



Caminhão com Braço Robótico para Poda de Árvores em Redes Energizadas de até 46 kV com Controle Remoto

Tema: Tecnologias Emergentes

Autores: Amanda Cortez, José Brito

Co-Autores: Alexandre Albarello, Eduardo Casarin, Bruna Schatz, Fabio Nara, Otávio Shiono

Empresa: Elektro Redes S/A - NEOENERGIA Elektro

Resumo

Através do Programa de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação da Neoenergia, regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), foi realizado o desenvolvimento de um equipamento para realização de poda de árvores próximas as redes energizadas até 46 kV de forma remota. O presente trabalho tem por objetivo demonstrar o desenvolvimento realizado, bem como destacar a relevância do equipamento para a operação da distribuição. O Braço Robótico, composto por braço articulado com a ferramenta de poda, é manuseado a distância pelo operador que comanda a tecnologia com o uso de um controle remoto e um painel, onde ele poderá visualizar toda a manobra por meio de câmeras instaladas diretamente no equipamento em diferentes ângulos. A tecnologia garante que os galhos cortados sejam depositados com cuidado no chão. O conjunto conta ainda com sensores de proximidade que detectam a distância entre o equipamento e a rede energizada, indicando as zonas de controle de risco. A tecnologia, patenteada pela Neoenergia nos âmbitos nacional e internacional, proporciona mais segurança aos eletricitistas durante a execução dos serviços de poda de árvores em redes energizadas.

1. Introdução

Até meados de 2012, as rotinas de poda das concessionárias de energia eram manuais, não havendo alternativas de equipamentos disponíveis que pudessem realizar a atividade de forma mecanizada ou telecomandada. Por este motivo, antecedendo a este projeto, foi iniciado em 2012 e concluído em 2018, o projeto de P&D 0047-0062/2012 “Desenvolvimento de ferramental, equipamentos e metodologia para realização de poda com rede energizada em áreas urbanas com comando remoto” onde foi desenvolvido, testado e entregue um protótipo constituído por um braço montado em um caminhão, com a finalidade de realizar poda em árvores em redes energizadas de até 34,5 kV. O equipamento é operado à distância por controle remoto, e inclui um sistema de trituração e armazenamento dos resíduos da poda, como pode ser visto na Figura 1. O desenvolvimento resultou na concessão da patente nacional BR 10 2015 012722 7 e internacional US20160353669A1.



Figura 1 - Braço Robótico na fase Desenvolvimento Experimental

Em continuação ao desenvolvimento, avançamos na cadeia de inovação e o projeto descrito nesse trabalho, teve como objetivo o aprimoramento tecnológico do equipamento robotizado desenvolvido anteriormente, considerando as lições aprendidas e a realização de poda de árvores com possibilidade de projeção contra e/ou sobre a rede urbana de distribuição de energia de média tensão até 46 kV, conforme visualizado na Figura 2



Figura 2 - Braço Robótico na fase Cabeça de Série

Em ambos desenvolvimentos, a principal motivação foi a redução dos riscos envolvidos na metodologia tradicional de poda que utiliza caminhão de linha viva com o eletro-arborista operando manualmente as ferramentas de poda de dentro do cesto aéreo. Com o novo equipamento é possível a execução da poda próxima a redes energizadas sem expor o operador aos riscos associados à tarefa, por meio da execução da mesma de maneira robotizada e com operação remota. Em relação às ferramentas manuais tem a vantagem de não exigir esforços físicos elevados e repetitivos implicando em melhorias de ergonomia ao usuário. Em relação a segurança e confiabilidade da rede, permite agarrar os galhos inteiros com diâmetro de até 200 mm, serrá-los e deslocá-los até uma posição segura de descarte, simplificando assim os procedimentos tradicionais de poda em linhas vivas, evitando quedas de galhos sobre a rede e possíveis desligamentos de clientes. Ainda para agilidade do processo de corte, o operador pode optar entre cortar galhos finos, de até 50 mm de diâmetro de forma rápida com uma lâmina podão.

Destaca-se que o custeio para poda é considerado OPEX, logo as empresas não são remuneradas por tal atividade, o que mostra que todo avanço nesta atividade é de grande relevância podendo ter impactos positivos nas distribuidoras.

2. Desenvolvimento

A) Requisitos Gerais do Projeto

A partir do acompanhamento da tarefa de poda realizada pela Neoenergia e necessidades identificadas, foi analisado o processo de poda e elaborada a lista de requisitos gerais para o desenvolvimento do equipamento do projeto. A lista de requisitos é o resultado do processo de identificação das especificações de produto e é determinante para a solução. Destacam-se os requisitos de forma resumida:

- Realizar poda em árvores com altura até 18m;
- Suportar corte e manipulação de galhos com peso de até 50kg;
- O braço hidráulico deve possuir classe de isolamento de 46kV (Categoria C);
- O braço deve ser projetado com foco para o corte realizado por cima da rede energizada;
- Capacidade de corte de galhos com até 200mm de diâmetro;
- O atuador final, ferramenta de poda, deve possibilitar a realização de corte omnidirecional;
- Deve possuir um sistema de câmeras para permitir que o operador visualize barreiras durante a movimentação do braço, as quais não seriam vistas do solo;
- O sistema só deve permitir a operação caso as diretrizes básicas de segurança sejam atendidas, tais como: patolamento do caminhão, inclinação do caminhão e dispositivos de emergência.

B) Ferramenta de Poda

A ferramenta de poda desenvolvida é constituída por 3 módulos, sendo a garra o módulo principal, que vai acoplado no braço hidráulico. O módulo da serra hidráulica e do podão podem ser acoplados diretamente no módulo da garra, no caso de utilizar somente um dos módulos para corte. No caso de utilizar os 3 módulos juntos, o módulo da serra hidráulica é acoplado diretamente no módulo do podão. Na Figura 3 é possível visualizar o conjunto da ferramenta de poda.

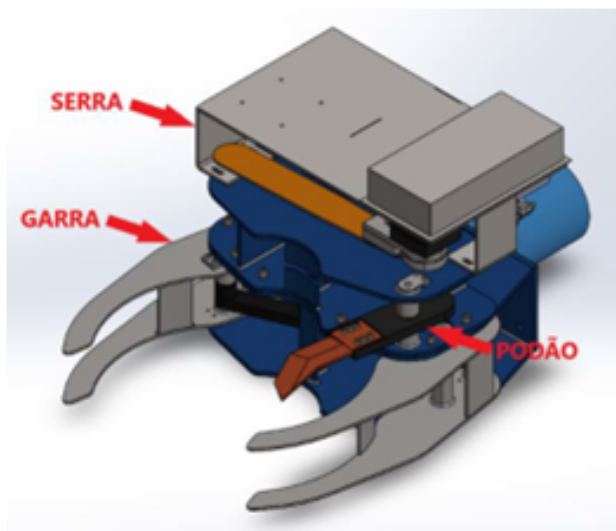


Figura 3 - Ferramenta de Poda

O módulo da garra, é composto por duas hastes articuladas e interligadas por um braço, mecanismo que garante o sincronismo de abertura e fechamento entre as duas hastes móveis da garra, e um cilindro hidráulico que realiza a movimentação das hastes. Este módulo também possui um atuador hidráulico rotativo que permite a ferramenta hidráulica girar 360°, garantindo o melhor alinhamento da ferramenta para o corte do galho. O módulo do podão, é composto por uma lâmina, um suporte de lâmina articulado e um

cilindro hidráulico, e tem capacidade para cortar galhos com até 50 mm de diâmetro. O módulo da serra hidráulica, possui um sabre de corrente acoplado a um motor hidráulico, um cilindro hidráulico de avanço, e um sistema de lubrificação da corrente do sabre. A serra hidráulica realiza cortes de galhos com até 200 mm de diâmetro.

C) Sistema de Controle

O sistema funciona em malha aberta, proporcionando total controle por parte do operador. O braço robotizado é gerenciado por equipamentos da plataforma National Instruments - NI, como o sistema é composto por dois painéis (superior e inferior) é necessária a utilização de um chassi de expansão do computador embarcado. Na Figura 4 são mostrados os modelos utilizados no sistema, em (a) compact RIO 9039 (cRIO) utilizada como controladora principal no painel inferior e em (b) o chassi de expansão NI9145 utilizada no painel superior, ambas oferecem suporte a Field Programmable Gate Array (FPGA) e Real Time. A comunicação entre as controladoras é via protocolo EtherCAT que possui baixa latência sendo apropriada para aplicações em tempo real fornecendo confiabilidade durante o recebimento de dados do controle.



(a)



(b)

Figura 4 - Controladoras National Instruments utilizadas no sistema de controle

Os equipamentos do painel superior, posicionados acima do trecho isolado, são alimentados por um alternador acoplado a um motor hidráulico. E a comunicação entre os dispositivos do painel superior e inferior é realizada via fibra óptica, mantendo assim a classe de isolamento.

Para operação de forma remota, se utilizou um controle remoto da fabricante Danfoss, modelo de quatro alavancas (joysticks) para comandos de até três graus de liberdade para cada um deles, o modelo utilizado é apresentado na Figura 5. A interface de comunicação entre o controle remoto Danfoss e a controladora cRIO é um cartão NI9881 para comunicação CAN via protocolo CANopen.



Figura 5 – Controle remoto Danfoss utilizado no sistema de controle

Conforme requisito de segurança, durante a movimentação do braço e da garra, é necessário manter pressionado um botão de segurança exclusivo para função homem presente. Já para operação das ferramentas de poda e serra, existe outro botão de segurança exclusivo e uma chave seletora entre as ferramentas serra e poda.

Utilizou-se o LabVIEW como linguagem de programação principal do sistema, o qual oferece suporte para programação em estrutura de máquinas de estados via o módulo StateChart, onde foi possível desenvolver a lógica de controle do braço e ferramenta de acordo com os sinais recebidos do controle remoto.

O sistema hidráulico possui apenas uma válvula proporcional, conectada em série a todas as válvulas on/off para cada grau de liberdade do braço e ferramenta, portanto foram necessárias algumas estratégias de acionamento para um funcionamento suave e seguro do robô, como operar primeiramente a válvula do tipo on/off específica do movimento, para então iniciar a abertura da válvula proporcional em forma de rampa até o valor objetivo, evitando assim movimentos bruscos e oscilações, e reduzindo os esforços hidráulicos.

A Figura 6 apresenta a máquina de estados desenvolvida para realização dos comandos de movimentação do braço e das ferramentas de poda e serra, nela é possível observar as diferentes regiões (1, 2 e 3) para os estados de operação do braço, da ferramenta de poda e por fim da ferramenta de corte respectivamente.

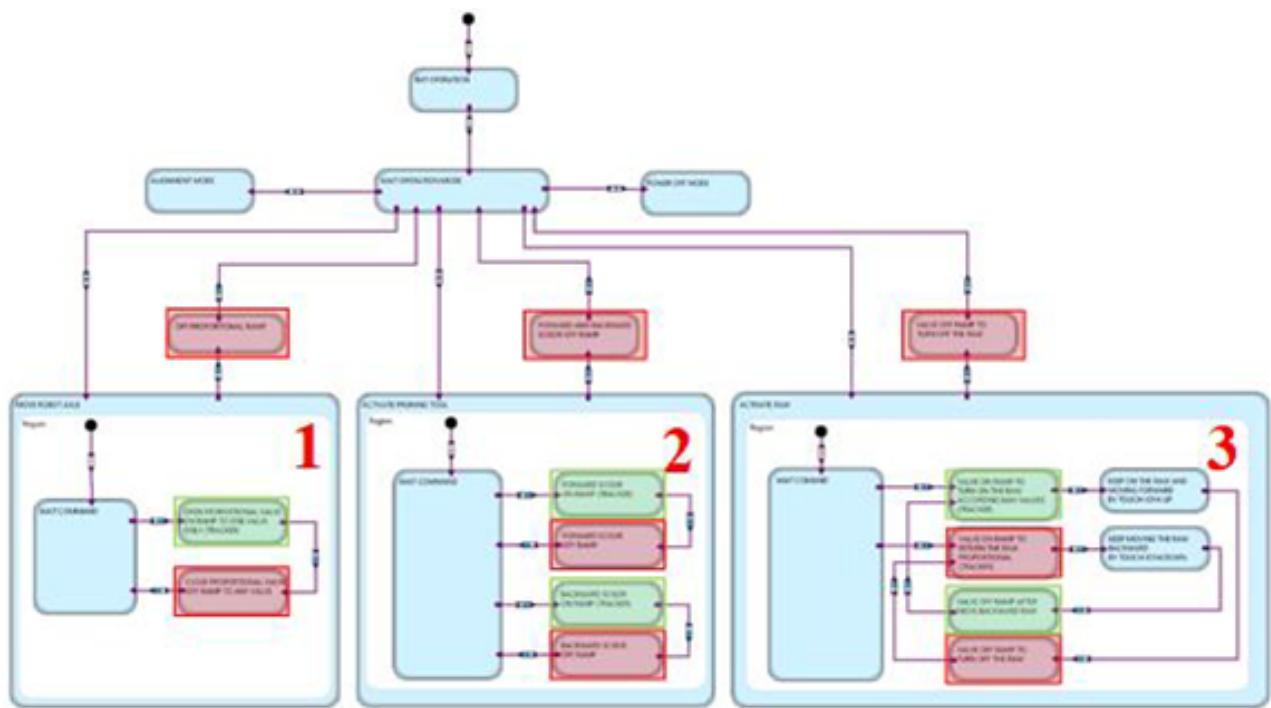


Figura 6 – Máquina de estados para comandos do braço e das ferramentas de poda e serra

D) Interface homem máquina

A Interface Homem Máquina (IHM) é feita por meio de um Tablet Industrial GETAC F110 no qual foi instalado o software desenvolvido para o projeto. Nele existem alguns parâmetros de configuração assim como indicadores de segurança, como seleção da tensão da linha viva entre 13,8kV e 34,5kV, que interfere diretamente na calibração das distâncias de segurança do sensor de proximidade. A Figura 7 apresenta o controle de configuração do nível da tensão de linha.

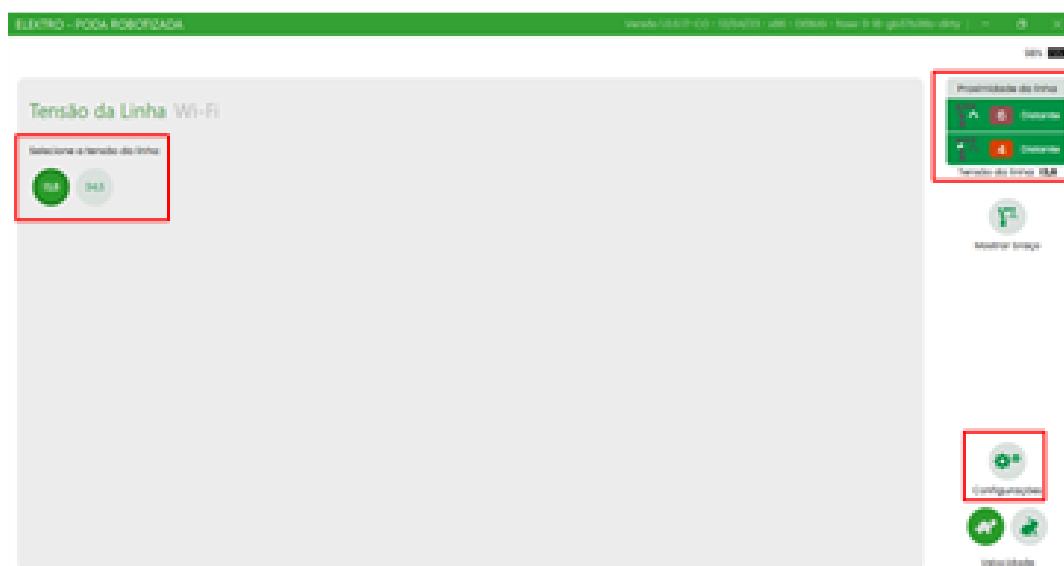


Figura 7 – Configuração do nível de tensão e exibição da proximidade

Foi elaborado também um painel de exibição das imagens obtidas em tempo real das quatro câmeras instaladas em pontos estratégicos do braço, servindo de auxílio durante a realização da atividade. Este painel permite selecionar individualmente qualquer uma das câmeras, para então realizar a aplicação de zoom caso seja necessário. A Figura 8 apresenta o painel de exibição das quatro câmeras simultaneamente

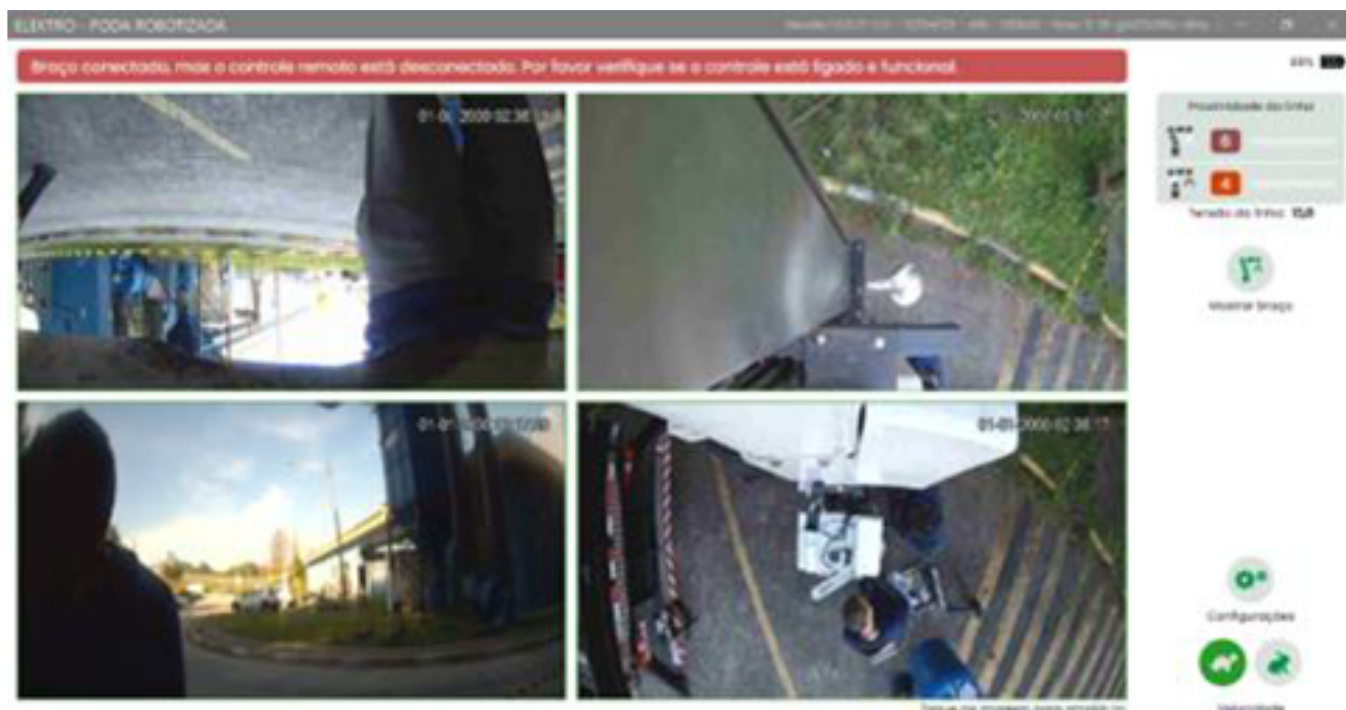


Figura 8 – Painel para visualização das câmeras auxiliares

E) Sensor de proximidade a linha viva

Os sensores utilizados neste projeto caracterizam-se por sua geometria esférica com medição de campo elétrico em três eixos (x, y e z) e, são responsáveis por indicar a proximidade da linha através de sinalização tricolor encontrada na interface com o operador. Neste caso, as cores vermelho, amarelo e verde correspondem a uma zona classificada entre risco (ZR), controlada (ZC) e livre (ZL), respectivamente. Neste contexto, denomina-se os sensores como Esferas de Proximidade, Figura 9, e é importante ressaltar que estas são um desenvolvimento específico do presente projeto e resultou no pedido de patente BR 10 2022 025796 5.

O posicionamento das esferas foi estabelecido de forma a possibilitar o alerta de aproximação tanto para a ferramenta de poda quanto para o braço em si, como visto na Figura 9. A sinalização de proximidade depende da medida do sinal induzido em cada eixo da esfera, o qual é adquirido e condicionado por meio de um circuito analógico posicionado no interior dos sensores. Para O processamento do sinal obtido, tem-se que uma caixa de comunicação foi desenvolvida com um microcontrolador ARM para conversão Analógico-Digital (A/D), além da adequação dos valores medidos aos limiares das zonas, da calibração do sensor e comunicação com um conversor serial para TCP, o qual é acessado pela controladora principal (cRIO).

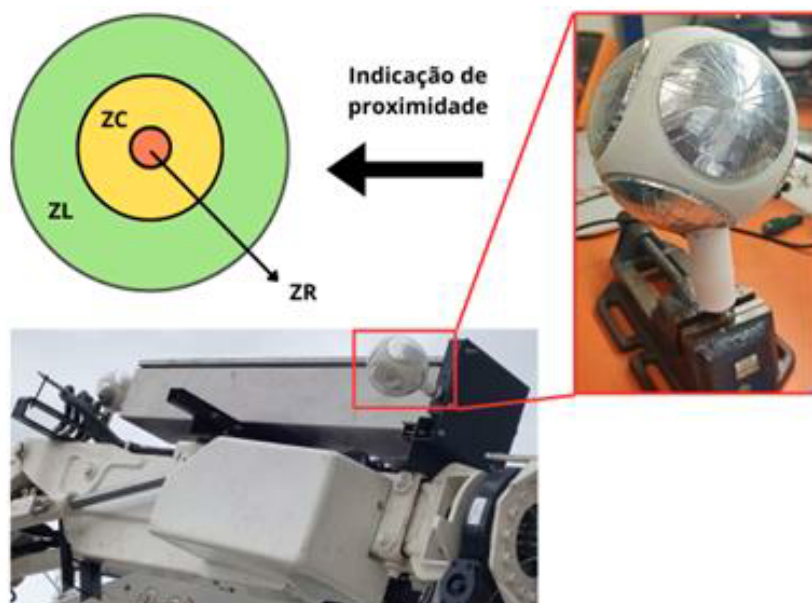


Figura 9 -Sensor de proximidade

F) Testes e operação assistida

Para validação dos sistemas desenvolvidos no projeto e funcionalidades do equipamento, foram realizados ensaios para avaliação da integridade estrutural do braço hidráulico (teste de emissão acústica), e ensaios de isolamento por tensão aplicada e corrente de fuga. Após validação dos ensaios, foi realizado o teste do equipamento em ambiente controlado realizando a atividade de poda, na ocasião os responsáveis técnicos da Neoenergia fizeram a validação das funcionalidades e liberação para que o equipamento entrasse na fase de operação assistida integrando o equipamento desenvolvido na operação da Neoenergia.

Antes de iniciar a operação assistida, os eletricitistas que iriam operar o equipamento desenvolvido passaram por treinamento para realizarem a atividade, dessa forma tomaram conhecimento de todas as funcionalidades para realizar a operação. A operação assistida foi realizada na área de concessão da Neoenergia nas cidades de Limeira (interior de São Paulo) e Bertioga (litoral norte de São Paulo), com características distintas entre si, em que a área de operação da Neoenergia teve todo o suporte e acompanhamento junto ao instituto de pesquisa Lactec para eventuais esclarecimentos e análise do funcionamento do equipamento desenvolvido.

No final do ano de 2023 o equipamento desenvolvido foi levado para Salvador (região metropolitana da Bahia) para compor a mega operação de poda da Neoenergia, em preparação para o verão. Dessa forma, tivemos mais um ambiente relevante para analisar os resultados da performance do equipamento desenvolvido, reforçando a robustez bem como a relevância do equipamento para a operação da distribuição. Nas figuras 10 e 11 é possível verificar o equipamento desenvolvido realizando a atividade de poda.



Figura 10 - Operação Caminhão com Braço Robótico



Figura 11 - Operação visualização do operador

3. Conclusão

A utilização do equipamento desenvolvido, em diversos ambientes relevantes, comprovaram a eficácia na operação, entregando os requisitos estabelecidos inicialmente no projeto e proporcionando um corte e remoção seguros de galhos com projeção sobre linhas de distribuição de até 46kV. A operação remota se mostrou um método seguro e ergonômico ao operador, permitindo com certo grau de treinamento, uma operação ágil e assertiva. Atualmente o equipamento desenvolvido foi integrado a operação da Neoenergia agregando valor ao serviço prestado para promover satisfação aos nossos clientes. Ressalta-se a importância do Programa de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação da Neoenergia, regulado pela ANEEL, que possibilitou e possibilita a obtenção de novas tecnologias que agregam valor ao setor e contribuem para o avanço tecnológico do país.

4. Referências bibliográficas

- [1] NATIONAL INSTRUMENTS. cRIO-9039. Disponível em: <<https://www.ni.com/pt-br/support/model.crio-9039.html>>. Acesso em: 04 dez. 2024.
- [2] NATIONAL INSTRUMENTS. NI-9145. Disponível em: <<https://www.ni.com/pt-br/support/model.ni-9145.html>>. Acesso em: 04 dez. 2024.
- [3] SIEBERT, L. C. et al. Relatório técnico 06 - Projeto detalhado. LACTEC, n. DVSE/5267-2016, p. 11–82, 2018.

- [4] B&R. CANopen. Disponível em:
<<https://www.br-automation.com/pt-br/produtos/modulos-de-rede-e-comunicacao/canopen/>>. Acesso em:
04 dez. 2024.
- [5] TECNOMIRA. Controles Remotos Consoles. Disponível em:
<<https://tecnomira.com.br/transmissor-ik2-ik3-ik4/>>. Acesso em: 04 dez. 2024.
- [6] WIREFLOW. WireQueue MQTT Toolkit. Disponível em:
<<https://www.wireflow.com/products/software/wf-wirequeue-mqtt-toolkit/>>. Acesso em: 04 dez. 2024.