



**EDUARDO HARIEL TEIXEIRA DE OLIVEIRA  
HENRIQUE DE OLIVEIRA MUNIZ LEAO**

**OTIMIZAÇÃO DE UMA PLANTA DE PIRÓLISE POR MEIO  
DO MONITORAMENTO DE DADOS COM NODE-RED:  
ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA**

**LAVRAS-MG  
2023**

**EDUARDO HARIEL TEIXEIRA DE OLIVEIRA  
HENRIQUE DE OLIVEIRA MUNIZ LEAO**

**OTIMIZAÇÃO DE UMA PLANTA DE PIRÓLISE POR MEIO DO  
MONITORAMENTO DE DADOS COM NODE-RED:  
ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA**

Concepção Básica apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia de Controle e Automação, para obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Dimitri Campos Viana  
Orientador

Prof. Dr. André Luis Ribeiro Lima  
Coorientador

**LAVRAS-MG  
2023**

**EDUARDO HARIEL TEIXEIRA DE OLIVEIRA  
HENRIQUE DE OLIVEIRA MUNIZ LEAO**

**OTIMIZAÇÃO DE UMA PLANTA DE PIRÓLISE POR MEIO DO  
MONITORAMENTO DE DADOS COM NODE-RED:  
ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA**

**OPTIMIZATION OF A PYROLYSIS PLANT THROUGH DATA MONITORING  
WITH NODE-RED:  
ECONOMIC FEASIBILITY ANALYSIS**

Concepção Básica apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia de Controle e Automação, para obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 12 de Dezembro de 2023.  
Dr. Dimitri Campos Viana UFLA  
Dr. André Luis Ribeiro Lima UFLA  
Dra. Luana Elis de Ramos e Paula

Prof. Dr. Dimitri Campos Viana  
Orientador

Prof. Dr. André Luis Ribeiro Lima  
Coorientador

**LAVRAS-MG  
2023**

## RESUMO

O presente trabalho teve o objetivo realizar uma análise de viabilidade econômica sobre a implantação de um sistema de monitoramento das principais grandezas físicas envolvidas em uma planta de pirólise de pneus inservíveis localizada em Formiga-MG. Foi observado que há uma necessidade de otimizar o controle, a segurança e a eficiência da planta, uma vez que, atualmente, grande parte do processo é operado de forma manual. Portanto, foi proposto a implantação de um sistema de monitoramento dos medidores de temperatura e pressão, utilizando-se um Controlador Lógico Programável (CLP) integrado à ferramenta Node-RED. Por meio deste sistema, espera-se um processo mais eficiente, preciso e seguro. Como forma de avaliar a alternativa proposta, foi realizado um estudo financeiro considerando o custo de materiais e serviços necessários para implantar o sistema, com a utilização de três indicadores econômicos, sendo eles: VPL, TIR e *Payback*. Assim, com os resultados obtidos, foi observado que a implantação é viável.

**Palavra-chave:** Análise econômica. Pirólise. Node-RED. Automação

## **ABSTRACT**

The present work aimed to carry out an economic feasibility analysis on the implementation of a monitoring system for the main physical quantities involved in a waste tire pyrolysis plant located in Formiga-MG. It was observed that there is a need to update the control, safety and efficiency of the plant, since, currently, a large part of the process is operated manually. Therefore, it was proposed to implement a monitoring system for temperature and pressure gauges, using a Programmable Logic Controller (PLC) integrated with the Node-RED tool. Through this system, a more efficient, precise, and safe process is expected. As a way of evaluating the alternative proposal, a financial study was carried out considering the cost of materials and services necessary to implement the system, using three economic indicators, namely: NPV, IRR and Payback. Thus, with the results obtained, it was possible to highlight that the implementation is viable.

**Keywords:** Economic analysis. Pyrolysis. Node-RED. Automation

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Diagrama esquemático de uma planta de pirólise e produtos gerados.....	12
Figura 2 – Mapeamento de tarefas do processo de pirólise.....	14
Figura 3 – Termorresistência do tipo PT-100.....	16
Figura 4 – Transmissor de pressão diferencial (modelo 2088). ....	16
Figura 5 – CLP RION 5 HIO115. ....	17
Figura 6 – Diagrama esquemático para interligação elétrica entre o CLP proposto e os medidores de temperatura e pressão já existentes na planta. ....	18
Figura 7 – Exemplo de um conversor capaz de receber sinais elétricos de uma termoresistência do tipo PT100 e condicioná-los para o padrão 4..20mA.....	18
Figura 8 – Fluxo de dados por meio de nós, desenvolvido no Node-RED. ....	19
Figura 9 – Arquitetura proposta para o sistema de monitoramento de grandezas físicas da planta: o CLP recebe os sinais elétricos dos medidores e os disponibiliza via rede para a plataforma Node-RED. ....	20
Figura 10 – Protótipo da interface de monitoramento ( <i>Dashboard</i> ). ....	20

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Resumo dos custos relacionados ao projeto. ....	22
Tabela 2 – Fluxo de caixa ao longo de 12 meses. ....	27
Tabela 3 – Resultados obtidos por meio dos métodos empregados. ....	27

## LISTA DE SIGLAS

CLP	Controlador Lógico Programável
GB	Gigabytes
HD	Hard Drive
IES	International Electrotechnical Commission
MG	Minas Gerais
PA	Pará
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e de Custódia
ST	Structure Text
TB	Terabyte
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
UPS	Uninterruptible Power Supply
VCC	Voltagem em Corrente Contínua
VPL	Valor Presente Líquido



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Identificação do Problema .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>Análise das Alternativas.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Sensoriamento .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Controlador .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Node-RED como Interface de Operação .....</b>	<b>19</b>
<b>2.3</b>	<b>Levantamento de Custos .....</b>	<b>21</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Materiais .....</b>	<b>21</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Serviços .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Resumo dos Custos .....</b>	<b>22</b>
<b>2.4</b>	<b>Levantamento dos Benefícios.....</b>	<b>23</b>
<b>2.4.1</b>	<b>Segurança .....</b>	<b>23</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Otimização e Produtividade.....</b>	<b>23</b>
<b>2.4.3</b>	<b>Financeiro .....</b>	<b>24</b>
<b>2.5</b>	<b>Análise Econômica.....</b>	<b>24</b>
<b>2.5.1</b>	<b>VPL .....</b>	<b>25</b>
<b>2.5.2</b>	<b>TIR .....</b>	<b>25</b>
<b>2.5.3</b>	<b>Payback.....</b>	<b>26</b>
<b>2.6</b>	<b>Resultados.....</b>	<b>26</b>
<b>3</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>28</b>
<b>3.1</b>	<b>Conclusão.....</b>	<b>28</b>
<b>3.2</b>	<b>Recomendações para Trabalhos Futuros .....</b>	<b>29</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>30</b>
	<b>ANEXO A .....</b>	<b>31</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A Alterosa Pneus, parte integrante do grupo Empresarial Salomão Chicre, é especializada na reforma, conserto e TAP-RAP<sup>1</sup> de pneus intermediários e gigantes. Sua história remonta a 1962, quando foi fundada pelo empresário Salomão Chicre, sendo reconhecida em todo o Brasil por sua qualidade, processos de produção e gestão eficientes. A empresa tem unidades nas regiões sudeste e norte do país, incluindo instalações em Formiga-MG, Contagem-MG e Curionópolis-PA.

A unidade de Formiga-MG é especialmente eficiente na prestação de serviços de reforma, conserto e TAP-RAP de pneus. No entanto, esses serviços geram uma quantidade significativa de resíduos, que devem ser reaproveitados ou descartados de maneira responsável. Pensando nisso, a empresa Eco Tyre, que também faz parte do mencionado grupo empresarial, foi criada em 2021 para atuar neste segmento, empregando processos eficientes e de alta qualidade, com um foco claro na preservação do meio ambiente.

A Eco Tyre lida com os pneus inservíveis por meio do processo de pirólise, que é uma técnica de decomposição termoquímica de substâncias em uma atmosfera inerte e sem oxigênio, que produz vários hidrocarbonetos e materiais de carbono. Esse processo geralmente ocorre em temperaturas entre 100°C e 600°C e envolve diversas reações termoquímicas que alteram o estado físico dos resíduos de pneus de acordo com a transferência contínua de calor e consequente aumento de temperatura, sendo que a decomposição deste material produz substâncias em três estados: sólido, líquido e gasoso.

Com o intuito de reaproveitar e transformar os descartes da Alterosa Pneus, a Eco Tyre conta com uma planta capaz de realizar o mencionado processo de pirólise, tornando possível o processamento destes resíduos para fins lucrativos, realizando a comercialização tanto de óleo pirolítico, quanto de *carbon black*. Atualmente, a planta conta com três operadores trabalhando em conjunto, responsáveis por fazer o monitoramento e controle de suas funções. O processo é do tipo batelada e se baseia nas seguintes etapas: inserção da carga no reator de pirólise, aquecimento (de acordo com os parâmetros pré-definidos) e escoamento dos produtos desejados. Por ser atualmente operado de forma manual, o processo está sujeito a problemas como: possíveis erros e demora para leitura dos instrumentos de medição, exposição dos operadores ao risco inerente de equipamentos que trabalham com altas temperaturas e desperdício de insumos.

---

<sup>1</sup> Tecnologia italiana que permite a substituição de cabos de aço danificados por novos cabos em qualquer parte do pneu

Portanto, visando a melhoria e otimização do processo em relação aos pontos citados, o presente trabalho propõe uma análise para se determinar a viabilidade econômica da implantação de um sistema de monitoramento de grandezas físicas mais eficiente, que poderá proporcionar melhor controle e mais segurança para o processo. Assim, foram levantados os custos e os benefícios envolvidos na questão, além da utilização de indicadores econômicos capazes de determinar se o investimento deve ser feito ou não.

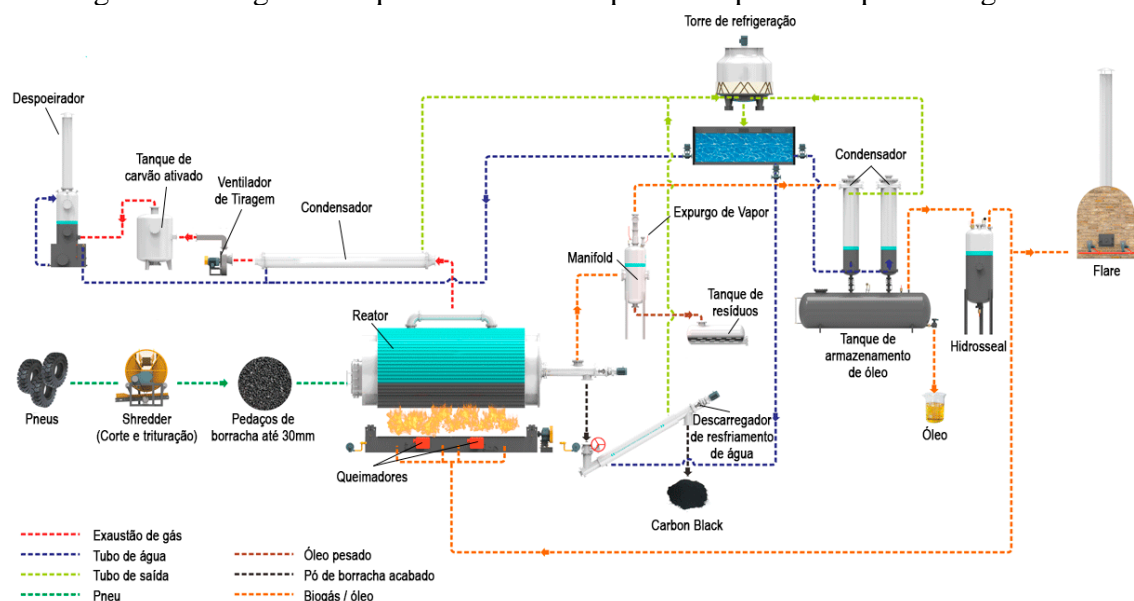
## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Identificação do Problema

Conforme mencionado anteriormente, a planta opera com o objetivo de transformar os resíduos provenientes da reforma e reparo de pneus em produtos com valor agregado, principalmente óleo combustível e carvão. Os insumos são os pneus inservíveis que chegam à planta, provenientes da empresa Alterosa Pneus. Inicialmente, é realizada uma inspeção visual para determinar a adequação de cada lote (tipo de material, cheiro, acondicionamento). Caso o material seja aceito, a descarga é realizada e, se necessário, o resíduo pode ser direcionado para corte e trituração, para a obtenção de peças com tamanho de até 30mm. A umidade do material também é verificada e, se for superior a 20%, pode ser necessário secá-lo ou misturá-lo com material de umidade inferior, para atingir uma umidade aceitável.

Conforme pode-se observar na Figura 1, o processo começa com a preparação da matéria-prima e seu carregamento em um reator. Isso envolve acionar o reator, carregar o material de forma contínua na moega e controlar a quantidade carregada. Durante a operação de processamento, outros equipamentos são ativados, incluindo o despoeirador e os queimadores a óleo. Temperatura, pressão, taxa de aquecimento e tempo de residência são monitoradas enquanto o material é aquecido.

Figura 1 – Diagrama esquemático de uma planta de pirólise e produtos gerados.



Fonte: Adaptado de Beston (2023).

O processo é realizado por meio de bateladas intermitentes, com atenção especial a três sensores: temperatura e pressão no manifold (sistema de coleta de gases produzidos durante o processo de pirólise) e temperatura do reator de pirólise. A primeira batelada ocorre a partir da temperatura ambiente, e os parâmetros do reator são ajustados conforme necessário. Ao término da primeira batelada, a temperatura do reator é elevada a 180°C. Em seguida, todas as dez válvulas da usina de pirólise são fechadas, incluindo a do flare (instalação projetada para queimar de forma segura os gases indesejados ou não utilizados), queimadores, hidrosseal (vasos filtrantes) e expurgo de vapor.

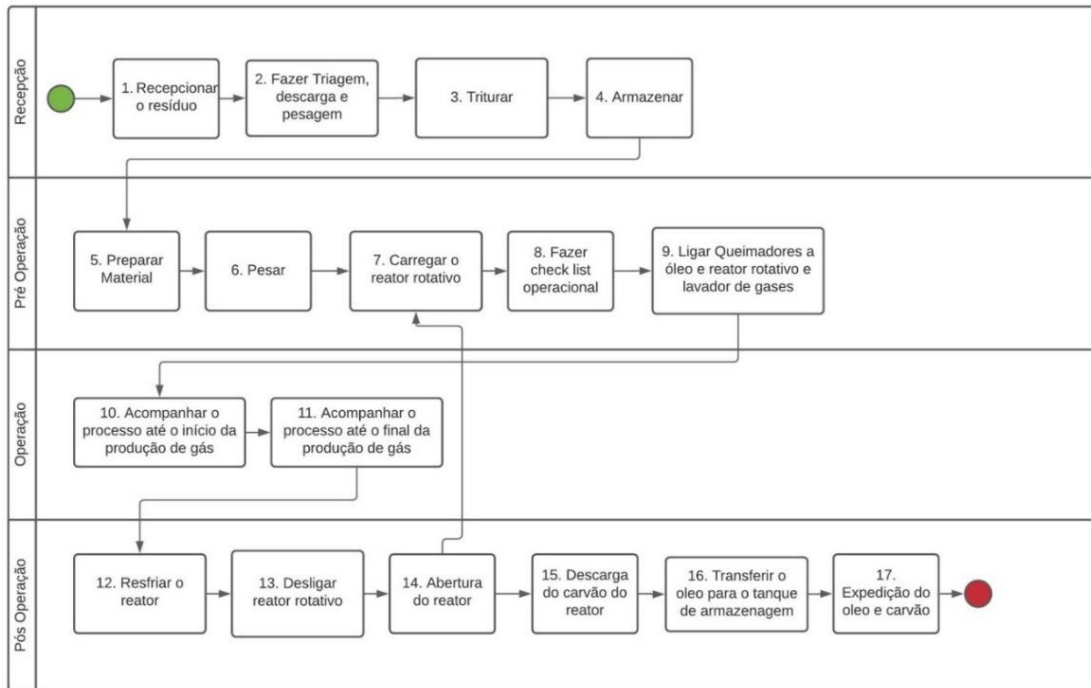
Após o fechamento das válvulas, inicia-se a descarga do carvão, controlando o resfriamento com água. Ao final da descarga, reduz-se a temperatura do reator para cerca de 140°C, momento em que começa o carregamento da nova batelada. O processo é repetido, e após o carregamento, as válvulas dos condensadores, hidrosseal, lavador de gases, válvula de expurgo e exaustão da chaminé são abertas e os queimadores a óleo são acionados. Com isso, a temperatura aumenta novamente e, entre 150°C e 180°C, ocorre a aceleração da produção de gás e a condensação de óleo combustível. Os queimadores de gás são ativados gradualmente.

Quando a temperatura atinge a faixa entre 280°C a 300°C, os queimadores a óleo são desligados gradualmente, controlando-se a produção de gás e a pressão nos manômetros. A pressão do gás é mantida próxima ao valor ideal direcionando-se parte dele para o flare, quando necessário. Caso a pressão aumente demasiadamente, a válvula de expurgo é parcialmente aberta e, caso ocorra falta de fluxo de gás, este fato pode ser rapidamente verificado nos hidrosseals ou nas válvulas.

A temperatura do reator é monitorada e deve manter uma diferença controlada em relação ao manifold. Ao entrar em combustão, o gás apresenta coloração azulada, enquanto observa-se uma redução do fluxo de óleo produzido. A temperatura no manifold deve atingir 220°C, indicando o fim da batelada e a finalização do processo. Após cada batelada, é realizada a limpeza necessária, e os produtos, como óleo combustível e carvão, são armazenados para venda. Como se pode perceber, toda a operação requer monitoramento constante dos valores de temperatura e pressão em várias etapas, para garantir a segurança e eficiência do processo de pirólise.

Conforme pode ser observado, a Figura 2 resume o procedimento operacional supracitado por meio de um mapeamento de tarefas, classificando-as em quatro etapas: recepção, pré-operação, operação e pós operação.

Figura 2 – Mapeamento de tarefas do processo de pirólise.



Fonte: Dos autores (2023).

Tendo em vista a atual situação da planta, fica claro que há uma necessidade de verificação visual contínua dos sensores, pois uma vez que o processo ultrapassa a faixa ideal de operação, podem ocorrer desperdícios de insumos e queda na qualidade dos produtos. Deste modo, o principal problema a ser solucionado trata-se da falta de automação das tarefas operacionais a serem realizadas, acarretando na redução da eficiência geral da planta.

Além disso, a abordagem manual resulta em uma falta de controle eficaz sobre o processo de pirólise. Os operadores podem não ser capazes de responder rapidamente a desvios ou problemas no processo, o que pode culminar na perda de produtos valiosos. Ademais, a despadrãoização dos intervalos de tempo entre as verificações dos valores fornecidos pelos medidores de temperatura e pressão pode ocasionar desperdícios. Tais situações podem gerar uma série de problemas secundários, como:

**Riscos de segurança:** A operação atual da planta envolve riscos significativos de segurança, considerando que os operadores precisam estar fisicamente próximos aos equipamentos para realizar constantemente a leitura dos sensores. Dessa forma, são expostos aos perigos inerentes de situações que envolvem altas temperaturas, ruídos e vibrações elevadas e queda de equipamentos. Além disso, vale ressaltar que, caso a faixa de segurança de pressão seja ultrapassada, há risco de explosão.

**Ausência de dados de produtividade:** A ausência de um sistema de monitoramento em tempo real significa que não há dados precisos de produtividade disponíveis. Isso torna difícil avaliar o desempenho da planta, identificar áreas de melhoria e otimizar a produção.

**Mão de obra repetitiva:** A natureza manual das operações atuais exige mão de obra repetitiva e constante. Os operadores gastam tempo significativo na coleta de dados e monitoramento, que poderia ser usado de forma mais eficaz em outras tarefas críticas. Isso torna esses postos de trabalho menos atraentes, dificultando o recrutamento de colaboradores e reduzindo o entusiasmo dos mesmos com suas tarefas diárias.

## 2.2 Análise das Alternativas

Diante dos problemas identificados no funcionamento atual da planta de pirólise, foi fundamental explorar alternativas viáveis para melhorar a eficiência, segurança e controle do processo. Nesse sentido, foi proposto uma alternativa baseada no sistema de automação industrial cujos componentes foram apontados nas subseções a seguir.

### 2.2.1 Sensoriamento

O sensoriamento é a base do sistema, garantindo que informações críticas, como temperaturas e pressões em diferentes pontos da planta, sejam capturadas com precisão. Uma implantação eficiente do sensoriamento assegura que os dados do processo de pirólise sejam confiáveis e representativos. Tendo em vista que a planta já possui sensores de temperatura e pressão instalados, suas principais características foram levantadas e registradas, conforme pode-se observar a seguir:

- **Sensor de Temperatura:** são utilizadas duas termorresistências do tipo PT100 a 3 fios (Figura 3), também conhecidas como termômetros de resistência. Por apresentar excelentes características como precisão, estabilidade e repetibilidade, o modelo é um dos mais utilizados na indústria. Possui uma resistência elétrica de 100 ohms a 0°C, uma variação de 0,39 ohms/°C e faixa de operação de 0 a 600°C.

Figura 3 – Termorresistência do tipo PT-100.



Fonte: Alutal (2023).

- Sensor de Pressão: é utilizado um transmissor de pressão diferencial com sinal de saída analógico, nos padrões 4..20mA ou 0..10V, modelo 2088, fabricado pela empresa chinesa Bingo (Figura 4), o qual possui elevada precisão ( $\pm 0,25\%$ ), boa estabilidade ( $\pm 0,10\%$ ) e alta sensibilidade. Possui uma faixa de -0,1 a 0,16 MPa e alimentação de 24Vdc.

Figura 4 – Transmissor de pressão diferencial (modelo 2088).



Fonte: Bingo (2023).

### 2.2.2 Controlador

Um Controlador Lógico Programável (CLP) é definido pelo International Electrotechnical Commission (IEC) como um sistema eletrônico operando digitalmente, projetado para uso em ambiente industrial, que utiliza uma memória programável para o armazenamento interno de instruções orientadas para o usuário, capaz de implementar funções



específicas, como lógica sequencial, temporização, contagem e aritmética, para controlar, a partir de entradas e saídas digitais ou analógicas, vários tipos de máquinas ou processos (FRANCHI; CAMARGO, 2021).

A utilização de um CLP é uma alternativa para o monitoramento dos sensores já existentes na planta de pirólise, pois permitirá a coleta de dados automatizada, facilitando o processo de obtenção das leituras de temperatura e pressão, sem a necessidade de intervenção manual. O CLP pode converter os sinais elétricos fornecidos pelos medidores em valores numéricos e disponibilizá-los em sua memória, para que sejam acessados por ferramentas externas, via rede de dados.

Para o projeto em questão, o modelo proposto foi o RION 5, com módulo de I/O integrado HIO115 (Figura 5), fabricado pela HI Tecnologia (empresa brasileira que vem se destacando devido aos seus produtos versáteis e confiáveis).

Figura 5 – CLP RION 5 HIO115.



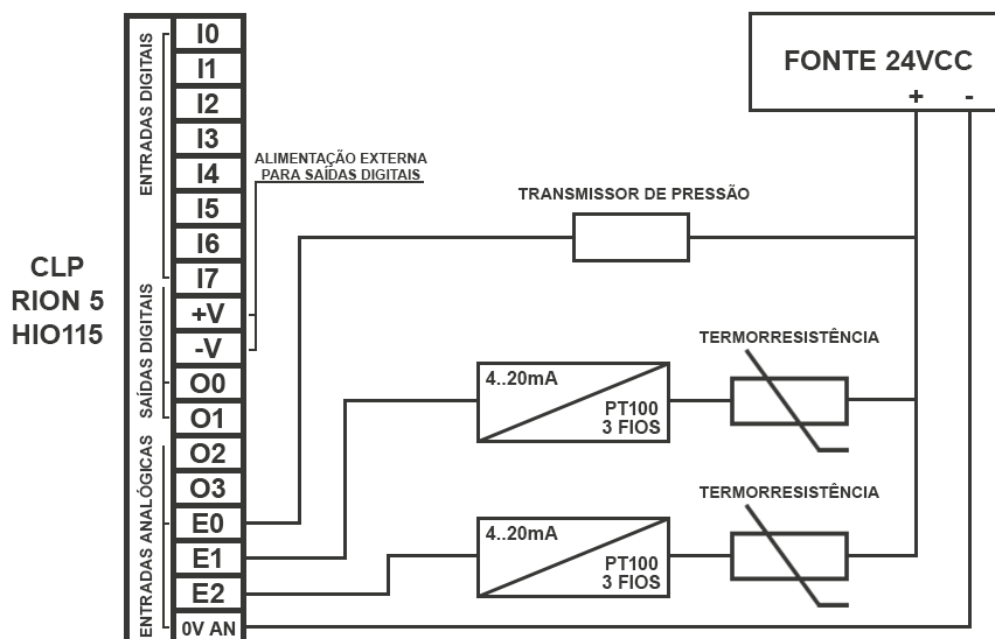
Fonte: HI Tecnologia (2023).

Este modelo pode ser utilizado em uma ampla variedade de aplicações, suportando instruções para a implantação de lógicas binárias e decimais, como temporização, contagem e operações algébricas e trigonométricas. Além disso, pode ser programado por meio de duas linguagens previstas na norma IEC61131-3, sendo estas Diagrama Ladder e Texto Estruturado. Ademais, possui várias opções para comunicação com outros dispositivos, como portas Ethernet, RS232 e RS485. Além disso, foi verificado que a quantidade e as características elétricas das entradas analógicas deste modelo são compatíveis com todos os medidores indicados na subseção anterior, conforme diagrama esquemático que pode ser observado na Figura 6. Caso haja a necessidade de se acrescentar outros medidores na planta, é possível expandir a quantidade de entradas analógicas do sistema por meio da aquisição de mais CLPs do mesmo modelo, uma vez que o fabricante prevê a interligação via rede entre duas ou mais

CPUs, sendo que à original cabem os papéis de processar o programa e de mestre da comunicação, enquanto as novatas se tornam escravas da primeira.

De forma mais específica, para conectar os medidores de temperatura às entradas analógicas do CLP, será necessário o uso de conversores capazes de receber o sinal elétrico fornecido por uma termorresistência do tipo PT100 e condicioná-lo para o padrão 4..20mA. Na Figura 7 pode-se observar um exemplo de tal dispositivo, que geralmente trabalha acoplado ao cabeçote de seu respectivo PT100 e é facilmente encontrado no mercado. Já para a conexão entre o CLP e o transmissor de pressão, nenhuma alteração é necessária, uma vez que o medidor já possui saída analógica de 4 a 20mA.

Figura 6 – Diagrama esquemático para interligação elétrica entre o CLP proposto os medidores de temperatura e pressão já existentes na planta.



Fonte: Dos autores (2023).

Figura 7 – Exemplo de um conversor capaz de receber sinais elétricos de um termorresistência do tipo PT100 e condicioná-los para o padrão 4..20mA.



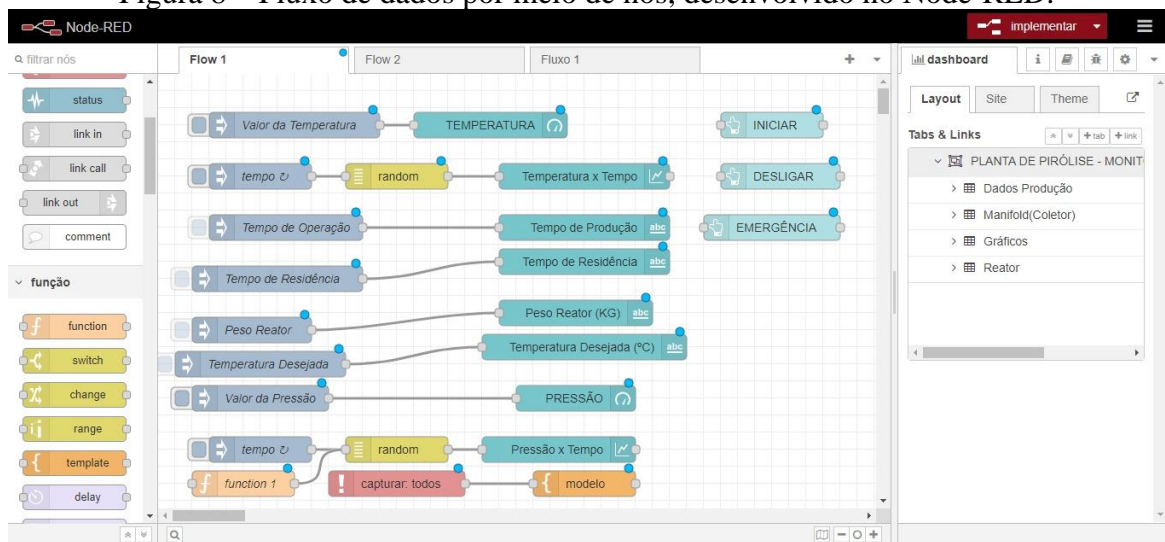
Fonte: MSS Eletrônica (2023).

### 2.2.3 Node-RED como Interface de Operação

A interface de operação será desenvolvida por meio do Node-RED, uma plataforma de código aberto voltada para o desenvolvimento de aplicações de IoT (Internet das Coisas) e automação, que pode ser utilizada para a visualização e análise dos dados coletados pelo CLP.

Conforme pode ser observado na Figura 8, o Node-RED pode ser configurado para criar fluxos de dados personalizados, permitindo que as informações dos sensores sejam apresentadas de maneira acessível e em tempo real, além de poder ser configurado para fornecer alertas instantâneos em caso de desvios críticos no processo. Isso proporcionará aos operadores uma visão clara e imediata do estado do processo.

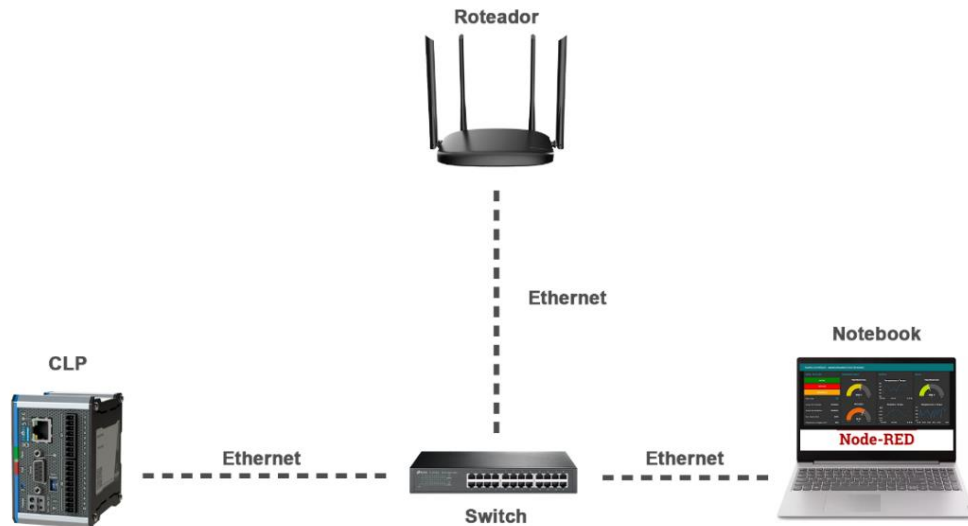
Figura 8 – Fluxo de dados por meio de nós, desenvolvido no Node-RED.



Fonte: Dos autores (2023).

Por sua vez, na Figura 9, pode-se observar o diagrama que representa a arquitetura de rede a ser utilizada, sendo que o CLP, que possui os dados provenientes dos medidores em sua memória, os disponibiliza para o Node-RED por meio de uma comunicação via rede local. A comunicação entre esses dois elementos pode ser estabelecida por meio de um *switch* ethernet, que, por sua vez, também estará conectado a um roteador com acesso à web, permitindo também o acesso remoto às informações coletadas.

Figura 9 – Arquitetura proposta para o sistema de monitoramento de grandezas físicas da planta: o CLP recebe os sinais elétricos dos medidores e os disponibiliza via rede para a plataforma Node-RED.



Fonte: Dos autores (2023).

Com isso, pode-se desenvolver uma interface de monitoramento de dados que seja intuitiva e fácil de usar, como é exemplificado na Figura 10. Essa interface pode ser integrada ao sistema Node-RED e servir como a principal ferramenta de acompanhamento para os operadores. Ela permitirá que eles visualizem as leituras dos sensores, tomem decisões assertivas e ajam prontamente em caso de variações ou problemas no processo.

Figura 10 – Protótipo da interface de monitoramento (*Dashboard*).



Fonte: Dos autores (2023).

Como se vê, por meio da solução proposta, há uma integração perfeita entre os sensores existentes na planta, o CLP e o Node-RED, com a qual se espera atingir os benefícios relacionados à eficiência operacional e segurança.

## 2.3 Levantamento de Custos

A fim de quantificar os custos relacionados à implantação do projeto, foi realizado um levantamento dos custos relacionados a todos os materiais e serviços necessários.

### 2.3.1 Materiais

- Sensores: como mencionado anteriormente, a planta já conta com os sensores necessários (duas termorresistências do tipo PT100 e um transmissor de pressão diferencial) e, portanto, não há custo relacionado a estes itens (**sem custo adicional**).
- CLP: levando em consideração a quantidade e as características dos sensores existentes na planta, será necessária a aquisição de uma unidade do CLP especificado na Subseção 2.2.2, no valor de **R\$1.075,55**.
- Ferramenta para programação do CLP: ao se adquirir o *hardware*, o fabricante disponibiliza gratuitamente as suas ferramentas de programação, sendo elas o HIstudio para linguagem ST; e o SPDSW, para linguagem Ladder (**sem custo adicional**).
- Conversor de sinal para termorresistência: conforme citado na seção 2.2.2, será necessário adquirir duas unidades de um conversor para realizar a conexão entre os dois sensores do tipo PT100 e o CLP, no valor total de **R\$91,80**.
- Fonte 24Vcc: a empresa já conta com uma fonte chaveada de 10A e 24Vcc para a alimentação dos sensores, que será aproveitada para alimentação do CLP (**sem custo adicional**).
- Node-RED: a ferramenta é uma plataforma *web* e gratuita, de fácil instalação em computadores com arquitetura x64 e sistema operacional Windows 10 (**sem custo adicional**).
- UPS (*Uninterruptible Power Supply*): a Eco Tyre já tem um gerador de energia elétrica disponível, o qual se mantém ligado durante a operação do processo em caso de falha na alimentação proveniente da concessionária. Este equipamento também será aproveitado (**sem custo adicional**).
- Equipamentos de rede e cabeamento: foi estimado um total de 50m de cabo de rede, a ser utilizado para implantação do projeto. Outros equipamentos como roteador e *switch*, serão reaproveitados da empresa, totalizando um valor de **R\$49,90**
- Computador: sabendo que a Eco Tyre já conta com um notebook disponível (fabricante Lenovo), com processador Intel Core i3 8ª geração, memória de 4 GB, HD de 1 TB e

sistema operacional Windows 10 de 64 Bits, que atende aos requisitos do projeto, não será necessário adquirir um novo (**sem custo adicional**).

- Painel Elétrico: para o projeto, foi estipulada uma caixa de montagem com dimensões de 40x30x20 cm, juntamente com 2 disjuntores termomagnéticos unipolares de 10A e 3 *bornes* de entrada, para conexão com os sensores, totalizando **R\$193,07**.

### 2.3.2 Serviços

A empresa fornecedora do CLP proposto também oferece serviços relacionados a implantação do sistema, fornecendo orçamento para realizar a programação do CLP, a configuração do Node-RED, desenvolvimento do projeto elétrico e comissionamento do sistema.

Conforme o Anexo A, foi estimado um prazo de 32 horas úteis para o desenvolvimento e programação do sistema, a um custo de R\$165,00 a hora. Para a instalação em campo, calibração dos sensores e montagem do painel elétrico, foi orçado o valor de R\$2.750,00. Com isso, a empresa se compromete a prestar assistência por um período de até 3 meses após a instalação, ou seja, até que sua validação seja atingida. O somatório dos custos relacionados aos serviços previstos no orçamento recebido é de **R\$8.030,00**.

### 2.3.3 Resumo dos Custos

A fim de facilitar a compreensão dos custos envolvidos na proposta, tanto os itens materiais como os serviços necessários foram resumidos na Tabela 1.

Tabela 1 – Resumo dos custos relacionados ao projeto.

<b>Materiais e Serviços</b>	<b>Custo</b>
Sensores	-
CLP	R\$1.075,55
Ferramentas para Programação do CLP	-
Conversores de sinal para termorresistência	R\$91,80
Fonte 24Vcc	-
Node-RED	-
UPS	-
Equipamentos de rede e cabeamento	R\$49,90
Computador	-
Painel Elétrico	R\$193,07
Desenvolvimento e programação do sistema	R\$5.280,00
Instalações em campo	R\$2.750,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$9.440,32</b>

Fonte: Dos autores (2023).

Com relação à vida útil dos elementos propostos, para efeitos de análise econômica, estima-se uma duração média de cinco anos, sabendo-se que alguns dispositivos (como o CLP) provavelmente terão uma duração superior e outros (como o roteador) precisarão ser substituídos com mais frequência. Além disso, deve-se destacar que, para os elementos já disponíveis na planta (como os medidores de temperatura), a empresa já prevê em seu orçamento os gastos com manutenção preventiva e corretiva.

## **2.4 Levantamento dos Benefícios**

Com a implantação do projeto proposto no presente trabalho, espera-se diversos benefícios relacionados ao processo de pirólise (tanto qualitativos, como quantitativos), os quais foram registrados nesta seção.

### **2.4.1 Segurança**

Tendo em vista que, atualmente, o processo de monitoramento da temperatura e pressão na Eco Tyre é feito manualmente e, considerando os riscos mencionados na Seção 2.1, fica evidente que a implantação de um sistema de coleta de dados automático reduzirá a exposição dos operadores aos riscos inerentes do processo de pirólise. Em primeiro lugar, esse fato preserva a integridade física dos operadores e, conseqüentemente, aumenta a atratividade relacionada aos postos de trabalho da empresa e reduz a possibilidade de gastos relacionados a afastamentos, processos trabalhistas e indenizações.

### **2.4.2 Otimização e Produtividade**

Com o processo manual de monitoramento, há uma alta demanda de tempo dos operários, uma vez que a coleta e aferição de dados é constante e exige uma mão de obra repetitiva, conforme citado anteriormente na Seção 2.1. Sendo assim, com o sistema proposto também será possível otimizar a velocidade de monitoramento e reduzir erros inerentes ao processo de leitura e registro manual de valores e, por conseguinte, otimizar a produtividade da empresa.

### 2.4.3 Financeiro

Considerando o que foi dito nas Seções 2.4.1 e 2.4.2, infere-se que haverá uma redução de gastos por parte da empresa. Isso pode ser esperado com a otimização da produtividade e redução de desperdícios devido à precisão, impactando positivamente no balanço financeiro da empresa. Ademais, vale ressaltar que, com a redução de possíveis acidentes, os custos da empresa com relação aos riscos ocupacionais também serão reduzidos.

No momento, a planta conta com três colaboradores: um supervisor, um operador e um auxiliar de produção. O que se espera com a implantação do sistema é a dispensa do auxiliar de produção, tendo em vista que o monitoramento da *dashboard* por meio do Node-RED será realizado pelo supervisor, que irá coordenar o operador para realizar as manobras necessárias. Com isso, será gerada uma economia de **R\$3.623,40** ao mês (considerando salário bruto, obrigações e impostos), relacionado ao mencionado cargo.

A fim de complementar o estudo da redução de gastos gerada pelo sistema proposto, é necessário avaliar o volume de combustível que poderá ser economizado. Como visto na Seção 2.1, a operação da planta é feita por bateladas, sendo duas por dia, totalizando, em média, 44 por mês. Sabendo que são consumidos em média 160 litros de óleo diesel por batelada e que, o preço do óleo diesel S10 é R\$6,22/L (PETROBRAS, 2023), tem-se um custo médio mensal de aproximadamente R\$ 43.788,80.

Por meio de um estudo realizado na planta, no qual foram contratados mais operadores por um período de teste, com o intuito de aumentar a precisão na leitura dos sensores e verificar o impacto na economia de insumos, foi constatada uma redução média de cinco litros de óleo diesel por batelada, o que representa uma redução de 3,125% do total consumido.

Com a implantação do projeto de monitoramento por meio de uma *dashboard*, é possível chegar a essa economia sem que haja a necessidade de contratação de novos operadores, uma vez que a leitura é precisa e rápida, evitando o desperdício que ocorre atualmente. Portanto, será gerada uma economia de **R\$1.368,40** ao mês.

## 2.5 Análise Econômica

A análise econômica deste projeto foi fundamental para determinar a sua viabilidade financeira e, para isso, foram empregados os seguintes métodos: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e *Payback*. A seguir, será fornecida uma explicação detalhada



sobre esses métodos e como eles podem ser utilizados para obter uma compreensão mais abrangente da viabilidade de um determinado projeto.

### 2.5.1 VPL

O Valor Presente Líquido (VPL) é uma métrica financeira que avalia se um investimento ou projeto é viável, representado pela diferença entre o valor do investimento inicial ( $I_0$ ) e o somatório do fluxo de caixa líquido de cada período ( $FC_t$ ), atualizados a uma taxa de desconto ( $K$ ) ou uma taxa mínima de atratividade (TMA), no período ( $t$ ) considerado. O VPL pode ser calculado de acordo com a Equação 1.

$$VPL = \left( \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1 + K)^t} \right) - I_0 \quad (1)$$

Em que:

$t$ : período em análise

$n$ : número de períodos em análise

$FC_t$ : Fluxo de caixa líquido de cada período

$K$ : Taxa de desconto do projeto, representada pela rentabilidade mínima requerida;

$I_0$ : Valor do investimento inicial

Neste método, considera-se o valor do dinheiro no tempo, calculando a diferença entre os fluxos de caixa futuros trazidos de volta ao presente e os custos iniciais do projeto, descontados a uma taxa de juros apropriada. Caso o VPL seja positivo, o investimento é considerado atrativo, caso contrário, não é recomendado. Em resumo, o VPL ajuda a tomar decisões financeiras ao levar em conta o valor do dinheiro no tempo e os riscos envolvidos no projeto.

### 2.5.2 TIR

A Taxa Interna de Retorno (TIR) sobre um investimento é o retorno exigido que resulta em um VPL zero quando ela é usada como a taxa de desconto (ROSS et al., 2022). Em outras palavras, é mais uma métrica financeira usada para avaliar a atratividade de um investimento ou projeto. Representa a taxa de juros na qual o valor presente dos fluxos de caixa futuros de um projeto se iguala ao investimento inicial, tornando o VPL igual a zero. Pode ser calculada de acordo com a Equação 2.

$$VPL = 0 = \left( \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} \right) - I_0 \quad (2)$$

Em resumo, essa métrica mostra a taxa de retorno que faz um projeto ser igualmente atraente a outras opções de investimento, sendo utilizada para comparar investimentos e determinar se eles são financeiramente viáveis. Se a TIR for maior do que a taxa de desconto, o projeto é considerado atraente. Caso contrário, o projeto pode não ser uma escolha financeiramente sólida.

### 2.5.3 Payback

De modo geral, o *Payback* é o período necessário para recuperar o investimento inicial (ROSS et al., 2022). O cálculo do *Payback* consiste na soma de fluxos de caixa gerados pelo projeto em cada período, até o valor total se igualar ou superar o investimento inicial. O *Payback* pode ser definido de acordo com a Equação 3.

$$Payback = \frac{Investimento\ inicial}{fluxo\ de\ caixa\ regular} \quad (3)$$

Resumidamente, o *Payback* fornece um prazo de recuperação de um investimento, sendo útil para avaliar a liquidez sem levar em consideração a rentabilidade a longo prazo ou o valor do dinheiro no tempo.

## 2.6 Resultados

A fim de validar o projeto como lucrativo ou não, primeiramente foi necessário conhecer o valor total do investimento inicial a ser feito por parte da empresa. Conforme descrito na Seção 2.3.3, o somatório dos gastos que engloba os materiais e serviços necessários para implantação do projeto proposto foi estimado em **R\$9.440,32**.

Os valores a serem economizados com a implantação do projeto são referentes aos custos mensais de mão de obra do auxiliar de produção (R\$3.623,40) e à economia de óleo diesel (R\$1.368,40), totalizando em **R\$4.991,80**.

A partir dos valores mencionados, a expectativa do fluxo de caixa acumulado ao longo de 12 meses pode ser observada na Tabela 2.

Tabela 2 – Fluxo de caixa ao longo de 12 meses.

<b>Mês</b>	<b>Fluxo de Caixa</b>	<b>Fluxo Acumulado</b>
0	-R\$9.440,32	-R\$9.440,32
1	R\$4.991,80	-R\$4.448,52
2	R\$4.991,80	R\$543,28
3	R\$4.991,80	R\$5.535,08
4	R\$4.991,80	R\$10.526,88
5	R\$4.991,80	R\$15.518,68
6	R\$4.991,80	R\$20.510,48
7	R\$4.991,80	R\$25.502,28
8	R\$4.991,80	R\$30.494,08
9	R\$4.991,80	R\$35.485,88
10	R\$4.991,80	R\$40.477,68
11	R\$4.991,80	R\$45.469,48
12	R\$4.991,80	R\$50.461,28

Fonte: Dos autores (2023)

Foi estabelecida uma taxa mínima de 2% ao mês, a qual é considerada interessante pois supera a maioria dos investimentos considerados seguros, como a Renda Fixa. Este fato é consolidado tomando como exemplo a taxa básica de juros da economia (SELIC), que em outubro de 2023 atingiu o valor de 1% ao mês (NUBANK, 2023). Para o cálculo do VPL e da TIR, foi considerado um horizonte de tempo de 12 meses.

Os resultados que podem ser observados na Tabela 3 foram obtidos por meio das equações apresentadas na Seção 2.5 e indicam que a implantação do sistema proposto é economicamente atrativa. O VPL é positivo, a TIR superou a taxa mínima requerida e a empresa irá recuperar o valor investido em 2 meses.

Tabela 3 – Resultados obtidos por meio dos métodos empregados.

<b>VPL</b>	<b>TIR</b>	<b>Payback</b>
R\$ 43.349,67	52%	2 meses

Fonte: Dos autores (2023)

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta seção serão apresentadas as conclusões e considerações sobre a implantação do projeto, bem como recomendações futuras que visam aprofundar e expandir as contribuições do presente trabalho.

#### 3.1 Conclusão

A análise dos indicadores econômicos utilizados mostra que a proposta de otimização da planta de pirólise da Eco Tyre, por meio do sistema de monitoramento de seus sensores, apresenta uma notável viabilidade em termos de benefícios financeiros, além de aumentar sua segurança operacional.

A implantação de um sistema automatizado de monitoramento, cujos resultados das medições são apresentados por meio de um painel de visualização (*dashboard*), proporciona uma leitura mais precisa, eliminando a necessidade de leituras manuais por parte dos operadores. Isso torna o processo mais confiável e eficiente, reduzindo erros e evitando o desperdício de combustível na operação da planta.

Tais benefícios implicam em vantagens financeiras significativas. A redução nos custos operacionais se traduz em economia de combustível e redução de mão de obra. Numericamente, a viabilidade econômica do projeto indica que o retorno do investimento inicial ocorrerá em apenas dois meses, resultando em uma Taxa Interna de Retorno (TIR) de 52%. Com base nos critérios de decisão relacionados à TIR, tendo em vista que o resultado supera a taxa mínima requerida, pode-se concluir que a implantação do projeto é viável para a empresa.

Além disso, estima-se que o projeto em questão trará outros benefícios à empresa, como por exemplo a redução de exposição dos operadores aos riscos operacionais que o processo de pirólise oferece. Isso torna os postos de trabalho mais atrativos e pode diminuir os custos com afastamentos e eventuais processos trabalhistas.

Em suma, considerando as melhorias propostas e os pontos abordados neste estudo, os resultados demonstram de maneira convincente que o investimento no projeto é justificado e altamente vantajoso.

### 3.2 Recomendações para Trabalhos Futuros

Com base nos resultados apurados, fica evidente que a implantação do sistema proposto neste trabalho é altamente viável, não apenas em relação aos benefícios e à análise econômica mencionados anteriormente, mas também no contexto de uma otimização mais abrangente do processo produtivo.

Com isso, vê-se a possibilidade de continuar reduzindo a necessidade de intervenções manuais na planta, permitindo, por exemplo, o acionamento remoto de motores e válvulas por meio do *dashboard* a ser desenvolvido com a ferramenta Node-RED.

Dessa forma, percebe-se dois caminhos a se seguir: 1) implantar o sistema proposto no presente trabalho (visto que este já se mostrou economicamente viável) e, posteriormente, realizar uma nova análise econômica das melhorias propostas no parágrafo anterior ou; 2) realizar uma nova análise econômica, incorporando as mencionadas melhorias ao sistema de automação proposto na Seção 2.2 e, caso os resultados indiquem viabilidade, faz-se a implantação mais abrangente.

Além disso, outras partes e processos podem ser considerados para se expandir o controle e o monitoramento da planta, o que possivelmente trará benefícios adicionais para a empresa, não apenas em termos financeiros, mas também em eficiência operacional e segurança.

## REFERÊNCIAS

ALTEROSA PNEUS. **Serviços**. Disponível em <<https://alterosapneus.com.br/servicos/>>. Acesso em: 18 de setembro de 2023.

ALTEROSA PNEUS. **Sobre nós**. Disponível em <<https://alterosapneus.com.br/sobre-nos/>>. Acesso em: 18 de setembro de 2023.

ALUTAL. **Termorresistência PT100**. Disponível em <<https://www.alutal.com.br/br/produto/termorresistencia-pt100-serie-trs>>. Acesso em: 27 de setembro de 2023.

BESTON. **Pyrolysis plant**. Disponível em <<https://bestonmachinery.com/pyrolysis-plant/>>. Acesso em: 27 de setembro de 2023.

BINGO. **Transmissor de Pressão Diferencial**. Disponível em <<https://pt.sgmls.com/china-differential-pressure-transmitter-4-20ma.html>>. Acesso em: 27 de setembro de 2023.

FRANCHI, Claiton M.; CAMARGO, V. L. A. **Controladores Lógicos Programáveis: Sistemas Discretos e Analógicos**. 3. ed. São Paulo: Érica, 2021.

HI TECNOLOGIA. **CLP rion 5**. Disponível em <<https://www.hitecnologia.com.br/produto/rion/>>. Acesso em: 27 de setembro de 2023.

MSS ELETRÔNICA. **Conversor transmissor temperatura PT100**. Disponível em <[https://www.msseletronica.com.br/detalhes/modulo-conversor-transmissor-temperatura-pt100-para-4-20ma-faixa-0-a-600oc\\_pid1587\\_trk2.html](https://www.msseletronica.com.br/detalhes/modulo-conversor-transmissor-temperatura-pt100-para-4-20ma-faixa-0-a-600oc_pid1587_trk2.html)>. Acesso em: 27 de setembro de 2023.

N.H., Zerín et al. **End-of-life tyre conversion to energy: A review on pyrolysis and activated carbon production processes and their challenges**, *Science of the Total Environment* (2023). Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166981>. Acesso em: 18 de outubro de 2023.









NETO, Alexandre Assaf. **Finanças corporativas e valor**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2021.

NUBANK. **O que é a taxa selic e como ela afeta o seu dinheiro?** Disponível em: <<https://blog.nubank.com.br/taxa-selic/>>. Acesso em: 02 de novembro 2023.

PETROBRAS. **Como são formados os preços diesel**. Disponível em <<https://precos.petrobras.com.br/sele%C3%A7%C3%A3o-de-estados-diesel#:~:text=Pre%C3%A7o%20M%C3%A9dio%20do%20Brasil%3A%20R,obrigat%C3%B3ria%20de%2012%25%20de%20biodiesel>>. Acesso em: 09 de outubro de 2023.

ROSS, S. A. et al. **Fundamentos de Administração Financeira**. 13. ed. Porto Alegre: bookman, 2022.

## ANEXO A

  		<b>Proposta: 16X874</b> Data da cotação: 09/10/2023      Validade: 30 dias						
		<p>A presente proposta tem por objetivo disponibilizar os equipamentos e a mão de obra para a realização de atividades técnicas de apoio à tecnologia, predominantemente no horário comercial, conforme orientação dos responsáveis pela área.</p> <p>O corpo técnico multidisciplinar da  dará suporte externo aos profissionais quando necessário, podendo, eventualmente, oferecer apoio na planta de um profissional técnico para auxiliar em alguma atividade que demande apoio, desde que notificado com 48 horas de antecedência, constando como hora consumida no contrato.</p>						
<b>Cliente: Eco Tyre Reciclagem De Pneus E Borracha Ltda</b> <b>Cód: 012690-01</b> CNPJ/CPF:  End. Faturamento:  Representante:  email: 								
It.	Descrição:	Cód.	Qt.	Uni.	Pr. Unitário	IPi	ICMS	Subtotal
01	CLP RION 5 + Módulo I/O integrado HIO115	301.800	01	PC	R\$ 980,00	9,75%	0	R\$1.075,55
02	Caixa de montagem 40x30x20	502.304	01	PC	R\$123,98	0	12%	R\$138,86
03	Disjuntor termomagnético unipolar (10A)	502.321	02	PC	R\$11,90	0	12%	R\$26,66
04	Borne (terminal)	502.298	03	PC	R\$8,20	0	12%	R\$27,55
05	Mão de obra técnica de um profissional: Programador	MO3.4	32	H	R\$165,00	0	0	R\$5.280,00
06	Mão de obra técnica de um profissional: Instalação, calibração e montagem	MO1.3	01	MO	R\$2.750,00	0	0	R\$2.750,00
OBS: A alocação do técnico dedicado à execução das atividades, nas condições descritas na proposta oficial, será disponibilizada conforme agendamento realizado via e-mail pelo período necessário de horas, na unidade de Formiga/MG da EcoTyre, sem vínculos trabalhistas do profissional com a empresa.					Equipamentos/produtos: R\$ 1.268,62 Serviços/mão de obra: R\$8.030,00 <b>TOTAL: R\$9.298,62</b>			