

# Sistema de Supervisão e Parametrização para Máquina Poliborda

Kauê Luvisa

Instituto Federal de Educação, Ciência  
e Tecnologia do Rio Grande do Sul - IFRS  
Av. São Vicente, 785,  
Farroupilha, RS, Brasil  
Email: kaue.luvisa@gmail.com

Gustavo Künzel

Instituto Federal de Educação, Ciência  
e Tecnologia do Rio Grande do Sul - IFRS  
Av. São Vicente, 785,  
Farroupilha, RS, Brasil  
Email: gustavo.kunzel@farroupilha.ifrs.edu.br

**Resumo**—A parametrização local de uma máquina poliborda bem como a dependência de deslocamento para sua supervisão são problemas enfrentados em diversas empresas do ramo de pedras artesanais. A utilização da internet para controle e aquisição de grandes quantidades de dados é uma realidade atual vinda da modernização buscada no conceito de Indústria 4.0. O sistema proposto como Trabalho de Conclusão de Curso consiste em um sistema de supervisão e parametrização para máquina poliborda, disponibilizando seu sistema em uma comunicação segura através de uma rede LAN ou WAN e garantindo a integridade do sistema exigindo do usuário suas credenciais para acesso, fazendo com que se torne muito mais rápido um atendimento em caso de pane da máquina e facilitando a supervisão do funcionamento da mesma. Os testes finais geraram resultados positivos que confirmam o funcionamento de cada parte do projeto bem como do sistema geral.

**Palavras-chave**—SCADA; IIoT; Indústria 4.0; Poliborda.

## I. INTRODUÇÃO

Originado na Alemanha, no ano de 2011, o termo Indústria 4.0 foi adotado para se referir à quarta revolução industrial, a qual vem sendo implementada no mundo inteiro por meio da modernização das indústrias em busca de maior competitividade e melhor nível de produção. A Indústria 4.0 engloba diversas tecnologias. [1] Caracteriza 9 pilares tecnológicos como sua sustentação, são eles: big data e análise de dados, robôs autônomos, simulação, integração de sistemas horizontal e verticalmente, a Internet das Coisas Industrial (IIoT), segurança cibernética, a nuvem, manufatura aditiva e realidade aumentada. Dentro das novas tecnologias utilizadas pela indústria 4.0, destacam-se os sistemas ciberfísicos que se caracterizam como sistemas de automação industrial que integram funcionalidades inovativas, conectando através da rede operadores físicos com computação e infraestruturas de comunicação [2].

A IIoT foi desenvolvida com foco total no meio industrial, e se caracteriza como um sistema de objetos inteligentes conectados, ativos ciberfísicos, tecnologia de informação, processamento em nuvem, acesso remoto e recolhimento de dados em tempo real e de forma autônoma, visando melhorar a produção e os processos da fábrica como um todo [3].

No ramo de pedras artesanais, as máquinas polibordas são responsáveis pelo polimento feito nas pedras já cortadas

em chapas, reduzindo sua rugosidade por meio de fricção com abrasivos e com isso aumentando o seu brilho. Um problema no processo de instalação e parametrização deste tipo de máquina atualmente é que o mesmo é feito de maneira empírica [4]. Para melhorar o processo de instalação e configuração deste tipo de máquina, uma análise de dados em tempo real, bem como de um histórico de funcionamento do equipamento, se mostram de grande ajuda para uma melhor parametrização, principalmente quando aliado à utilização de ferramentas de acesso remoto, permitindo ao técnico, responsável pela instalação e manutenção da máquina realizar alterações e adquirir dados sem a necessidade de se deslocar até o local de instalação da máquina.

Neste trabalho, portanto, é proposto o desenvolvimento de um sistema a ser implementado em uma bancada de testes onde seja possível simular o funcionamento de uma máquina poliborda, verificando em tempo real os acionamentos realizados durante a operação da máquina. Através de uma interface digital o equipamento deve apresentar dados de variáveis e de configurações, bem como o estado de suas saídas em tempo real e receber parâmetros de configuração diretamente pela IHM. O sistema também deve adquirir dados da máquina e do usuário e armazená-los em um banco de dados, ser acessado remotamente através de VPN, ter um microcontrolador substituindo o CLP e manter todos os sistemas executando em conjunto internamente.

Esta proposta de trabalho está dividida em cinco partes. Primeiramente é definido o contexto de aplicação do sistema a ser desenvolvido buscando uma solução de trabalho remoto para máquinas polibordas aplicadas em marmorarias. A seção II introduz ao leitor todas as tecnologias e conceitos utilizados para o desenvolvimento do sistema proposto. Na seção III é explicada a construção definida a partir das tecnologias disponíveis para a aplicação do sistema. Na seção IV tem-se de maneira detalhada o desenvolvimento do projeto e a execução de seu funcionamento. Na seção V são demonstrados os resultados obtidos durante os testes de execução do equipamento. Na seção VI os resultados são discutidos e analisados, com sugestões de melhorias a serem implementadas em trabalhos futuros.

## II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### A. Poliborda

Uma máquina poliborda é uma máquina que reliza o polimento das bordas de uma chapa de pedra buscando atingir o máximo de brilho na mesma para que esta atinja o melhor valor de mercado possível. O modelo usado como referência para a realização deste trabalho é o modelo UNDER da empresa Rexfort Máquinas LTDA. Conforme apresentado na Fig. 1.



Figura 1. Politriz de borda vertical UNDER [5]

O funcionamento consiste em passar uma chapa de pedra pela máquina, e esta por sua vez vai acionando os cabeçotes com os abrasivos, responsáveis por realizar o polimento. Há um sensor indutivo no começo do equipamento, e a passagem da pedra pelo início da máquina aciona um mecanismo que ativa o sensor indutivo. Um CLP realiza a contagem de pulsos de um encoder acoplado à esteira transportadora, e assim armazena o tamanho da pedra que está passando. Com estes dados o CLP relaciona o tamanho da pedra com os valores dos parâmetros setados pelo instalador no momento da instalação do equipamento e aciona e desaciona os cabeçotes de maneira inteligente, buscando maximizar o polimento da pedra.

### B. SCADA

Um Sistema de Controle Supervisório e Aquisição de Dados (SCADA) é a denominação dada ao *software* que é capaz de acessar remotamente os dados do sistema ao qual está sendo aplicado, da mesma forma que é capaz de realizar o controle deste sistema também de maneira remota, servindo assim como uma interface homem-máquina de comunicação entre o usuário e o sistema ao qual está conectado. Os principais objetivos de um sistema SCADA são proporcionar economia com deslocamento de profissionais, acessibilidade a sistemas de difícil acesso, aquisição de dados para previsão de possíveis falhas de funcionamento e para realização de manutenções preventivas, maior ergonomia ao retirar a necessidade de se ficar diante da máquina, melhoria do rendimento do processo através da utilização dos dados adquiridos em um sistema de gestão apropriado, diversificação da visualização do sistema sem a necessidade de gastos com alterações físicas e

conectividade através de diversos protocolos de comunicação, conectando vários sistemas e facilitando sua supervisão [6].

Quanto à segurança deste tipo de sistema temos que, devido à utilização de acesso remoto de diversos locais, inclusive de redes externas, um projeto mal elaborado pode apresentar falhas na segurança do produto a ser monitorado podendo ter diversos parâmetros alterados, danificando o equipamento e seu funcionamento. Para prevenção desse tipo de situação é necessária a elaboração de estratégias de prevenção e métodos de defesa para o sistema. Algumas técnicas mais comuns são a utilização de hierarquias de acesso que delimitam o nível de acesso que cada usuário consegue ter, a aplicação de criptografias nos dados enviados entre o sistema e as estações remotas, detectando os IPs, filtrando os dados recebidos e armazenando dados de acesso (*logs*) [6].

Atualmente no mercado existem diversos tipos de softwares SCADA. Alguns destes sistemas são pagos e contam com suporte de pessoal técnico, enquanto outros são gratuitos e de código aberto com grande quantidade de material disponível para as mais diversas aplicações mantidos pela comunidade usuária do sistema. Alguns exemplos de softwares SCADA gratuitos e de código aberto são o ScadaBR e o Scada-LTS.

### C. VPN

Uma Rede Privada Virtual (VPN) permite a criação de uma rede "local" em múltiplos computadores em diversas redes diferentes, sejam estas partes de uma LAN ou em redes distintas sendo necessária a comunicação através da WAN. Em [7], o tráfego de dados através de uma VPN é comparado a um túnel, onde o restante dos dispositivos da internet somente conseguem ver a existência da conexão da VPN, mas não conseguem ver os dados que estão trafegando internamente, como se estivessem do lado de fora deste túnel. Ele realiza também que apesar de protocolos protegidos como HTTPS e SSH serem menos vulneráveis eles ainda podem ser identificados. Alguém que esteja observando o tráfego da rede pode reconhecer o tipo de conexão feita entre o cliente e o servidor.

Em sua maioria as VPNs utilizam alguma forma de criptografia e de autenticação. A criptografia garante que os dados não sejam reconhecidos por outros dispositivos conectados à rede, enquanto a autenticação se divide em duas partes: a autenticação de usuário ou de sistema, definindo o nível de acesso que são permitidos para cada usuário do sistema, e a autenticação do fluxo de comunicação. Este utiliza uma assinatura em cada pacote enviado o qual é observado pelo servidor antes de descriptografado, garantindo maior segurança contra alguns tipos de ataques ao servidor [7].

### D. Banco de Dados

Um sistema de banco de dados é um sistema computadorizado onde usuários podem armazenar e alterar dados. Estes dados podem ser qualquer tipo de informação útil ao usuário. Um banco de dados deve manter os dados com um ordenamento lógico e coerente. Ele possui um objetivo específico atendendo a certos tipos de usuários e de aplicações

e deve conter dados que representem algo do mundo real [8], [9].

Diversas ações podem ser realizadas em relação aos dados do sistema de banco de dados, como por exemplo, acrescentar e remover arquivos, inserir, buscar, excluir e alterar dados de arquivos existentes. Tais ações não são realizadas diretamente pelos usuários, mas sim por um software comumente conhecido como Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD), o qual recebe instruções em sua maioria através da linguagem SQL [9].

Os bancos de dados podem ser aplicados nas mais diversas situações com as mais diversas finalidades se aplicando também aos dispositivos inteligentes utilizados na Indústria 4.0 na IIoT. Os dispositivos IoT, diferentemente do que o nome sugere, em sua maioria não enviam seus dados diretamente para a internet, pois isso poderia causar diversos problemas de comunicação e de excesso de tráfego de dados. Os dados recolhidos pelos dispositivos são armazenados em um banco de dados, seja este do próprio dispositivo ou um banco de dados centralizado interligado a diversos dispositivos IoT, garantindo assim maior segurança aos dados adquiridos e um controle maior sobre o fluxo dos mesmos [2]. Após esse tratamento inicial os dados podem ser recolhidos por um usuário ou enviados automaticamente para um banco de dados maior e centralizado gerando assim o big data que, como o próprio nome sugere, se trata de uma grande quantidade de dados selecionados reunidos, com o intuito de serem observados e gerenciados, sendo possível com isso a realização de tomada de decisões baseada em dados com a mínima intervenção humana possível [10].

### E. Trabalhos Relacionados

Em [11], o autor realiza um estudo de viabilidade da substituição do CLP de uma máquina empacotadora automática por um conjunto de Raspberry Pi, Arduino Mega e tela IHM sensível ao toque, buscando aumentar a conectividade do sistema, melhorar sua forma de operação e de observação de dados sobre o equipamento aliados a uma diminuição no valor da máquina ao se utilizar de *hardware* de baixo custo. Em seu estudo o autor realiza testes utilizando somente o Cubieboard2 (microprocessador semelhante ao Raspberry Pi). O Cubieboard2 possui portas lógicas programáveis pelas quais pode realizar acionamentos e leituras sem a necessidade de um hardware adicional para isto. Como resultado de seus testes observou que seria necessário um hardware de mais baixo nível (microcontrolador) ligado ao seu microprocessador, pois o sistema operacional acaba gerando atraso em seus acionamentos e leituras, deixando seu projeto inconsistente. Seu trabalho então se utiliza de um microcontrolador, capaz de realizar os acionamentos e leituras de sensores, aliado a um microprocessador que é responsável por rodar o sistema operacional, o qual realiza as modificações de parâmetros utilizados no programa do microcontrolador e disponibiliza os dados adquiridos para o usuário através da IHM. Por fim seu trabalho conclui que a substituição do CLP pelo conjunto de Raspberry Pi, Arduino Mega e tela IHM se

deu de forma satisfatória cumprindo o objetivo de seu projeto, sendo capaz de controlar a máquina de forma eficiente.

Em seu trabalho, [12] apresenta um laboratório baseado em rede com acesso em tempo real a todos os seus equipamentos via internet. Seu objetivo é aplicar tal sistema para que o laboratório sirva como ferramenta de ensino prático em equipamentos reais acessados remotamente pelos estudantes. O sistema se utiliza de um SCADA para realizar o monitoramento e as ações nos equipamentos do laboratório e ao final das atividades disponibiliza ao usuário os dados de seus experimentos através de um arquivo CSV para download. O sistema de controle baseado em rede utilizado se trata de um sistema cliente-servidor que assim que detecta um cliente ativo o redireciona para o sistema SCADA.

Na publicação de [13] também é desenvolvido um sistema baseado em rede e que se utiliza de um sistema SCADA, desenvolvido internamente para a utilização em um sistema de IoT. Uma das diferenças com o trabalho citado anteriormente é que neste é utilizado um sistema de banco de dados para realizar o armazenamento e a troca de dados entre o servidor e os clientes. No entanto, para a visualização de dados de maneira gráfica em tempo real a comunicação é realizada diretamente entre o servidor e o cliente, sem passar pelo banco de dados. O mesmo também utiliza o modelo de adaptação a diferentes tamanhos de tela chamado RWD, o que proporciona que o usuário que está acessando o sistema possa ter uma interface amigável e bem organizada independente do dispositivo que utiliza para realizar o acesso. Como protocolo de comunicação entre o servidor e o sistema físico de acionamento do sistema de IoT é utilizado o Modbus.

## III. PROPOSTA

Nesta seção serão explicadas todas as partes que constituem o desenvolvimento do projeto proposto para este trabalho. Serão abordados os métodos escolhidos para a comunicação entre cada uma das partes do sistema, bem como a distribuição e fluxo de dados internos entre seus componentes. Também serão explicados os caminhos das informações do usuário até a máquina, e vice-versa, de mesmo modo que serão esclarecidas as escolhas de software e hardware do sistema proposto.

### A. Funcionamento do sistema

O sistema proposto é caracterizado como um sistema de monitoramento e intervenção remoto para máquina poliborda. Este se utiliza de diversas tecnologias integradas para seu funcionamento, como disposto na Fig. 2. A comunicação com o usuário é feita unicamente via web, podendo ser via LAN ou via WAN, no segundo caso conectando-se ao servidor VPN presente no microprocessador, garantindo maior segurança aos dados transmitidos. O usuário então, através de seu navegador, tem acesso ao sistema SCADA que roda internamente ao microprocessador, e após entrar com seu cadastro, consegue visualizar os dados da máquina e realizar a parametrização da mesma remotamente.

O SCADA, por sua vez, realiza a armazenagem dos dados adquiridos do microcontrolador, para poder fornecer ao

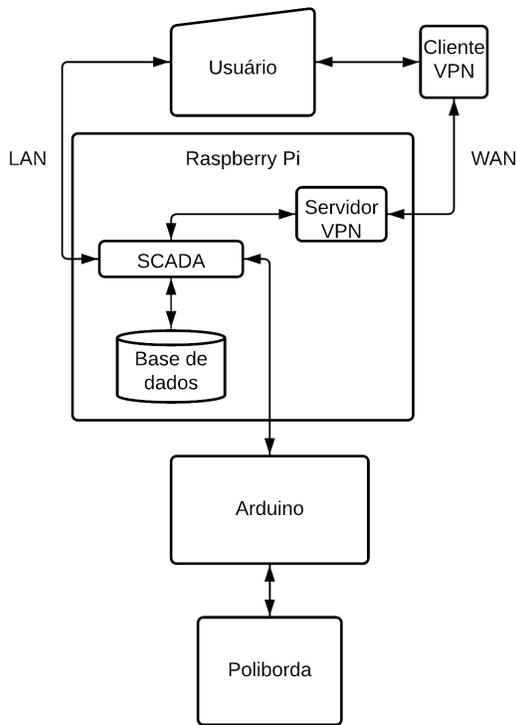


Figura 2. Diagrama geral do sistema

usuário quando lhe for requisitado. Também fica a seu encargo comunicar ao microcontrolador os parâmetros de configuração que foram recebidos do usuário.

A comunicação entre o SCADA e o microcontrolador é feita via protocolo Modbus/RTU, por ser um protocolo muito utilizado na área industrial e de fácil implementação, já disponível de maneira nativa em diversos SCADAs. Para se comunicar com o SGBD, o SCADA se utiliza da linguagem SQL.

O microcontrolador fica responsável pelos acionamentos e leituras sensoriais da máquina poliborda, além de fornecer os dados da máquina para o microprocessador e realizar alterações no funcionamento da máquina de acordo com os parâmetros recebidos do microprocessador. Seu funcionamento é demonstrado na Fig. 3.

O funcionamento da poliborda é linear. Ao colocar uma chapa de pedra sobre a esteira ligada a chapa é movimentada juntamente com a esteira durante todo o ciclo. Logo ao início da movimentação sobre a esteira a chapa de pedra desloca uma haste que afasta um sensor de início (sensor indutivo) de uma chapa metálica acionando o mesmo. Assim que ele é acionado inicia-se uma contagem de tamanho da chapa através da leitura de um encoder acoplado ao eixo da esteira, realizando assim uma medição do comprimento da mesma. Com esta informação, os prensos que seguram a chapa e os motores que friccionam os abrasivos contra sua borda para o polimento são acionados e desacionados pelo CLP (representado pela

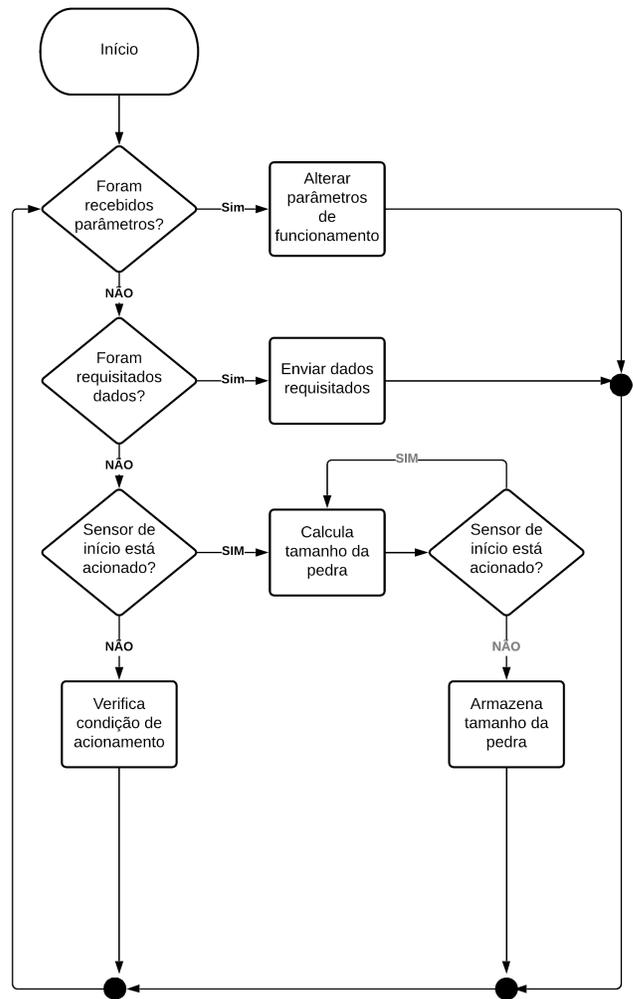


Figura 3. Fluxograma do microcontrolador

função "verifica condição de acionamento" da Fig. 3) através de relés e contadoras de acordo com a medida da chapa e com os parâmetros setados pelo usuário.

A verificação da condição de acionamento é realizada através de uma comparação entre o valor setado para acionamento e a posição do encoder no momento.

## B. Hardware

1) *Microcontrolador:* Visando a substituição do CLP na máquina poliborda, o controle de acionamentos e leitura de sensores da máquina para este projeto é realizado por uma placa de prototipagem contendo um microcontrolador. A escolha da placa leva em conta o número de entradas e saídas disponível pelo mesmo, sendo necessário suprir a quantidade de portas utilizadas na máquina a ser controlada. Para este trabalho foi escolhido o Arduino Uno como responsável pelo controle dos acionamentos, devido a seu hardware conter um microcontrolador e ter capacidade para suprir a utilização em

uma bancada de testes. O modelo escolhido está representado na Fig. 4.



Figura 4. Arduino Uno [14]

A plataforma Arduino é de código aberto e o Arduino Uno conta com um microcontrolador ATmega328P, com uma tensão de operação de 5 V e uma tensão de alimentação de 7 a 12 V recomendada, tendo por limite uma aceitação de tensão entre 6 e 20 V de acordo com o *site* do fabricante. Conta também com 14 pinos digitais multipropósito, sendo 6 destes utilizáveis como saídas PWM e 6 pinos de entradas analógicas. Sua capacidade de corrente nos pinos são de 20 mA e ele possui memória flash de 32 KB, memória SRAM de 2 KB, memória EEPROM de 1 KB e um clock de 16 MHz de velocidade [15]. Estas configurações são suficientes para realização do protótipo da bancada de simulação.

2) *Microcomputador*: Para suprir a parte de processamento do projeto foi necessária a escolha de um microcomputador, tendo como função rodar o programa SCADA, servir como servidor VPN e ser o responsável por rodar o banco de dados, esta peça de hardware acaba sendo o componente central para o projeto, realizando a comunicação entre os demais componentes e o usuário, onde todas as informações são tratadas e armazenadas. Para tal função foi escolhido o Raspberry Pi 3 modelo B demonstrado na fig. 5.

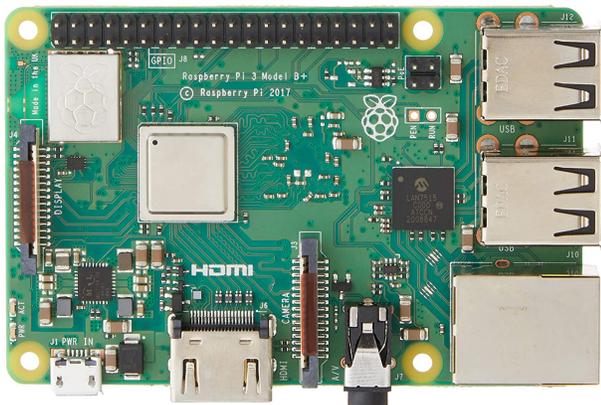


Figura 5. Raspberry Pi 3 Modelo B [16]

O Raspberry Pi 3 modelo B é um hardware de código aberto e possui diversas funcionalidades importantes para o desenvolvimento do projeto. O modelo conta com processador Quad Core 1.2 GHz Broadcom BCM2837 com arquitetura ARM de 64 bits, 1 GB de memória RAM, conexão nativa via Wireless e Bluetooth de baixo consumo de energia, conexão Ethernet, 40 pinos multipropósito, 4 portas USB 2.0, saída de som estéreo de 4 pólos, HDMI de tamanho padrão (os modelos mais novos contam com mini HDMI), porta CSI para câmera, porta DSI para display, porta microSD, e é alimentado através de uma porta micro USB que suporta corrente de até 2,5 A. Seu sistema de armazenamento se dá através do cartão microSD. Para este projeto está sendo utilizado um com capacidade de armazenamento de 16 GB [17], que é suficiente para o sistema operacional e outros softwares necessários.

### C. Software

1) *SCADA*: Como sistema SCADA deste projeto, para realizar a aquisição dos dados e a inserção de valores nos parâmetros de funcionamento da máquina poliborda será utilizado o ScadaBR, um software de código aberto gratuito. Este software permite definir níveis de acesso para cada usuário cadastrado, trabalhar com alarmes e eventos, scripts para automações, representação dos dados por meio de gráficos, visualização de dados em tempo real bem como seu registro em um banco de dados integrado por padrão ao sistema [18], estando portanto de acordo com os requisitos do projeto.

2) *VPN*: O serviço de VPN para este projeto é um adicional muito importante para o sistema. É ele que criptografa e gerencia a transmissão de dados através de WAN, garantindo privacidade e segurança para os dados que circulam entre o usuário e o sistema. Como servidor VPN será utilizado o OpenVPN, outro software de código aberto e gratuito, capaz de gerar chaves de acesso individuais para os clientes [19].

## IV. DESENVOLVIMENTO

### A. Raspberry

Primeiramente é instalado o sistema operacional que roda no Raspberry PI. Para este caso a melhor escolha dentre os sistemas operacionais disponíveis no site oficial do microprocessador [20], é o Raspberry Pi OS Lite, este além de ser um arquivo mais leve também é mais leve para rodar, pois o mesmo não possui programas instalados e nem interface gráfica, utilizando menos recursos do microprocessador. O passo a passo da instalação está disponível no site oficial, e é feito gravando uma imagem do sistema operacional em um cartão SD, que serve como disco de armazenamento para o Raspberry PI.

Por não possuir interface gráfica sua configuração deve ser feita através de comandos SSH de um terminal conectado a mesma rede do Raspberry PI. Para poder liberar o acesso ao Raspberry Pi via SSH é necessário criar um arquivo vazio, sem extensão e com o nome de SSH dentro de seu cartão SD. Fig. 6.

Com o programa rodando precisa-se realizar a instalação do ScadaBR na sua versão mais recente(1.2). Para isso é

seguido o tutorial disponível no blog oficial do ScadaBR [21]. O banco de dados é configurado automaticamente no momento da instalação do sistema SCADA.

O próximo passo é realizar a instalação e configuração do sistema de VPN. Para realizar a configuração do OpenVPN de maneira mais simples é utilizado o PIVPN, um guia de instalação e configuração intuitivo para instalação e configuração de VPN no Raspberry PI [22]. Um dos requisitos para a correta utilização da VPN é um IP externo fixo. Por esta configuração depender de configurações feitas pela operadora que provê a internet, é utilizado como alternativa a reserva de um DDNS público atrelado ao IP externo da rede. Para tal foi utilizado um DDNS público reservado pelo site no-ip de maneira gratuita [23]. Para que a conexão funcione também é necessário configurar a porta do roteador que foi definida na instalação da VPN. A mesma deve possuir a porta de entrada e de saída conectadas através de comunicação UDP.

Para acessar a VPN é necessário instalar o cliente na máquina que for realizar o acesso. Além disso deve-se gerar um certificado no servidor (Raspberry PI), e exportá-lo para a máquina com o cliente instalado.

Com estes passos concluídos já pode-se acessar o Raspberry Pi estando conectado na mesma rede que ele através do IP do Raspberry que pode ser encontrado realizando-se de uma varredura na rede com programas como o Angry IP [24], ou a partir de uma conexão externa se utilizando da conexão VPN para acessar a rede local e posteriormente pelo IP do servidor.

## B. Arduino

Para ser o substituto do CLP o arduino se comunica com o Raspberry utilizando protocolo ModbusRTU, que se dá pela porta serial presente no Arduino Uno e uma das portas USB encontradas no Raspberry PI. Conforme apresentado na Fig. 7 e Fig. 8.

O programa do Arduino foi feito utilizando-se 3 bibliotecas como base. As blibliotecas "ArduinoRS485" [25] e "ArduinoModbus" [26] responsáveis pelas configurações e pela realização da comunicação Modbus, e a biblioteca "Ro-

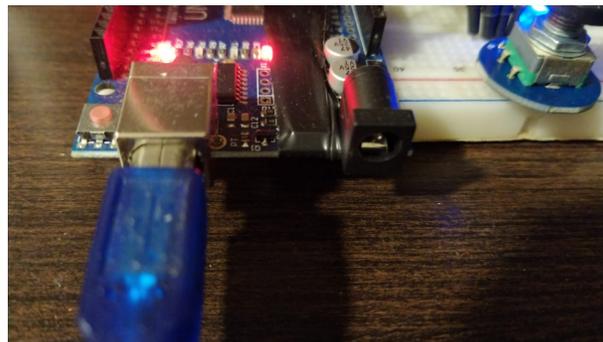


Figura 7. Porta serial do Arduino



Figura 8. Portas USB do Raspberry

taryEncoder" [27] responsável por realizar as configurações e leituras relacionadas ao encoder utilizado.

O programa segue o fluxograma apresentado anteriormente neste artigo, e seu funcionamento simula o funcionamento de uma poliborda ao controlar uma bancada de simulação onde se pode observar na prática os acionamentos realizados pelo equipamento e como o mesmo se comporta de acordo com os parâmetros utilizados e com diferentes tamanhos de pedras que seriam utilizados.

## C. Bancada para simulação

Para a melhor compreensão dos acionamentos realizados pelo Arduino, uma bancada foi montada de maneira que se possa observar em tempo real o comportamento do mesmo de acordo com as entradas recebidas pelo sensor de início e pelo encoder.

Para simular o funcionamento da esteira é utilizado um encoder, mesmo sistema utilizado pelo equipamento real para saber o andamento da esteira e sua posição. No local do sensor indutivo utilizado como sensor de início na máquina, é utilizado o botão embutido no encoder. O mesmo aciona ao pressionar o encoder.

Com o objetivo de simular os cabeçotes que aproximam os motores com abrasivos das chapas de pedras que estão passando pelo equipamento, são utilizados leds posicionados alinhados na mesma ordem que os acionamentos aconteceriam no equipamento.

```
pi@raspberrypi:~  
[root@fedora kluvisa]# ssh pi@192.168.0.37  
pi@192.168.0.37's password:  
Linux raspberrypi 5.10.63-v7+ #1488 SMP Thu Nov 18 16:14:44 GMT 2021 armv7l  
  
The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;  
the exact distribution terms for each program are described in the  
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.  
  
Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent  
permitted by applicable law.  
Last login: Mon Dec 6 21:57:48 2021 from 192.168.0.14  
  
SSH is enabled and the default password for the 'pi' user has not been changed.  
This is a security risk - please login as the 'pi' user and type 'passwd' to set  
a new password.  
  
Wi-Fi is currently blocked by rfkill.  
Use raspi-config to set the country before use.  
  
pi@raspberrypi:~
```

Figura 6. Acesso SSH ao Raspberry

Todos os componentes estão dispostos sobre uma placa de ensaio, mais comumente chamada de *proto-board*, facilitando assim a organização dos componentes para simulação, conforme apresentado na Fig. 9.

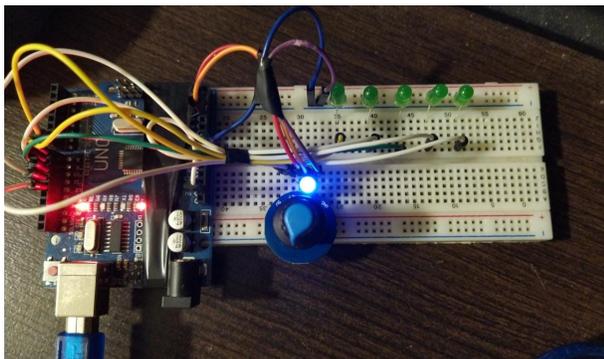


Figura 9. Bancada para simulação

#### D. IHM

A IHM do sistema é feita diretamente no ScadaBR, este possui um editor gráfico integrado onde é possível configurar imagens que se alteram de acordo com o estado de um parâmetro podendo com isso entregar de maneira visual o estado de um parâmetro. Para parâmetros onde é necessário ver o valor atual, é possível exibir o valor de maneira gráfica. No momento da organização da IHM é possível configurar cada valor e cada item que aparece na tela, bem como se este parâmetro pode ser configurável ou somente para leitura. Fig. 10.

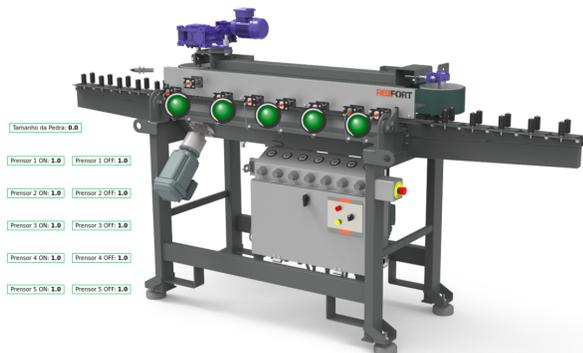


Figura 10. IHM configurada no ScadaBR

Os parâmetros de acionamento e desacionamento de cada um dos cabeçotes do equipamento são mostrados na tela e são parâmetros configuráveis. É através deles que se alteram o momento em que cada um dos cabeçotes é ativado. A unidade utilizada nestes parâmetros é a quantidade de posições do encoder a partir do acionamento anterior. Com a mudança destes valores a máquina realiza o acionamento e desacionamento mais cedo se o valor for menor ou mais tarde no caso contrário. Os valores são escolhidos buscando o momento correto para que o equipamento faça o melhor polimento possível.

O parâmetro que demonstra o tamanho da pedra obtém esse valor a partir da quantidade de pulsos que o encoder precisou girar entre o acionamento e o desacionamento do sensor de início. Este valor é utilizado pelo programa para saber a hora em que é necessário realizar o desacionamento do cabeçote.

Na parte esquerda da imagem que representa a máquina temos posicionado o sensor de início. O mesmo fica cinza quando não está ativado e muda sua cor para azul quando seu estado está como ativo.

Ao longo do corpo da imagem cada luz verde disposta sobre o equipamento representa seu respectivo cabeçote. A mesma se acende para representar a ativação do mesmo e se apaga no momento da desativação.

#### V. RESULTADOS

Durante os testes individuais de cada um dos componentes do projeto, cada item realizou sua tarefa sem problemas e as suas configurações foram feitas sem grandes dificuldades ao se utilizar dos tutoriais e outros materiais encontrados nos sites oficiais. A experiência foi a mesma tanto para os softwares quanto para a parte do hardware.

Cada componente do trabalho foi integrado sequencialmente, e validado seguindo a ordem descrita no desenvolvimento deste trabalho.

O funcionamento total se deu de acordo com o esperado e demonstrou bons resultados garantindo que um acesso remoto possa ser feito, dando a um técnico a possibilidade de realizar uma parametrização sem a necessidade de se deslocar até o local onde a máquina está instalada, o que garante para a empresa prestadora do serviço um custo menor com deslocamento e uma maior agilidade no atendimento ao cliente.

Em uma utilização em um equipamento sem IHM física, como é o caso do equipamento em que o projeto foi baseado, o acesso através de rede local, principalmente através de um dispositivo móvel, ajuda no momento da instalação descartando a necessidade da modificações na parte elétrica para instalação de uma IHM externa através de cabos. Além do auxílio para a parametrização da máquina, o operador pode verificar o funcionamento do equipamento, garantindo assim uma maior segurança do mesmo.

A bancada de simulação consegue demonstrar através dos leds os acionamento que aconteceriam em tempo real, conforme pode-se observar na Fig. 11.

A partir dos testes de simulação reparou-se que a comunicação ModbusRTU interfere no funcionamento prático do equipamento quando a taxa de atualização do Modbus se dá em tempos de valores inferiores a 50 ms, ocasionando constantes erros de leitura e do encoder e de acionamentos. Nota-se também que embora os tempos de atualização entre o Raspberry PI e o Arduino possam ser baixos, o funcionamento via Wifi acarreta em um atraso de cerca de 0,5 a 1 s na visualização através da IHM.

No momento da inicialização do equipamento como um todo, notou-se que, em uma minoria das vezes, a comunicação Modbus não era imediatamente validada pelo sistema SCADA e era necessário alguns segundos, ou alguns movimentos

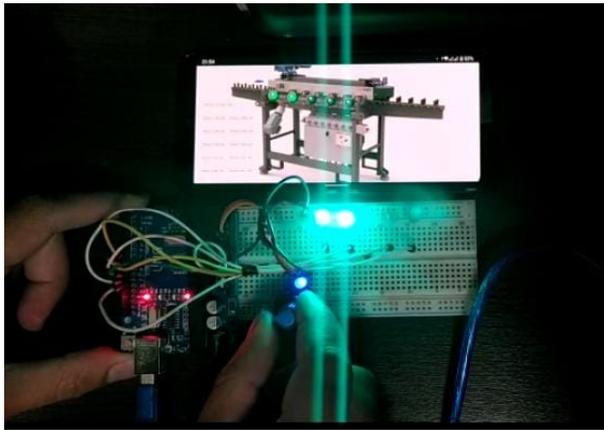


Figura 11. Teste prático de comparação (IHM e mini bancada)

realizados na mini bancada de simulação para que o sistema reconhecesse os valores lidos.

O sistema de banco de dados foi validado após sua instalação ser realizada pelo próprio ScadaBR no momento da instalação do mesmo. Porém não foram explorados os dados obtidos pelo equipamento.

## VI. CONCLUSÃO

A partir dos testes realizados pode-se concluir que o trabalho obteve êxito em seu objetivo. Embora a visualização do funcionamento do equipamento em tempo real aconteça com atraso, pode-se garantir o funcionamento do equipamento e observar a diferença acarretada pelas alterações de parâmetros. A parametrização do equipamento ocorre da maneira como era esperada e dá a possibilidade da utilização deste sistema para configuração da máquina de maneira remota.

Para trabalhos futuros o projeto dá margem para que sejam implementados gráficos gerados através dos dados salvos no banco de dados como histórico de tamanhos de pedras, um horímetro e uma metragem total do equipamento, dados estes que podem auxiliar na definição de manutenções preventivas, evitando tempo de máquina parada e maiores danos ao equipamento.

Uma bancada mais simplificada e com maiores recursos também é uma possibilidade que agrega usabilidade durante os testes em trabalhos futuros.

A utilização de sistemas RTOS, sistemas multi-tarefas que tem foco em cumprimento de prazos para realização de tarefas e um sistema de prioridades, pode ser um caminho de estudo para a correção dos atrasos da comunicação.

## REFERÊNCIAS

- [1] M. et al Rüßmann, "Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing," *Boston Consulting*, no. April, 2015.
- [2] M. Dastbaz, *Industry 4.0 (i4.0): The Hype, The Reality, and The Challenges Ahead In Industry 4.0 and Engineering for a Sustainable Future*, 2019.
- [3] H. Boyes, B. Hallaq, J. Cunningham, and T. Watson, "The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework," *Computers in Industry*, vol. 101, no. March, pp. 1–12, 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.04.015>

- [4] R. L. Arcanjo and M. L. Dan, "O Estudo da Cinemática e dos Aspectos Tribológicos do Processo de Polimento em Rochas Ornamentais, year = 2019," pp. 208–213.
- [5] R. M. LTDA. (2021) Under, politriz de borda vertical. [Online]. Available: <https://www.rexfort.com.br/equipamentos/politriz-de-borda/under>
- [6] Rodriguez.Aquilino, *Sistemas SCADA*, 2013.
- [7] E. F. Crist and J. J. Keijser, *Mastering OpenVPN*, 2015.
- [8] F. N. R. Machado, "Projeto e implementação de banco de dados," p. 396, 2014.
- [9] C. Date, *Introdução a sistemas de bancos de dados*. Elsevier Editora, 2004. [Online]. Available: <https://books.google.com.br/books?id=xBeO9LSIK7UC>
- [10] M. Schermann, H. Hensen, C. Buchmüller, T. Bitter, H. Krcmar, V. Markl, and T. Hoeren, "An interdisciplinary opportunity for information systems research," *Business and Information Systems Engineering*, vol. 6, no. 5, pp. 261–266, 2014.
- [11] R. M. L. Santana, "Substituição de CLP por Raspberry PI e Arduino em Máquina Empacotadora Automática," *Universidade Federal Do Ceará Campus De Sobral Curso De Engenharia Elétrica*, vol. 1, no. 2, p. 91, 2016.
- [12] Z. Aydogmus and O. Aydogmus, "A web-based remote access laboratory using SCADA," *IEEE Transactions on Education*, vol. 52, no. 1, pp. 126–132, 2009.
- [13] K. C. Kao, W. H. Chieng, and S. L. Jeng, "Design and development of an IoT-based web application for an intelligent remote SCADA system," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 323, no. 1, 2018.
- [14] Arduino. (2021) Arduino uno rev3. [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>
- [15] A. AG. (2021) Tech specs. [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>
- [16] F. C. Eletrônicos. (2021) Raspberry pi 3 model b+ anatel. [Online]. Available: <https://www.filipeflop.com/produto/raspberry-pi-3-model-b/?src=raspberrypi>
- [17] R. P. Foundation. (2021) Specification. [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>
- [18] M. Sistemas. (2017) Scadabr. [Online]. Available: <https://www.scadabr.com.br/>
- [19] OpenVPN. (2021) The openvpn community. [Online]. Available: <https://openvpn.net/>
- [20] R. P. Foundation. (2021) Operating system images. [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.com/software/operating-systems/>
- [21] W. Queiroz. (2021) Scadabr 1.2 - instalando no linux. [Online]. Available: <http://forum.scadabr.com.br/t/scadabr-1-2-instalando-no-linux/3825>
- [22] PIVPN. (2021) Pivpn, the simplest way to setup and manage a vpn, designed for raspberry pi. [Online]. Available: <https://www.pivpn.io/>
- [23] NO-IP. (2021) Dynamic ip address got you down? [Online]. Available: <https://www.noip.com/>
- [24] A. I. Scanner. (2021) Angry ip scanner fast and friendly network scanner. [Online]. Available: <https://angryip.org/download/>
- [25] Arduino. (2019) Arduino rs485. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Reference/ArduinoRS485>
- [26] —. (2019) Arduino modbus library. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/ArduinoModbus/ArduinoModbus>
- [27] M. Hertel. (2021) Rotaryencoder. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/ArduinoModbus/ArduinoModbus>