabos de rede com conector RJ45 e computadores pessoais conectados à rede disponível. A arquitetura se fundamenta na adequação e configuração do ROMI D600 para conectividade na rede, comunicação entre PC e controlador por meio do acesso remoto, aquisição de dados da máquina e, por fim, o monitoramento das variáveis de processo.

A estrutura de comunicação na rede implantada para o ROMI D600 estabelece a interconectividade entre duas estações de trabalho CPU, um notebook e a PPU do CNC. Porém a versão de estudo conseguiria viabilizar a instalação de até sete computadores pessoais ligados à rede e ao Sinumerik 828D, para fins de controle remoto e supervisão da máquina.

Nesta seção será mostrado o procedimento para parametrização dos computadores e da PPU para a comunicação e transferência de informações na rede. Será detalhada também a configuração das ferramentas tecnológicas disponíveis que complementam a arquitetura e possibilitam a troca de dados entre os dispositivos na rede Ethernet. Para isso, este capítulo foi dividido em quatro seções específicas: a primeira detalha as tentativas iniciais de adequação do Sinumerik 828D para comunicação com outros dispositivos via padrão OPC; a segunda seção descreve a parametrização do Sinumerik 828D para compartilhamento de dados; a terceira seção mostra a configuração do acesso remoto à máquina via rede Ethernet e a última seção explora um pouco sobre a função *Trace* disponível no CNC.

5.1 TENTATIVA DE ADEQUAÇÃO DA MÁQUINA PARA COMUNICAÇÃO NA REDE UTILIZANDO O PADRÃO OPC

A arquitetura inicialmente planejada para comunicação da máquina e aquisição de dados via rede Ethernet tinha como base a utilização do padrão OPC. O protocolo de arquitetura aberta e unificada, OPC UA, disponibilizado pela OPC Foundation (2019), é altamente versátil para conectividade e troca de dados na rede e, por este motivo, é uma excelente opção quando se deseja adequar uma ambiente industrial aos conceitos da Indústria 4.0.

O Centro de Usinagem ROMI D600 do LAMAF/UFG é equipado com a PPU Siemens Sinumerik 828D, a qual possibilita a integração da máquina com outros computadores conectados na rede, em razão de sua arquitetura aberta para comunicação. A conectividade da máquina à rede possibilita a aquisição de variáveis de processo e monitoramento de dados da máquina ferramenta durante seu funcionamento. Por este motivo, a ideia de utilizar o protocolo atual OPC UA para implementação da arquitetura descrita nesse trabalho, se mostrou, inicialmente, como a opção mais interessante.

A estrutura idealizada para comunicação e troca de dados entre PC e máquina ferramenta seria intermediada por um software padrão OPC, tal como o OPC UA, que fosse compatível com o Sinumerik 828D versão 4.4. No entanto, essa versão do controlador Sinumerik do CNC não possui licença para OPC UA, devido ao fato dessa licença estar disponível apenas para versões iguais ou superiores a 4.5. Por este motivo, softwares para comunicação via protocolo OPC UA compatíveis com controladores da linha Sinumerik, tais como o Sinutrain, recomendado pela Siemens, e o CNCnetPDM disponibilizado gratuitamente pela Inventcom (2019), ficaram impossibilitados de serem utilizados neste trabalho.

A Siemens disponibiliza um *upgrade* para a mudança de versões do Sinumerik 828D, atualizando de 4.4 para 4.5. Todavia, a licença para atualização do controlador Sinumerik possui um custo associado, o qual inviabiliza essa opção de ser utilizada no referido trabalho.

Descartada a opção de utilizar o protocolo OPC-UA, iniciou-se a tentativa de utilizar *softwares* clientes OPC que pudessem se comunicar com o controlador Sinumerik 828D por meio de protocolos compatíveis com a versão 4.4. Para este caso, a licença gratuita do KEPServerEX da Kepware (2019) se mostrou como uma opção viável.

O KEPServerEX é um cliente OPC comumente utilizado como um intermediário para comunicação entre as máquinas de automação e as interfaces padrões para supervisão e aquisição de dados. Este software de comunicação serve de ponte entre os diversos controladores e softwares SCADA existentes na indústria, utilizando, para isso, diferentes

protocolos de comunicação (EXATA, 2017). O KEPServerEX permite a comunicação entre os dispositivos na rede através de protocolos bem conhecidos, como o DDE, OPC UA, OPC *Classic* e TCP/IP. A Kepware (2019) disponibiliza uma versão gratuita do software para testes em seu site.

A tentativa de comunicação com o controlador Sinumerik 828D por meio o KEPServerEX, teve início a partir da instalação do software em um computador pessoal e disponibilização das entidades envolvidas na rede Ethernet. A ideia principal era utilizar o KEPServerEX como ponte entre controlador e PC, possibilitando assim a aquisição de variáveis de processo disponíveis no CNC. A troca de dados entre os dispositivos na rede é viabilizada por meio dos protocolos de comunicação e, para isso, é necessário a identificação prévia dos protocolos suportados pelo Sinumerik 828D. Conforme descrito por Siemens AG (2006a), o controlador 828D utiliza o protocolo TCP/IP para comunicação via rede Ethernet. Por este motivo, para a primeira tentativa de interação entre os dispositivos na rede intermediada pelo KEPServerEX utilizou-se o protocolo Ethernet TCP/IP.

O KEPServerEX não possui drivers de comunicação direta com controladores da linha Sinumerik, porém se comunica com modelos de CLPs da família S7 (S7-200, S7-300, S7-400, etc.) da Siemens (KEPWARE, 2019). Os CLPs da linha S7 geralmente são mais simples e se encontram integrados em outros controladores como, por exemplo, os modelos Sinumerik. O controlador Sinumerik 828D possui um CLP S7-200 embarcado em sua PPU, assim como seu antecessor, Sinumerik 840D, dispõe de um controlador S7-300 integrado.

Conforme descrito por Kepware (2019), a comunicação com controladores Sinumerik via KEPServerEX, pode ser habilitada por conta dos CLPs S7 embarcados em tais controladores. Para isso, é necessário a utilização de drivers de comunicação disponíveis no software. Os drivers são componentes de software que regulam a comunicação entre o KEPServerEX e outros dispositivos.

A configuração do KEPServerEX para comunicação com um CLP é bem intuitiva e segue um procedimento padrão. Primeiro deve se estabelecer um canal para comunicação, isto é, escolher um dos drivers disponíveis no software. Após a escolha do driver, deve-se determinar o dispositivo para o qual se deseja a aquisição de dados, e, por último, define-se as variáveis a serem adquiridas e disponibilizadas no cliente OPC. Após a configuração do canal para conectividade entre os dispositivos, aciona-se o cliente OPC no KEPServerEX de modo a habilitar a aquisição de dados na rede (EXATA, 2017).

Para o presente trabalho o driver escolhido foi o Ethernet TCP/IP, o dispositivo S7-200 (embarcado no Sinumerik 828D) e as variáveis de NC disponíveis no CLP. Porém, ao habilitar

o cliente OPC para a troca de dados com o CNC, o software apresentava um erro indicando que o dispositivo não conseguia responder, provavelmente porque o driver Ethernet TCP/IP não conseguia estabelecer comunicação com o S7-200 embarcado no Sinumerik 828D.

Na segunda tentativa de utilização do KEPServerEX, tentou-se modificar o drive para comunicação entre os dispositivos. Baseando-se no sistema desenvolvido por Silva e Villani (2010) para o Sinumerik 828D, optou-se por escolher no canal de comunicação do KEPServerEX o driver DDE *Client*. Seguindo o mesmo procedimento para configuração do dispositivo e das variáveis, o novo canal foi criado e testado utilizando o cliente OPC, no entanto, o resultado foi o mesmo: não houve resposta do dispositivo.

Devido aos obstáculos encontrados nas tentativas de adequação da máquina para comunicação na rede utilizando o padrão OPC, outras opções foram exploradas no presente trabalho e serão detalhadas nas seções seguintes.

5.2 COMPARTILHAMENTO EM REDE

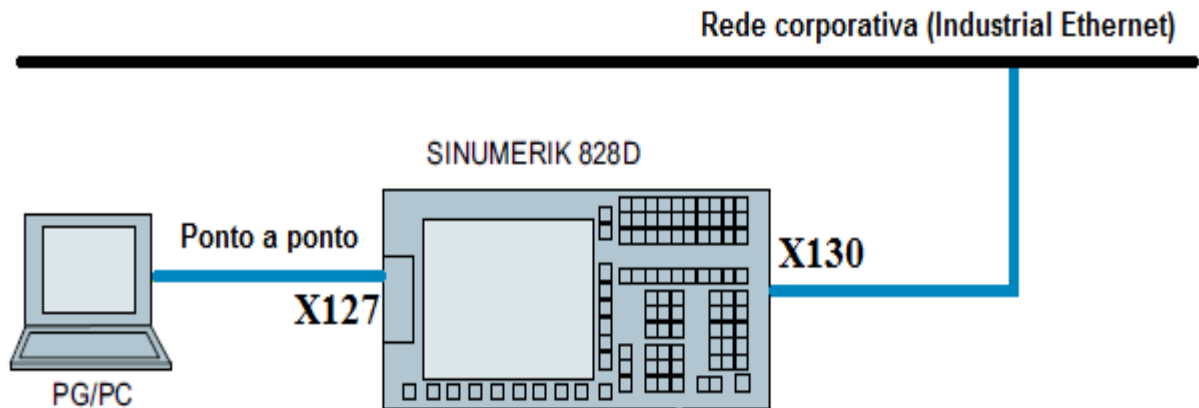
Nesta seção, detalha-se a parametrização do Sinumerik 828D e dos computadores pessoais para comunicação na rede Ethernet e a elaboração de pastas compartilhadas para troca de dados entre as entidades na rede corporativa disponível no LAMAF/UFG.

5.2.1 HABILITANDO A COMUNICAÇÃO DA MÁQUINA COM UM PC EXTERNO VIA ETHERNET

O controlador Siemens Sinumerik 828D embarcado no CNC ROMI D600 possui entradas habilitadas para comunicação via rede Ethernet utilizando o protocolo TCP/IP. A máquina disponibiliza as portas de comunicação X127 para comunicação ponto-a-ponto com um PC externo e a X130 para transferência de dados via rede corporativa local, conforme mostrado na Figura 7.

Como o foco deste trabalho é implementar uma arquitetura de rede que permita a troca de informações entre a máquina e outros computadores conectados a ela por meio da rede corporativa disponível no LAMAF, a porta de comunicação utilizada foi a X130.

Figura 7 - Portas de comunicação Ethernet



Fonte: Adaptada. Siemens AG (2010).

Inicialmente, a arquitetura implementada era composta por um PC externo, cabos de rede Ethernet com conector RJ45 e o controlador Sinumerik 828D. A porta utilizada, X130, se localiza no painel lateral do CNC, conforme mostrado na Figura 8. Para habilitar a conexão entre controlador e o PC externo foi necessário conectar ambos a pontos de rede disponíveis no laboratório, por meio dos cabos de Ethernet com conector RJ45. Mesmo com os dois aparelhos conectados à rede, a comunicação só é efetiva a partir da configuração do computador e do controlador 828D seguindo as especificações do protocolo TCP/IP.

Figura 8 – Fotografia da porta X130 para comunicação em uma rede corporativa



Fonte: Elaborado pela própria autora.

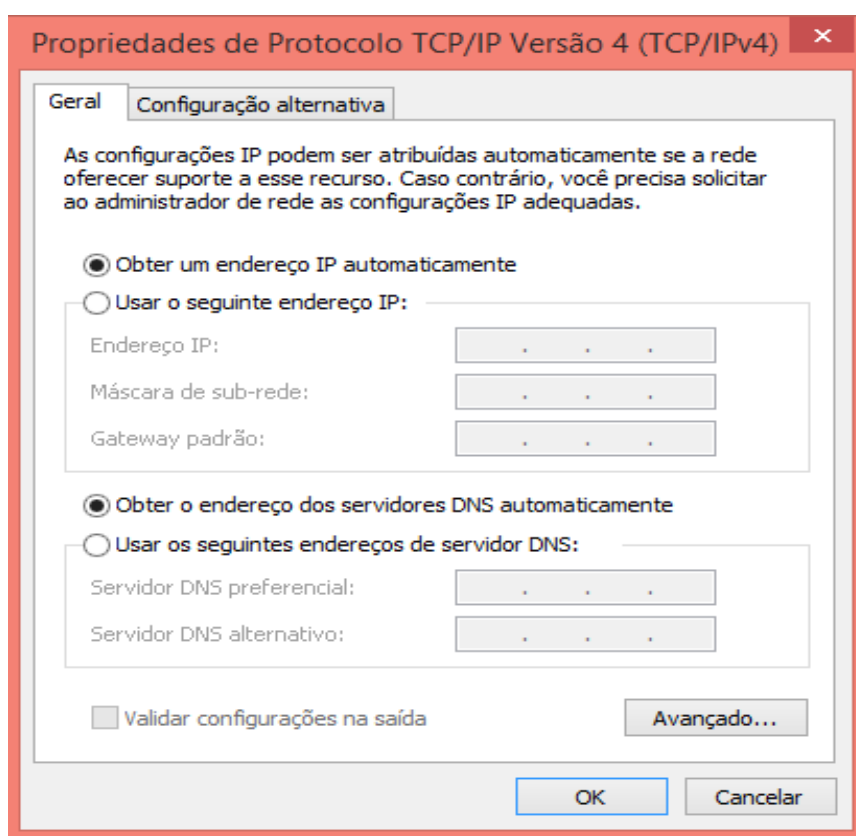
Para ajuste dos computadores na rede conforme os preceitos do TCP/IP, este trabalho utilizou como base o Manual T60542A de Interface Ethernet da Siemens AG (2006a), disponível no *toolbox* CD do 828D.

A princípio foi efetuada a parametrização do PC externo à rede, este computador foi nomeado como PC1. Estando o computador conectado rede foi necessário configurar as propriedades de rede atribuídas ao dispositivo. Por meio da central de rede e compartilhamento, o acesso aos parâmetros configuráveis da rede Ethernet conectada é disponibilizado, tais propriedades de rede foram alteradas utilizando o protocolo TCP/IPv4.

Os parâmetros de endereçamento da rede, seguindo os preceitos do protocolo, possuem a opção de serem atribuídos automaticamente, através do protocolo DHCP, ou configurados com base nos parâmetros de rede da máquina.

Nas propriedades de rede do TCP/IPv4 foi escolhida a opção de obter um endereço de IP automaticamente (Figura 9). Deste modo, os parâmetros de rede são disponibilizados dinamicamente para o computador, identificando-o na rede.

Figura 9 - Configuração das propriedade do TCP/IP no PC externo



Fonte: Elaborado pelo própria autora.

Para descobrir o endereço de IP atribuído ao PC1 foi utilizado o recurso disponibilizado em sistemas operacionais *windows: prompt* de comando. A partir do atalho *ipconfig* no *prompt* foi possível identificar as configurações de IP do windows, como mostrado na Figura 10. O número de IP e a máscara atribuídos ao computador na rede são mostrados como sendo igual a 200.137.220.98 e 255.255.255.0, respectivamente.

Em posse dos parâmetros de IP destacados na Figura 10 e acessando a janela de exibição das informações básicas de rede do computador, por meio do painel de controle, foi possível dar início a parametrização do PC.

Figura 10 – Parâmetros de rede mostrados no *prompt* de comando



```

CA: Prompt de Comando
Microsoft Windows [versão 6.3.9600]
(c) 2013 Microsoft Corporation. Todos os direitos reservados.

C:\Users\Lays>ipconfig

Configuração de IP do Windows

Adaptador Ethernet Conexão Local:

    Estado da mídia. . . . . : mídia desconectada
    Sufixo DNS específico de conexão. . . . . :

Adaptador Ethernet Ethernet 2:

    Sufixo DNS específico de conexão. . . . . : emc.ufg.br
    Endereço IPv6 de link local . . . . . : fe80::a4a8:143d:eb68:470c%5
    Endereço IPv4. . . . . : 200.137.220.98
    Máscara de Sub-rede . . . . . : 255.255.255.0
    Gateway Padrão. . . . . : 200.137.220.1
  
```

Fonte: Elaborado pelo própria autora.

Os parâmetros mostrados na Figura 10 são suficientes para a configuração do PC1 à rede. A configuração dos demais computadores foi realizada de maneira semelhante, de modo que cada PC conectado à rede recebeu um endereço de IP próprio e único.

Após realizadas as devidas configurações nos computadores, deu-se início a parametrização do controlador Sinumerik 828D na rede. O acesso aos parâmetros de rede do diagnóstico TCP/IP no controlador foi feito através da ferramenta *Diagnose*, disponível na interface do Sinumerik.

Na interface da ferramenta observou-se algumas propriedades de rede do protocolo: tipo de endereço, IP, máscara de sub-rede, etc. Para a porta X130 o tipo de endereço pode ser estabelecido manualmente ou automaticamente, neste caso foi utilizado o protocolo DHCP, o qual atribui dinamicamente os parâmetros de configuração da rede. A Figura 11 mostra a

interface da ferramenta *Diagnose* no Sinumerik, as propriedades de rede e as configurações estabelecidas para o TCP/IP.

Figura 11 - Interface de configuração dos parâmetros de rede do TCP/IP

	NCU Rede de empresa X130	NCU service X127
Disponibilidade	100.00%	0.00%
Nome do processador	-	-
Nome DNS	-	ncu-ibn
Endereço MAC	00:1c:06:11:c9:38	00:1c:06:11:c9:39
Tipo de endereço	DHCP - Cliente	DHCP - Servidor (Padrão)
Endereço IP alocado	200.137.220.164	192.168.215.1
tela Subnet alocado	255.255.255.0	255.255.255.224
Servidor DHCP	200.137.220.1	-
Estado servidor DHCP	-	-
Modo sincronismo DHCP	-	-
Servidor DNS 1	200.137.192.17	-
Servidor DNS 2	200.137.220.10	-
Gateway	-	-

Fonte: Elaborado pela própria autora.

Observa-se por meio da Figura 11 que a rede de empresa X130 está habilitada na rede para comunicação. A rede de serviço ponto-a-ponto X127 não está apta para comunicação pois não há nenhum dispositivo a ela conectado. Constata-se também por meio da Figura, que o tipo de endereço, ao ser escolhido dinamicamente, utiliza o protocolo de rede DHCP. Depois de estabelecer os parâmetros para a configuração do controlador na rede foi necessária a reinicialização da máquina para atualização dos valores apresentados na Figura 11.

É notável na Figura 11 que o endereço de IP atribuído ao controlador na rede foi 200.137.220.164, e a máscara de sub-rede é a mesma atribuída ao PC1. As demais configurações de TCP/IP não serão relevantes para este trabalho.

Para verificação do status da comunicação entres os dispositivos, isto é, se o PC1 consegue encontrar o endereço do controlador na rede e se conectar a ele, foi necessário utilizar o comando *ping* mais número de IP do controlador na rede, no CMD (*prompt* de comando). Por

meio do *prompt*, através do envio e recebimento de pacotes para o reconhecimento de comunicação entre os dispositivos, verificou-se que eles conseguiam encontrar um ao outro na rede, conforme mostrado na Figura 12.

Figura 12 - Diagnóstico da comunicação entre controlador e PC

```

C:\Users\Lays>ping 200.137.220.164

Disparando 200.137.220.164 com 32 bytes de dados:
Resposta de 200.137.220.164: bytes=32 tempo<1ms TTL=64
Resposta de 200.137.220.164: bytes=32 tempo<1ms TTL=64
Resposta de 200.137.220.164: bytes=32 tempo<1ms TTL=64
Resposta de 200.137.220.164: bytes=32 tempo<1ms TTL=64

Estatísticas do Ping para 200.137.220.164:
    Pacotes: Enviados = 4, Recebidos = 4, Perdidos = 0 (0% de
    perda),
Aproximar um número redondo de vezes em milissegundos:
    Mínimo = 0ms, Máximo = 1ms, Média = 0ms
  
```

Fonte: Elaborado pelo própria autora.

Analisando a Figura 12 foi possível identificar o sucesso na comunicação entre PC1 e o controlador Sinumerik 828D, dado o envio e recebimento de pacote sem perdas entre os dispositivos. Isso implica que o computador externo consegue se comunicar com a máquina, dada a conectividade na rede, e por este motivo a troca de dados está habilitada.

Após a parametrização do PC1 e do CNC para comunicação na rede, foi necessária a configuração dos parâmetros do servidor para viabilizar a transferência de dados entre as entidades.

5.2.2 ELABORAÇÃO DE PASTAS COMPARTILHADAS NA REDE PARA TROCA DE DADOS ENTRE OS DISPOSITIVOS

Conforme descrito no Manual de Interface Ethernet da Siemens AG (2006a), a parametrização dos dados do servidor é necessária para que o controlador Sinumerik 828D reconheça os dispositivos conectados a ele e a transferência de informações seja viabilizada.

A princípio foi realizada a configuração das propriedades do servidor, que no caso é o PC externo conectado à rede corporativa disponível no laboratório. Para parametrização do computador, nomeado aqui como PC1, para troca de dados, foi necessário criar uma pasta

compartilhada na rede para que os dispositivos conectados na mesma faixa de endereço tenham acesso aos seus arquivos. A pasta criada no PC1 foi nomeada REDE e, por meio da configuração de suas propriedades, foi possível definir o seu compartilhamento na rede Ethernet e as permissões de acesso a tal.

Após parametrização das propriedades do PC1 foi necessário configurar o controlador 828D para que o mesmo identificasse o caminho para comunicação com o servidor na rede. Ao acionar a tecla Menu *Select* no painel de programação da máquina e, em seguida pressionar a *softkey* HMI no painel de exibição, obtêm-se acesso aos drives lógicos do controlador.

O Sinumerik 828D disponibiliza oito janelas para transferência de dados com dispositivos externos, para habilitar essa troca de informações é necessário configurar as unidades de leitura dos drives lógicos. O primeiro drive do controlador já havia sido configurado para comunicação da máquina através da porta USB, por este motivo a parametrização do PC1 e dos demais computadores na rede foi realizada a partir da configuração e ativação do drive 2 em diante.

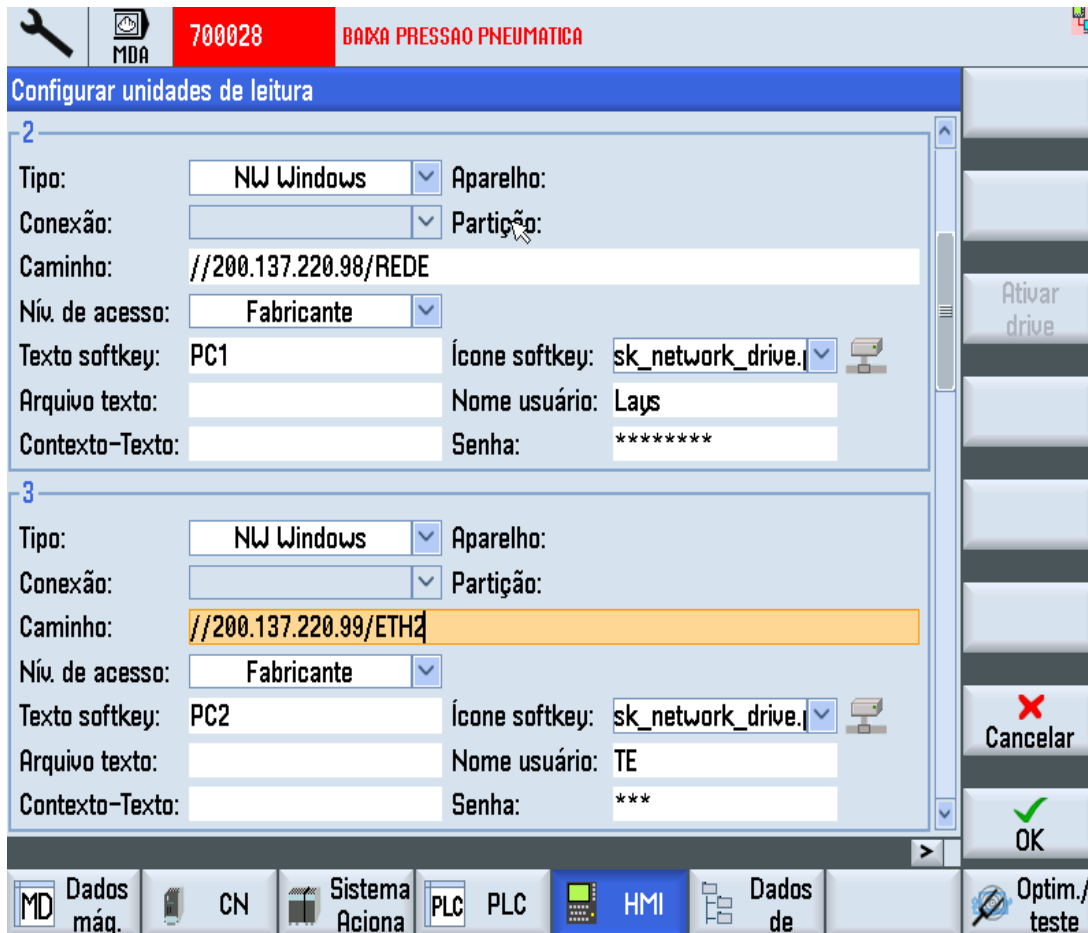
Em posse do endereço e dos parâmetros de rede obtidos na Seção 5.1 foi possível dar início à parametrização dos dados do servidor, neste caso o PC1. Conforme Siemens AG (2006a), utilizando o campo de drives lógicos e escolhendo o respectivo drive designou-se o tipo de plataforma utilizada pelo computador logado na rede, neste caso, o tipo escolhido foi *NW Windows*. No campo “caminho” inseriu-se o número de IP e a identificação da pasta de compartilhamento criada no PC1, para que o controlador identifique o servidor e o caminho compartilhado na rede. Em seguida definiu-se o nível de acesso a ser habilitado para o servidor, neste caso optou-se pela categoria fabricante, porém existem outras opções de categorias.

Por meio da constatação do respectivo nome de usuário e senha do computador (neste caso é necessário a existência de uma senha) foi possível identificá-los nos campos do *driver* disponíveis para preenchimento desses dados. A ideia principal deste caminho compartilhado é a criação de uma pasta no PC1 e também no CNC para a transferência de arquivos entre ambos, por este motivo, no campo de texto e ícone *softkey* do *driver 2* foram determinados o nome e símbolo da pasta compartilhada do Sinumerik 828D. Por fim, após os preenchimento dos campos principais o *driver* pôde ser ativado.

Após as devidas configurações do *driver 2* para troca de dados com o PC1, a pasta de compartilhamento foi habilitada para transferência de arquivos. Por meio da pasta de compartilhamento os programas e outros arquivos podem ser copiados do CNC para o PC1 e vice-versa. A pasta foi nomeada no controlador como PC1 e os arquivos podem ser visualizados tanto no computador, na pasta REDE, quanto no Sinumerik 828D.

A Figura 13 mostra as propriedades do *driver 2*, configurado para conexão com o PC1, e os parâmetros determinados no *driver 3* para a comunicação de um segundo computador (PC2), que foi configurado na rede de acordo com o procedimento descrito na Seção 5.2.1.

Figura 13 - Parâmetros dos *drivers 2 e 3* do controlador



Fonte: Elaborado pela própria autora.

O mesmo procedimento para conexão de outros dispositivos à rede, comunicação com o controlador Sinumerik 828D e elaboração de pastas compartilhadas para troca de dados foi realizado para outros computadores conectados à rede local no laboratório, resultando em quatro pastas dispostas no controlador para transferência de arquivos.

5.3 ACESSO REMOTO À MÁQUINA UTILIZANDO O ULTRAVNC VIEWER

O acesso remoto é uma estratégia utilizada em salas de comando e controle industrial para monitoramento dos processos em tempo real. Isso implica que não é necessário estar fisicamente em frente ao maquinário para monitorar e controlar todos os processos que ocorrem durante a fabricação de determinado produto (FERRAZ, 2002). O acesso remoto à máquina

permite o acompanhamento dos processos em andamento no chão de fábrica por meio de interfaces gráficas onde é possível acompanhar o desempenho do maquinário e, caso necessário, tomar o controle remoto da máquina para alguma correção do processo, seja manualmente ou automaticamente.

O UltraVNC é um software utilizado para transferir a interface de um computador para outro, permitindo, dessa forma, a operação remota da máquina (UVNC, 2019). Além disso, o acesso remoto é uma ótima ferramenta para os processos de manutenção. O recurso disponibilizado por este programa de computação em rede virtual possibilita que computadores com plataforma *Windows*, identificado como cliente, acessem e controlem remotamente um outro computador, caracterizado como servidor.

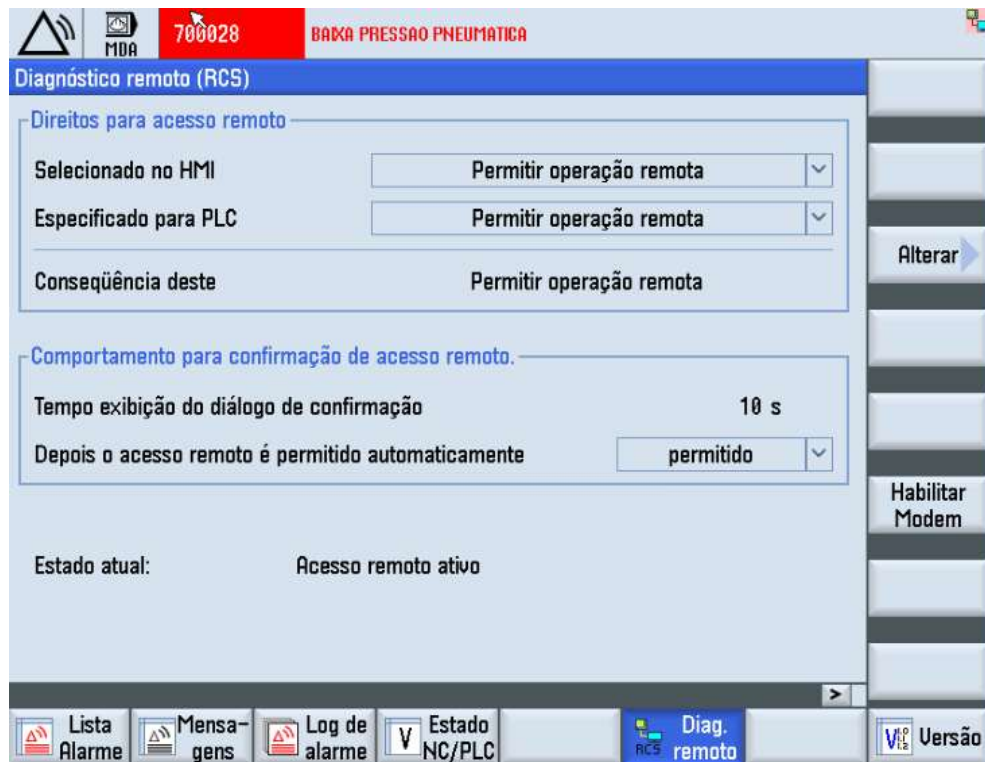
O UltraVNC disponibiliza dois programas: *UltraVNC Viewer* e o *Server*. Este último identifica o servidor, que no caso é o dispositivo controlado, enquanto o primeiro caracteriza o cliente, o qual controla o *server* (UVNC, 2019).

O presente trabalho utiliza o software *UltraVNC Viewer* para acesso remoto à máquina via rede Ethernet. Inicialmente, para habilitar no CNC a permissão para acesso e controle remoto foi necessário a configuração das entidades para comunicação na rede, tal procedimento encontra-se detalhado na seção 5.2.1. Após a parametrização dos dispositivos foi realizada a configuração do *software* e do *Sinumerik* para a operação remota, tal procedimento será detalhado nesta seção.

É importante ressaltar que não precisa necessariamente habilitar as pastas de compartilhamento na rede, conforme descrito na seção 5.2.2, para utilização dos recursos do acesso remoto à máquina, a parametrização das entidades na rede para comunicação e a configuração dos parâmetros do software e do controlador são suficientes para permitir o acesso e controle remoto do CNC.

O *Sinumerik 828D* possui uma função que permite que outros computadores o acessem remotamente. A função *Remote Diagnostics (RCS)*, localizada no painel de exibição da PPU do controlador 828D, ao ser acionada, possui opções para permitir ou não o acesso e controle remoto de outros computadores.

Habilitando o acesso remoto por meio da função RCS (Figura 14), a interface da PPU está disponível para ser operada remotamente por outros dispositivos.

Figura 14 - Função *Remote Diagnostics* (RCS)

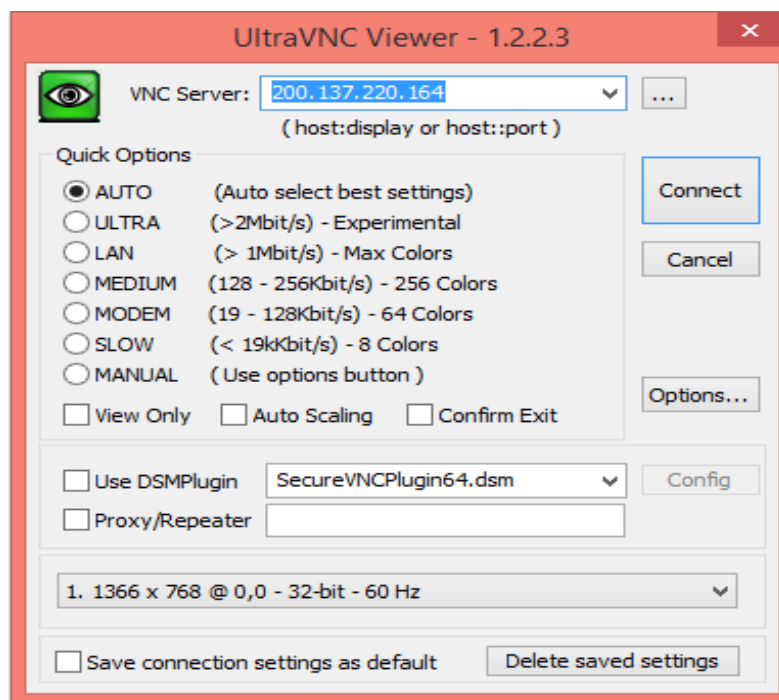
Fonte: Elaborado pela própria autora.

Como a ideia deste trabalho é disponibilizar o acesso remoto de outros computadores ao CNC, então, neste caso, o PC1 foi designado como cliente e o controlador Sinumerik 828D o servidor. A arquitetura implementada para o acesso remoto baseou-se no Manual *Instructions for transferring the SINUMERIK HMI to an external screen* da Siemens AG (2018).

O software UltraVNC Viewer foi instalado e configurado no PC cliente conforme as propriedades padrões e opções de escala do software, conforme especificado por Siemens AG (2018). Para habilitar o acesso remoto ao CNC foi necessário ativar a função por meio da ferramenta de diagnóstico remoto disponível na *softkey Diagnose*. O recurso *Remote Diagnostics (RCS)* foi configurado conforme descrito no manual.

Dado que cliente e servidor estão conectados na mesma rede por meio de cabos e propriedades do TCP/IP, tendo o conhecimento do endereço de IP do controlador e identificando-o no UltraVNC Viewer, o acesso remoto do computador cliente ao servidor pôde ser acionado. As configurações do software foram padronizadas aplicando a opção de configuração automática. A Figura 15 mostra a interface do UltraVNC Viewer instalado no PC1.

Figura 15 - Configuração do UltraVNC Viewer no PC cliente



Fonte: Elaborado pelo própria autora.

É necessário destacar que apesar dos dispositivos clientes possuírem acesso a HMI (*Human Machine Interface*) do Sinumerik 828D, o acesso remoto é permitido apenas a uma estação de trabalho por vez, não sendo possível o acesso simultâneo dos computadores clientes para operação remota. Tal fato ocorre devido a função *Remote Diagnostics* utilizada no CNC para habilitar a operação remota, por limitações da própria função e provavelmente por uma questão de segurança definida pelo próprio fabricante, o acesso remoto simultâneo não é permitido.

Ao ser acionada a operação remota, o operador tem até dez segundos para permitir ou não o acesso de um computador externo à máquina, caso nenhuma opção seja escolhida, de acordo com as configurações da função *Remote Diagnostics*, o acesso remoto é habilitado automaticamente. Quando a operação remota é permitida o PC externo conectado pode visualizar e comandar o painel de exibição do Sinumerik 828D, porém o operador da máquina não perde o comando do painel do CNC. O acesso e controle do Centro de Usinagem pode ser feito tanto via Sinumerik 828D quanto via PC remoto, no entanto a prioridade sempre é do operador em frente a máquina.

Para implementação de uma arquitetura de adequação do CNC aos conceitos da Indústria 4.0 foi realizada a instalação do *software* UltraVNC Viewer em todos os computadores clientes conectados à rede corporativa disponível no LAMAF.

5.4 FUNÇÃO SERVO TRACE

A função rastreamento do Sinumerik 828D permite monitorar graficamente as variáveis disponíveis no controlador. Os dados das variáveis de usuário, de CLP, do servo, de eixo e todas as disponíveis no sistema podem ser coletados em tempo real. Após finalizada a aquisição de dados, os diagramas gerados podem ser visualizados pelo operador e arquivados nas pastas disponíveis no Sinumerik (SIEMENS AG, 2005).

A função *Trace* viabiliza o armazenamento gráfico dos dados da máquina, facilitando, desta forma, a análise do comportamento do CNC durante seu funcionamento (SIEMENS AG, 2005). Com base nas informações obtidas com essa função é possível realizar devidas correções na máquina, possibilitando assim, antever futuros problemas que venham surgir. Por meio dos registros adquiridos pode-se comparar também o desempenho das variáveis da máquina ferramenta durante o processo de usinagem.

O monitoramento dos processos em funcionamento na máquina pode ser feito através do acesso remoto, visualizando o que está ocorrendo na tela do PC, ou direto via HMI do controlador. Para o acompanhamento e verificação do desempenho do CNC nos processos de usinagem, a utilização da função *Trace* se mostra extremamente viável.

Foi realizado um experimento no CNC com o intuito de analisar o comportamento temporal das variáveis durante o processo de usinagem, através da utilização dos recursos disponíveis na função *Trace*. O experimento consiste na usinagem de duas amostras, uma de ferro fundido e outra de alumínio. Os parâmetros utilizados para o devido experimento foram: avanço de 300 mm/min, profundidade e penetração de trabalho de 1 mm e rotação da ferramenta de 1500 rpm. O desbaste é realizado na direção do eixo X de referência na máquina e a retirada de material em ambas as peças foi realizada em um único passo. A ferramenta utilizada para o processo de usinagem foi o cabeçote fresador (conhecido por bailarina), a qual possui 80 milímetros de diâmetro e 6 insertos de 45° (Figura 16). A ideia principal é analisar o comportamento da ferramenta durante o processo, de modo a obter dados qualitativos e demonstrar as aplicações e possibilidades da função *Trace* no que se refere a monitoramento das variáveis do processo.

As variáveis monitoradas no presente trabalho foram: *factor for tool life monitoring*, *actual tool base position* no eixo X1 e Z1, *active power* no eixo X1, Z1 e no *spindle* (fuso). As variações ao longo do eixo Y não foram consideradas aqui por não haver mudança significativa durante o processo de usinagem considerado, visto que realizou-se um passo de fresamento e apenas uma direção, neste caso no eixo X.

O *factor for tool life monitoring* (\$ A_MONIFACT) é uma variável de sistema que monitora o fator de vida útil da ferramenta. Essa variável analisa a vida útil da aresta de corte ativa da ferramenta em uso (SIEMENS AG, 2006b).

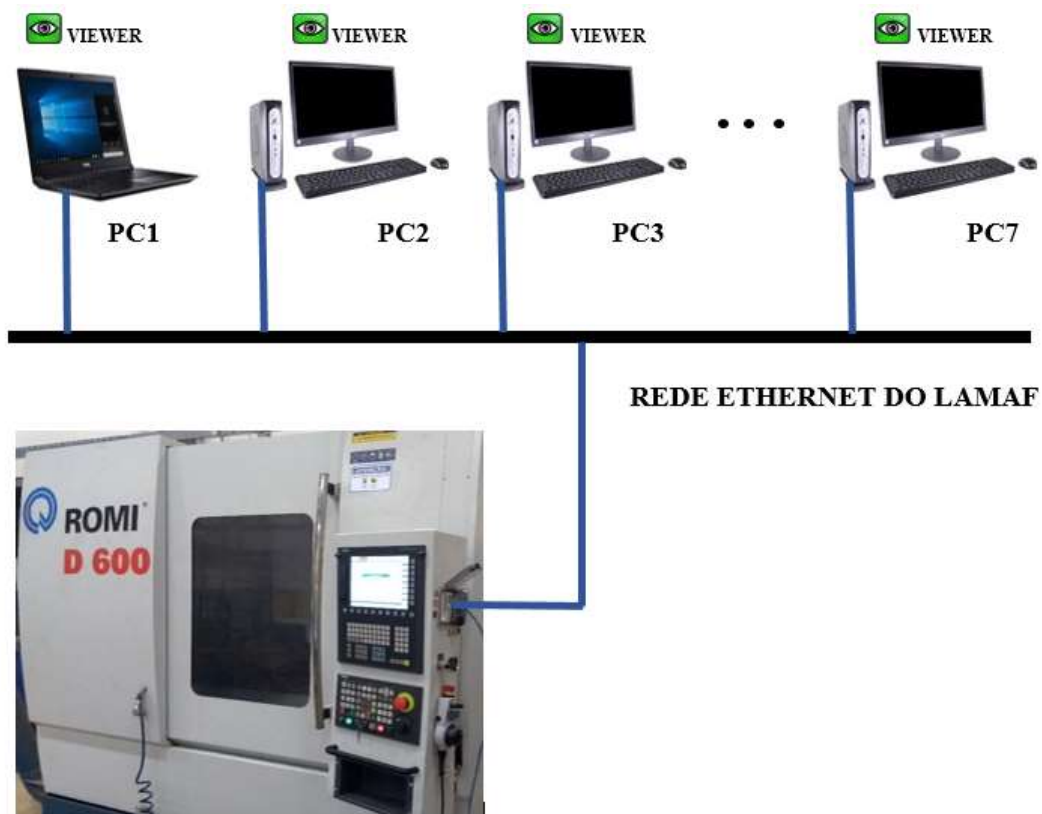
A variável *actual tool base position* mostra o posicionamento da ferramenta de base, neste caso a mesa para apoio da peça a ser usinada, ao longo dos eixos X, Y, Z e *spindle*. Com isso, pode se verificar o comportamento da base de apoio durante o processo de usinagem. Já a variável *active power* representa a variação da potência da ferramenta ativa ao longo dos eixos X, Y, Z e *spindle*.

Os registros gerados na função *Trace* podem ser salvos em pastas existentes na própria máquina, em formato .xml, e acessados por meio de um computador pessoal, caso a pasta seja compartilhada. A função *Trace* foi utilizada neste trabalho para monitorar o comportamento de algumas variáveis como forma de complementar a arquitetura implementada para comunicação na rede Ethernet. A ideia principal era explorar um pouco da função, disponível no próprio controlador, para visualização gráfica e temporal das variáveis do sistema, além da análise prévia do comportamento das mesmas e armazenamento dos arquivos gerados nas respectivas pastas compartilhadas na rede.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Arquitetura implementada na rede corporativa disponível no LAMAF permite ao operador acessar remotamente o Centro de Usinagem ROMI D600, podendo, desta forma, controlar e monitorar os processos de usinagem em tempo real. O esqueleto da arquitetura implantada é apresentado na Figura 18.

Figura 18 - Arquitetura de rede implantada para o ROMI D600



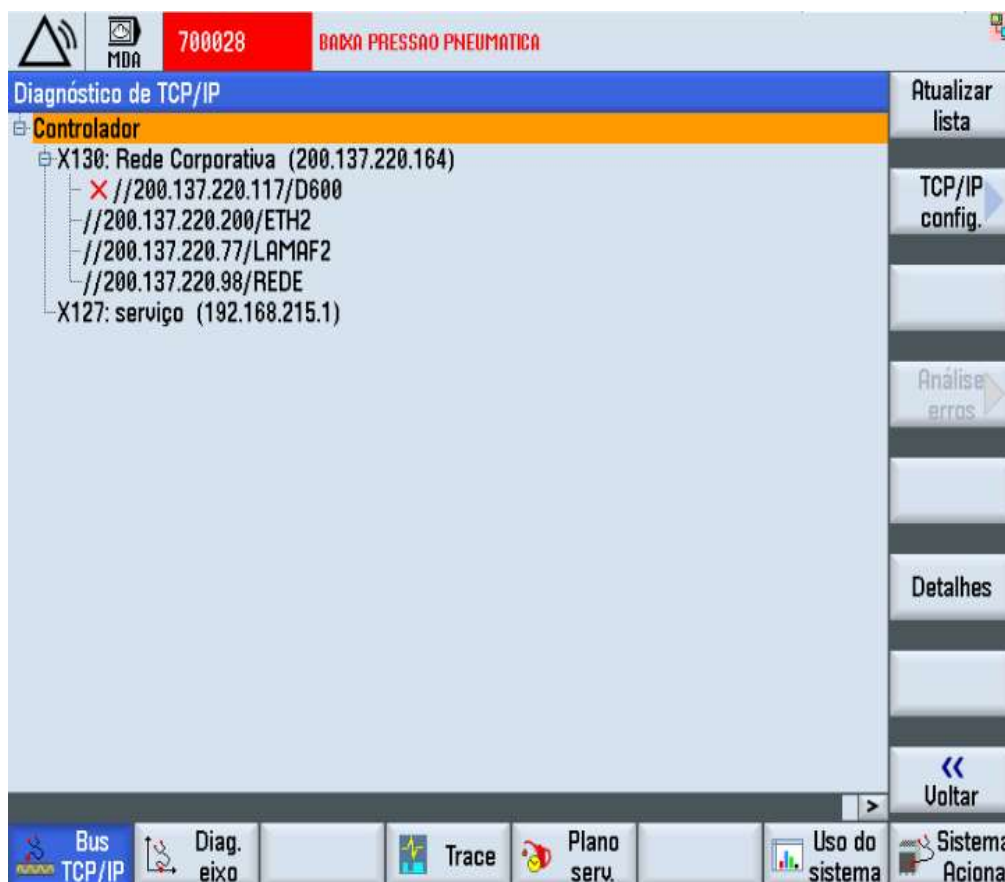
Fonte: Adaptada. Souza (2019).

A arquitetura instalada atualmente no LAMAF possui apenas três computadores configurados na rede, contudo a estrutura permite a comunicação com até sete computadores, cada um deles deve possuir o *software* UltraVNC Viewer instalado para acesso remoto ao servidor (controlador Sinumerik 828D) e uma pasta de compartilhamento na rede Ethernet que permite armazenar arquivos, tais como: registros da função *Trace* e arquivos de programas para execução de operações de usinagem.

6.1 CONECTIVIDADE NA REDE ETHERNET

A ligação da máquina à rede Ethernet do laboratório e a interconectividade com dispositivos conectados à rede é norteadas pelos preceitos do TCP/IP. O status da comunicação do controlador com os computadores via rede corporativa utilizando a porta X130 e o protocolo de rede, pode ser identificado através da ferramenta Diagnóstico de TP/IP, a qual mostra quais dispositivos obtiveram sucesso na comunicação com a máquina na rede corporativa disponível. O resultado é mostrado na Figura 19.

Figura 19 - Diagnóstico de TCP/IP na rede corporativa através da porta X130



Fonte: Elaborado pelo própria autora.

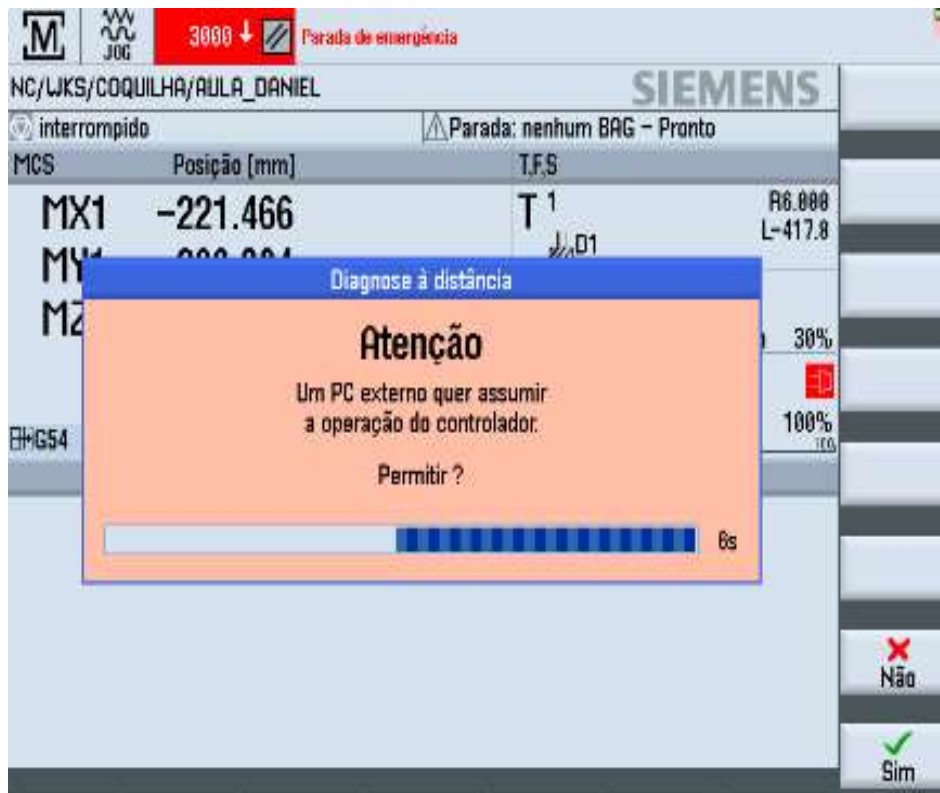
A Figura 19 indica que, em determinado momento, estavam disponíveis 3 das quatro máquinas configuradas para compor uma rede de comunicação com o CNC através da porta Ethernet corporativa X130.

6.2 ACESSO E CONTROLE REMOTO DO CONTROLADOR SINUMERIK 828D

Em cada PC conectado ao controlador foi instalado o software UltraVNC Viewer, o qual habilita o acesso remoto ao CNC, possibilitando, desta forma, controlar e monitorar as funções disponíveis no painel de exibição do Sinumerik 828D.

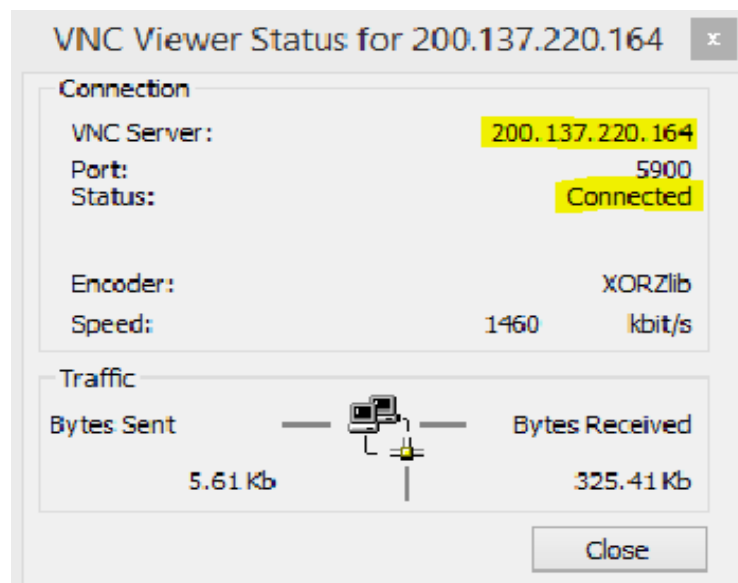
Na arquitetura implantada, para o controle remoto, a máquina permite que apenas um dispositivo se conecte por vez. A Figura 20 demonstra o acesso remoto sendo ativado na HMI do Sinumerik 828D e a Figura 21 mostra o status do UltraVNC para conexão no endereço do controlador na rede.

Figura 20 - Acesso remoto ao servidor sendo habilitado



Fonte: Elaborado pelo própria autora.

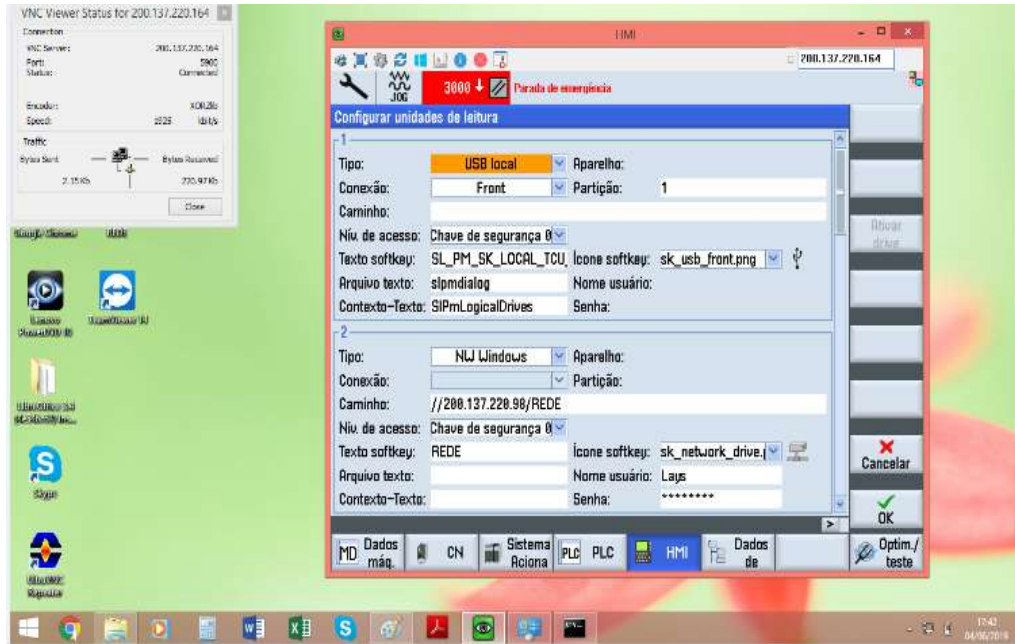
Figura 21 - Status da conexão do UltraVNC instalado no PC1 com o controlador



Fonte: Elaborado pelo própria autora.

O resultado da utilização do software UltraVNC é a exibição da tela do Sinumerik em um computador, independente da distância entre os dispositivos, desde que ambos estejam conectados à mesma rede. A Figura 22 mostra o painel de exibição do CNC projetado na tela de um PC, o qual exibe a aba de configuração dos *drivers* de comunicação do Sinumerik 828D.

Figura 22 - Projeção da HMI do Sinumerik 828D em um PC conectado à rede Ethernet



Fonte: Elaborado pelo própria autora.

A ideia para a arquitetura é centralizar os comandos por acesso remoto à máquina, de modo a transformar a sala técnica do LAMAF em uma espécie de sala de comando e controle. A possibilidade de controle da PPU do Sinumerik 828D utilizando o UltraVNC Viewer permite que o operador possa comandar e monitorar as operações na máquina a longa distância. Na Figura 23 é possível identificar na tela do computador pessoal a projeção da interface de configuração dos drivers disponíveis na HMI do Sinumerik 828D.

Figura 23 - Acesso remoto à HMI da máquina pelo PC na sala técnica do LAMAF



Fonte: Elaborado pelo própria autora.

A partir da adequação do ROMI D600 outras arquiteturas poderão ser realizadas e o processo de monitoramento das máquinas do LAMAF poderá centralizar-se em uma única sala, desde que os dispositivos possuam interface aberta para comunicação e estejam integrados à rede.

O acesso remoto implementado possui, no entanto, algumas limitações. A primeira restrição é a limitação da quantidade de computadores que podem comunicar com a máquina via rede, em decorrência da quantidade fixa de drivers para comunicação disponíveis no CNC. Outra limitação dessa arquitetura é que o controle remoto está restrito ao painel de exibição do Sinumerik 828D. Há ainda a restrição de acesso remoto ao controlador, o qual não pode ser realizado de maneira simultânea, ou seja, caso um PC esteja habilitado para o acesso remoto, outro computador não poderá se conectar à máquina para acessá-la remotamente. No entanto, neste caso, essa é uma medida de segurança implementada pelo próprio fabricante.

Apesar das limitações, ele se mostra muito útil para o processo de manutenção do CNC, pois permite que um PC externo controle a máquina. Tal computador quando conectado a uma rede com acesso à internet pode também ser controlado remotamente por outros computadores a longa distância, para isso basta utilizar de outros *softwares* disponíveis para acesso remoto. Todo esse processo facilita a assistência técnica do fabricante aos seus produtos, mesmo que a equipe responsável pela manutenção esteja em outro estado, ou até mesmo país.

6.3 TROCA DE DADOS ENTRE OS DISPOSITIVOS NA REDE ETHERNET

Por meio da arquitetura implantada garante-se a conectividade da máquina na rede e, conseqüentemente, acesso e controle remoto aos dados do CNC. Para a transferência de arquivos entre as entidades envolvidas, a arquitetura de comunicação instalada no LAMAF utiliza-se dos recursos das pastas compartilhadas na rede Ethernet, o qual permite que tanto os computadores conectados, quanto o controlador Sinumerik 828D possam trocar documentos entre si, resultando assim em uma arquitetura de integração e interação entre os dispositivos. A possibilidade de troca de dados entre o Sinumerik e as entidades por meio das pastas compartilhadas na rede viabiliza o envio de programas de usinagem da máquina para o computador e vice-versa. Tal fato permite o armazenamento dos arquivos de forma eficaz, evitando assim a perda de programas antigos por falta de espaço na memória da máquina.

As pastas compartilhadas por cada computador (PC1, PC2 e PC3) com o Sinumerik podem ser visualizadas na HMI da máquina através da ferramenta *Program Manager*, conforme demonstrado na Figura 24.

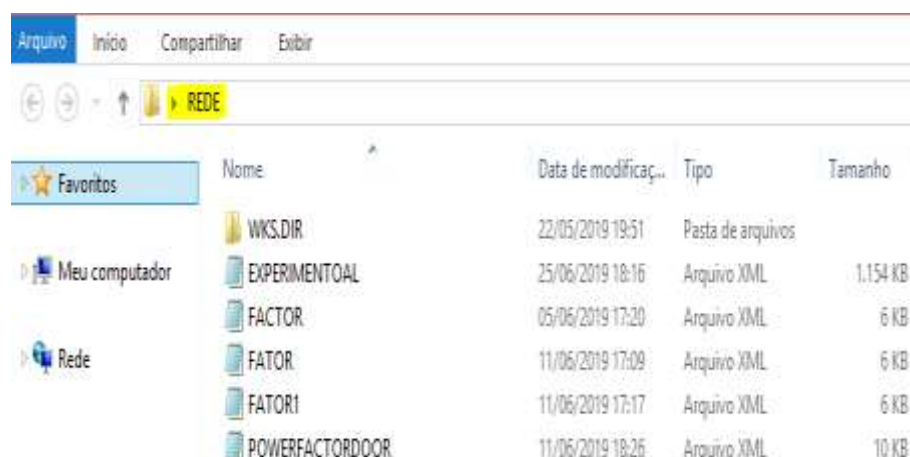
Figura 24 - Pastas compartilhadas na rede para troca de dados com o Sinumerik 828D



Fonte: Elaborado pelo própria autora.

Na Figura 25 é possível observar que a pasta PC1 está selecionada e seus arquivos no Sinumerik podem ser visualizados. Para ter acesso a estes mesmos documentos no PC1, basta acessar a pasta REDE no computador e visualizar os arquivos, conforme Figura 22, que mostra os registros gerados a partir da função *Trace* e que foram salvos na pasta compartilhada com o CNC. Por meio destas pastas compartilhadas os documentos podem ser transferidos, via rede, do controlador para os computadores conectados e vice-versa.

Figura 25 - Arquivos da pasta REDE acessada no PC1



Fonte: Elaborado pelo própria autora.

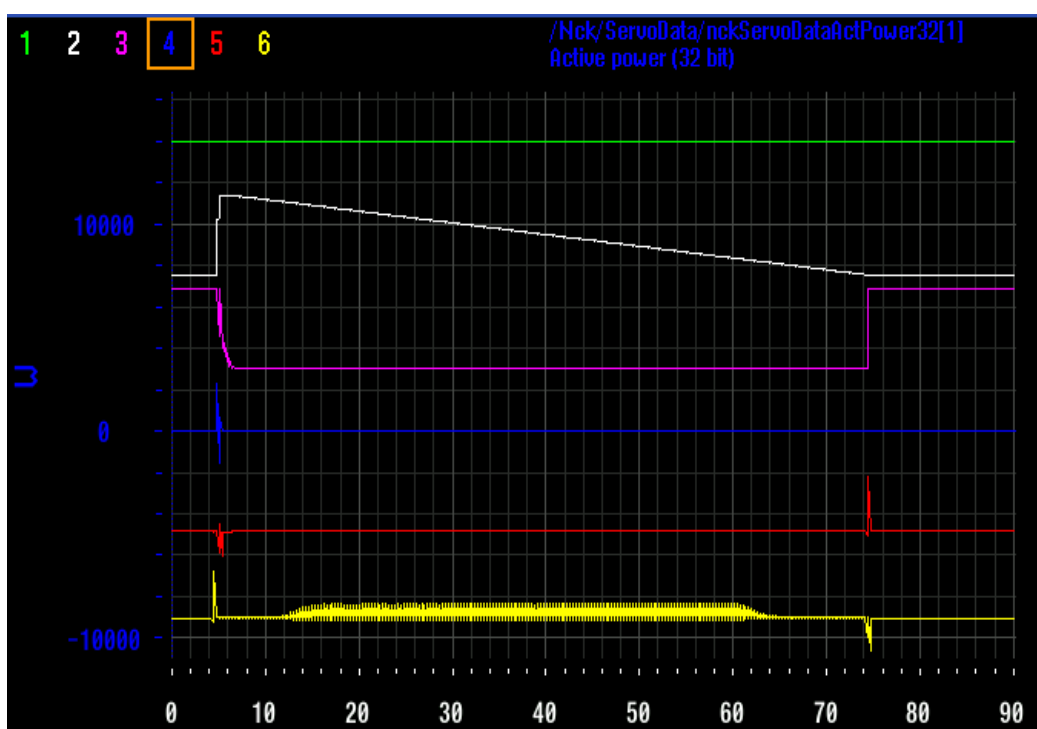
A vantagem das pastas compartilhadas entre os dispositivos é que um mesmo PC conectado à máquina pode visualizar e obter os arquivos de outro PC conectado a mesma rede, desde que tenha acesso ao nome de usuário e senha do computador em questão, além de ser capaz de acessar e editar arquivos com programas de usinagem diretamente em sua máquina/sistema operacional, sem a necessidade de utilizar o editor instalado na PPU do CNC.

6.4 MONITORAMENTO DE VARIÁVEIS DO CONTROLADOR SINUMERIK 828D

Como resultado do experimento realizado para análise do comportamento das variáveis de processo através da função *Trace*, foram registrados gráficos que demonstram a variação temporal da potência ativa e da posição da base de apoio durante o processo de usinagem de dois materiais distintos: uma peça de alumínio e outra de ferro fundido.

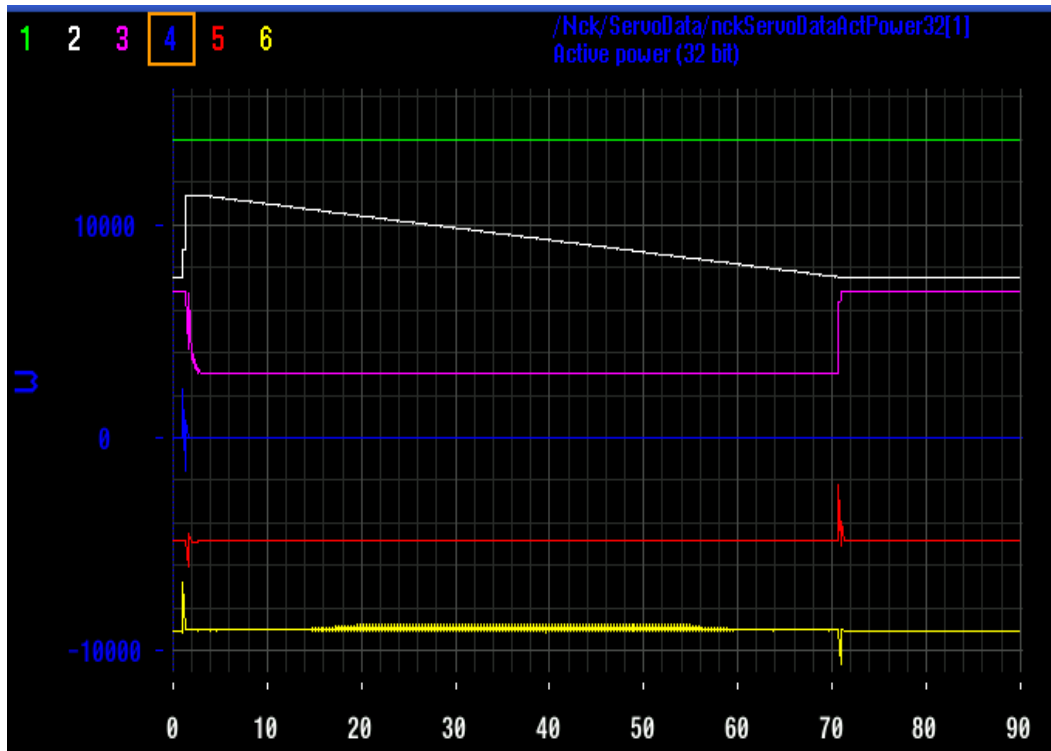
As Figuras 26 e 27 mostram os diagramas gerados pelo *Trace* para o ferro fundido e para o alumínio, respectivamente. Nas figuras o eixo X representa a variação do tempo, em segundos, no monitoramento das variáveis, enquanto o eixo Y identifica a unidade da variável selecionada, ou seja, dependendo do diagrama que estiver selecionado, pode-se identificar as seguintes unidades: Watts para potência e milímetros para posição, enquanto que para o *factor for tool life monitoring* não há unidade correspondente.

Figura 26 - Diagrama do comportamento das variáveis durante a usinagem da peça de ferro fundido



Fonte: Elaborado pela própria autora.

Figura 27 - Diagrama do comportamento das variáveis durante a usinagem da peça de alumínio



Fonte: Elaborado pela própria autora.

Nota: *factor for tool life* (1-verde), *actual tool base position* no eixo X1 (2-branco), *actual tool base position monitoring* no eixo Z1 (3-magenta), *active power* no eixo X1 (4-azul), *active power* no eixo Z1 (5-vermelho) e *active power do spindle* (6-amarelo).

Analisando as Figuras 26 e 27 é possível analisar que, apesar dos materiais das peças serem diferentes, as variáveis identificadas nos gráficos apresentaram comportamento semelhante durante o processo de usinagem.

Pode-se identificar visualmente nas Figuras que a variável *factor for tool life monitoring* não apresenta mudança durante a usinagem dos dois materiais. Devido ao fato dessa variável de monitoramento verificar a vida útil da ferramenta, pelo seu comportamento em ambos experimentos pode-se inferir que o desgaste da ferramenta de corte é insignificante para diminuir a vida útil durante a usinagem de ambos os materiais, o resultado obtido é decorrente, provavelmente, do fato de o tempo amostral analisado ser relativamente curto para identificar mudança significativa nessa variável.

Observa-se que nas Figuras 26 e 27 que a *actual tool base position* no eixo X1, identificada como sendo o diagrama número 2 na cor branca, sai da posição inicial e aumenta rapidamente, em decorrência disso a potência ativa em X1, mostrada no diagrama em azul, varia muito em um curto espaço de tempo. Ao longo do processo a variável de posição em X1

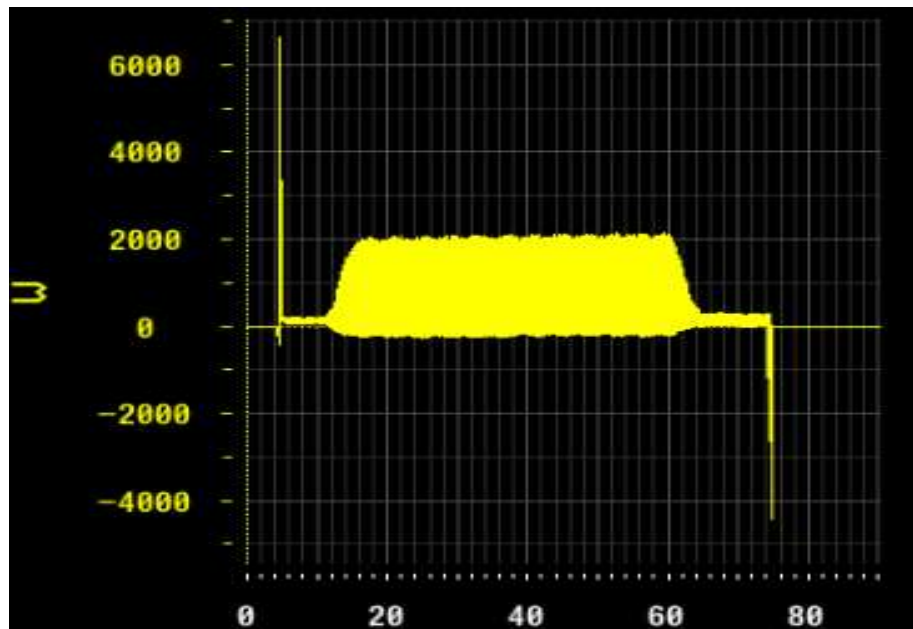
diminui gradativamente. De modo similar para os diagramas 3 e 5, que representam respectivamente a *actual tool base position* e a *active power* no eixo vertical Z1, observou-se variação proporcional da potência ativa exatamente nos locais de mudança brusca de subida ou descida da ferramenta de base ao longo do eixo.

Para o diagrama 6, o qual representa a potência ativa do *spindle*, verifica-se um comportamento semelhante nas Figuras 26 e 27, porém é possível identificar amplitudes diferentes para as duas peças usinadas.

Ademais, as Figuras 28 e 29 mostram claramente a diferença no gráfico dos dois materiais. Para o ferro fundido (Figura 28) é evidente no diagrama amplitudes mais abrangentes, se comparado à potência ativa do *spindle* durante a usinagem do alumínio (Figura 29).

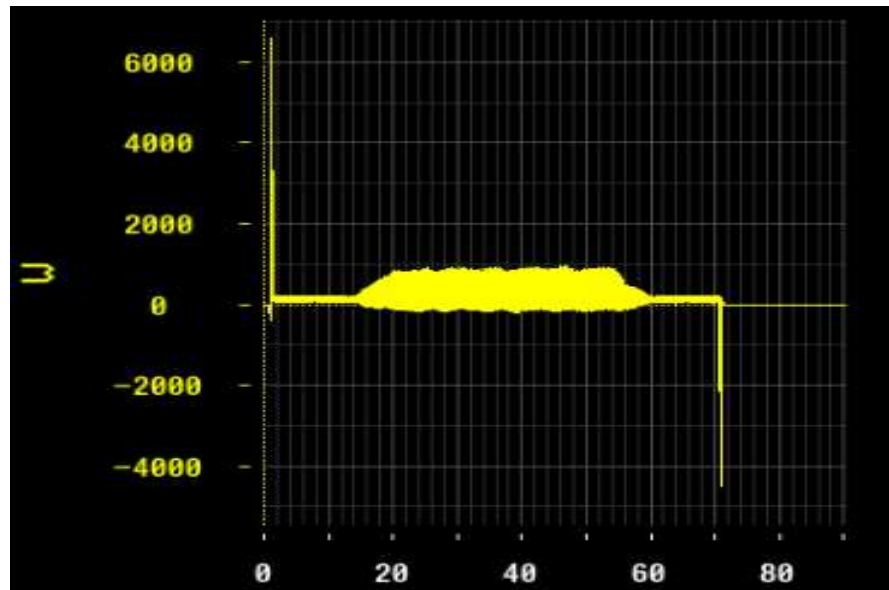
É necessário destacar que os diagramas mostrados nas Figuras 28 e 29 possuem o mesmo fundo de escala, para efeito de comparação. Por se tratar do monitoramento da potência do *spindle* no tempo, no eixo X pode-se identificar o tempo de operação em segundos e no eixo Y a potência em Watts.

Figura 28 - Diagrama da variação da *active power* do *spindle* na usinagem do ferro fundido



Fonte: Elaborado pelo própria autora.

Figura 29 - Diagrama da variação da *active power* do *spindle* na usinagem do alumínio



Fonte: Elaborado pelo própria autora.

A partir da análise dos diagramas das Figuras 28 e 29 pode-se deduzir que a variação da potência ativa do fuso está diretamente ligada às características do material usinado. Evidentemente o desbaste do alumínio, que é um material mais dúctil, exige menor potência da máquina se comparada à usinagem de uma amostra de ferro fundido, considerando, neste caso, os mesmos parâmetros de corte. Visto isso, o comportamento da variável *active power* do *spindle* ao longo dos experimentos realizados para ambas as peças, expressa essa relação entre a potência exigida para retirada de material no processo e as propriedades do mesmo.

Como o foco maior é implementar uma arquitetura de comunicação na rede e possibilitar o monitoramento de variáveis de processo não foram realizados aqui experimentos para aquisição de dados quantitativos e a realização de análises estatísticas do processo de usinagem.

A ideia principal deste trabalho é a adequação da máquina à rede Ethernet, de modo a habilitar ferramentas para comunicação e troca de dados entre os dispositivos, possibilitando assim: explorar os recursos disponíveis no CNC; observar o comportamento das variáveis e dar base para futuras pesquisas de melhoria dos processos de usinagem no Centro de Usinagem Romi D600.

7. CONCLUSÃO

A características da Indústria 4.0 são perceptíveis nas grandes indústrias de manufatura, as vantagens proporcionadas pela evolução dessa nova era industrial são realidade quando se trata de máquinas-ferramentas CNC.

Tendo como base os conceitos da Indústria 4.0, este trabalho visa a adequação Centro de Usinagem ROMI D600 à rede de comunicação Ethernet e implementação de um sistema de troca de dados e supervisão remota. Para isso, foi definida uma arquitetura de comunicação baseada nos conceitos de manufatura avançada, utilizando-se de requisitos de software, hardware e protocolos de rede.

Após a configuração da máquina para comunicação na rede Ethernet foram disponibilizadas pastas de compartilhamento para troca de dados entre os dispositivos, software para acesso e controle remoto da máquina e funções para monitoramento do comportamento das variáveis de sistema durante o processo de usinagem.

Com base nos resultados obtidos é possível verificar que o CNC pode ser adequado a uma rede corporativa para intercomunicação com outros dispositivos via Ethernet e utilizando o protocolo TCP/IP. A adequação da máquina à rede se mostra vantajosa, pois permite uma variedade de adaptações para melhoria dos processos e facilidade da interação entre operador e a HMI do controlador. Além disso, observa-se a possibilidade de acesso remoto à interface da máquina e, com isso, a obtenção das variáveis para monitoramento via funções disponibilizadas pelo próprio Sinumerik 828D.

A arquitetura implementada permite utilizar ferramentas disponíveis na própria máquina, tais como: os drivers para comunicação com dispositivos externos e a função *Trace*, a qual possibilita acompanhar o comportamento das variáveis de sistema ao longo do tempo.

O processo de adequação de uma máquina de manufatura, tal qual o Centro de Usinagem ROMI D600, aos conceitos da Indústria 4.0, através da implementação de um sistema de monitoramento, controle e acesso remoto, permite explorar todos os recursos disponibilizados pelo CNC. Além disso, a ideia de disponibilizar a máquina na rede possibilita a comunicação com outros dispositivos, proporcionando supervisão dos processos mesmo estando distante da interface de operação do controlador.

As vantagens da arquitetura de comunicação na rede e a possibilidade de acesso e controle remoto através do UltraVNC Viewer são essencialmente eficazes, principalmente no que se refere a assistência remota para a manutenção, por exemplo. Além disso, a definição de

pastas de compartilhamento de dados na rede, por meio da configuração dos drivers disponíveis, facilita a transferência de arquivos entre PC e controlador Siemens.

Nota-se, no entanto, que a arquitetura implantada possui algumas limitações, como, por exemplo: há um limite de computadores a serem habilitados para comunicação, dada a quantidade de drivers disponíveis no controlador. Além disso, o alcance do acesso remoto da arquitetura implementada irá variar de acordo com o alcance da rede Ethernet disponível, quanto maior esse alcance, maior a distância apta para conexão de um PC à máquina.

A arquitetura configurada atende aos interesses descritos neste trabalho, pois é possível observar características da Indústria 4.0, tais como: interconectividade entre os dispositivos e troca de dados na rede, características essas que definem o conceito de IoT; além de supervisão e controle remoto via Ethernet, peculiaridades que podem ser atribuídas às funcionalidades da IoS. Ademais, a máquina por si só já possui características que possibilitam a sua adesão à Indústria 4.0, pois por serem máquinas CNC, possuem dispositivos de microprocessamento rápido embarcados no seu sistema, os quais representam bem os sistemas Cyber Físicos.

8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Fica como sugestão para os trabalhos seguintes a melhoria da arquitetura de adequação do ROMI D600, a exploração de outros softwares clientes padrões OPC e das funções existentes na máquina, tal como a ferramenta *Trace* e as variáveis disponíveis para monitoramento gráfico. A análise quantitativa e qualitativa das variáveis aqui descritas pode ser de grande utilidade para trabalhos futuros na área de fabricação e possivelmente na área de manutenção.

É de interesse para os trabalhos conseguintes que as limitações da arquitetura sejam atenuadas, de modo a se obter comunicação direta na nuvem e um alcance maior da comunicação na rede, utilizando os recursos da internet.

REFERÊNCIAS

COELHO, P. M. N. **Rumo à Indústria 4.0**. Universidade de Coimbra. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Departamento de Engenharia Mecânica. Coimbra, Portugal, 2016.

DEL CONTE, E. G. Desenvolvimento de um sistema para monitoramento de dados em HSM (*High Speed Machining*). 2007. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste. 2007.

DELOITTE. *Industry 4.0: an introduction*, Holanda, 2015.

EXATA. **Kepware kepservex**. Exata Sistemas de Automação LTDA. São Paulo – SP, 2017. Disponível em: <<http://www.exatasistemas.com.br/xkepware/kepware-drivers.html>>. Acesso em: 01 junho. 2019.

FRANCISCATTO, R; CRISTO, F. de; PERLIN, T. **Redes de Computadores**. Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Agrícola de Frederico Westphalen, 2014.

FERRAZ, F. J. **Desenvolvimento de um sistema de monitoramento e supervisão para o processo de torneamento**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2002.

FOROUZAN, B. A. **Comunicação de dados e redes de computadores**. 3a. ed. Porto Alegre: Bookman. 2006.

INDÚSTRIAS ROMI S/A. **Manual de programação e operação**. São Paulo – SP. Disponível em: <<http://siaibib01.univali.br/pdf/T22182C.pdf>>. Acesso em: 25 junho. 2019.

INVENTCOM. **Visão geral – Siemens**. Munique, Alemanha, 2019. Disponível em: <<https://www.inventcom.net/support/siemens/overview>>. Acesso em: 01 julho. 2019.

JURIZATO, L. A.; PEREIRA, P. S. R. **Sistemas Supervisórios**. © *Network Technologies*, Nova Odessa, v.1/2, n.1/2, p.105-114, 2002/2003.

KEPWARE. *Keeware Knowledge Base: Solution Results*. PTC. Disponível em: <<https://www.kepware.com/en-us/support/knowledge-base/?product=d2239b8c-36f2-4d07-8fbd-e223d0e26bbf>>. Acesso em: 01 julho. 2019.

KUROSE, Keith W.; ROSS, James F. **Redes de computadores e a internet**: uma abordagem top-down. [S.l.]: Addison-Wesley, 2010. 8588639971.

MORIMOTO, Carlos Eduardo. Faixas de endereços IP, CIDR e máscaras de tamanho variável. *Guia do Hardware*. 2007. Disponível em: <http://www.jvasconcellos.com.br/unijorge/wp-content/uploads/2011/09/End_IP_CIDR.pdf>. Acesso em: 25 maio. 2019.

NETO, O. L. Desenvolvimento do sistema para monitoramento do dados em HSM. **16º Congresso de Iniciação Científica**. Piracicaba-SP. 2008.

OLIVEIRA, L. E. S; ALVARES, A. J. **Desenvolvimento de um Sistema para Monitoramento e Teleoperação de Máquinas-ferramenta CNC via Internet aderente à Indústria 4.0**. Brasília-DF. 2018.

OPC Foundation. *The Industrial Interoperability Standard™. What is OPC?* Disponível em: <<https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/>>. Acesso em: 26 maio. 2019.

RIOS, R. O. **Protocolos e Serviços de redes**. Curso Técnico em Informática. Colatina: CEAD/Ifes, 2011.

SIEMENS AG. *Instructions for transferring the SINUMERIK HMI to an external screen*. Disponível em: < www.siemens.com/cnc4you>. Acesso em: 02 junho. 2019.

_____ ; Interface ETHERNET 828D. **Manual T60542A**. 2006a.

_____ ; SINUMERIK 802D sl. *Operation and Programming Nibbling*, p.190, Edition 06/2006b. Disponível em: < <https://www.manualslib.com/manual/1216031/Siemens-Sinumerik-802d-Sl.html#manual> >. Acesso em: 13 junho. 2019.

_____ ; SINUMERIK *Intelligent solutions for machine tools*. Erlangen, Germany. 2018.

_____ ; SINUMERIK **840Di Manual (HBI)**. *Drive Optimization with HMI Advanced*. cap. 13, p.105-114, 2005.

_____ ; SIEMENS AG. Sinumerik 828D. **Hardware e Software**. 2010.

SILVA, C. E. O. Da; VILLANI, E. Monitoramento e Controle Remoto de Máquina CNC que utiliza Controlador Sinumerik 828D. **XVIII Congresso Brasileiro de Automática**. Bonito-MS, 2010.

SOUZA, M.C. F. et al. **Manufatura Virtual: Conceituação e Desafios**. São Carlos-SP. v.9, n.3, p.297-312, 2002.

UVNC. *Remote PC Support*. Disponível em: < <http://www.uvnc.com/products.html> >. Acesso em: 30 maio. 2019.

APÊNDICE A - PLANO DE TRABALHO

Título: Estudo da adequação de uma máquina de manufatura para rede de comunicação ethernet.

Dados			
Aluno:	Lays Barbosa de Souza		
Nº de Matrícula:	201300549		
Telefones:	(62) 98587-2845		
E-mail:	laysbds@gmail.com		
Orientador:	João Paulo da Silva Fonseca		
Curso:	Eng. Elétrica ()	Eng. de Computação ()	Eng. Mecânica (X)
Certif. Estudos	Não (-) Sim (-)		

Resumo

Este projeto consiste no estudo da adequação de uma máquina ferramenta, o centro de usinagem Romi D 600 disponível no Laboratório de Materiais e Fabricação (LAMAF) da EMC/UFG, a aplicações de manufatura digital via rede de comunicação industrial. Para isto, contextualiza-se o projeto nos conceitos de Indústria 4.0, evidenciando a necessidade de utilizar simulações, computação em nuvem e arquitetura e protocolos de comunicação. Assim, espera-se que seja definida uma arquitetura de comunicação específica para a coleta de dados do centro de usinagem Romi D600, envio para aplicação e análise em nuvem e acesso remoto. Além disso, deseja-se configurar um simulador específico para a máquina de modo a implementar, via rede de comunicação ethernet industrial, suas funcionalidades associadas aos conceitos de CAD/CAM.

I. Objetivos

Os objetivos do presente projeto são:

- Levantar requisitos para adequação do centro de usinagem Romi D 600 à rede de comunicação;
- Definir software e hardware específicos necessários para construção de uma arquitetura de comunicação com integração da máquina com a nuvem;
- Desenvolver configuração para integração da máquina com o ambiente de simulação proprietário do fabricante;
- Verificar o funcionamento da estrutura de comunicação através de testes e ajustes;

- Documentar o material em forma de monografia para disponibilização pública.

II. Metodologia

A metodologia utilizada neste projeto será:

- Levantamento bibliográfico;
- Definição da arquitetura de comunicação necessária para integração da máquina à rede de comunicação industrial;
- Integração da máquina à rede industrial e configuração do simulador proprietário da fabricante
- Integrar o projeto, testar a e preparar sua integração;
- Documentação do projeto na forma de uma monografia de conclusão de curso.

III. Cronograma

O cronograma das atividades a serem realizadas é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Cronograma do projeto 1º Semestre letivo de 2019.

Etapas do Projeto	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL
1) Levantamento bibliográfico	X				
2) Definir arquitetura de comunicação necessária		X			
3) Integração da máquina em rede industrial		X	X		
4) Realização de testes e ajustes			X	X	
5) Redação da monografia			X	X	
6) Defesa do projeto final					X

Goiânia, 25 de fevereiro de 2019.