



REVISTA BRASILEIRA DE MECATRÔNICA
FACULDADE SENAI DE TECNOLOGIA MECATRÔNICA

**REDE DE ANÁLISE PARACONSISTENTE APLICADA EM SINTONIA DE CONTROLADORES PARA
UM PROCESSO INDUSTRIAL**

**PARACONSISTENT ANALYSIS NETWORK APPLIED TO CONTROLLER TUNING FOR AN
INDUSTRIAL PROCESS**

Sérgio Luiz da Conceição Matos^{1, i}
Roberto Blanco Lorenzo^{2, ii}

Data de Submissão: 18/04/2022 Data de aprovação: 29 / 11 /2022

RESUMO:

Apresenta-se neste artigo a construção de uma estrutura com algoritmos baseados em Lógica Paraconsistente Anotada compondo uma rede de análises de sinais com a finalidade de atuar como uma estação paraconsistente nas malhas de controle em cascata. A Estação de Lógica Paraconsistente foi implementada no *Matlab/Simulink* e o controle em cascata no CLP (Controlador Lógico Programável) Altus XP325. O controle em cascata é configurado com dois controladores atuando com ações PID-Proporcional+Integral+Derivativo e vem sendo muito utilizado nas plantas industriais em processos quando as perturbações afetam diretamente à variável de processo manipulada de misturas. Um dos principais problemas neste tipo de controle é que apresentam desequilíbrios entre a comunicação dos controladores quando ocorrem mudanças no ajuste de set point local e distúrbios na variável controlada, ocasionando diferenças percentuais entre as quantidades, o que pode inviabilizar a qualidade do produto final. A estrutura algorítmica proposta utiliza algoritmos baseados em Lógica Paraconsistente (LP) que é uma lógica não clássica capaz de resistir a sinais contraditórios o que faz com que seja vantajosa a sua aplicação em relação a lógica clássica binária. O hardware da Estação de cascata Paraconsistente foi simulado em uma malha de controle experimental apresentando resultados superiores a sistemas de controle em cascata que utilizam a lógica convencional.

Palavras-chave: Lógica Paraconsistente Anotada; Controlador Lógico Programável; Algoritmo Paraconsistente; Controle Cascata; Rede de Análise Paraconsistente

¹ Mestre em Engenharia Mecânica. Docente da Escola e Faculdade SENAI de Tecnologia de Santos. E-mail: sergio.lmatos@sp.senai.br

² Mestre em Engenharia Mecânica. Docente da Escola e Faculdade SENAI de Tecnologia de Santos. E-mail: roberto.lorenzo@sp.senai.br

ABSTRACT:

This article presents the construction of a structure with algorithms based on Annotated Paraconsistent Logic composing a signal analysis network with the purpose of acting as a paraconsistent station in the cascaded control loops. The Paraconsistent Logic Station was implemented in *Matlab/Simulink* and the cascade control in PLC (Programmable Logic Controller) Altus XP325. Cascade control is configured with two controllers acting with PID-Proportional+Integral+Derivative actions and has been widely used in industrial plants in processes when disturbances directly affect the manipulated process variable of mixtures. One of the main problems in this type of control is that there are imbalances between the controllers' communication when there are changes in the local set point adjustment and disturbances in the controlled variable, causing percentage differences between quantities, which can make the quality of the final product unfeasible. The proposed algorithmic structure uses algorithms based on Paraconsistent Logic (LP), which is a non-classical logic capable of resisting contradictory signals, which makes its application advantageous over classical binary logic. The hardware of the Paraconsistent Cascade Station was simulated in an experimental control loop, presenting superior results to cascade control systems that use conventional logic.

Keywords: Annotated Paraconsistent Logic; Programmable logical controller; Paraconsistent Algorithm; Cascade Control; Paraconsistent Analysis Network

1 INTRODUÇÃO

A rápida evolução da informática permitiu uma interação das duas tecnologias, CLP (Controlador Lógico Programável) e SDCD (Sistema Digital de Controle Distribuído), onde um mesmo computador "...pode ser configurado para reunir as mesmas funcionalidades, interagindo com outros softwares de desenvolvimentos"(FERNANDES 2012).

Segundo Costa e Subrahmanian (1989) vários trabalhos no campo de pesquisa da lógica paraconsistente com outros pesquisadores foram publicados, onde, se destacam: Paraconsistent Logics as a Formalism for Reasoning About Inconsistent Knowledge Base (1989); The Paraconsistent Logics PL (1989); Automatic Theorem Proving in Paraconsistent Logic: Theory and Implementation (1990) e Remarks on Annotated Logic.

No entanto, o processo lógico racional não pode ignorar as contradições, pois procura extrair delas informações que possam ser relevantes para a tomada de decisão. Dessa forma, a Lógica Paraconsistente, que suporta a contradição em seus fundamentos, "...pode ser uma boa ferramenta para tratar dados originários do Conhecimento Incerto..." (SILVA FILHO, 1999).

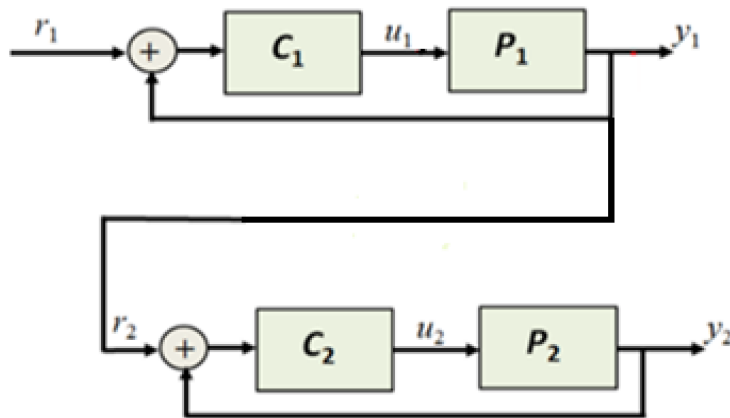
Neste trabalho foi desenvolvido a lógica paraconsistente como ajuste adaptativo de PID.

1.1 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é o estudo para a aplicação futura do recurso da Lógica Paraconsistente em sintonia de malhas de controle podendo ser comparada a outros métodos de sintonia existentes.

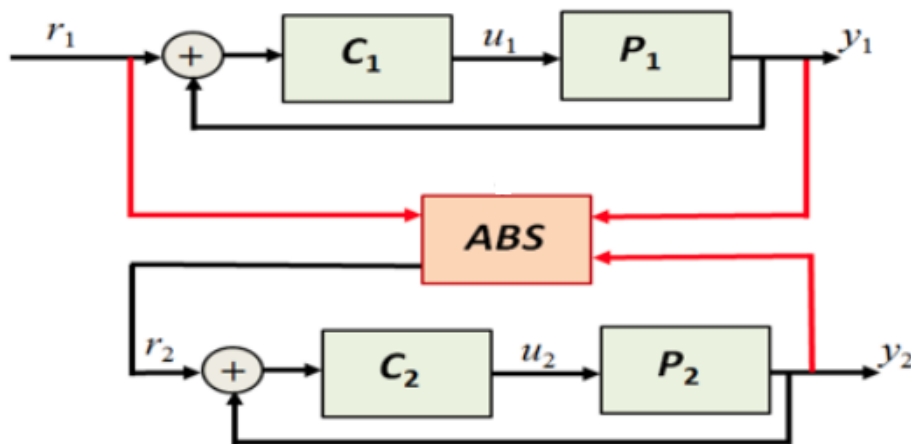
O desenvolvimento do trabalho foi realizado em função do diagrama de controle em

cascata adaptativo com Lógica Paraconsistente aplicado ao controle cascata convencional.
 Figura 1- Controle cascata convencional



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 2- Controle Cascata Adaptativo com Lógica Paraconsistente



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura 1 é mostrado o bloco do controle convencional cascata, sendo r_1 (set-point local), C_1 (controlador primário), P_1 (função de transferência primária), C_2 (controlador secundário) e P_2 (função de transferência secundária).

Implementado na figura 2 a ABS (Lógica Paraconsistente adaptativa) ao sistema convencional de controle em cascata com o objetivo de comparar a resposta transitórias com o sistema convencional.

1.2 Justificativa e relevância do tema

Neste trabalho pretende-se aplicar simulação e estudo da estratégia de controle em Cascata em medição de nível e vazão, que possam interligar transmissores de vazão e nível em automação, aprimorando os sistemas multivariáveis com diversos tanques. Para isso as investigações serão feitas com verificações dos comportamentos da estratégia em controle de Cascata (tempo morto e constante de tempo) utilizando a Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores (LPA2v). Nestes conceitos serão utilizados os algoritmos denominados de nós de análises paraconsistentes (NAP) interligados em redes de análises

paraconsistentes (RAP).

A utilização de algoritmos fundamentados na Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores (LPA2v) em controle de processo apresenta-se como inovação para os softwares bloqueados utilizados como simulação e controle no tempo real sobre as variáveis a serem controladas em futuras estratégias de controle.

Portanto a RAP poderá ser comparada em trabalhos futuros a outros métodos de sintonia aplicados a otimização de estratégias de controle.

2 REVISÃO DE LITERATURA

De modo geral pode-se considerar uma lógica não-clássica como sendo toda aquela que apresenta fundamentos que possam contrariar ou ignorar algum princípio da lógica clássica, incluindo-se aquelas que a complementam. Recentemente, com a ocorrência de novas demandas para a automação de processos, os CLPs (Controladores Lógicos Programáveis) e SDCDs (Sistemas Digitais de Controle Distribuídos) trazem condições de configuração a partir de algoritmos baseados em lógicas não-clássicas. Entre as lógicas denominadas não-clássicas destaca-se a Lógica Paraconsistente (LP), "...caracterizada por sua principal propriedade: a capacidade de considerar a contradição sem que o conflito de informações invalide suas conclusões" (NISE, 2012).

Segundo Abe, (2013) uma teoria é consistente quando entre seus teoremas não houver contradição, caso contrário, ela será denominada inconsistente. Uma teoria é denominada como trivial se todas as sentenças (ou fórmulas) de sua linguagem forem teoremas; se ocorrer o contrário, será classificada como não-trivial. Uma lógica é definida como Paraconsistente quando for capaz de tratar de inconsistências de forma não trivial. Na área de tratamento de incertezas, a lógica paraconsistente, na sua forma especial denominada Lógica Paraconsistente Anotada (LPA), "...tem se destacado pela eficiência de seus métodos ao tratar informações contraditórias, valorizando-as, eis que podem trazer evidências para estruturar resultados que retratem melhor a realidade..." (SILVA FILHO & ABE, 2000).

A aplicação da LPA "...se dá por meio de seus algoritmos e, os aplicados neste trabalho se basearão em Lógica Paraconsistente na sua forma denominada Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores (LPA2v)..." (SILVA FILHO & ABE 2001).

A LPA2v será utilizada como base para a construção da simulação da estratégia de controle em cascata. Entre os algoritmos da LPA2v destaca-se o Nó de Análise Paraconsistente (NAP). Segundo Silva Filho (2006), NAP é a denominação dada a um algoritmo extraído da LPA2v para análise de uma proposição por meio da entrada na forma de anotação composta por: um Grau de Evidência Favorável (μ) e um Grau de Evidência Desfavorável (λ). Nas aplicações com NAP pode-se relacionar o (μ) e o (λ) aos sistemas de controle de variáveis de processos onde, após tratamento paraconsistente, obtêm-se como saída do sistema: o grau de Evidência Resultante Real (μ_{ER}) e um Intervalo de certeza (ϕE).

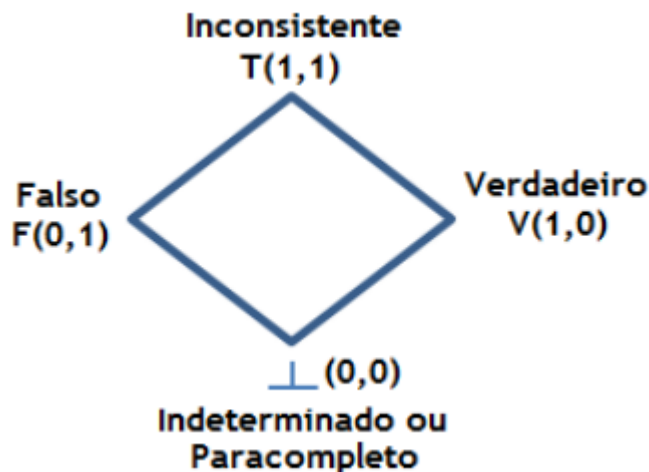
A Lógica Paraconsistente Anotada com Anotação de dois valores (LPA2v) é composta por dois sinais de informação, ou seja, cada proposição é acompanhada de dois valores de graus de evidência denominados: grau de crença (evidência favorável) e grau de descrença (evidência desfavorável). O primeiro valor da anotação representa a evidência favorável à proposição P ou o grau de crença dessa proposição (denominado μ). Ao passo que o segundo valor da anotação representa a evidência contrária à proposição P ou o grau de descrença dessa proposição (denominado λ). A LPA2v é representada por um reticulado associado que geralmente utiliza o Reticulado de 4 Vértices. Os estados lógicos paraconsistentes são representados nos vértices e, através de uma interpretação algébrica, também são

representados nas regiões internas do reticulado.

Os estados lógicos Paraconsistentes são as saídas resultantes correspondentes à análise da proposição P . Visando uma melhor interpretação das evidências na LPA2v, é utilizada uma representação onde associa-se um reticulado finito formado por pares ordenados de valores (μ, λ) , onde a letra grega μ significa o grau de evidência favorável da proposição $V(1,0)$ ao passo que λ corresponde ao grau de evidência desfavorável $F(0,1)$. Conforme afirmam Silva Filho; Abe & Lambert (2008), pode-se relacionar os estados lógicos extremos representados nos quatro vértices do reticulado, onde a anotação, composta pelos Graus de Evidência favorável e desfavorável, atribui à proposição P uma leitura intuitiva:

- Se $PT = P(1, 1) \Rightarrow P$ é inconsistente;
- Se $Pv = P(1, 0) \Rightarrow P$ é verdadeira;
- Se $PF = P(0, 1) \Rightarrow P$ é falsa;
- Se $P\perp = P(0, 0) \Rightarrow P$ é indeterminada. Considerando valores nos sinais que agora compõem as anotações, através de uma análise pode-se chegar ao valor do estado lógico resultante. O reticulado de valores da LPA2v é visto na Figura 1.

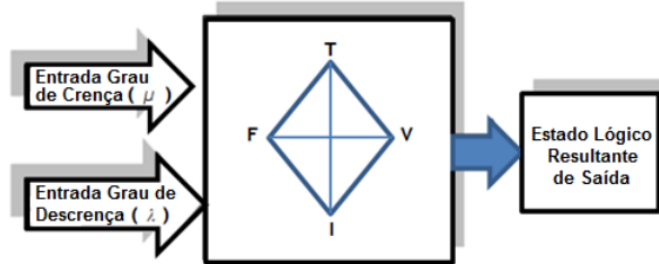
Figura 3 - Reticulado associado à lógica paraconsistente anotada de anotação com dois valores LPA2v.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para Baptista (2013), o Nó de Análise Paraconsistente – NAP, trata-se de um novo algoritmo de tratamento de incertezas, fundamentado em Lógica Paraconsistente Anotada LPA2v. Em várias situações reais onde se utiliza a LPA2v, os graus de evidência favorável (crença) e desfavorável (descrença) são considerados informações de entrada do sistema (exemplo: sinais analógicos em corrente e tensão referentes a medidas de variáveis de processos, leituras de protocolos em redes industriais, etc.).

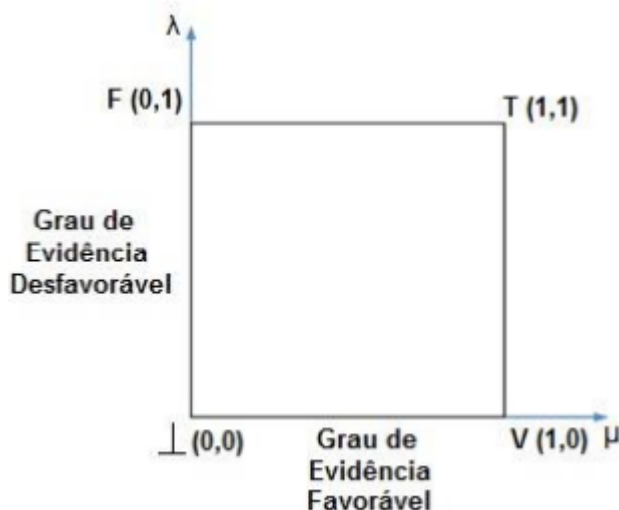
Figura 4- Representação da análise paraconsistente LPA2v.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A LPA pode ser estudada em um Quadrado unitário no Plano Cartesiano (QUPC), conforme visto na Figura 3, onde são inseridos os graus de evidência favorável (crença) μ e graus de evidência desfavorável (descrença) λ .

Figura 5- Grau de evidência no quadrado unitário do plano cartesiano.

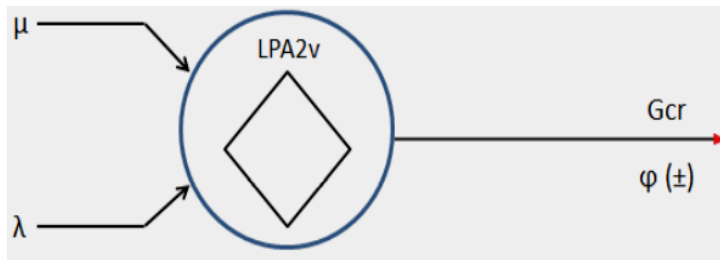


Fonte: Elaborado pelo autor.

O Nó de Análise Paraconsistente (NAP) utilizado neste trabalho é o algoritmo de tratamento de incertezas, fundamentado em Lógica Paraconsistente Anotada LPA2v. Nas redes de análise paraconsistente (RAP), os NAPs fazem tratamento de sinais de informação conforme os fundamentos da Lógica Paraconsistente. As entradas são alimentadas pelos Graus de Evidências retirados da base de dados de Conhecimento Incerto. Os NAPs utilizam as equações obtidas da metodologia da LPA2v e vão obtendo os Graus de Certeza real (Gcr) acompanhados de seus respectivos Intervalos de Certeza ϕ . "...tal processo possibilita a obtenção de conclusões a respeito de determinadas proposições..." (SILVA FILHO et. al. 2012).

O NAP apresenta duas entradas, uma de Grau de Evidência favorável μ e outra do grau de evidência desfavorável λ , a respeito da proposição P analisada. Apresenta também duas saídas de resultados: o Grau de Certeza real (Gcr) e o Intervalo de Certeza (ϕ), conforme mostra a figura 6.

Figura 6- Representação simbólica de um NAP- nó de análise Paraconsistente.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo Fernandes; Mario e Silva Filho (2012), o sistema ou algoritmo denominado Nó de Análise Paraconsistente (NAP) pode ser obtido nas várias formas de configurações capazes de formar redes para tratamento de incertezas.

Os resultados obtidos nas equações indicam que um NAP pode ser utilizado como gerador de Graus de Evidências para outras proposições que estejam sendo analisadas por outros NAPs, formando assim uma rede de NAPs interligados.

Com tal processo de normalização obtém-se na saída de cada NAP um valor de Grau de Evidência resultante real acompanhado de um valor de Intervalo de Evidência resultante. Assim sendo, a Rede de Análise Paraconsistente (RAP) irá informar um valor de grau de certeza em relação à proposição, controlando e analisando os resultados por meio de realimentação. O algoritmo de análise paraconsistente para determinação do Grau de Certeza real e do Intervalo de Certeza é exposto abaixo e desenvolvida neste trabalho no *MATLAB SIMULINK*. (511.31 M382r) (MATOS, 2018).

Entre com os valores de Entrada.

$$\mu \text{ * / Grau de Evidência favorável } \quad 0 \leq \mu \leq 1$$

$$\lambda \text{ * / Grau de Evidência desfavorável } \quad 0 \leq \lambda \leq 1$$

Calcule o grau de Contradição normalizado

$$\mu_{ctr} = \frac{\mu + \lambda}{2} \quad (1)$$

Calcule o Intervalo de Evidência resultante

$$\varphi E = 1 - |2\mu_{ctr} - 1| \quad (2)$$

Calcule o Grau de Certeza

$$G_c = \mu - \lambda \quad (3)$$

Calcule o Grau de Contradição

$$G_{ct} = ((\mu + \lambda) - 1) \quad (4)$$

Calcule a distância D

$$D = \sqrt{(1 - |G_c|)^2 + (G_{ct})^2} \quad (5)$$

Determine o Grau de Certeza real

Se $G_c > 0$, $G_{cr} = (1 - D)$

Se $G_c < 0$, $G_{cr} = (D - 1)$

Determine o sinal de Saída

Se $\varphi E < 0,25$ ou $D > 1$, então, faça

$S1 = 0,5$ e $S2 = \varphi E(\pm)$: Indefinição e vá para o item 12.

Senão vá para o próximo item.

Calcule o Grau de Evidência resultante real

$$\mu_{ER} = \frac{G_{cr} + 1}{2} \quad (6)$$

Determine a sinalização do Intervalo de Evidência resultante

Se $\mu_{ctr} < 0,5$, sinalize negativo $\varphi = \varphi E(-)$

Se $\mu_{ctr} > 0,5$, sinalize negativo $\varphi = \varphi E(+)$

Se $\mu_{ctr} = 0,5$, sinalize negativo $\varphi = \varphi E(0)$

Apresente os resultados na saída

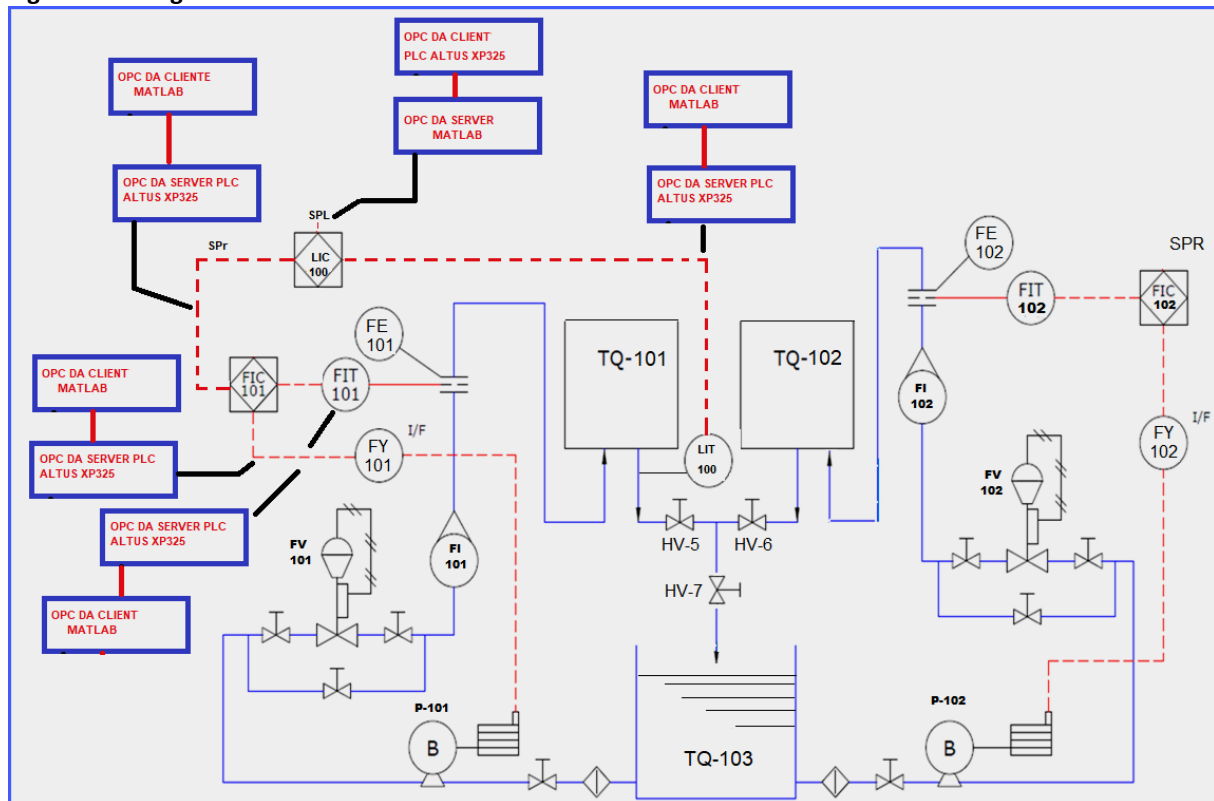
Faça $S1 = \mu_{ER}$ e $S2 = \varphi E(\pm)$

Fim

3 METODOLOGIA

O desenvolvimento do sistema foi elaborado a partir do fluxograma da planta de processo figura 7.

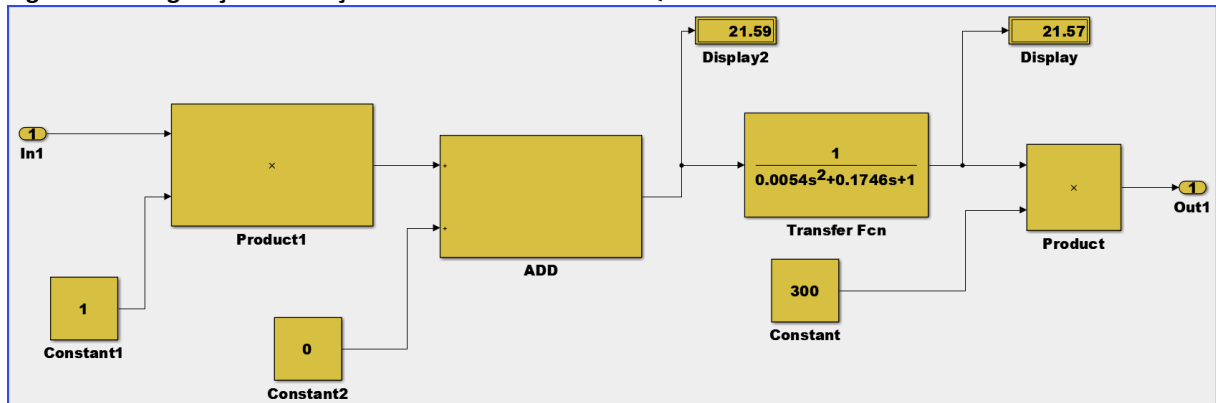
Figura 7- Fluxograma Planta didática de Processo



Fonte: Elaborado pelo autor.

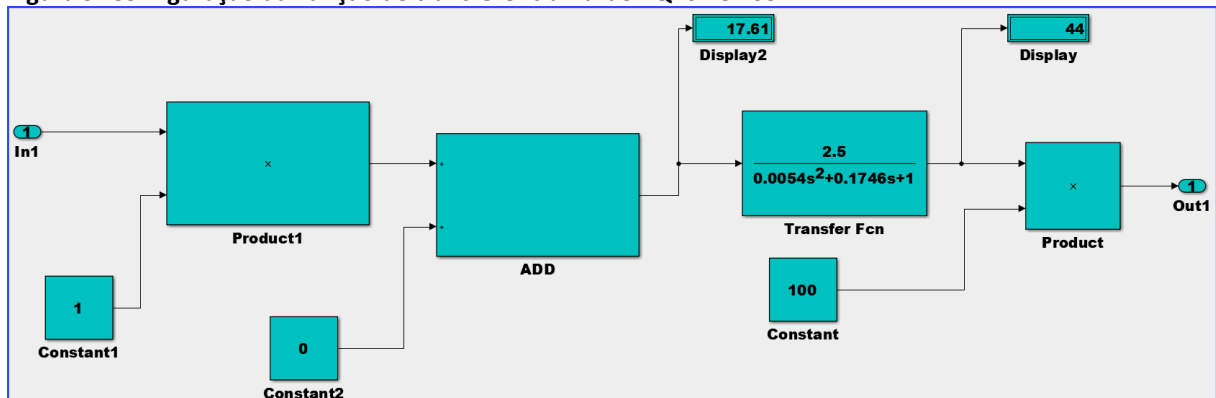
Foi obtido a Função de transferência referente ao TQ-103 e TQ-101 (nível e vazão) figura 8 e 9, configurou-se a simulação Paraconsistente RAP no *Matlab Simulink* com a finalidade de realizar a telemetria digital na estrutura do Bloco PID KP (ganho proporcional) e TI (tempo integral) do Bloco PID ISA (figura 10) configurado no PLC ALTUS XP325.

Figura 8- Configuração da Função de transferência Nível TQ101 e 103



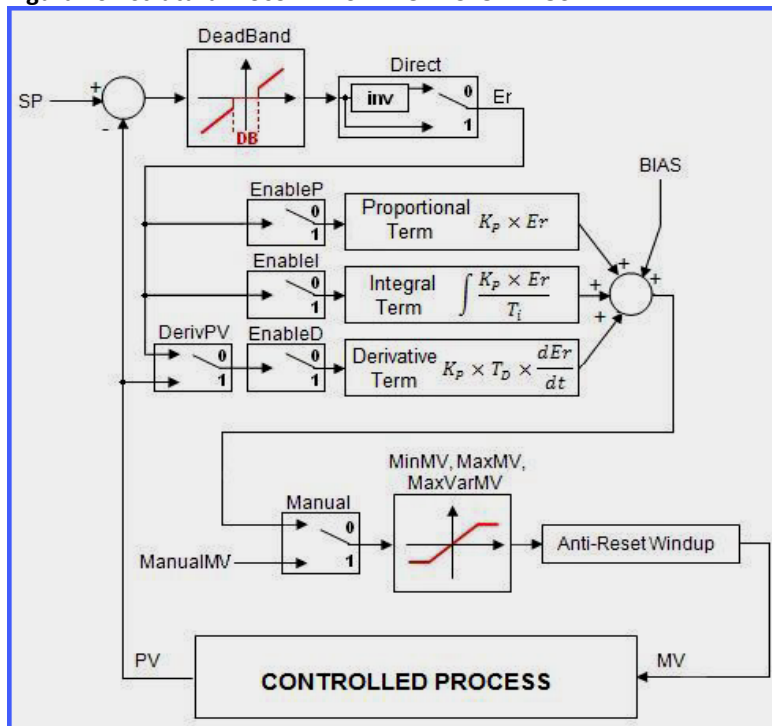
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 9- Configuração da Função de transferência Vazão TQ101 e 103



Fonte: Elaborado pelo autor.

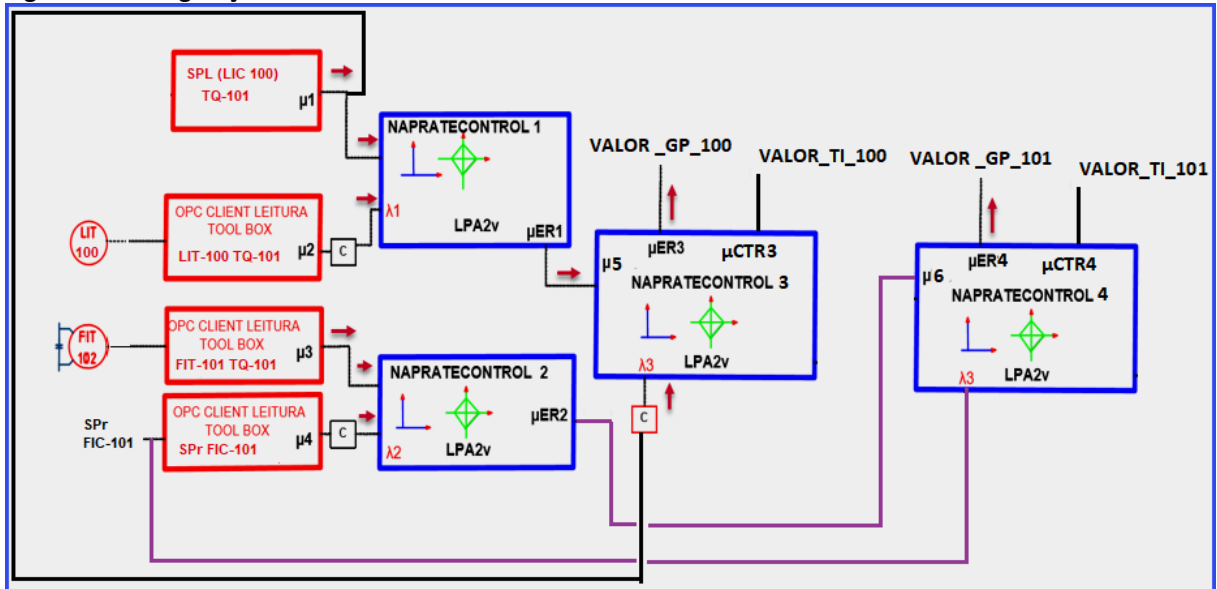
Figura 10-Estrutura Bloco PID ISA PLC XP325 ALTUS



Fonte: Elaborado pelo autor.

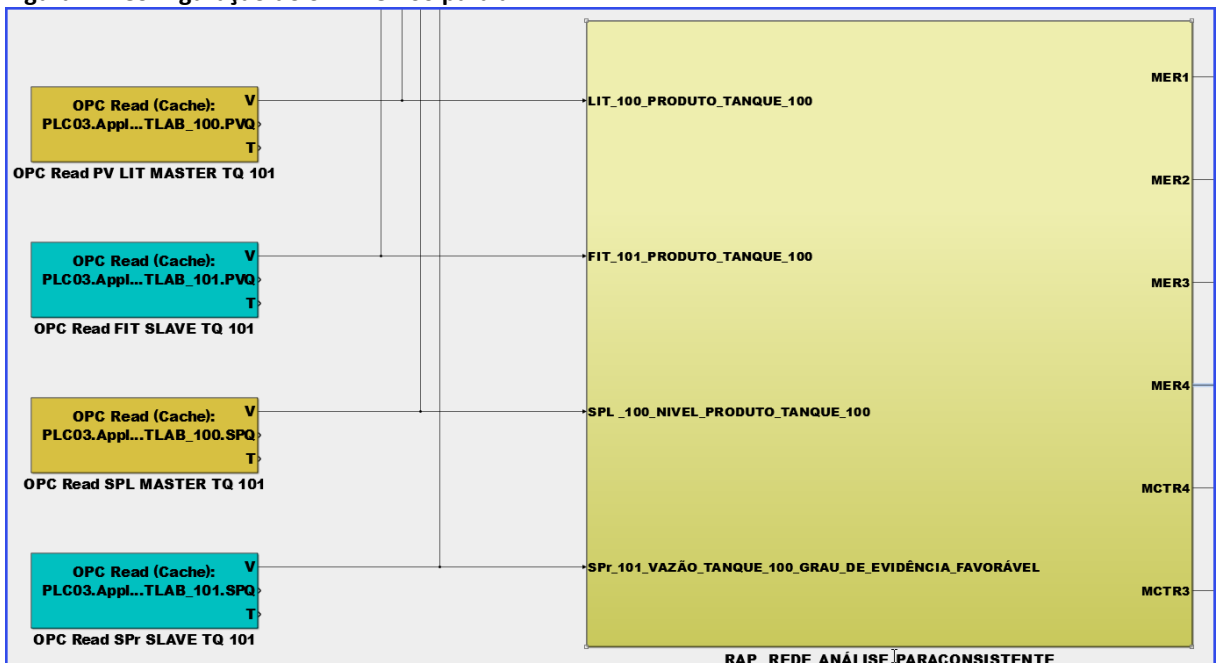
A RAP contendo 3 NAPs foi desenvolvida no *MATLAB SIMULINK* para realizar a telemetria digital em função dos *devices* LIT 100, FIT 101 como graus de evidência desfavoráveis e SPL (LIC 100), SPr (FIC 101) como grau de evidência favorável para elaborar a RAP conforme a figura 11 e 12.

Figura 11- Configuração da RAP



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 12- Configuração do SPL-LIC-100 para a RAP



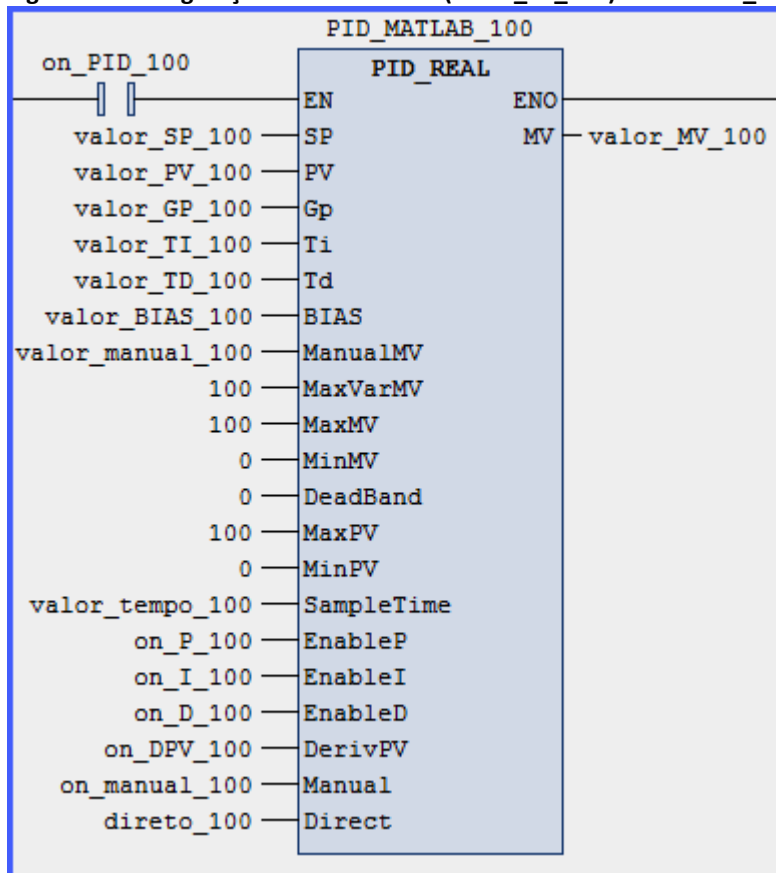
Fonte: Elaborado pelo autor.

O SPL LIC-100 é inserido ao *Matlab Simulink* com a finalidade de ser disponibilizado ao BLOCO PID_100_MATLAB configurado no PLC Altus XP325 figura 12 e na RAP conforme figura 11.

As saídas do *NAPRATECONTROL 1* e *NAPRATECONTROL 2* correspondem à representação do grau de evidência resultante real μ_{ER1} e μ_{ER2} .

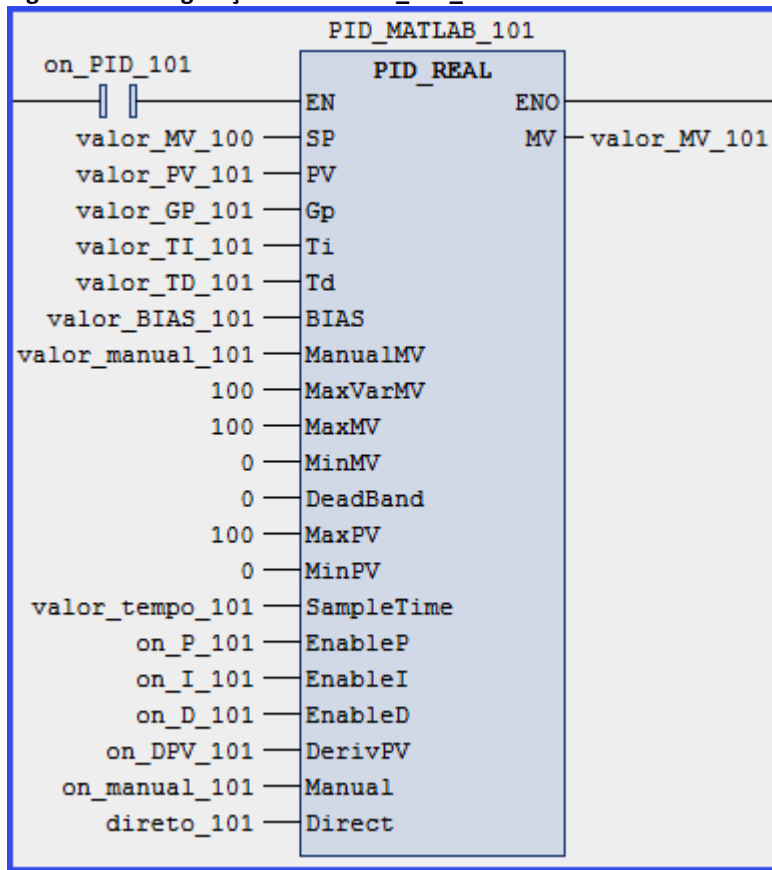
O terceiro nó *NAPRATECONTROL 3* terá como fonte de evidência favorável a saída do grau de evidência resultante real μ_{ER1} do *NAPRATECONTROL 1* e a fonte de evidência favorável do *NAPRATECONTROL 4* será saída do grau de evidência resultante real μ_{ER2} do *NAPRATECONTROL 2*. Tendo finalidade tratar as incertezas dos graus de evidências favoráveis SPL LIC -100 SP FIC-101, assim como os graus de evidências desfavoráveis, dados por LIT-101 e FIT-101, estabelecendo a RAP que irá disponibilizar os parâmetros referentes a sintonia PID_100_MATLAB figura 13 e PID_MATLAB 101 figura 14.

Figura 13- Configuração do SPL-LIC-100 (valor_SP_100) BLOCO PID_100_MATLAB PLC ALTUS XP325



Fonte: Elaborado pelo autor.

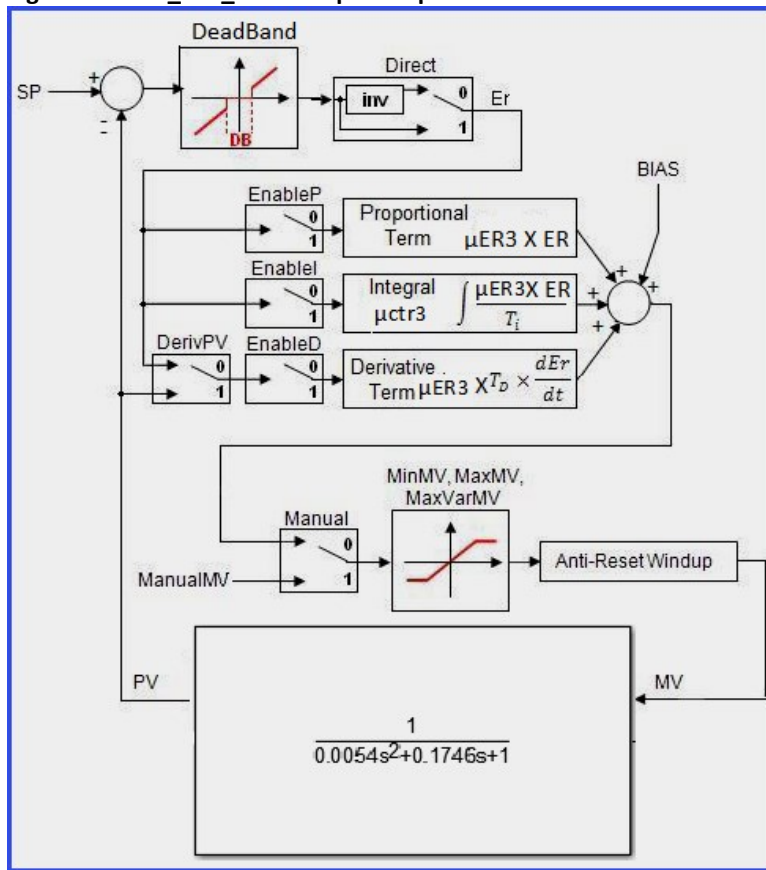
Figura 14- Configuração BLOCO PID_101_MATLAB PLC ALTUS XP325



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os parâmetros MER3 ($\mu ER3$) e MCTR3($\mu ctr3$) fornecem a sintonia valor_GP_100 (ganho proporcional) e valor_TI_100(tempo integral) ao BLOCO PID_100_MATLAB, MER4 ($\mu ER4$) e MCTR4($\mu ctr4$) fornecem a sintonia valor_GP_101 (ganho proporcional) e valor_TI_101(tempo integral) ao BLOCO PID_101_MATLAB.

A finalidade dessa interação construída no *Matlab Simulink* é aplicar a sintonia aos BLOCOS PI mestre 100 e PI escravo 101 conforme a figura 15 e 16.

Figura 15 - PID_100_MATLAB $\mu ER3$ e $\mu ctr3$ 

Fonte: Elaborado pelo autor.

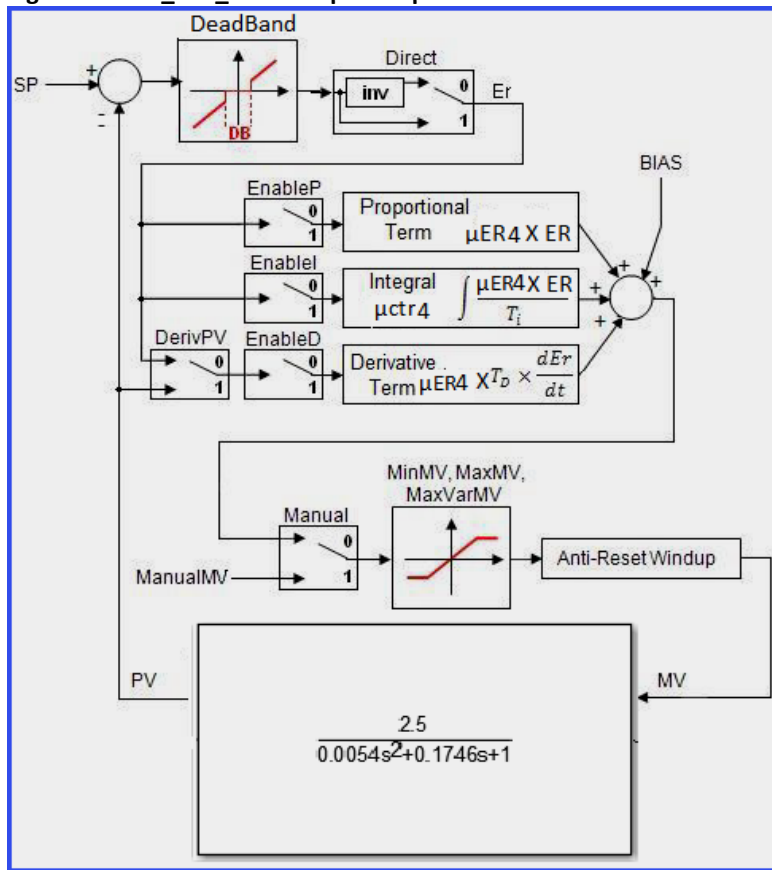
O cálculo da resposta do controlador segundo Matos (2016) é apresentado na equação 7 e 8, demonstrando uma variante dessa equação chamada de modelo série ou ISA, onde a ação proporcional tem efeito nas ações integral e derivativa.

Desse modo a equação PID ISA referente ao PID_100_MATLAB e PID_101_MATLAB será em função da RAP aplicada, sendo igual:

$$\text{Padrão ISA / RAP } mv(t) = \mu ER3 \left[e(t) + \mu ctr3 \int e(t) + Td \frac{de}{dt} \right] + \text{Bias} \quad (7)$$

$$mv(t) = \mu ER4 \left[e(t) + \mu ctr4 \int e(t) + Td \frac{de}{dt} \right] + \text{Bias} \quad (8)$$

Figura 16- PID_101_MATLAB μ ER4 e μ ctr4



Fonte: Elaborado pelo autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos com a aplicação do desenvolvimento da RPA no *Matlab Simulink* como servidor dos parâmetros aos Blocos PID configurado em cascata no Master tools IEC XE estão demonstrados em respostas transitórias o comportamento de PID_100_MATLAB Nível e PID_101_MATLAB Vazão em função das funções de transferências elaboradas nesse trabalho (tempo morto e constante de tempo).

Em função das respostas transitórias obtidas em função do SPL 100 (valor_SP_100, LIC_100) como fonte de grau favorável a RPA pode-se observar que o tempo de acomodação da PV no PID_100_MATLAB e PID_101_MATLAB "...não apresentam *overshooting* e *undershooting*, ou seja, dentro dos limites de +/- 3 a 5% Ogata, K. (2014)...";

As respostas transitórias estão demonstradas abaixo, estabelecendo a telemetria digital faixa 0 a 1 para sintonia dinâmica aos blocos PID_100 e 101 sem a ocorrência de *overshooting* e *undershooting*.

Figura 17 – Resposta transitória PID_100_MATLAB Nível tempo morto 50s

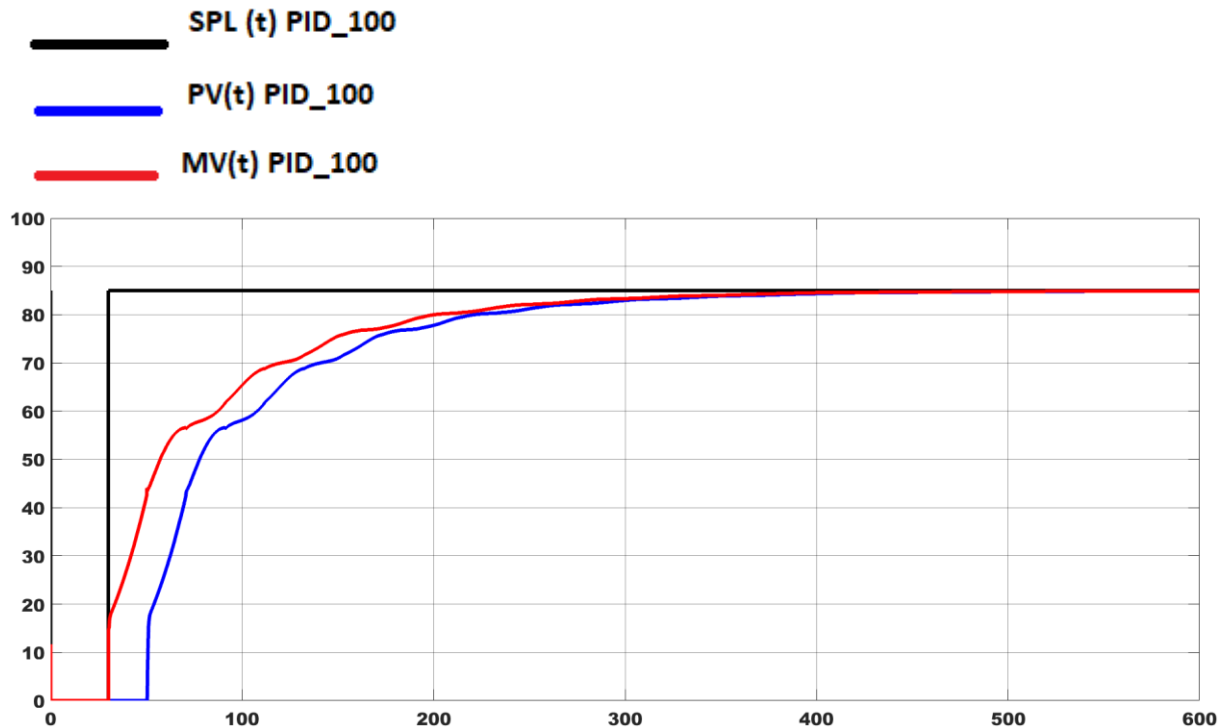


Figura 18- Resposta transitória PID_101_MATLAB Vazão

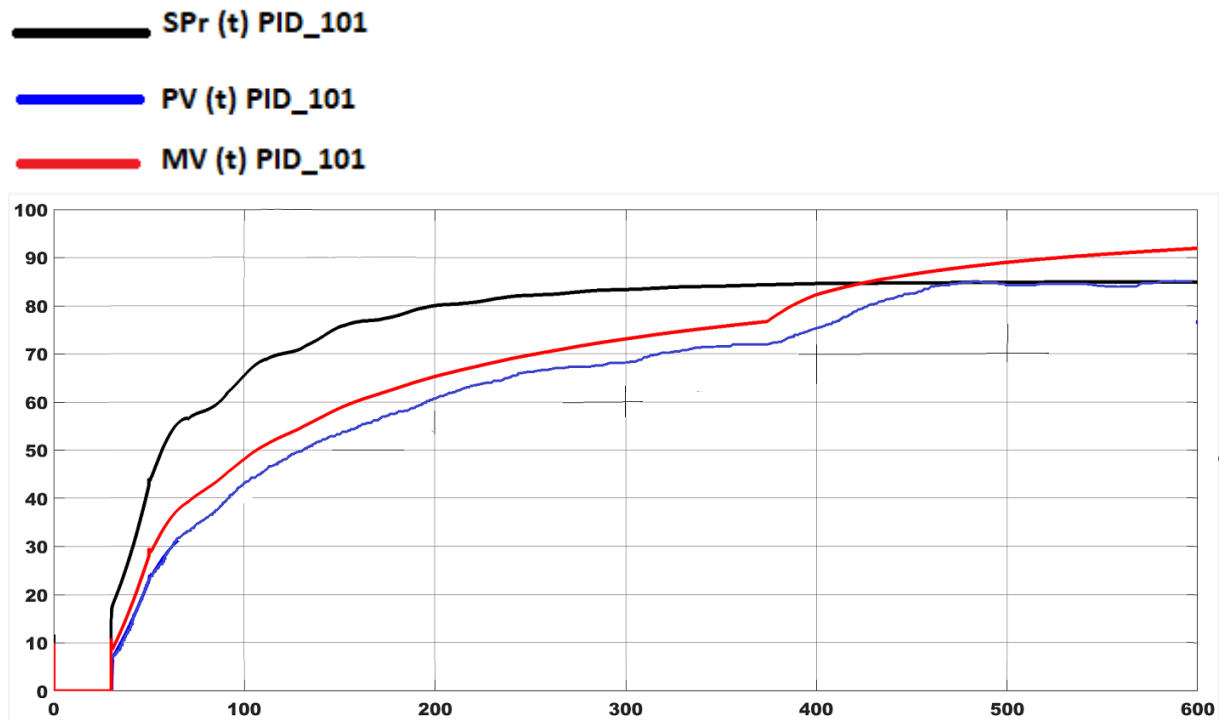
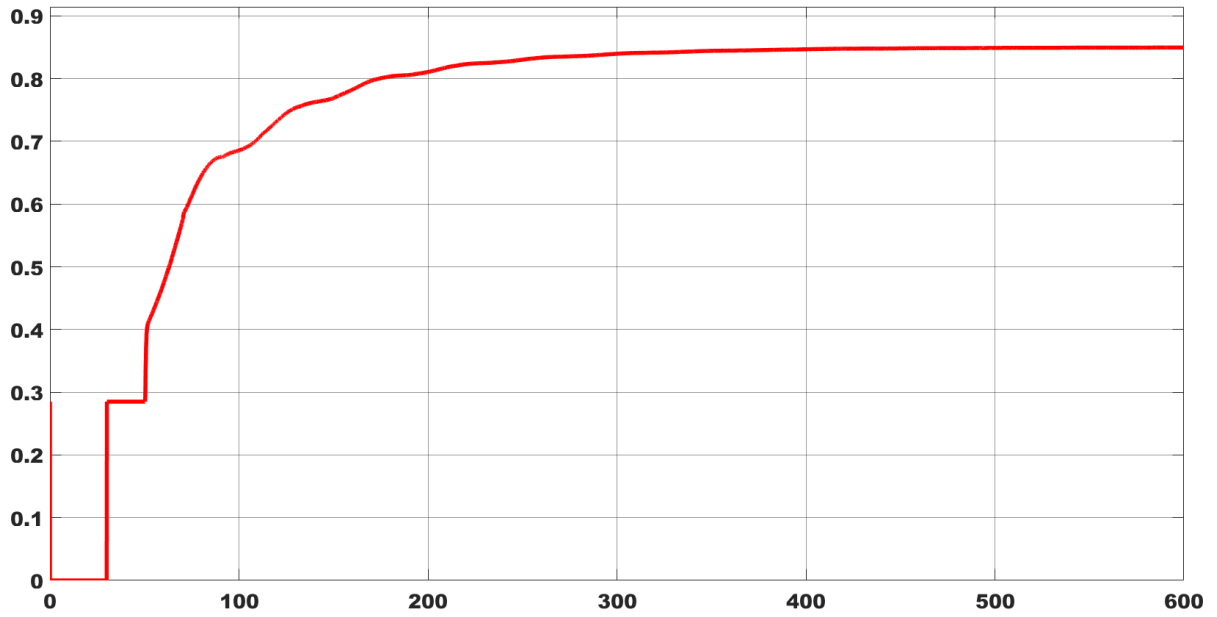
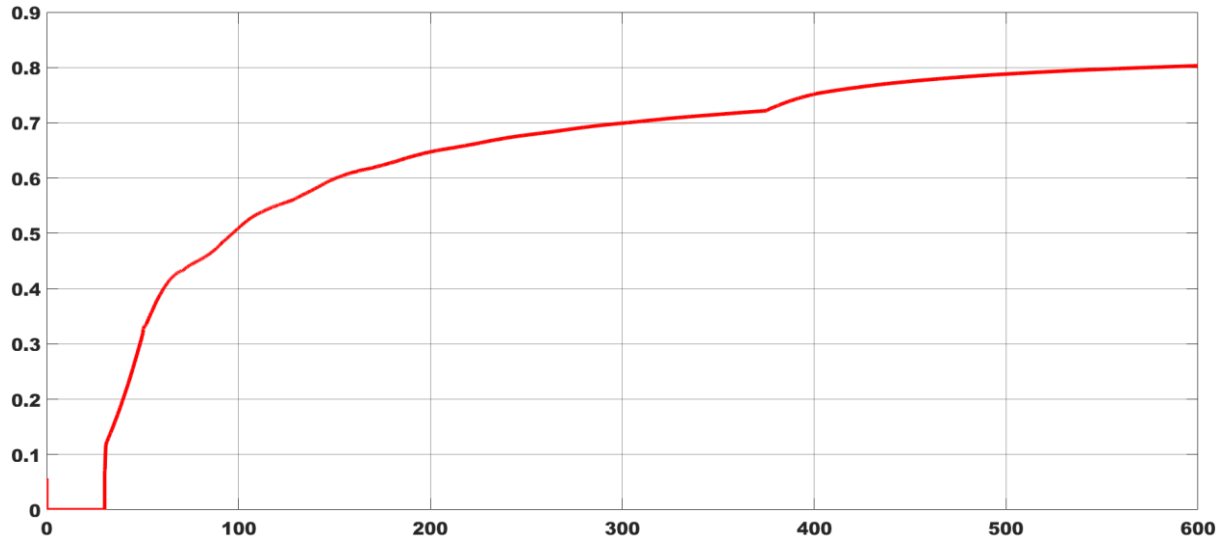
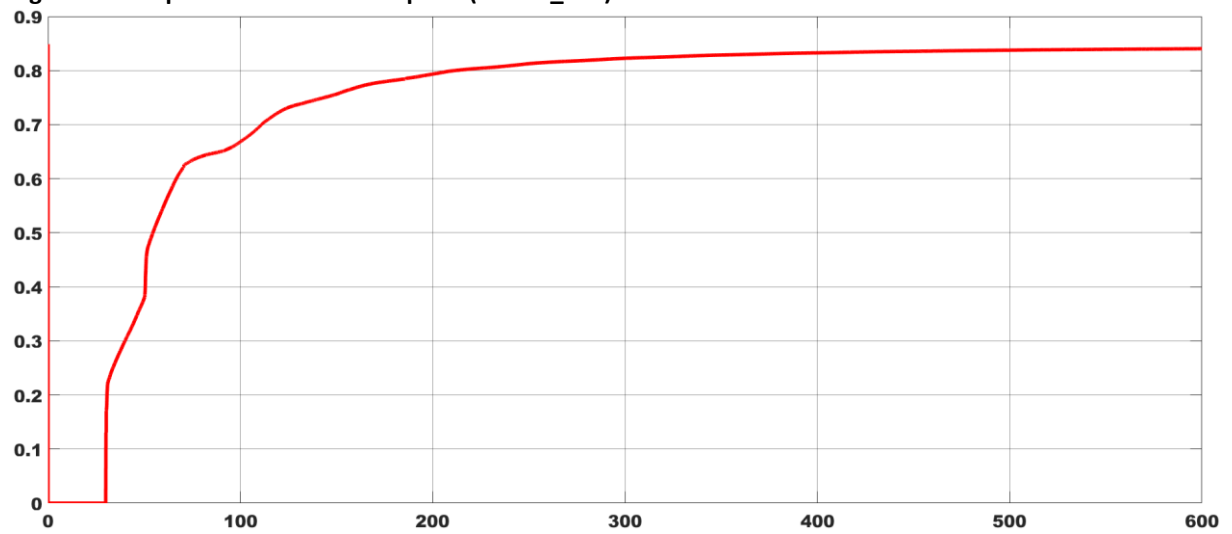


Figura 19- Resposta transitória RAP μ ER1

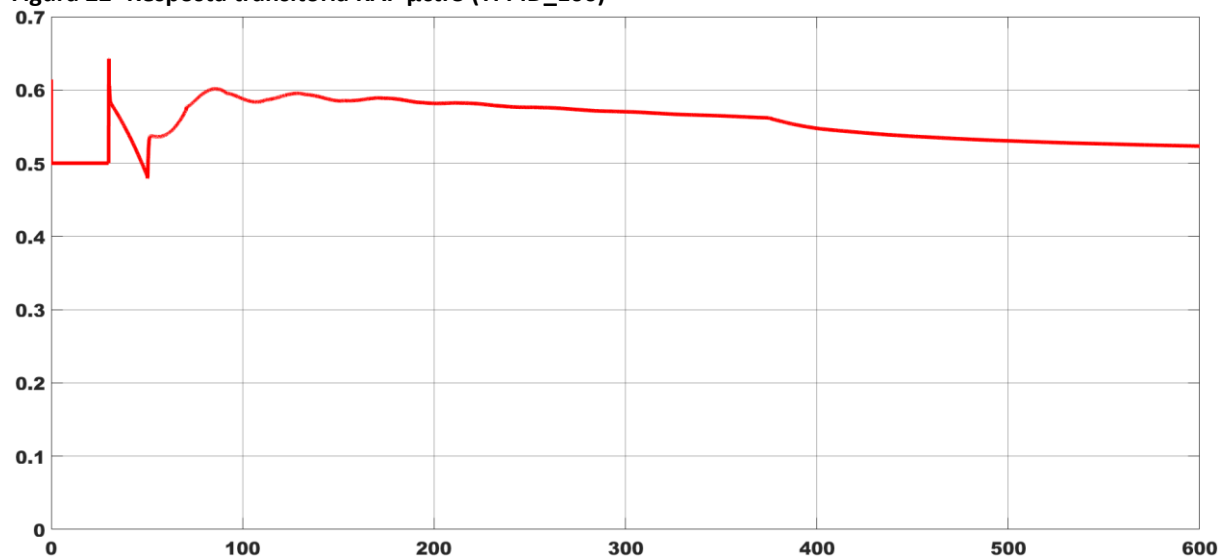
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 20- Resposta transitória RAP μ ER2

Fonte: Elaborado pelo autor.

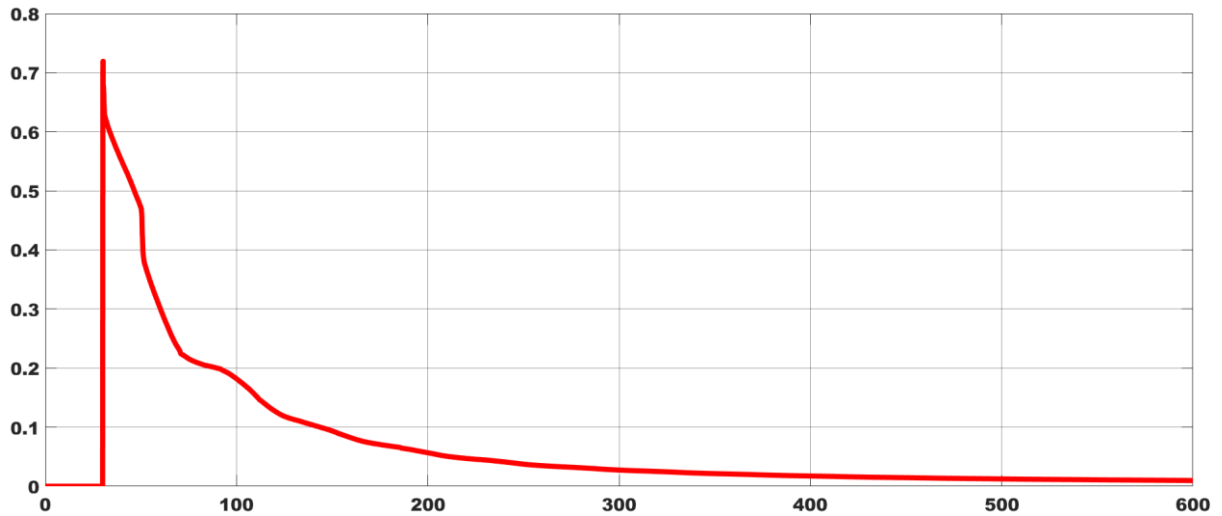
Figura 21- Resposta transitória RAP μ ER3 (KP PID_100)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 22- Resposta transitória RAP μ ctr3 (TI PID_100)

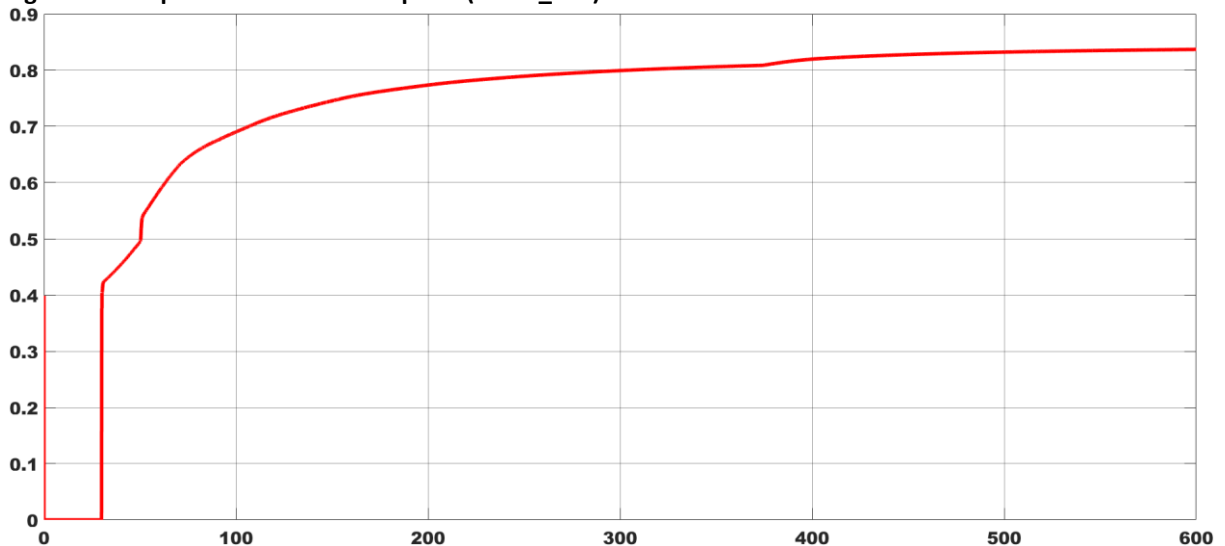
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 23- Resposta transitória RAP μ ER4 (KP PID_101)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 24- Resposta transitória RAP μ ctr4 (TI PID_101)



Fonte: Elaborado pelo autor.

5 CONCLUSÃO

Para os resultados alcançados em função das respostas transitórias no simulador de RPA aplicada a estratégia de controle em Cascata, a LPA2v poderá ser desenvolvida a outras estratégias de controle avançada utilizando controladores digitais em tempo real nas plantas didáticas com a finalidade de comparar a Rede de análise paraconsistente (sintonia dinâmica) a outros métodos de sintonia aplicados em processos industriais. A RAP LPA2v poderá modificada e aplicada em diversas situações de tempo morto e constante de tempo conforme foi demonstrado na simulação em função da função de transferência obtida e configurada no simulador.

REFERÊNCIAS

- ABE, J. M. **Aspecto de computação inteligente paraconsistente**. 238 p. Instituto de Estudos Avançados (IEA) da Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, 2013.
- BAPTISTA, R.; SILVA FILHO, J. I. da. MORILLA, J. C. Proposal of automatic control three-way valve through algorithms of paraconsistent annotated logic. **Science and Technology**, v. 2, n. 2, p.69-73, 2013.
- COSTA, N. C. A. da; ABE, J. M.; SILVA FILHO, J. I. da; MUROLO, A. C. **Lógica paraconsistente aplicada**, 2. ed. São Paulo: Atlas, 1999. 214 p.
- COSTA, N. C. A da; SUBRAHMANNIAN, V. S. Paraconsistent logics as a formalism for reasoning about inconsistent knowledge bases. **Artificial Intelligence in medicine**, v.1, p. 167-174. 1989
- FERNANDES, C. L. M., MARIO C. M., SILVA FILHO, J. I. da. Study for inclusion of paraconsistent annotated logic in specific standards for use in programmable controllers. **Science and Technology**. v.1. n. 2. P. 49-53, 2012.
- NISE, N. S. **Engenharia de sistemas de controle**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012, 1285 p.
- OGATA, K. **Modern control engineering**. Rio de Janeiro: Prentice-Hall, 2014.
- MATOS, S.L.C.; et al. Recursos do controlador proporcional, integral e derivativo na automação baseada em sistemas digitais de controle. **Seleção Documental**. n.43 ano 11, p.9-14. Santos: Paralogike. Brasil ATC2 09/ 2016
- MATOS, Sérgio Luiz da Conceição. **Rede de análise paraconsistente aplicada em malha de controle de razão para um processo industrial**, Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Santa Cecília, Santos: UNISANTA, 2018. 133 p. il.
- SILVA FILHO, J. I. da. **Métodos de Aplicações da Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores-LPA2v com construção de Algoritmo e Implementação de Circuitos Eletrônicos**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais. São Paulo, 1999, 250 p.
- SILVA FILHO, J. I. da; ABE, J. M. **Introdução à lógica paraconsistente anotada com ilustrações**. 1.ed. Santos: Emmy, 2000.
- SILVA FILHO, J. I. da; ABE, J. M., **Fundamentos das redes neurais paraconsistentes: destacando aplicações em neurocomputação**. São Paulo: Arte & Ciência, 2001.
- SILVA FILHO, J. I. da. Métodos de aplicações da lógica paraconsistente anotada de anotação com dois valores-LPA2v. **Revista Seleção Documental**, Santos. 2006.
- SILVA FILHO, J. I. da; ABE, J. M.; LAMBERT, T. G. **Inteligência artificial com as redes de análises paraconsistentes**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

SILVA FILHO, J. I. da; OLIVEIRA, D. B.; DE AGUIAR, A. L. L.; FERRARA, L. F. P.; GARCIA, D. V.; MARIO, M. C. Algoritmos fundamentados em lógica paraconsistente anotada aplicados em análises de variáveis físicas de um processo industrial. **Revista Seleção Documental**, Santos. 2012.

Sobre os autores:

i SÉRGIO LUIZ DA CONCEIÇÃO MATOS



Mestre em Engenharia Mecânica pela universidade Santa Cecília (2018). Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade do Vale do Paraíba (2002), Pós-graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Santa Cecília (2010), Licenciatura em Física pela Universidade Metropolitana de Santos (2007) e Técnico de Instrumentação pelo Senai Santos (1989). Atualmente é professor da faculdade SENAI Santos no curso de tecnologia em Automação Industrial. Trabalhou em comissionamento e startup em sistemas de automação de indústrias químicas, petroquímicas, alimentícia, farmacêutica e área de utilidades.

ii ROBERTO BLANCO LORENZO



Mestre em Engenharia Mecânica pela universidade Santa Cecília (2018). Pós-graduado em Engenharia da Manutenção pela universidade Unip (2014) e graduação em Ciências da Computação pela universidade Santa Cecília (1995). Técnico em Instrumentação Industrial pela escola SENAI Santos (1984). Trabalhou em partida e suporte de sistemas de automação em indústrias químicas, petroquímicas, plataformas de petróleo, papel e celulose, vidro, siderúrgica, alimentícia, farmacêutica e nuclear dentre outras. Atualmente é professor da faculdade SENAI Santos no curso de tecnologia em Automação Industrial. Tem interesse nas áreas de controle de processos, sistemas digitais de controle e redes industriais.