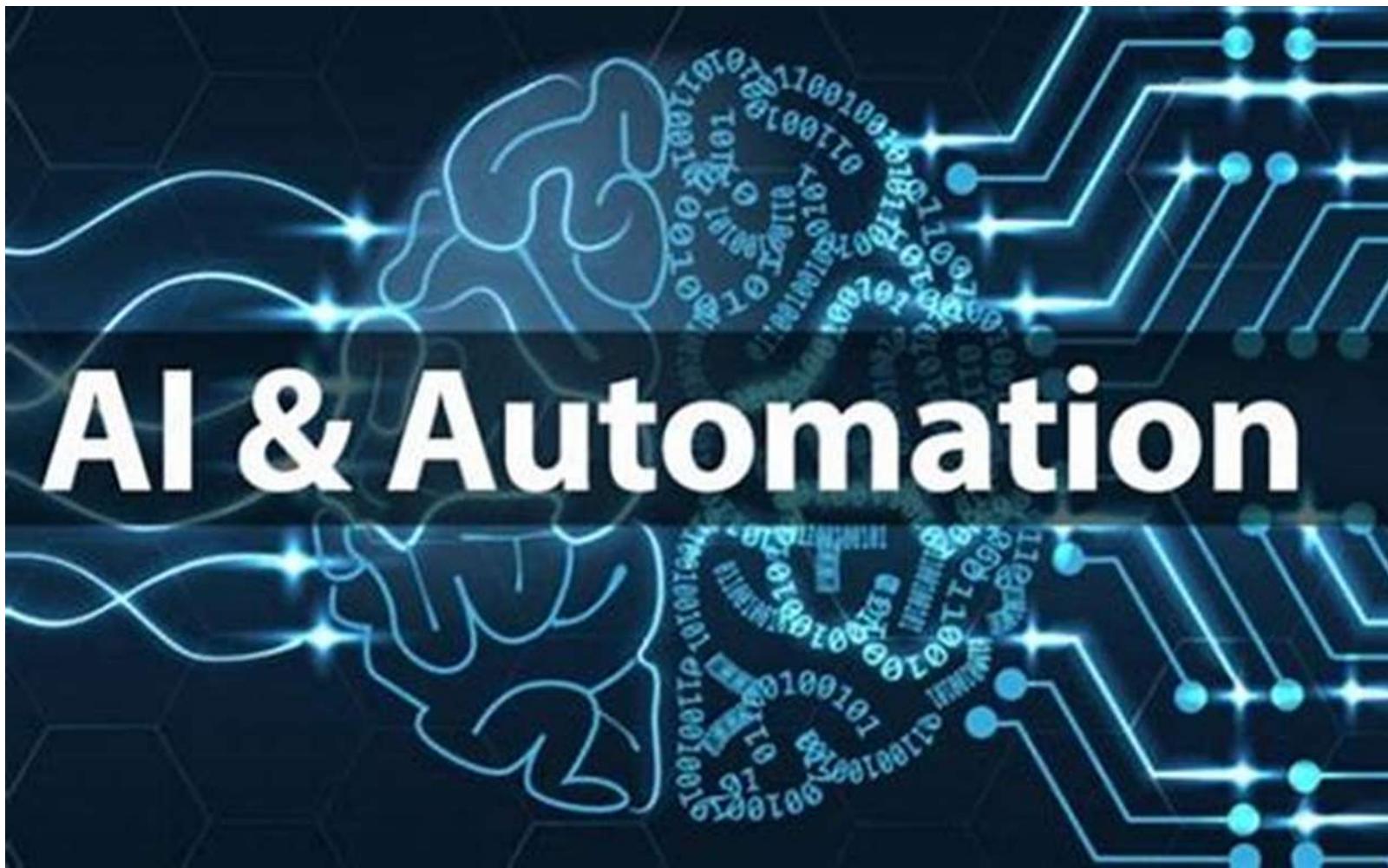




Inteligência Artificial Aplicada à Automação





Inteligência Artificial Aplicada à Automação

5. Sistema Especialista





Mini-curriculum do Professor

- Pós-doutorado em Ciências (Sistemas Eletrônicos) pela POLI/USP (2023)
- Doutor em Ciências (Sistemas Eletrônicos) pela POLI/USP (2021)
- Mestre em Engenharia Mecânica pela UNISANTA (2017).
- Tutoria EAD pela FGV (2004) e Docência Nível Superior pela FGV (2002).
- MBA Em Gestão Empresarial pela Fundação Getúlio Vargas RJ (2001), com extensão de MBA na Universidade da Califórnia – Campus Irvine (2001).
- Professor Licenciado para ensino de nível segundo grau pelo CEFET – Paraná (1995).
- Engenheiro Eletrônico pela UNISANTA (1991).
- Professor Titular EBTT (2022) da IFSP Cubatão desde 1992. Professor da UNISANTOS (2003 - 2015) e FORTEC (1990 - 1992).
- Pesquisador do EAII Lab e dos grupos de pesquisa Labmax e AutomSystem do IFSP.
- É colaborador e possui tutoriais publicados no Site Teleco (www.teleco.com.br), desde 2011.
- Obteve Certificações Cisco Business Transformation (2015), PMI (2012), Wireless CWNA, Cisco CCNA & CCNP de Router & Switches (2011).
- Inglês e Espanhol fluentes. Noções de Francês.
- Atuou profissionalmente em todo o Brasil, EUA, Inglaterra, França, Romênia, China e toda LATAM.
- Possui cursos de Fibras Óticas, Microcontroladores, Redes Wireless, Cisco (CCNA, QoS, VoIP), Gerenciamento de Projetos, entre outros.
- Atuou em empresas como Medidata, Cisco, Alcatel-Lucent (Nokia), MSI (hoje Mentum), Evadin , TV Tribuna (Afiliada Rede Globo), ocupando cargos Técnicos, de Consultoria e Gerencia.



Definições:

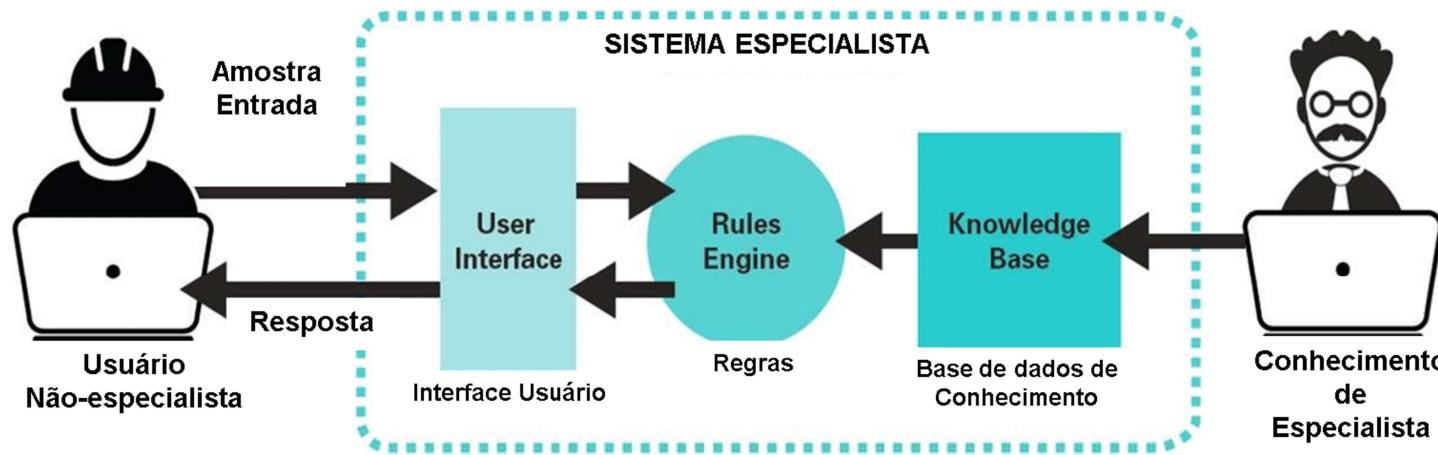
- **Sistema:** "Conjunto de elementos, materiais ou ideais, entre os quais se possa encontrar ou definir alguma relação"
- **Especialista:** "Pessoa que se consagra com particular interesse a certo estudo.
- **Sistema Especialista (*Expert System*):**
 - O SE emula a capacidade de **tomada de decisão** (*decision making system - DMS*) de um especialista humano.
 - São projetados para resolver problemas complexos através do **raciocínio** utilizando corpos de conhecimento, representados principalmente como **regras** se-então (*if-then*), em vez de através de código processual convencional.
 - São constituídos por uma série de regras que analisam informações sobre uma classe específica de problema.
 - Os primeiros sistemas especialistas foram criados na década de 1970 e depois proliferaram na década de 1980.
 - Os Ses estão entre as primeiras aplicações bem-sucedidas de software de IA.



Sistema Especialista

- Um SE é desenvolvido a partir da necessidade de se processar informações não numéricas, sendo capaz de apresentar conclusões sobre um determinado tema, desde que devidamente orientado e "alimentado".
- Um SE é baseado no conhecimento especialmente projetado para emular a especialização humana de algum domínio específico.
- Um SE possuirá uma base de conhecimento formada de fatos e regras sobre o domínio, tal como um especialista humano faria, e deve ser capaz de oferecer sugestões e conselhos aos usuários.

Arquitetura Geral de um Sistema Especialista



Resposta = Recomendação do Sistema Especialista

Problemas Solucionados por SE

- São do tipo que seria atendido por um especialista humano.
- Especialistas reais **devem fornecer regras** gerais indicando como analisariam o problema.
- A partir da análise de casos e dados de teste, analistas, com o auxílio do especialista, podem ainda derivar regras para o SE.

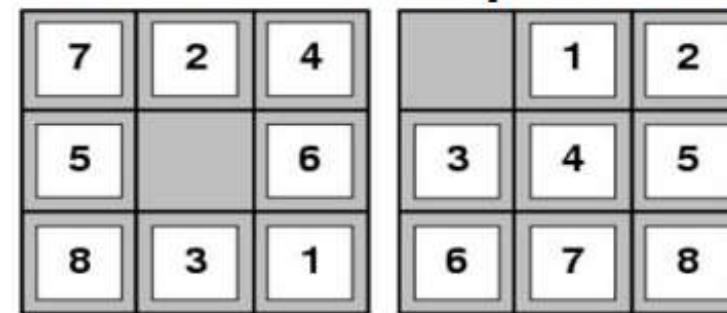
Classes de Problemas

O problema pode ser decomposto em um conjunto de subproblemas independentes, menores e mais fáceis?

- Decomponíveis;
- Não decomponíveis.

Certos passos em direção à solução podem ser ignorados ou pelo menos desfeitos caso fique provado que são imprudentes?

- **Ignoráveis:** as etapas para a solução podem ser ignoradas. Ex.: demonstração de teoremas;
- **Recuperáveis:** as etapas para a solução podem ser desfeitas. Ex.: quebra-cabeça de 8;
- **Irrecuperáveis:** as etapas para a solução não podem ser desfeitas. Ex.: xadrez.





Classes de Problemas

A recuperabilidade de um problema tem papel importante na determinação da complexidade da estrutura de controle necessária para a solução do problema.

- **Ignoráveis:** estrutura de controle simples que nunca retrocede;
- **Recuperáveis:** estrutura de controle ligeiramente mais complicada (utilizará o retrocesso com uma estrutura de pilha na qual as decisões de pilha na qual as decisões são gravadas se precisarem ser desfeitas mais tarde), que às vezes comete erros;
- **Irrecuperáveis:** sistema que depende muito esforço para tomar decisões (sistema de planejamento no qual toda uma sequencia de passos é analisada de antemão, para descobrir onde levará, antes do primeiro passo ser realmente tomado), já que são definitivas.



O universo do problema é previsível?

- Resultado certo: pode-se usar planejamento para gerar uma sequencia de operadores que certamente levará a uma solução.
 - Exemplo: quebra-cabeça de 8;
- Resultado incerto: podemos usar planejamento para, na melhor das hipóteses, gerar uma sequencia de operadores com boas chances de levar a uma solução.
 - Exemplo: bridge, truco, canastra.
 - Para solucionar problemas desse tipo é necessário permitir que um processo de revisão de planos ocorra durante a execução do plano e que seja fornecida a realimentação necessária.



Tipos de Solução?

Uma boa solução para o problema pode ser considerada óbvia sem haver comparação com todas as soluções possíveis?

- **Aceitam qualquer caminho:** podem ser solucionados em tempo razoável através do uso de heurísticas que sugerem bons caminhos a serem explorados.
- **Só aceitam o melhor caminho:** não existe a possibilidade de usarmos qualquer heurística que possa prever a melhor solução, portanto, será realizada uma busca mais exaustiva.
 - Exemplo: problema do Caixeiro Viajante.



Tipos de Solução?

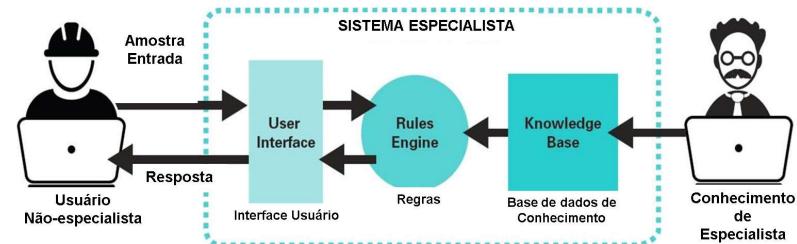
A solução desejada é um estado do mundo ou um caminho pra um estado?

- A solução é um estado do mundo.
 - Exemplo: a compreensão da linguagem natural.
- A solução é um caminho para um estado.
 - Exemplo: o problema das jarras d'água.

Há necessidade absoluta de grande quantidade de conhecimento para resolver o problema, ou o conhecimento é importante apenas para limitar a busca?

- Muito conhecimento é importante apenas para restringir a busca. Ex.: xadrez.
- Muito conhecimento é necessário até mesmo para que se possa reconhecer uma solução.
 - Ex.: folhar jornais diários para decidir qual deles apoia o governo e qual apoia a oposição nas próximas eleições.

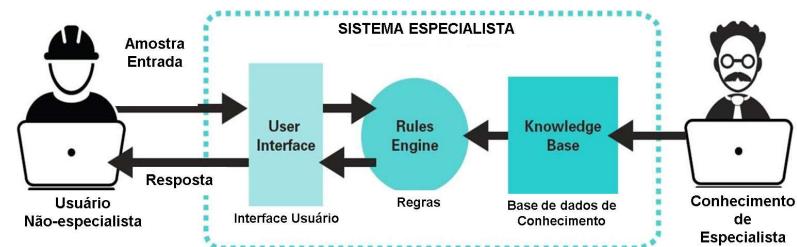
Sistema Especialista



Motor de Inferência?

- Elemento essencial para a existência de um sistema especialista.
- É o núcleo do sistema.
- É por intermédio dele que os fatos e regras e heurística que compõem a base de conhecimento são aplicados no processo de resolução do problema.
- A capacidade do motor de inferência é baseada em uma combinação de procedimentos de raciocínios que se processam de forma **regressiva** e **progressiva**.

Sistema Especialista

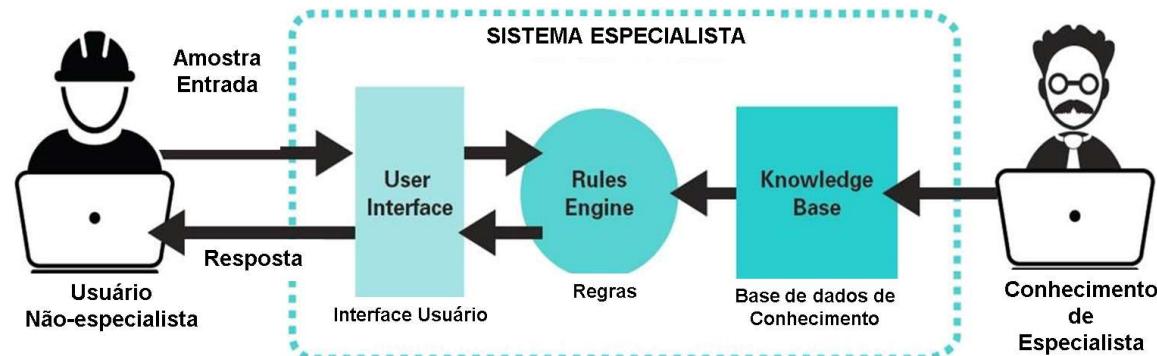


Base de Conhecimento?

- Consiste da integração de sub-bases de conhecimento constituídas pelas regras que refletem o conhecimento, as necessidades de informações, etc.
- Exemplo:
 - uma empresa tem as bases de conhecimento de publicidade, setor de pessoal, setor de vendas, contabilidade, etc.
 - De cada área específica da organização pode ser extraída uma sub-base de conhecimento, que, integradas, compõem a base de regras dos especialistas da empresa.

Passos para o desenvolvimento de um SE?

1. Seleção do Problema. O primeiro passo é selecionar o "problema".
2. Aquisição de Conhecimento.
3. Representação do Conhecimento.
4. Codificação de Conhecimento.
5. Teste de conhecimento e avaliação.
6. Implementação e Manutenção.





Vantagens de um SE:

- Um SE é capaz de estender as facilidades de tomada de decisão para muitas pessoas.
- Um SE pode melhorar a produtividade e desempenho dos usuários, pois o provê com um vasto conhecimento, permitindo utilizá-lo em suas tomadas de decisão;
- Ses reduzem o grau de dependência em relação ao especialista humano.
- Ses são ferramentas adequadas para serem utilizadas em treinamentos de grupos de pessoas, de forma rápida e agradável, além de prestar suporte imediato para os treinamentos durante a utilização dos conhecimentos na realização de suas tarefas diárias.

Exemplo de Sistema Especialista:

<https://www.youtube.com/watch?v=qGiQed6Cwqs>

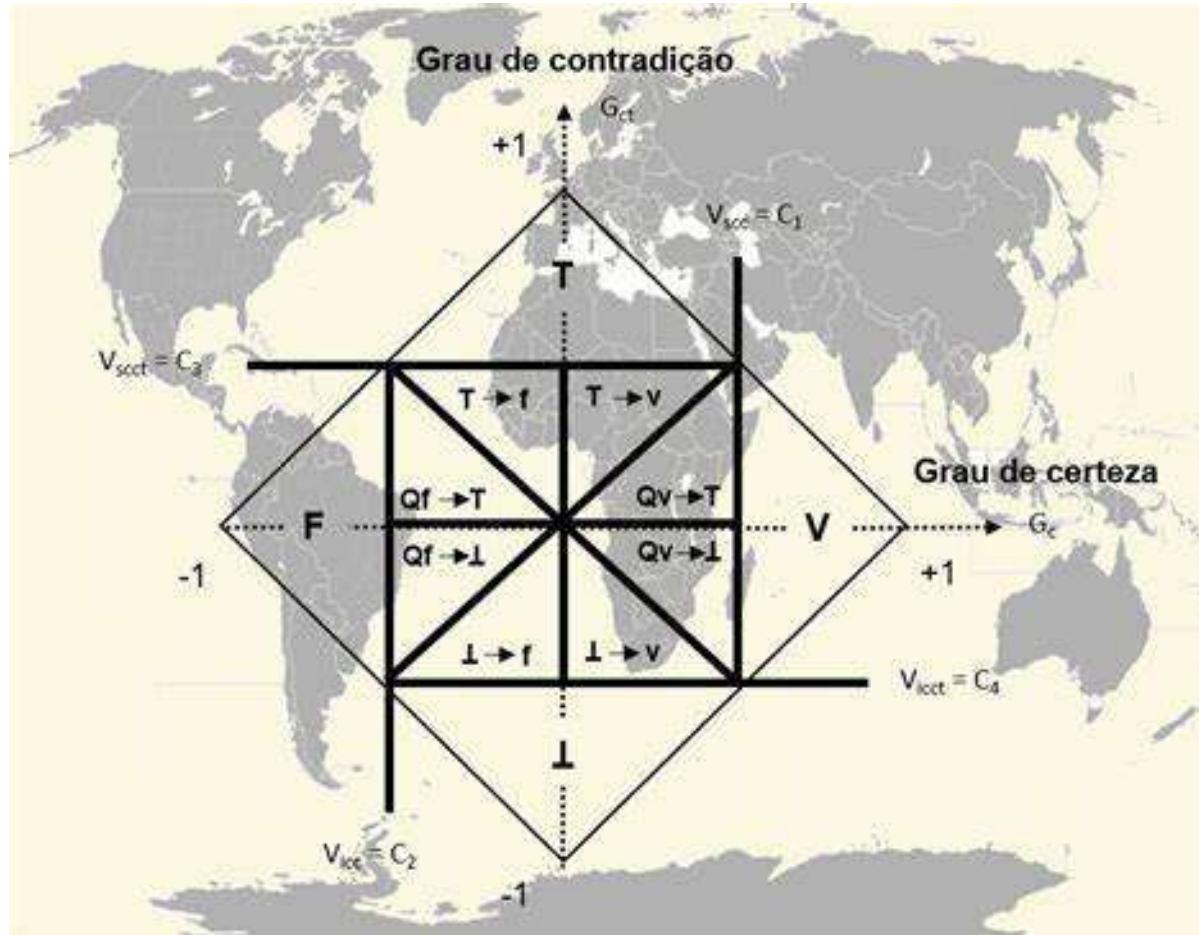


Referências

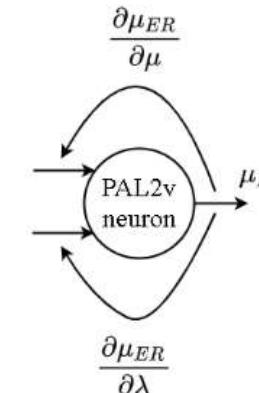
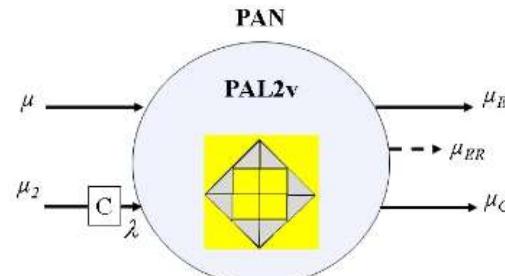
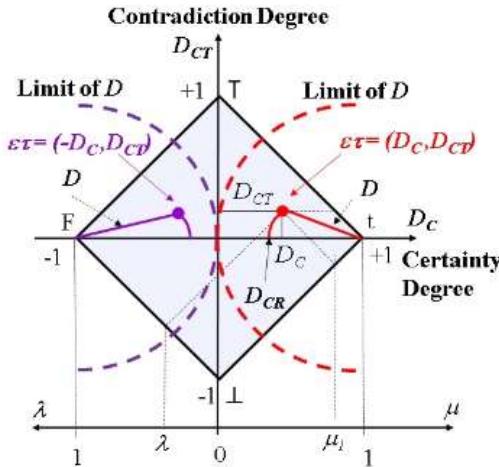
- KERSCHBAUMER, R. Sistemas Especialistas. Instituto Federal Catarinense – Campus Luzerna (IFC). Disponível em: <https://professor.luzerna.ifc.edu.br/ricardo-kerschbaumer/wp-content/uploads/sites/43/2018/02/3-Sistemas-Especialistas.pdf>. Acessado em Maio 9, 2024.
- LUCAS, P. J . F., VAN DER GAAG, L. Principles of Expert Systems. Centre for Mathematics and Computer Science, Amsterdam, Addison-Wesley, 1991. Disponível em: <https://cs.ru.nl/~peterl/proe.pdf>. Acessado em Maio 9, 2024.
- SAIBENE, Aurora; ASSALE, Michela; GILTRI, Marta. Expert systems: Definitions, advantages and issues in medical field applications. *Expert Systems with Applications*, v. 177, p. 114900, 2021.
- DE BARCELOS SILVA, Allan et al. Intelligent personal assistants: A systematic literature review. *Expert Systems with Applications*, v. 147, p. 113193, 2020.

Inteligência Artificial Aplicada à Automação

6.1 Lógica Paraconsistente



<https://sites.google.com/view/prof-arnaldo/key-points-pal2v>



1. **Para-analyzer:** Direct application of PAL2v, division of the lattice into small regions or logical states, used for decision making in expert systems;
2. **ParaExtractor:** Paraconsistent Extractor of Contradictions between multiple measurements of the same magnitude.
3. **Average Extractor:** learning cell network used to extract a moving average from a database.
4. **Paraconsistent Analysis Network (PANnet):** interconnection of several paraconsistent analysis nodes (PAN) and paraconsistent neural cells (PANC) for analysis, data processing, comparison and classification of patterns.
5. **PAL2v filter:** Network of learning cells (PANCL) or PANCL_{CTX}) forming a low-pass (LPF) or high-pass (HPF) filter. The number of cascading cells determines the order of the filter.
6. **Paraconsistent Neural Networks: (PNN):** Paraconsistent analysis node (PAN) as a trainable neuron in a paraconsistent artificial neural network, with weights and bias at the synapses similar to that of classical artificial neural networks (ANNs). In the literature there are registered applications of feed-forward PNN and RPNN (recurrent paraconsistent neural network) for temporal sequences.



PAL2v

1. Introdução

Princípios da Lógica Clássica

1. **Princípio da Identidade:** toda proposição ou objeto é idêntico a si mesmo.
2. **Princípio da Identidade Proposicional:** Toda proposição implica nela mesma.
3. **Princípio do Terceiro Excluído:** De duas proposições contraditórias, isto é, uma nega a outra, uma delas é Verdadeira.
4. **Princípio da Não-contradição:** Entre duas proposições contraditórias, uma delas é Falsa.

Assim sendo, a lógica clássica é binária: uma declaração é falsa ou verdadeira, não admitindo ser ao mesmo tempo parcialmente verdadeira e parcialmente falsa [1].



Existem muitos tipos de lógica não clássica, que incluem:

- a. **Lógica da computabilidade:** formal da computabilidade construída semanticamente - em oposição à lógica clássica, que é uma teoria formal da verdade - que integra e estende a lógica clássica, linear e intuicionista;
- b. **Semântica dinâmica:** que interpreta fórmulas como funções de atualização, abrindo a porta para uma variedade de comportamentos não clássicos;
- c. **Lógica de muitos valores:** que rejeita a bivalência, permitindo valores de verdade diferentes de verdadeiro e falso. As formas mais populares são a lógica de três valores, desenvolvida inicialmente por Jan Łukasiewicz, e a lógica de valores infinitos, como a **Lógica Fuzzy**, que permite qualquer número real entre 0 e 1 como valor verdade;
- d. **Lógica intuicionista:** que rejeita a lei do terceiro excluído, a eliminação da dupla negação e parte das leis de De Morgan;
- e. **Lógica linear:** que também rejeita a idempotência de implicação;
- f. **Lógica paraconsistente:** (por exemplo, lógica da relevância) rejeita o princípio da explosão e tem uma estreita relação com o dialeteísmo;
- g. **Lógica quântica;**
- h. **Lógica da relevância, lógica linear e lógica não monotônica:** que rejeitam a monotonicidade da implicação;
- i. **Lógica não reflexiva (ou "lógica de Schrödinger"):** que rejeita ou restringe a lei da identidade.



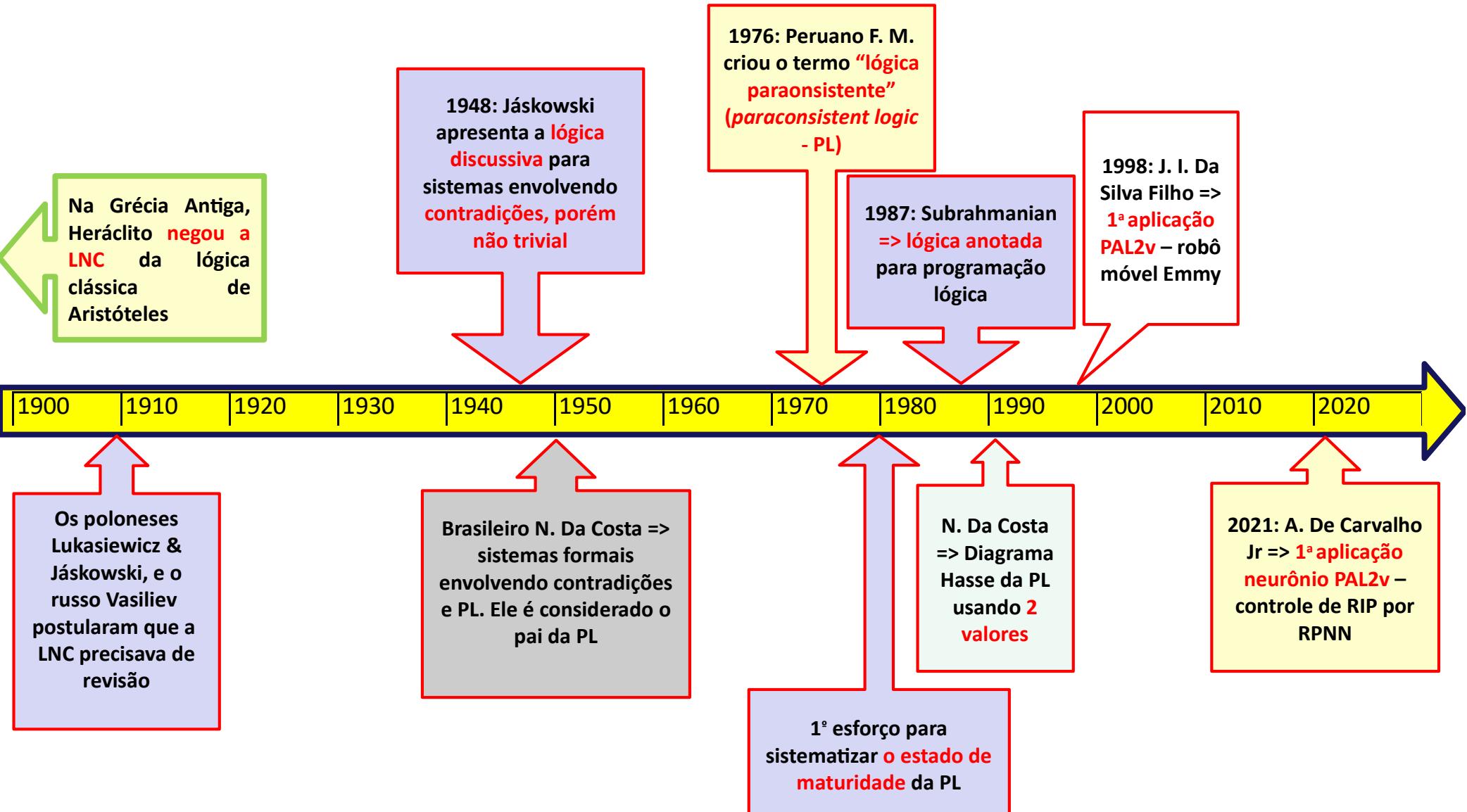
Porque Lógica Paraconsistente?

- A lógica clássica dita que duas afirmações contraditórias não podem ser simultaneamente verdadeiras ou falsas (Lei da Não Contradição – LNC) [1];
- Em diversas áreas do conhecimento humano, existem situações em que uma proposição pode entrar em conflito consigo mesma ou com um fato [1];
- Quando diferentes campos da ciência evoluem e se tornam complexos, geralmente aparecem contradições [2];
 - Ex.: sistemas físicos complexos (Teoria da Relatividade e Mecânica Quântica).
- A Lógica Paraconsistente (PL) pode auxiliar os pesquisadores a lidarem com esses paradoxos sem introduzir restrições aos postulados da teoria dos conjuntos [1].



1. INTRODUÇÃO

Marcos da evolução da PAL2v

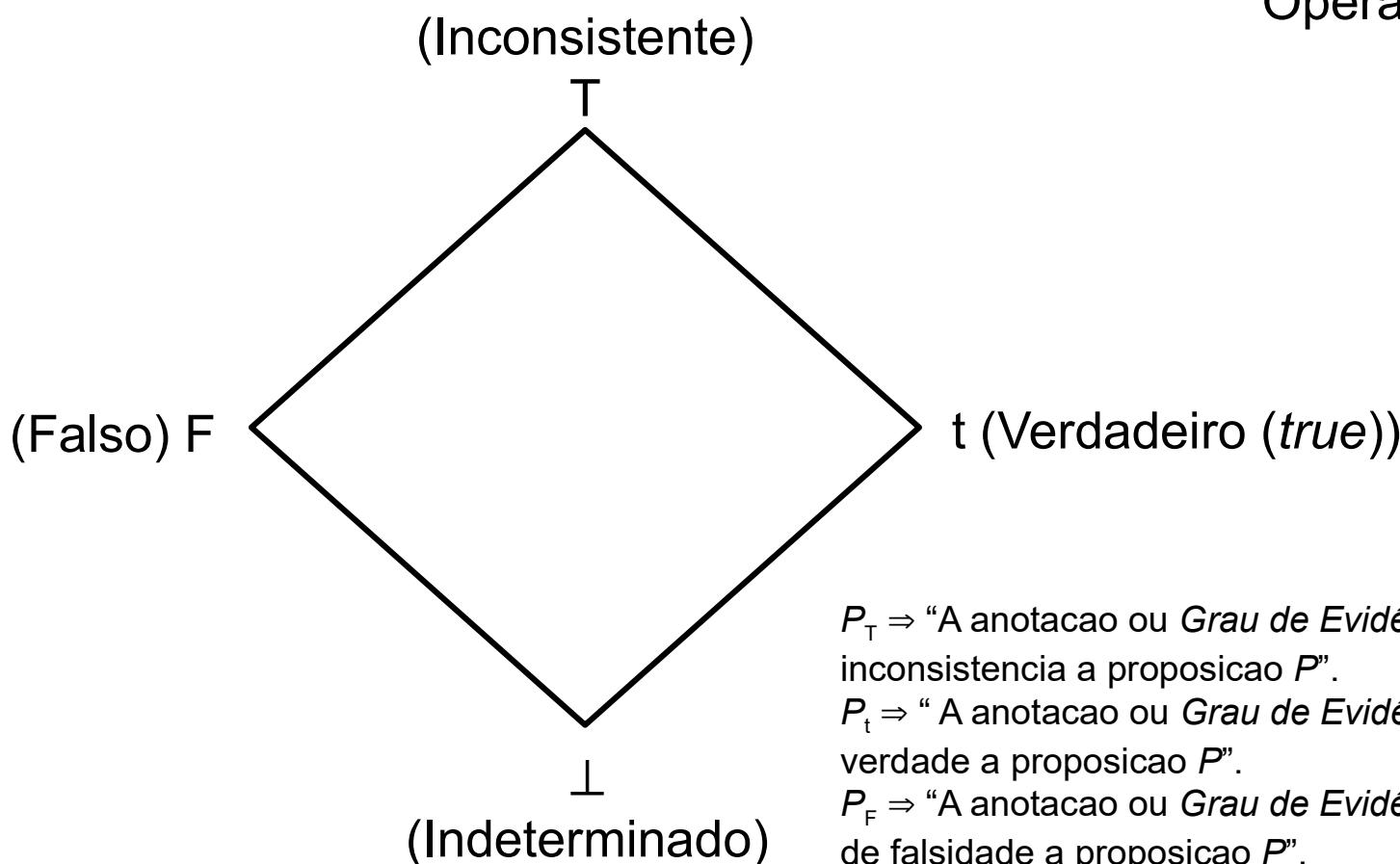




Lógica Paraconsistente Anotada (PAL)

- a. É uma **Lógica não clássica** pertencente a família da PL.
- b. Denotada em um **reticulado finito de Hasse de 4 vértices** (reticulado de valores-verdade).
- c. Representa **estados lógicos extremos** atribuídos a uma proposição (P).
- d. Proposição P é acompanhada com anotação, composta de **graus de evidência (μ)** e pertencente a um **reticulado finito τ** .
- e. A anotação agrupa uma conotação lógica a proposição sob análise [1].
- f. O **grau de evidencia**, constante anotacional do reticulado, está **contido** no conjunto de valores composto pelas constantes anotacionais do reticulado $\{T, V, F, \perp\}$.
- g. Conotações P_V , P_F , P_T e P_{\perp}

Lógica Paraconsistente Anotada (PAL)

Operador lógico $\tau = \{V, F, T, \perp\}$

$$: |\tau| \rightarrow |\tau|$$

$$\sim T = T$$

$$\sim t = F$$

$$\sim F = t$$

$$\sim \perp = \perp$$

$P_T \Rightarrow$ “A anotação ou *Grau de Evidência* T , atribui uma conotação de inconsistência a proposição P ”.

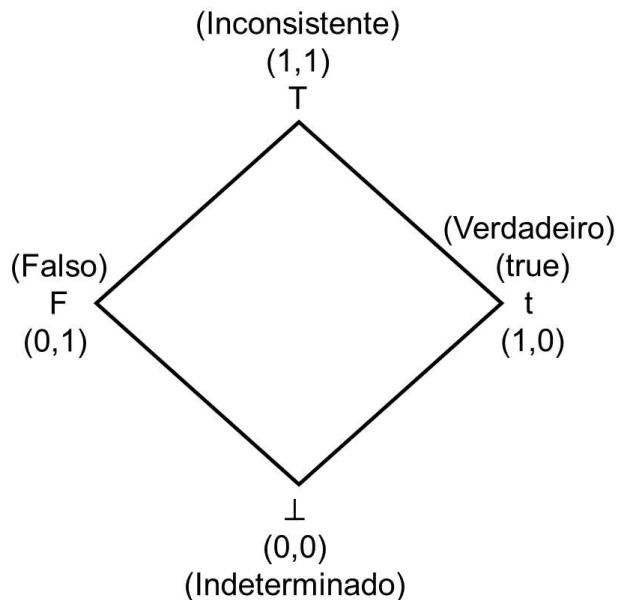
$P_t \Rightarrow$ “A anotação ou *Grau de Evidência* t , atribui uma conotação de verdade a proposição P ”.

$P_F \Rightarrow$ “A anotação ou *Grau de Evidência* F , atribui uma conotação de falsidade a proposição P ”.

$P_{\perp} \Rightarrow$ “A anotação ou *Grau de Evidência* \perp , atribui uma conotação de indeterminação a proposição P ”.

PAL com Anotação de 2 valores (PAL2v), ou Evidencial (PALε)

Reticulado representativo da PAL2v



$$P_{(1,1)} = T = \text{Inconsistente}$$

$$P_{(1,0)} = t = \text{Verdadeiro (true)}$$

$$P_{(0,1)} = F = \text{Falso}$$

$$P_{(0,0)} = \perp = \text{Indeterminado ou paracompleto}$$

- a. PAL2v: usa um reticulado no plano real formado por 2 valores simbólicos (μ, λ) .

$$\tau = \{(\mu, \lambda) \mid \mu, \lambda \in [0, 1] \subset \mathbb{R}\}$$

- b. Através do QUPC pode-se chegar a:

$$T(X, Y) = (x - y, x + y - 1)$$

$$x = \mu; y = \lambda$$

$$G_C = \mu - \lambda$$

$$G_{CT} = \mu + \lambda - 1$$



Exemplo 1:

- Considere a proposição P : “Amanhã o tempo estará chuvoso”, com informações originadas de 2 institutos de meteorologia.
- Faça o primeiro ser a evidência favorável e o segundo a evidência desfavorável.
 - a. Primeiro Dia = $(0.9;0.3)$
 - b. Segundo Dia = $(0.3;1.0)$
 - c. Terceiro Dia = $(0.7;0.8)$

Resposta:

- d. $P_{(0.9;0.3)}$: Crê-se que amanhã o tempo estará chuvoso com evidência favorável de até **90%** e desfavorável de **30%**;
- e. $P_{(0.3;1.0)}$: Crê-se que amanhã o tempo estará chuvoso com evidência favorável de até **30%** e desfavorável de **100%**;

Nota-se uma certa contradição em relação ao dia anterior.

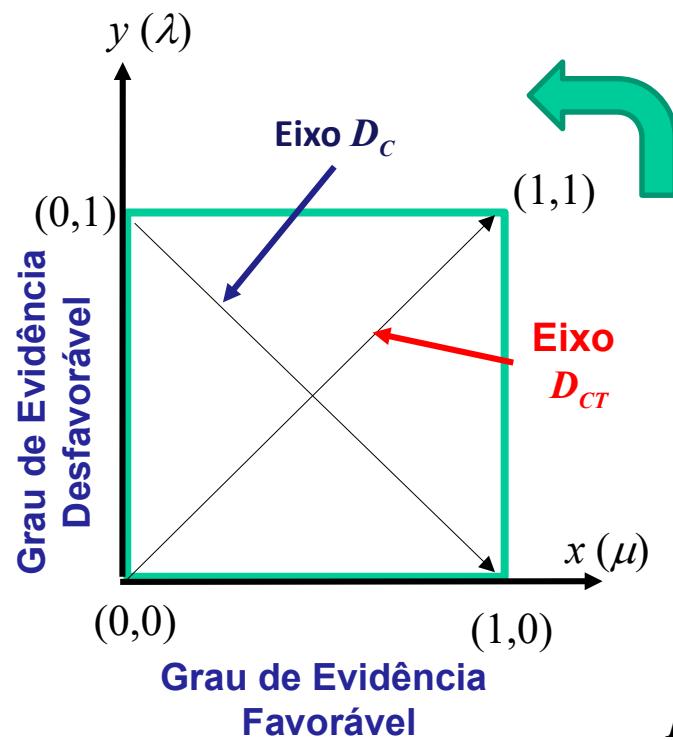
- c. $P_{(0.7;0.8)}$: Crê-se que amanhã o tempo estará chuvoso com evidência favorável de até **70%** e desfavorável de **80%**.

Nota-se uma contradição maior e diferente em relação aos dois dias anteriores.

1. INTRODUÇÃO

Descrição da Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial (PAL $E\tau$ ou PAL2v)

Transformação QUPC [8]



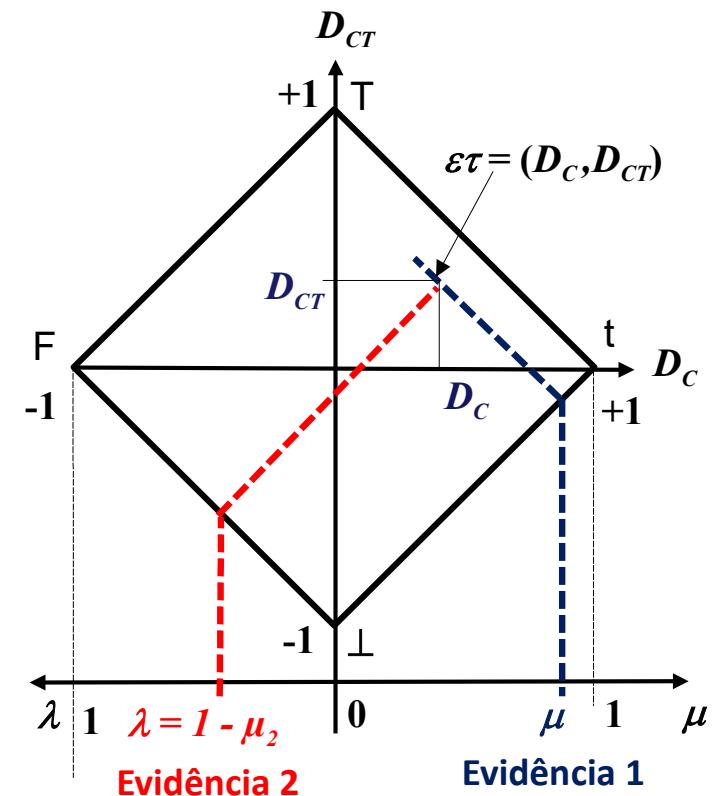
$$D_C = \mu - \lambda$$

$$D_{CT} = \mu + \lambda - 1$$

Transformações Paraconsistentes

D_C = Grau de Certeza
 D_{CT} = Grau de Contradição

Diagrama de Hasse da PAL2v com valores [14]



Exemplo 2, utilizando PAL2v:

- Considere a proposição P : “Amanhã o tempo estará chuvoso”, com informações originadas de 2 institutos de meteorologia.
- Faça o primeiro ser a evidência favorável e o segundo a evidência desfavorável.
 - a. Primeiro Dia = (0.9;0.3)
 - b. Segundo Dia = (0.3;1.0)
 - c. Terceiro Dia = (0.7;0.8)

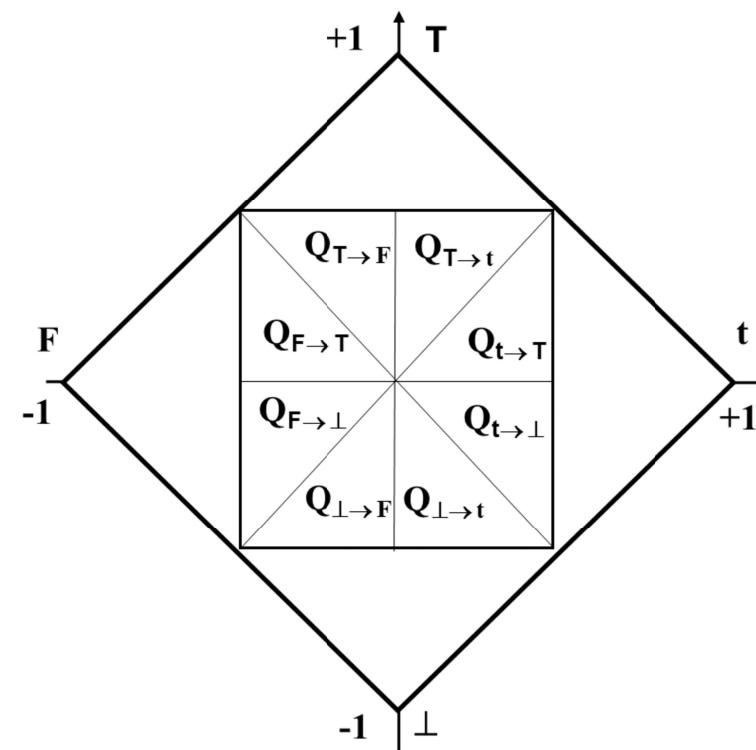
Resposta:

- a. (0.6,0.2)
- b. (-0.7,0.3)
- c. (-0.1,0.5)

Algoritmo Para-analisador (*Para-analyzer*)

- Pode-se dividir o diagrama PAL2v em diversas regiões
- A primeira aplicação prática do PAL2v dividiu o diagrama em 12 regiões [1],[11]

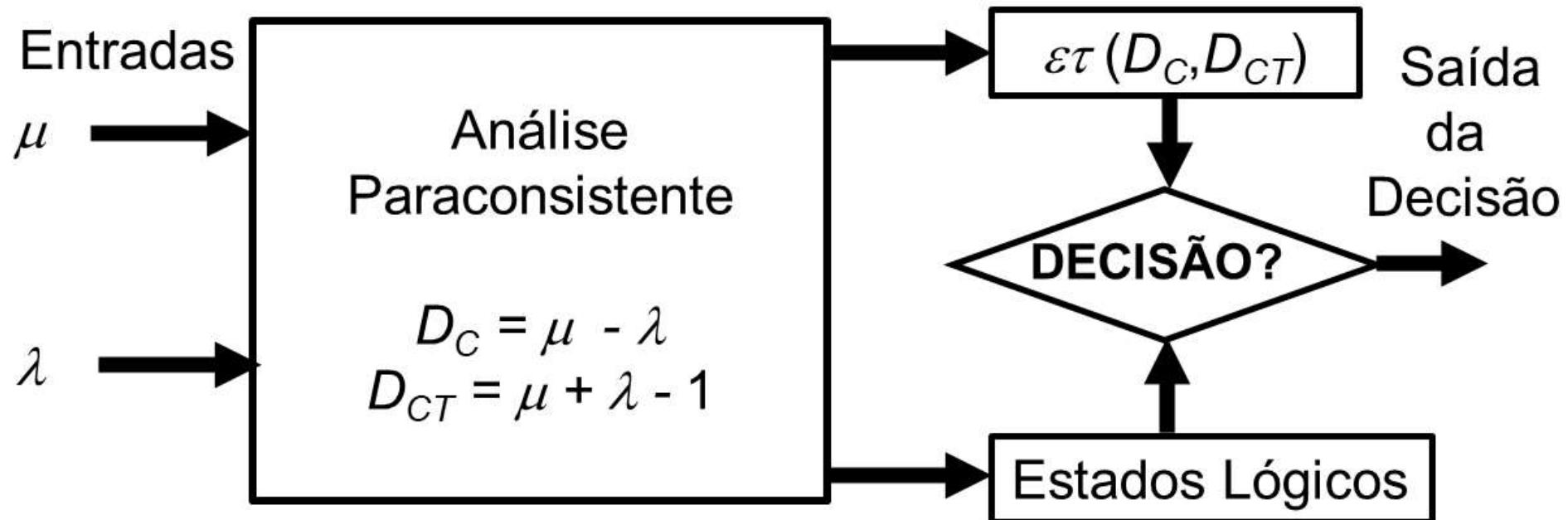
D_{CT}



- $F \mapsto$ Falso;
- $t \mapsto$ Verdadeiro (True);
- $T \mapsto$ Inconsistente;
- $\perp \mapsto$ Indeterminado ou Paracompleto;
- $Q_{(t \rightarrow T)} \mapsto$ Quase-verdadeiro, tendendo a inconsistente;
- $Q_{(t \rightarrow \perp)} \mapsto$ Quase-verdadeiro, tendendo ao indeterminado;
- $Q_{(F \rightarrow T)} \mapsto$ Quase-falso, tendendo a inconsistente;
- $Q_{(F \rightarrow \perp)} \mapsto$ Quase-falso, tendendo a indeterminado;
- $Q_{(T \rightarrow t)} \mapsto$ Quase-inconsistente, tendendo a verdadeiro;
- $Q_{(T \rightarrow F)} \mapsto$ Quase-inconsistente, tendendo a falso;
- $Q_{(\perp \rightarrow t)} \mapsto$ Quase-indeterminado, tendendo a verdadeiro;
- $Q_{(\perp \rightarrow F)} \mapsto$ Quase-indeterminado, tendendo a falso.

Algoritmo Para-analisador (*Para-analyzer*)

- Pode ser usado para auxiliar a tomada de decisões [14]

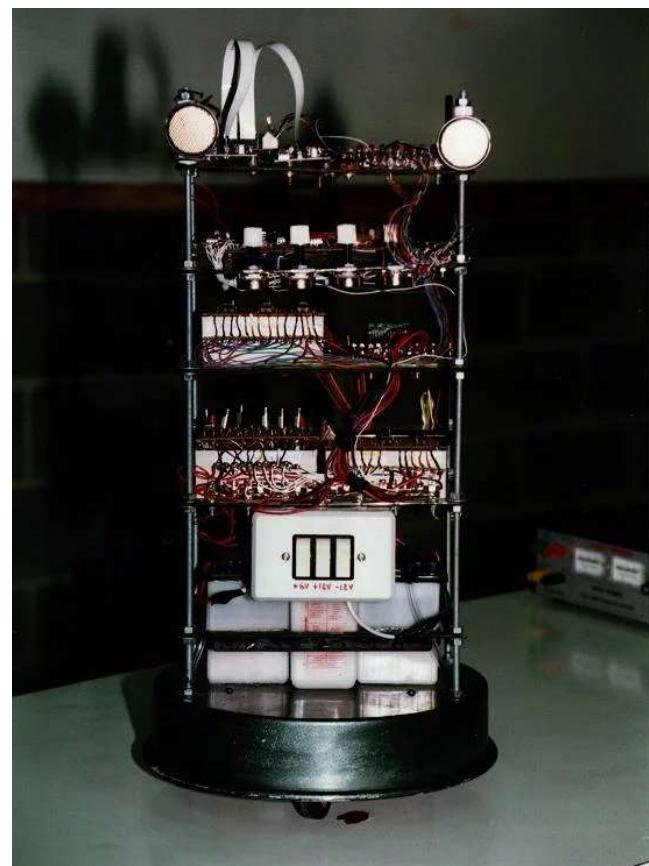


1. INTRODUÇÃO

1ª Aplicação Prática PAL2v

Robô Emmy (1999)

- 2 sensors de ultrassom para detector obstáculos à frente;
- PAL2v na tomada de decisão do controle de 2 motores DC do robô [1],[11].

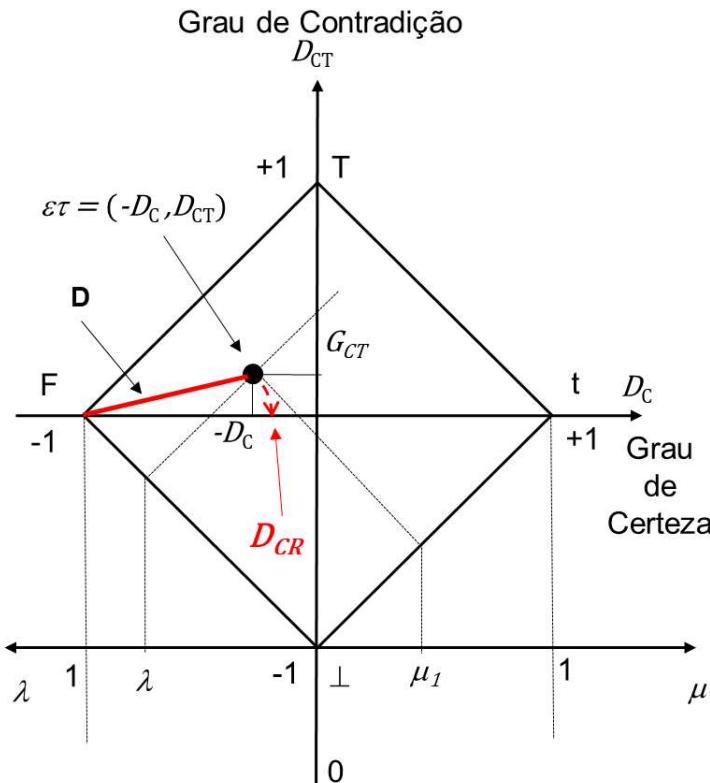


<https://repositorio.usp.br/item/001040023>

<https://www.youtube.com/watch?v=Ziz36O1KIYs>

Extraindo a Contradição da PAL2v

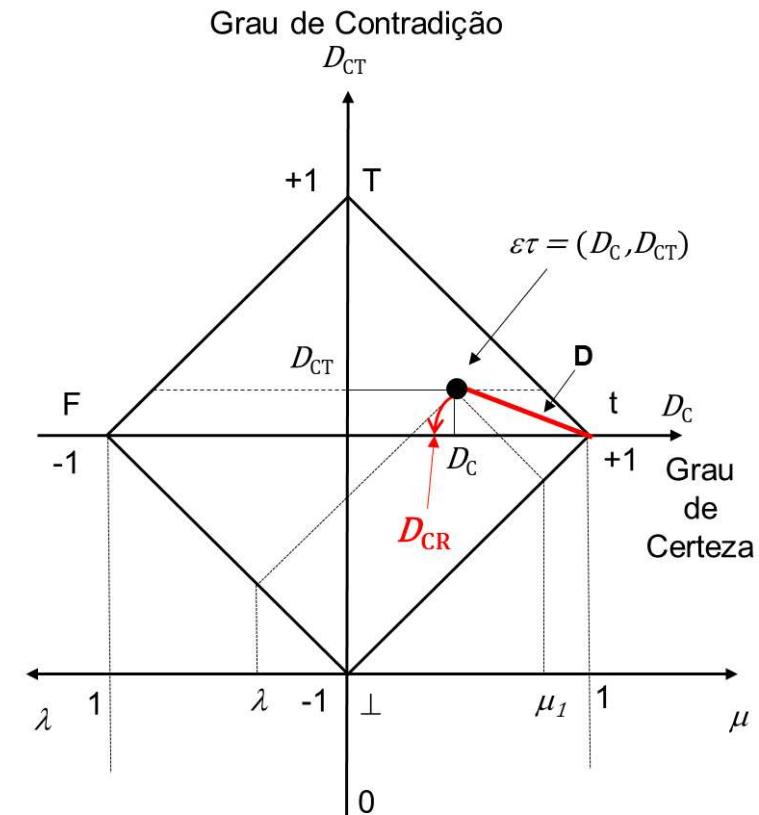
Grau de Certeza Real (D_{CR}) representa o G_C livre dos efeitos da contradição e inconsistências das informações [1].



$$D = \sqrt{\left((1 - |G_C|)^2 + G_{CT}^2 \right)}$$

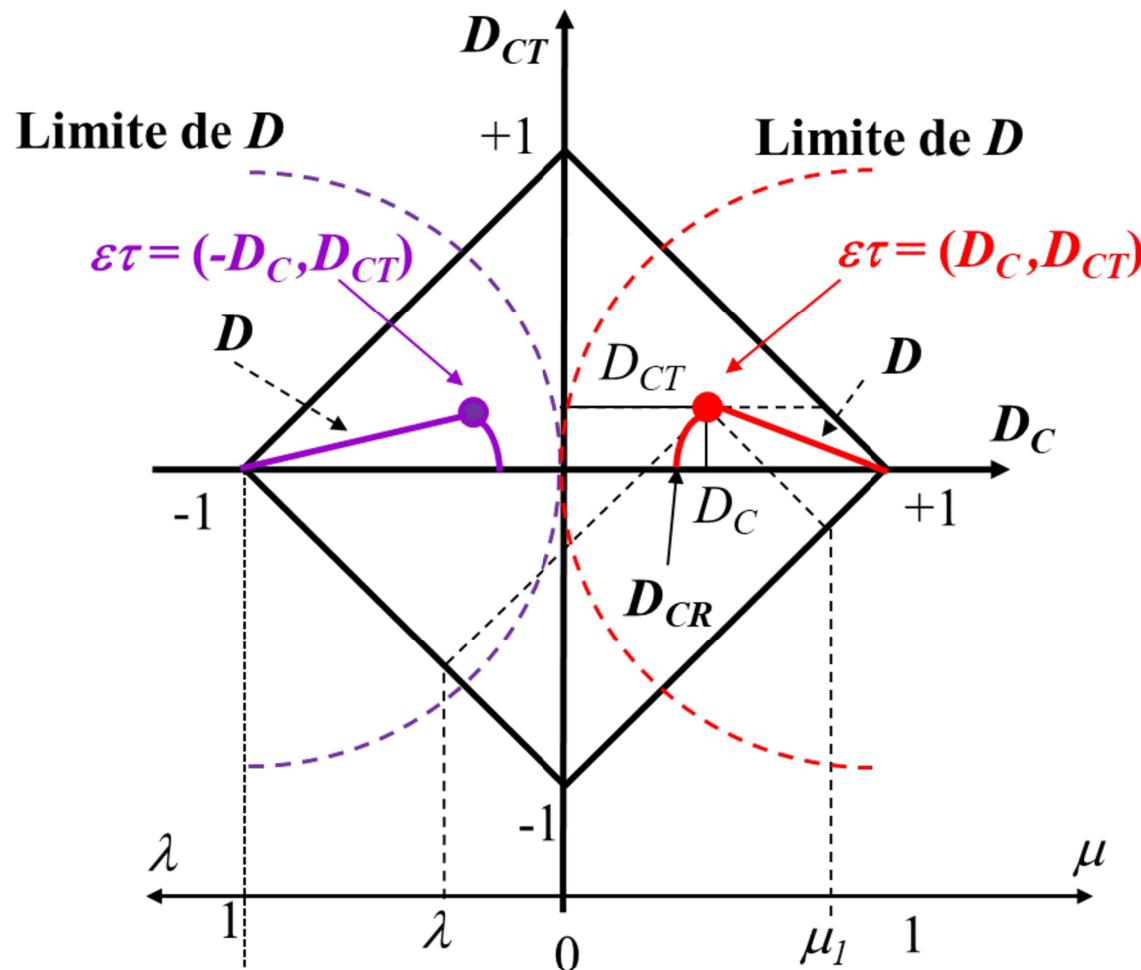
$$\begin{cases} D \geq 1 \rightarrow D = 1 \\ D < 1 \rightarrow D = D \end{cases}$$

$$\begin{cases} D_C > 0 \rightarrow D_{CR} = 1 - D \\ D_C < 0 \rightarrow D_{CR} = D - 1 \\ D_C = 0 \rightarrow D_{CR} = 0 \end{cases}$$



Extraindo a Contradição da PAL2v

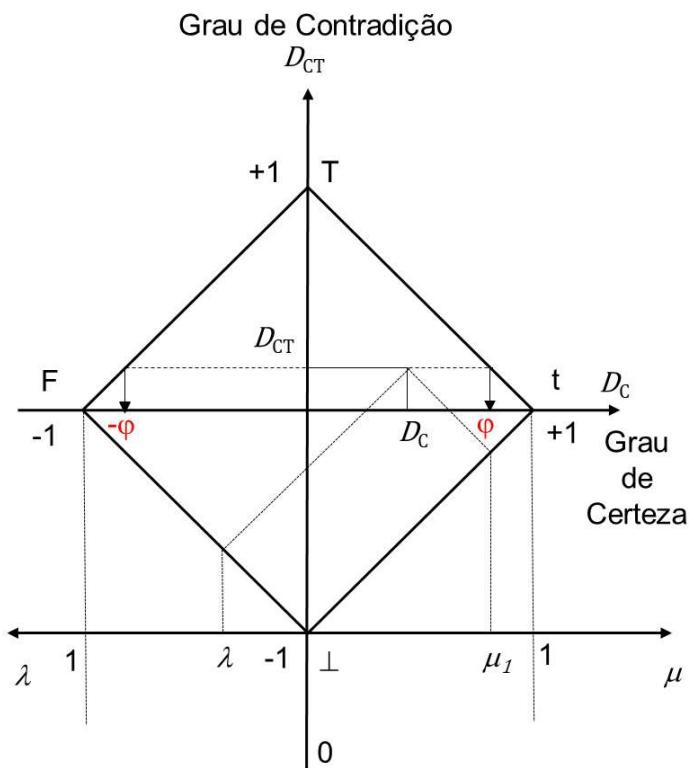
Limites do segmento de reta D



1. INTRODUÇÃO

Intervalo de Certeza (φ) do PAL2v

Indica o quanto é possível a introdução de novas evidências capazes de variar a certeza em relação à proposição, frente ao nível de inconsistência entre os sinais que se apresentam nas entradas [1],[10].



Grau de Certeza Máximo Verdadeiro é o valor máximo que tende à condição extrema do vértice V

$$D_{C_{maxV}} = +\varphi$$

Grau de Certeza Máximo Falso é o valor máximo que tende à condição extrema do vértice F

$$D_{C_{maxF}} = -\varphi$$

$$\varphi = 1 - |D_{CT}|$$

Grau de Certeza resultante

$$D_{Cr} = \begin{bmatrix} D_C \\ \varphi_{\pm} \end{bmatrix}$$

Exemplo 3:

Considere que um sistema de análise PAL2v esteja recebendo 2 informações:

Calcular D_C , D_{CT} , D_{Cr} e D_{CR} .

O Intervalo de Certeza pode ser utilizado como fator de correção em algoritmos PAL2v, como no ajuste dinâmico do Filtro PAL2v em [10] e [17].

1. INTRODUÇÃO

Exercício 1:

a. Acesse o script em Matlab disponível no link:

<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/155422-pal2v-para-analyzer>

b. Analise o script.

c. Execute o script para os seguintes valores e analise os resultados:

μ	λ	CCL	CCTL
0.9	0.2	0.5	0.5
0.1	0.9	0.5	0.5
0.6	0.4	0.5	0.5
0.6	0.7	0.5	0.5
0.3	0.4	0.5	0.5
0.4	0.8	0.4	0.6
0.8	0.4	0.6	0.4



Exercício 2:

Suponha que o índice de massa corpórea (IMC) de homens seja conforme a tabela a seguir:

HOMEM	IMC (kg/m ²)
Abaixo do peso	<20
Normal	De 20 a 24,9
Obesidade Leve	De 25 a 29,9
Obesidade Moderada	De 30 a 39,0
Obesidade Grave	>40

Considere que um paciente primeiramente mediu o seu IMC e obteve 36,7 kg/m². Depois, por diferentes métodos, o mesmo paciente obteve o valor de 33,9 kg/m².

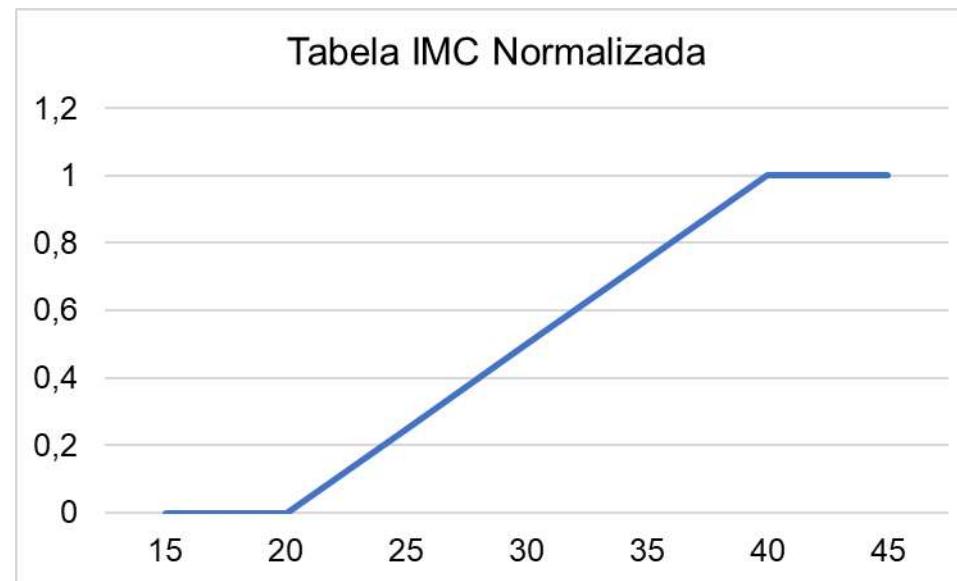
Utilizando o algoritmo PAL2v, qual a resposta para a proposição: “O paciente tem obesidade grave”

Exercício 2 (Solução)[1]:

a. Normalize os dados de entrada:

HOMEM	IMC (kg/m ²)
Abaixo do peso	<20
Normal	De 20 a 24,9
Obesidade Leve	De 25 a 29,9
Obesidade Moderada	De 30 a 39,0
Obesidade Grave	>40

$$x_{norm} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$



b. Faça a medição 1 ser μ e o complemento da medição 2 ser λ :

$$\mu = 0.835 ; \lambda = 0.305$$

c. Execute o algoritmo PAL2v para encontrar μ_{ER} e φ_E :

d. Desnormalize μ_{ER} para responder à proposição P .



a. A lógica paraconsistente (PL):

- I. **Revoga o princípio não-contradição**, trata inconsistências [3],[4], sem risco de trivialização [1];
- II. Análise de **proposição com informações inconsistentes** de modo controlado e discriminador.
- III. Aplicada em processamento de sinais e sistemas especialistas [3],[5],[6].

b. PAL E_τ , ou PAL2v, extensão da PL - anotação de valores representadas em reticulado finito.

- IV. Pertencente à família da PL;
- V. Utiliza 2 sinais de entrada independentes e ortogonais entre si;
- VI. **Manipula sinais contraditórios**, com ação **mais rápida e confiável** para a decisão, onde informações para modelagem e controle são vagas, ambíguas ou inconsistentes [7].
- VII. Expressões matemáticas simples, robustas e reversíveis.

2. N茫o de An谩ise Paraconsistente (PAN)

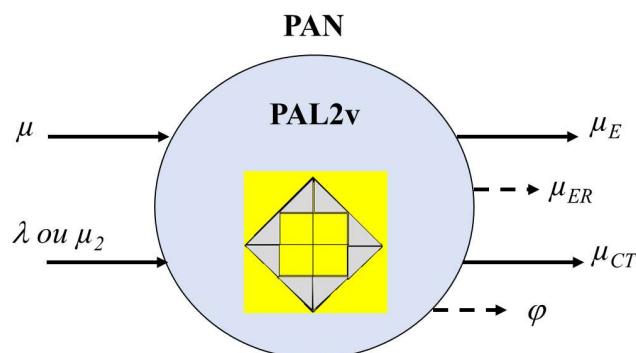


Nó de Análise Paraconsistente (*paraconsistent analysis node – PAN*):

- I. Bloco de programação PAL2v, com características similares ao neurônio humano [3],[8];
- II. Permite a **construção e interligação de modelos**, capazes de manipular contradições e ambiguidades [1],[8],[9],[10],[11];
- III. Existem diferentes blocos funcionais PAL2v, chamados célula neural artificial paraconsistente (*paraconsistent artificial neural cell – PANC*) que, quando combinados, formam as redes neurais artificiais paraconsistentes ou, mais corretamente, as redes de análise paraconsistente (*parconsistent analysis network – PANnet*)
- IV. Permite a construção de redes neurais paraconsistentes (*paraconsistent neural network – PNN*), capazes de “aprender”, identificar e aproximar funções, classificar padrões e tratar séries temporais, como em controle de sistemas [12],[13].

Nó de Análise Paraconsistente (PAN)

- As equações e considerações da PAL2v podem ser escritas na forma de um algoritmo [11],[14].
- As saídas da PAL2v podem ser formatadas entre [0,1] para manter o mesmo padrão das entradas [12].



$$\mu_E = \frac{D_C + 1}{2}$$

$$\mu_{CT} = \frac{D_{CT} + 1}{2}$$

$$\mu_{ER} = \frac{D_{CR} + 1}{2}$$

$$\varphi_E = 1 - |2\mu_{CT} - 1|$$

Entre com os valores de Entrada.

μ */ Grau de Evidência favorável $0 \leq \mu \leq 1$

λ */ Grau de Evidência desfavorável $0 \leq \lambda \leq 1$

Calcule o Grau de Contradição Normalizado.

$$\mu_{CTR} = \frac{G_{CT} + 1}{2} = \frac{\mu + \lambda}{2}$$

Calcule o Intervalo de Evidência Resultante

$$\varphi_E = 1 - |2\mu_{CTR} - 1|$$

Calcule o Grau de Certeza.

$$G_C = \mu - \lambda$$

Calcule o Grau de Contradição

$$G_{CT} = \mu + \lambda - 1$$

Calcule a distância D

$$D = \sqrt{(1 - G_C)^2 + G_{CT}^2}$$

Calcule o Grau de Certeza Real

$$\text{Se } G_C > 0, G_{CR} = (1 - D)$$

$$\text{Se } G_C < 0, G_{CR} = (D - 1)$$

Determine o sinal da Saída

Se $\varphi_E \leq 0,25$ ou $D > 1$, então faça:

S1 = 0,5 e S2 = $\varphi_E(\pm)$: Indefinição e vá para o fim.

Senão vá para o próximo item

Calcule o Grau de Evidência Resultante real

$$\mu_{ER} = \frac{G_{CR} + 1}{2}$$

Determine a sinalização do Intervalo de Evidência resultante

Se $\mu_{ER} < 0,5$: sinalize negativo $\varphi = \varphi_E(-)$

Se $\mu_{ER} > 0,5$: sinalize positivo $\varphi = \varphi_E(+)$

Se $\mu_{ER} = 0$: sinalize zero $\varphi = \varphi_E(0)$

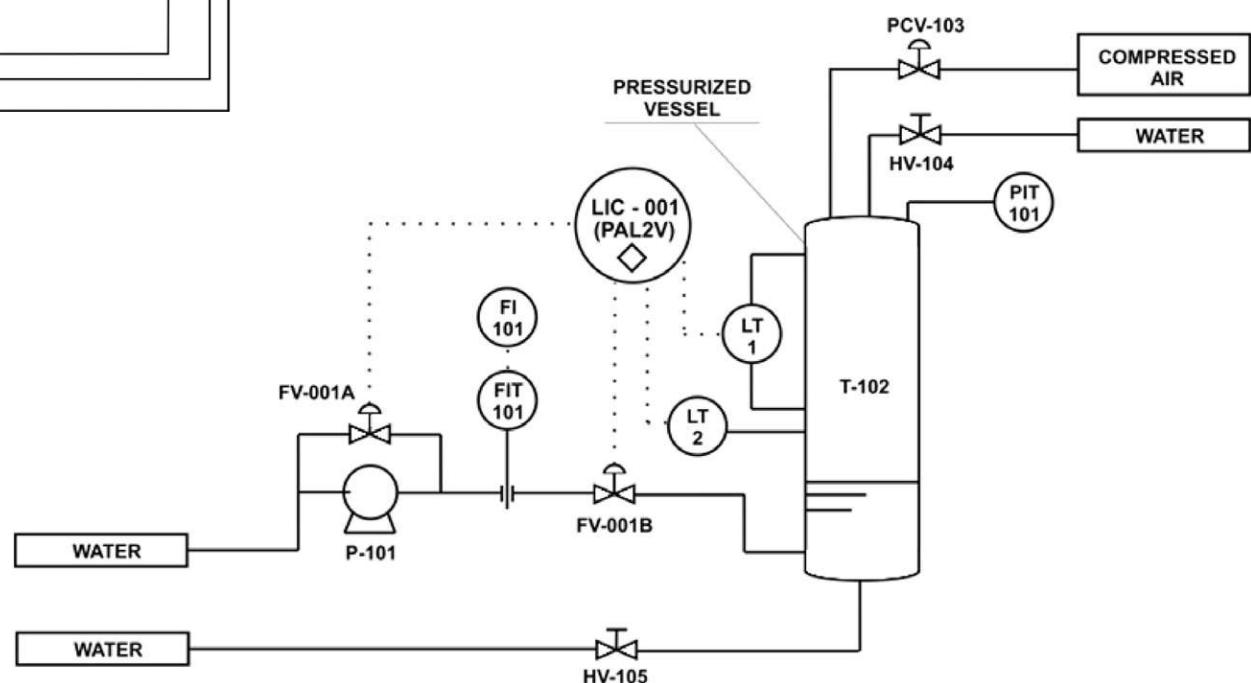
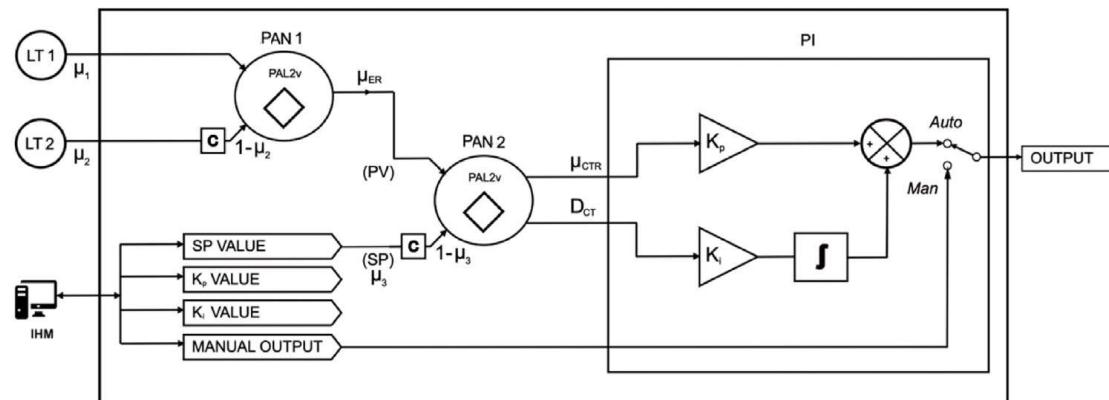
Apresente os resultados na saída.

Faça S1 = μ_{ER} e S2 = $\varphi_E(\pm)$

Fim.

Nó de Análise Paraconsistente (PAN)

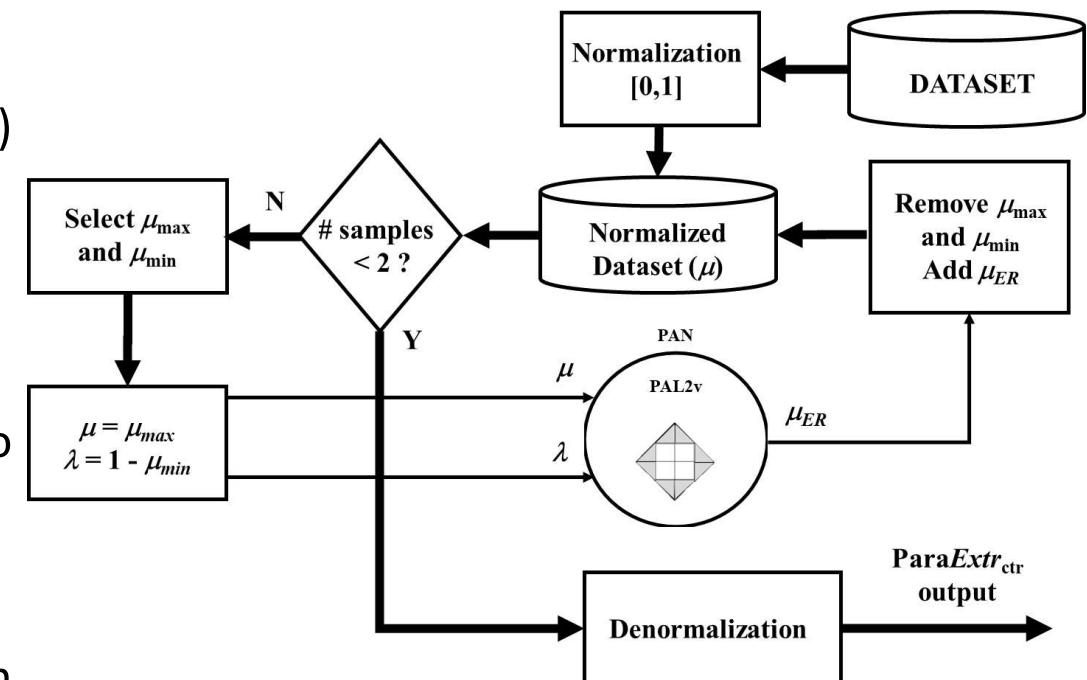
- Aplicação como Controle PI Híbrido [14].



Algoritmo ParaExtractor

Aplicação direta do PAN [11].

1. O dataset é normalizado em valores entre $[0,1]$;
2. Seleciona o maior (μ_{max}) e menor valor (μ_{min}) do dataset;
3. Faça $\mu = \mu_{max}$. Faça $\lambda = 1 - \mu_{min}$;
4. Calcule a saída μ_{ER} via PAN;
5. Remova os valores maior e menor do dataset;
6. Adicione o μ_{ER} ao dataset;
7. Retorne ao item 2 até restar apenas um valor no dataset, que será o valor final da análise do ParaExtractor.



Algoritmo ParaExtractor

- Uma única PAN é necessária para desenhar um ParaExtractor.
- Ele consistente de uma análise recorrente em loop de uma base de dados.
- O ParaExtractor não é um calculador de média, mas um extrator de contradições entre diferentes valores em um vetor [11].

Comparação com Diferentes Algoritmos de Média

Dados	Média	Média Geo	RMS	ParaExtractor
[0.75, 028, 0.68, 0.66, 0.16]	0.51	0.43	0.56	0.53
[0.26, 0.84, 0.25, 0.81, 0.24]	0.48	0.41	0.56	0.56
[0.47, 0.35, 0.83, 0.59, 0.55]	0.56	0.54	0.58	0.54
[0.10, 0.13, 0.94, 0.96, 0.58]	0.54	0.37	0.66	0.57

Exercício 3:

a. Acesse o script em Matlab disponível no link:

<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/129784-paraconsistent-extractor-of-contradiction-paraxctr>

b. Analise o script.

c. Execute o script para diferentes sequências aleatórias e compare os resultados.

d. Entre com uma sequência específica na linha 15, execute o script e analise o resultado.

Exemplo: $A = [0.3, 0.6, 0.2, 0.8, 0.4, 0.9]$



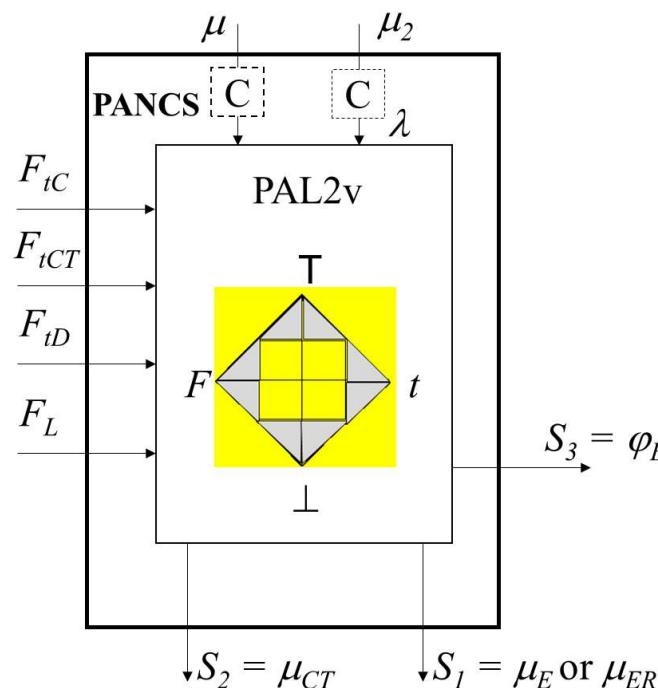
```
Command Window
=====
Input Values:
0.30
0.60
0.20
0.80
0.40
0.90

Mean (average): 0.53
Geometric Mean: 0.47
Root mean square (RMS): 0.59
ParaExtractor (ParaExtractor): 0.50
fxt >> |
```

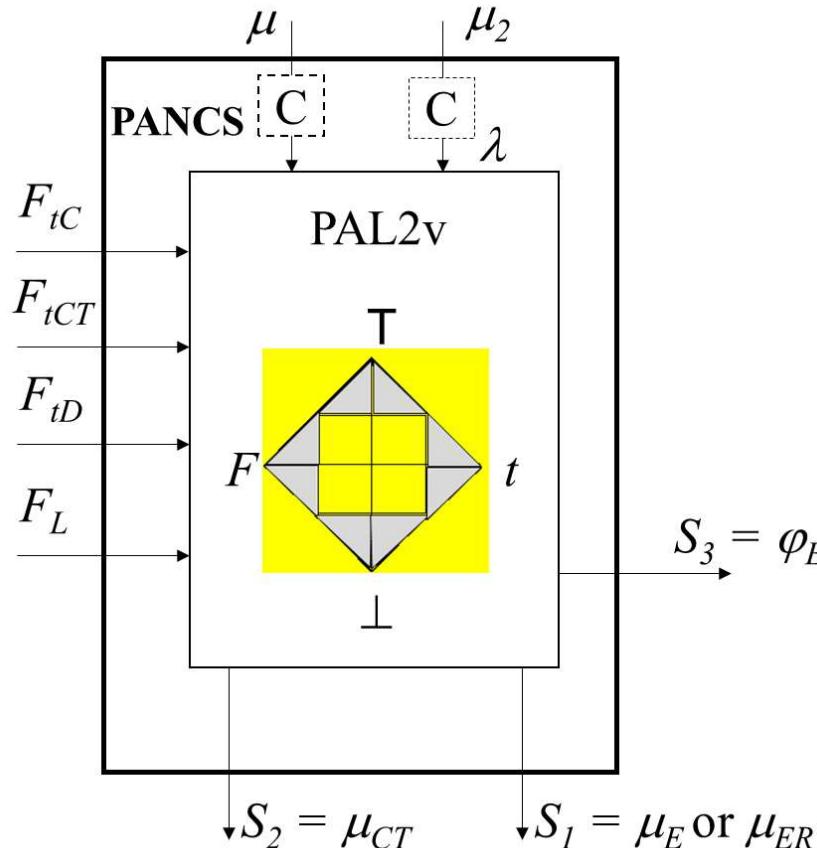
3. Redes de An谩ise Paraconsisnte (PANnet)

Célula Neural Artificial Paraconsistente

- A partir do algoritmo básico do PAN, diferentes *paraconsistent artificial neural cells* (PANC) podem ser propostas [1],[8],[19],[20].
- A PANCS, ou padrão (standard), é essencialmente o PAN.
- Os fatores Ft_C e Ft_{CT} variam entre [0,1] e ajustam os limites de D_C e D_{CT} respectivamente, alterando a simetria do lattice PAL2v.



PANCS



F_{tC} = Fator de Tolerância à Certeza

- Valor entre [0,1], define os limites máximo e mínimo de D_C

F_{tCT} = Fator de Tolerância à Contradição

- Valor entre [0,1], define os limites máximo e mínimo de D_{CT}

F_D = Fator de Tolerância à Decisão

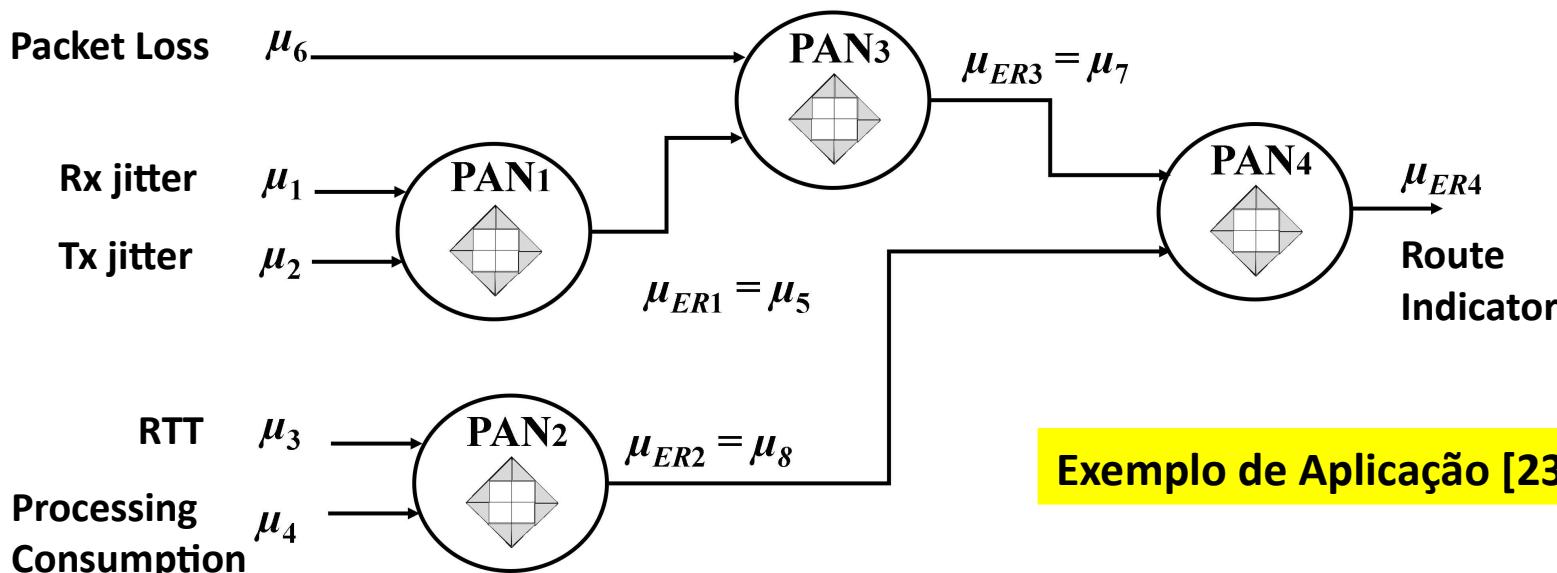
- Valor entre [0,1], utilizado como limiar de decisão para a $PANC_D$

$S_3 = \varphi_E$ F_L = Fator de Aprendizagem

- Valor entre [0,1], utilizado para ajustar a taxa de convergência da saída da PANCL e $PANCL_{CTX}$

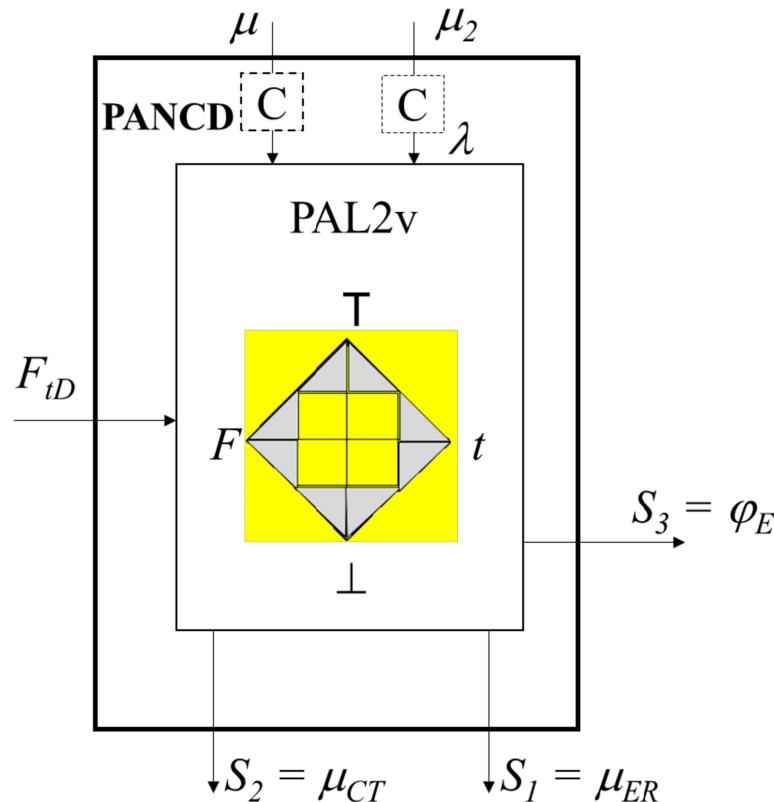
Exemplo 4

- Pode-se formar uma PANnet, através da interligação de PAN ou PANCS.
- As PANnet são também chamadas na literatura de forma equivocada de *paraconsistente artificial neural network* (PANN).
 - Não há o treinamento ou aprendizado como nas redes neurais clássicas (ANN).
 - Não há na literatura um método descrito para elaboração, treinamento ou proposição de PANN.



PANCD (*decision*)

- Utiliza-se o Ft_D , entre [0,1], como um fator de ajuste (*threshold*) para definir um valor lógico na saída.



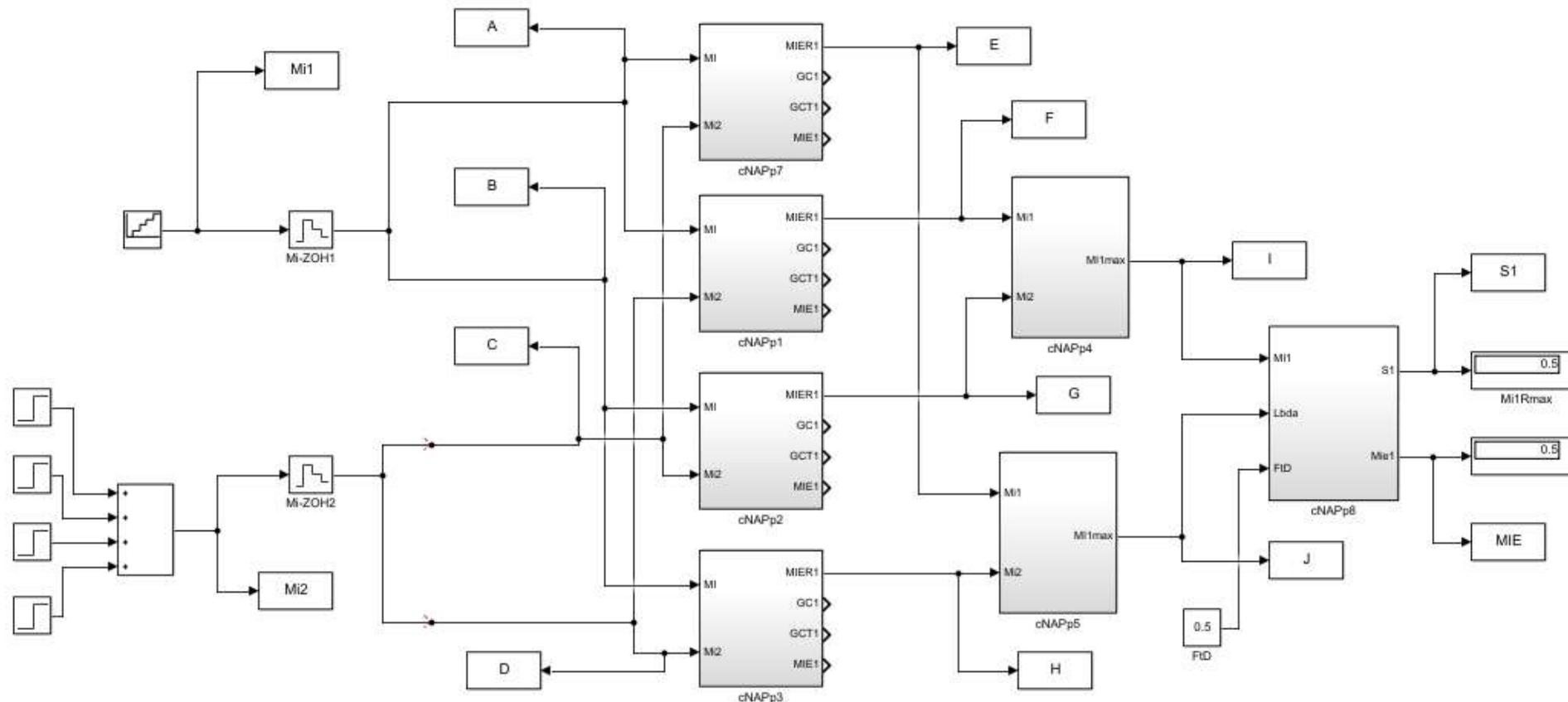
$$\nu_V = \frac{1 + Ft_D}{2} \quad \nu_F = \frac{1 - Ft_D}{2}$$

Se $\mu_E \geq V_{lV}$, então faça: $S_I = 1$ (verdadeiro)

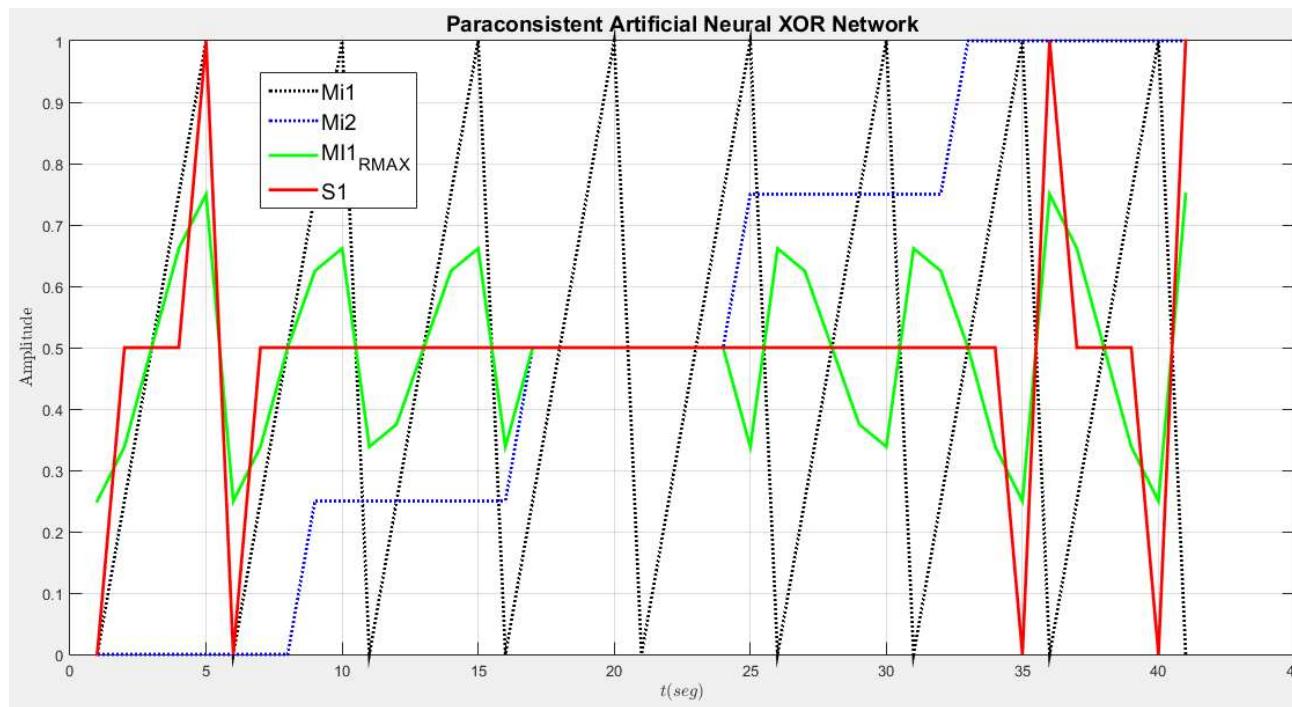
Se $V_{lF} \geq \mu_E$, então faça: $S_I = 0$ (falso)

Senão, $S_I = 0.5$ (indefinição)

Exemplo 5: Porta Ou Exclusivo com PANnet



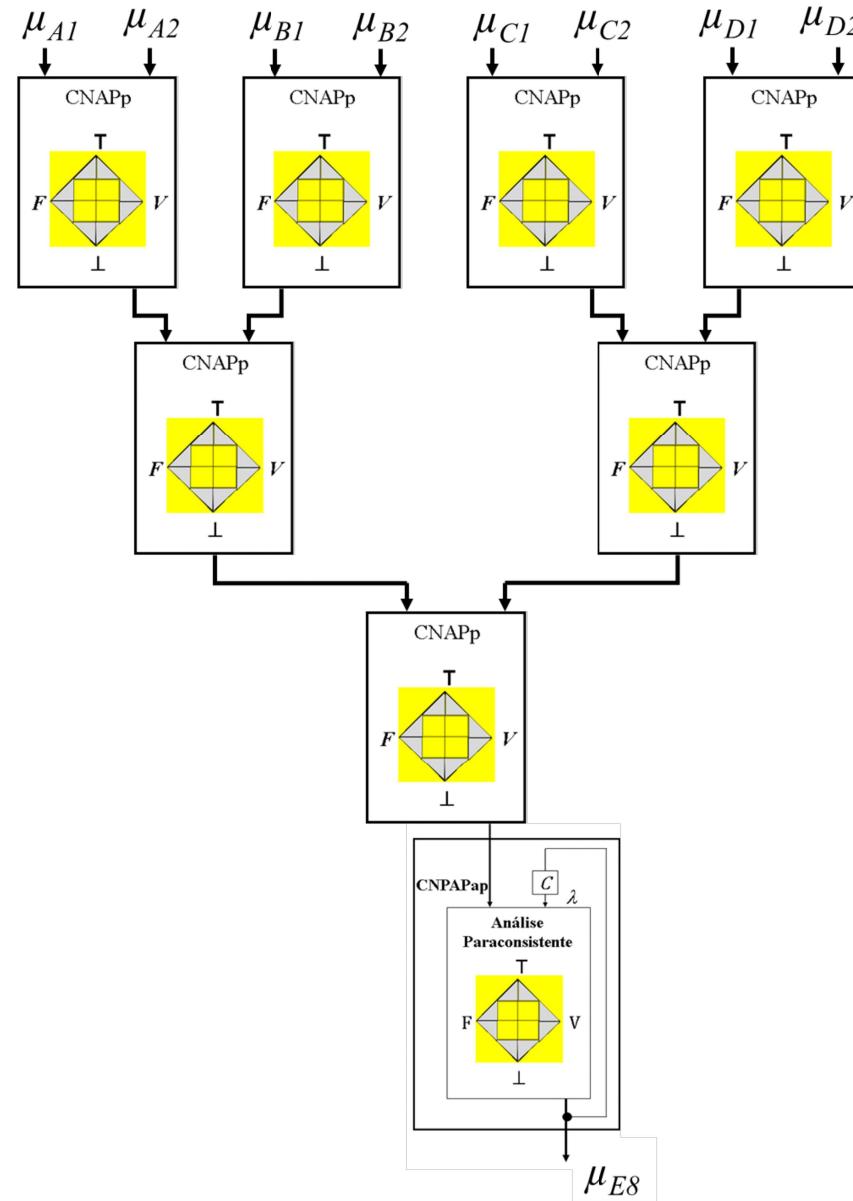
Exemplo 5: Porta Ou Exclusivo com PANnet



MI1a	MI1b	MIE	S1
0,000	0,000	0,250	0,000
1,000	0,000	0,750	1,000
0,000	0,000	0,250	0,000
1,000	0,000	0,750	1,000
0,000	0,000	0,250	0,000
1,000	0,000	0,750	1,000
0,000	0,000	0,250	0,000
1,000	0,000	0,750	1,000
0,000	1,000	0,750	1,000
1,000	1,000	0,250	0,000
0,000	1,000	0,750	1,000
1,000	1,000	0,250	0,000
0,000	1,000	0,750	1,000
1,000	1,000	0,250	0,000
0,000	1,000	0,750	1,000

Exemplo 6: PANnet (ou PANN)

- PANnet com 8 entradas e 1 saída
- Referência [1],[3].





Exercício 4:

a. Acesse o arquivo com modelos de PANC em Simulink disponível no link:

<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/129639-paraconsistent-artificial-neural-cells-panc>

b. Monte 2 PANnet semelhante a do exemplo 4. Uma PANnet fornecerá o Índice da Rota A e a outra da Rota B. Através de um seletor simples, indique qual rota é a escolhida em cada caso (rota com maior μ_{ER})

Notas:

1. Os valores de entrada devem ser normalizados conforme os limites indicados.
2. Atenção para métricas que quanto maior pior e quanto maior melhor, se entram na entrada μ ou λ

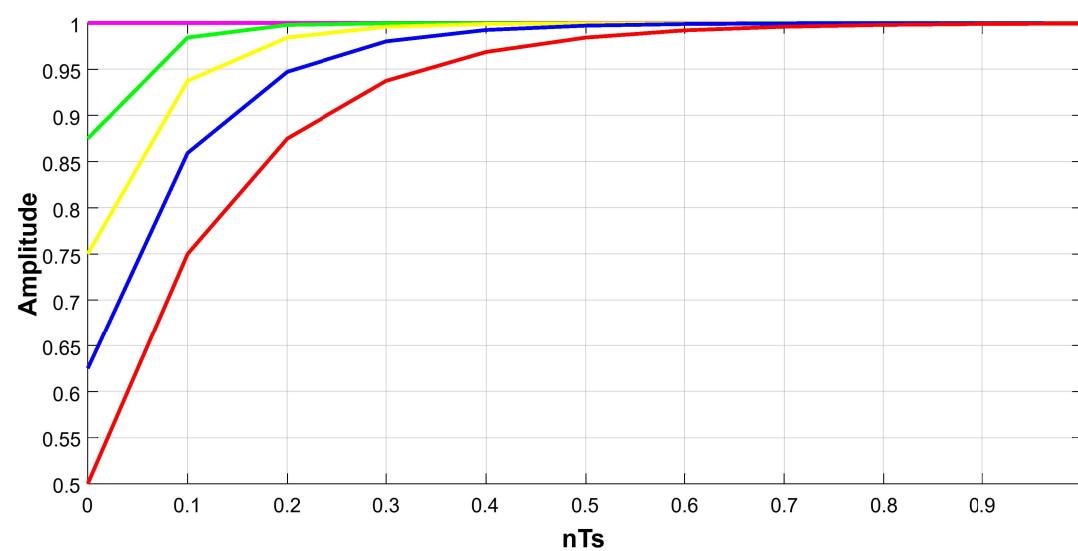
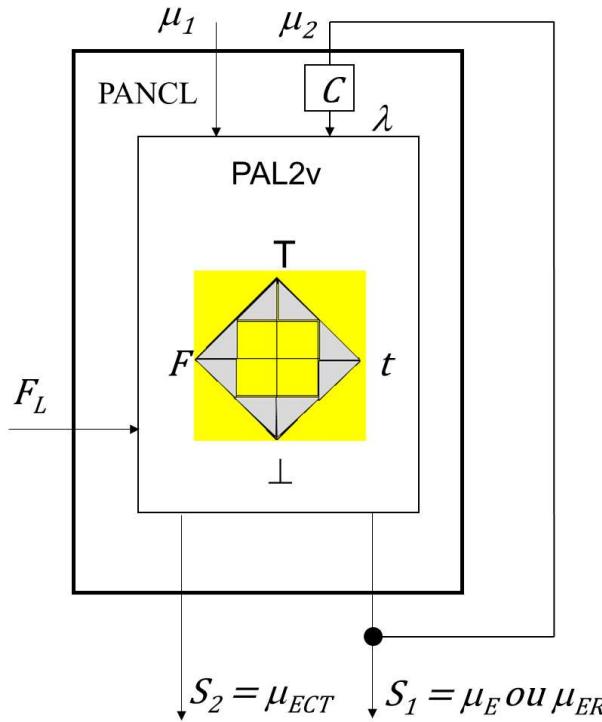


Exercício 4 (cont.):

ROUTE A					ROUTE B				
Packet Loss (0 - 100%)	Rx Jitter (0 - 20 ms)	Tx Jitter (0 - 20 ms)	RTT (0 - 100 ms)	Processing Consumption (0 - 100%)	Packet Loss (0 - 100%)	Rx Jitter (0 - 20 ms)	Tx Jitter (0 - 20 ms)	RTT (0 - 100 ms)	Processing Consumption (0 - 100%)
1	1	2	10	80	2	2	1	20	70
2	5	5	20	70	5	5	5	30	50
10	20	15	30	50	10	15	20	10	60
20	15	10	5	90	5	10	15	5	90
10	2	5	20	75	10	5	2	20	75
5	6	2	60	80	4	2	6	4	40
3	3	3	30	40	6	3	3	7	80
1	9	4	40	30	8	4	9	6	60
2	8	2	20	20	2	2	8	9	60
0.5	2	5	10	40	10	5	2	10	20

PANCL (*learning*)

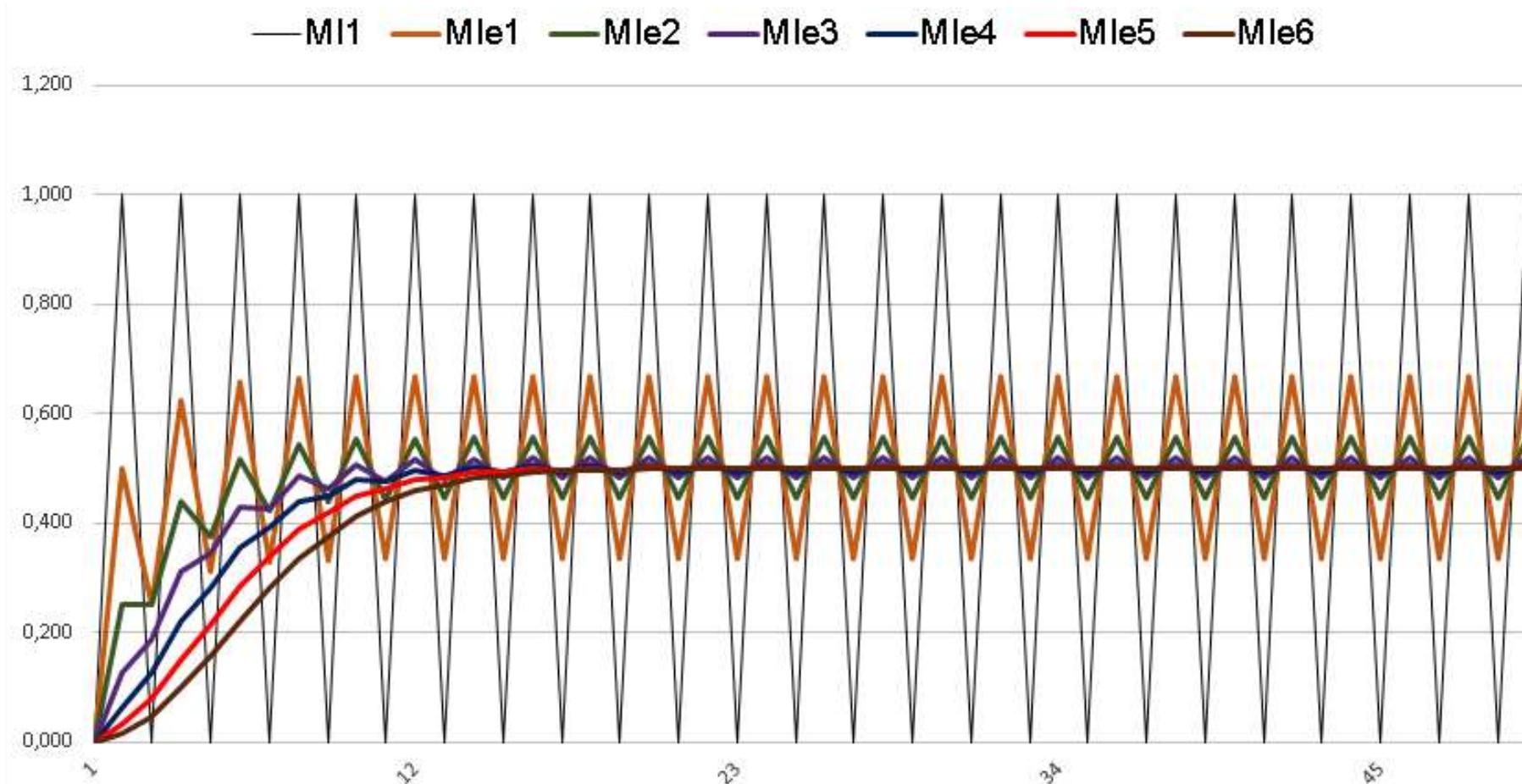
- Basicamente consiste em realimentar a saída da célula na entrada λ .
- Utiliza-se o fator de aprendizagem (learning fator – F_L), entre [0,1], para atrasar a resposta na saída [8].
- É muito utilizada em diversos projetos PAL2v [1],[7],[8],[19],[20],[21].



$$\mu_{E(k+1)} = \frac{\{(\mu_{(k)} - (1 - \mu_{E(k)}))F_L + 1\}}{2}$$

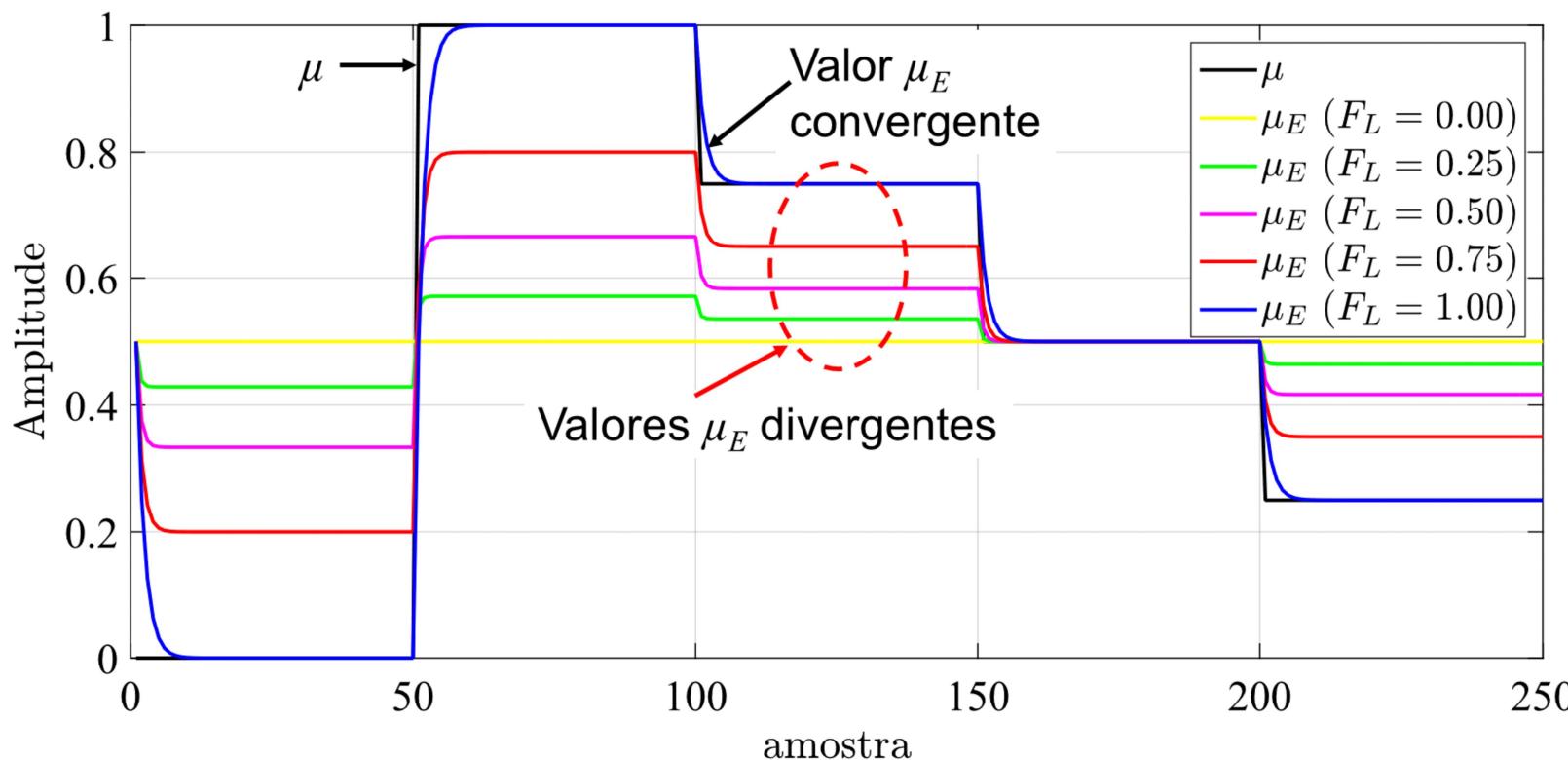
PANCL (*learning*)

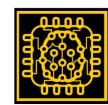
- Rede de até 6 PANCL em cascata como extrator de média móvel [22].



PANCL (*learning*)

- Para valores intermediários de μ entre [0,1], esta célula é usada com $F_L = 1$.
- Infelizmente, para diferentes valores de F_L e μ variável, a saída não converge para o valor esperado.



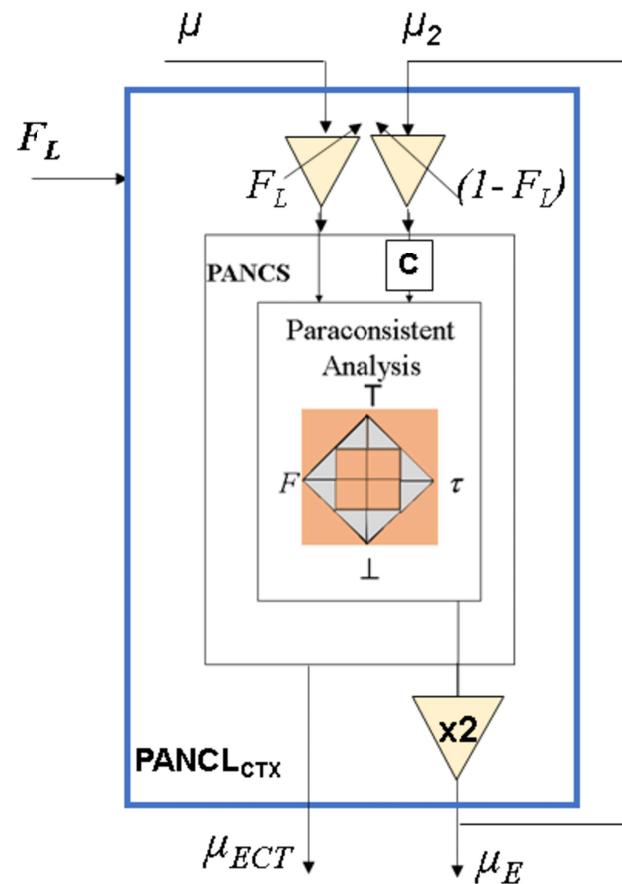


4. PAL2v Filter

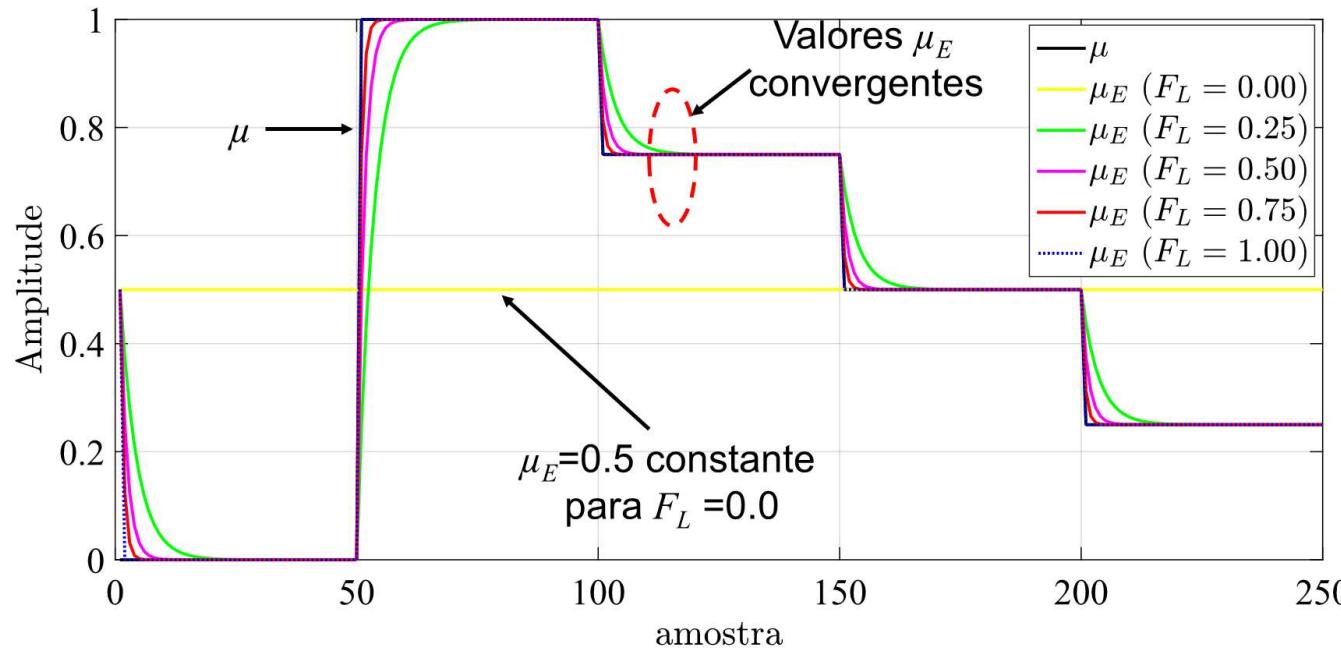
PANCL_{CTX} (*learning by contradiction extraction*)

- Para corrigir o problema da PANCL, uma nova célula foi proposta [9],[10],[11], [17].
- A PANCL_{CTX} pode ser utilizada como filtro, estimador, integrador e derivador [10],[17],[24].

$$\mu_{E(k+1)} = \mu_{E(k)} + D_{CT} F_L$$



PANCL_{CTX} (*learning by contradiction extraction*)

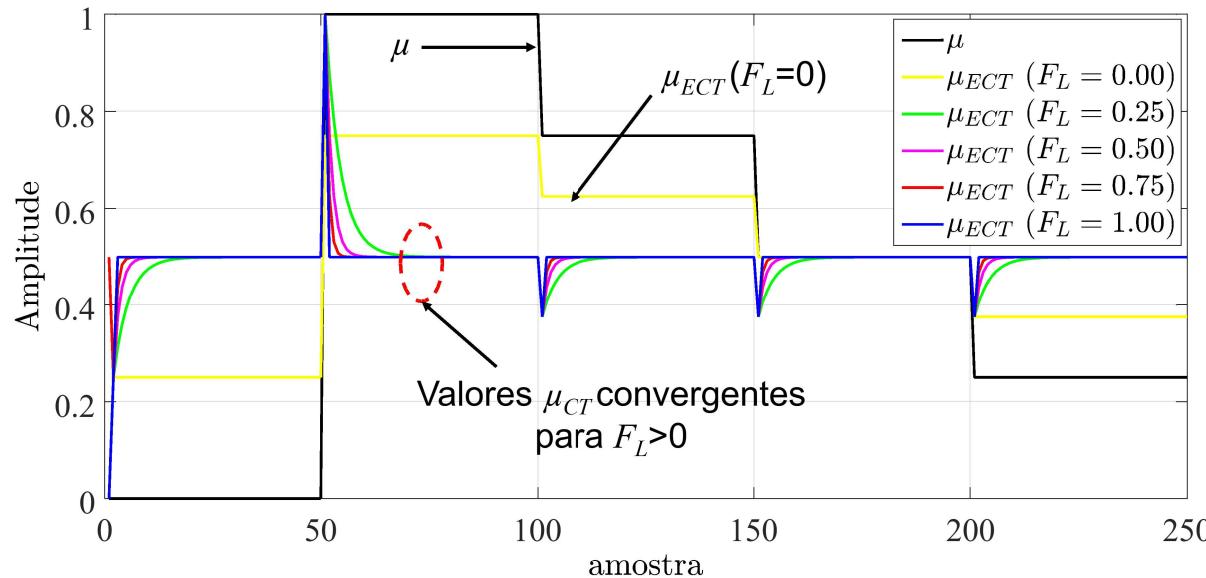


$$\mu_{E(k+1)} = \mu_{E(k)} + D_{CT} F_L$$

$$\mu_{E[n]} = (1 - F_L) * \underbrace{\mu_{E[n-1]} + F_L * \mu[n]}_{\text{Acumulador}}$$

$$\frac{\mu_E(z)}{\mu(z)} = \frac{F_L}{1 - (1 - F_L)z^{-1}}$$

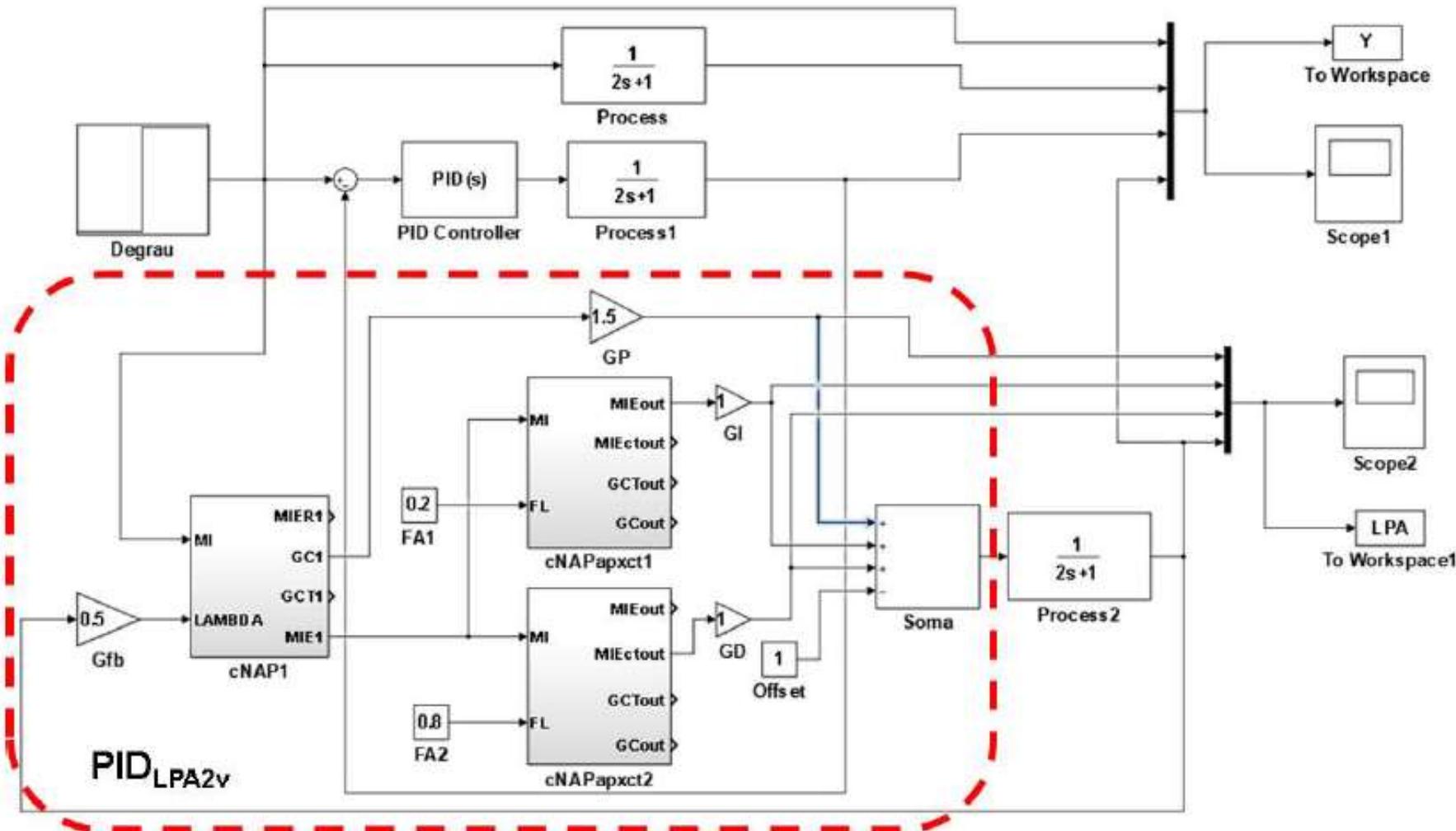
PANCL_{CTX} (*learning by contradiction extraction*)



$$\mu_{ECT}[n] = (1 - F_L) * (\mu_{ECT}[n-1] - 0.5) + 0.5 * \underbrace{(\mu[n] - \mu[n-1])}_{\text{Diferença}} + 0.5$$

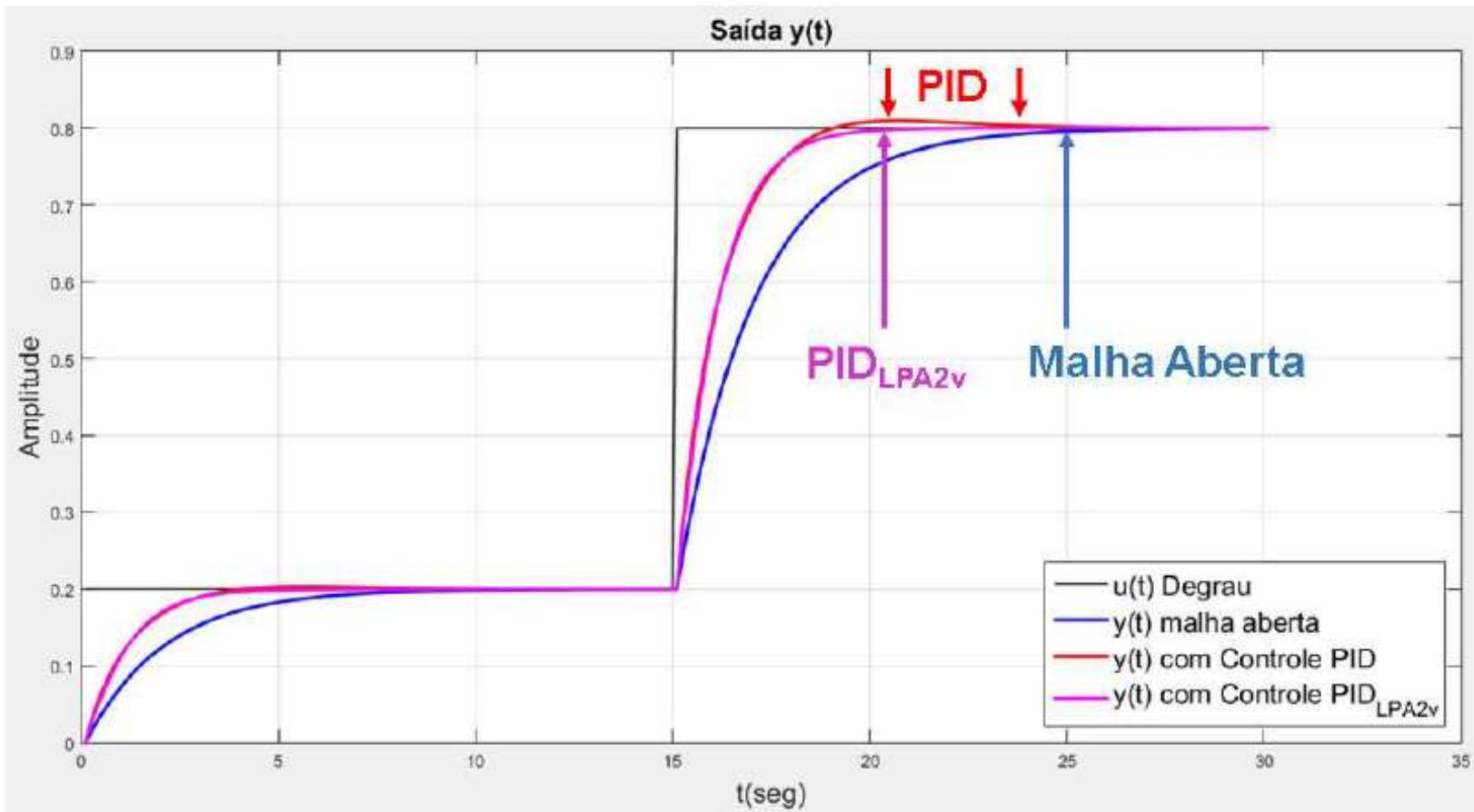
$$\frac{\mu_{ECT}(z)}{\mu(z)} = \frac{1}{2} \left(\frac{z-1}{z - (1 - F_L)} \right) + \frac{1}{2}$$

Controle PID_{PAL2v}



Controle PID_{PAL2v}

- Publicado em [25].

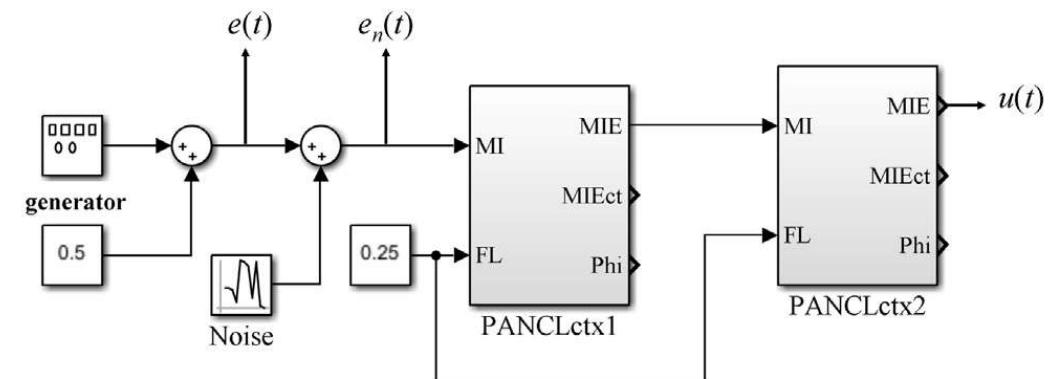


PAL2v Filter

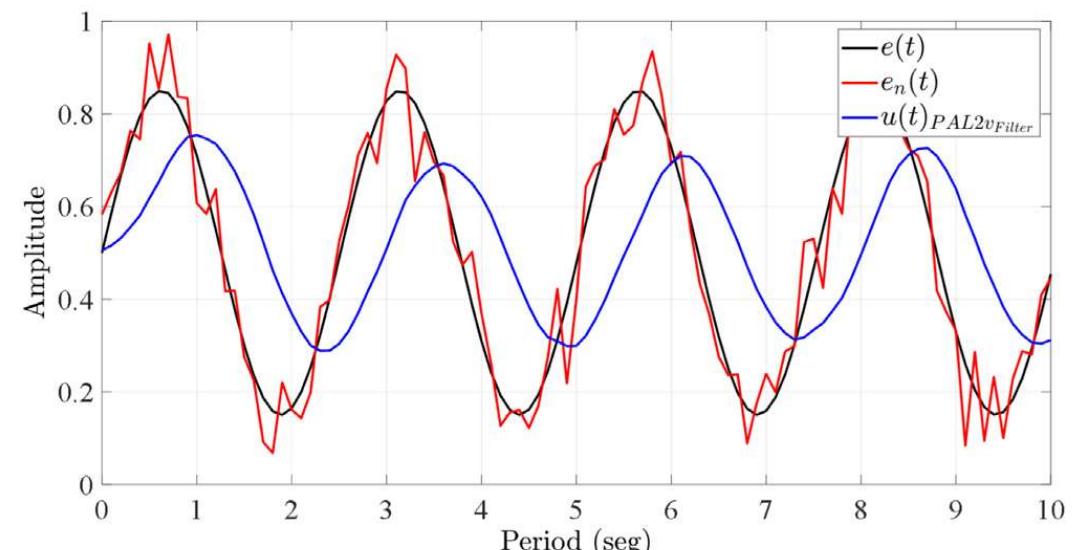
- A ligação em cascata de PANCL ou PANCL_{CTX}, permite criar o PAL2v Filter.
- O filtro usa menos células se utilizar PANCL_{CTX} [9],[10],[11],[17], [24].
 - A ordem do filtro é correspondente ao número de células em cascata.

$$F_L = 0.25$$

$$\frac{\mu_E(z)}{\mu(z)} = \frac{0.0625}{1 - 1.5 z^{-1} + 0.5625 z^{-2}}$$



(a)

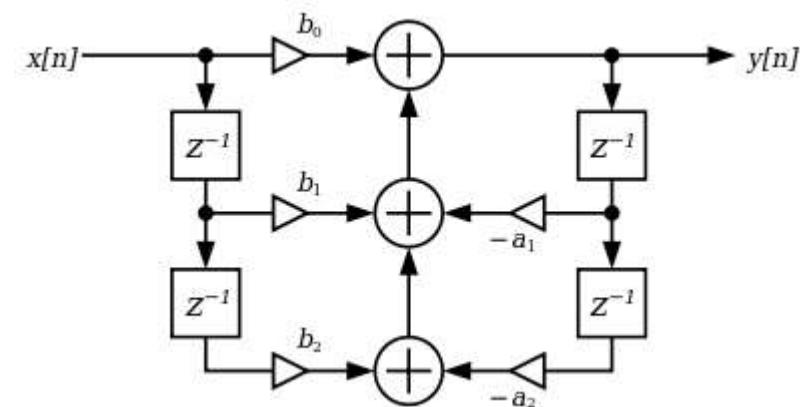


(b)

4. PAL2v Filter

PAL2v Filter

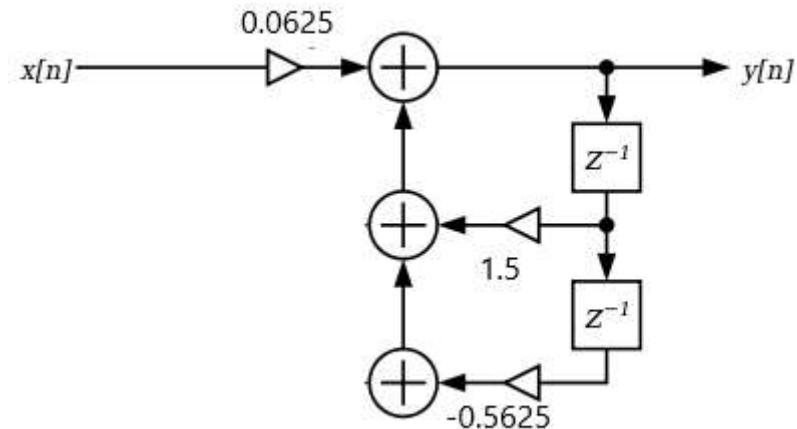
Filtro Digital: $H(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_N z^{-N}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_M z^{-M}}$



Exemplo para o PAL2v Filter anterior:

$$F_L = 0.25$$

$$\frac{\mu_E(z)}{\mu(z)} = \frac{0.0625}{1 - 1.5z^{-1} + 0.5625z^{-2}}$$



PAL2v Filter

Comparação entre PAL2v Filter e Kalman [9].

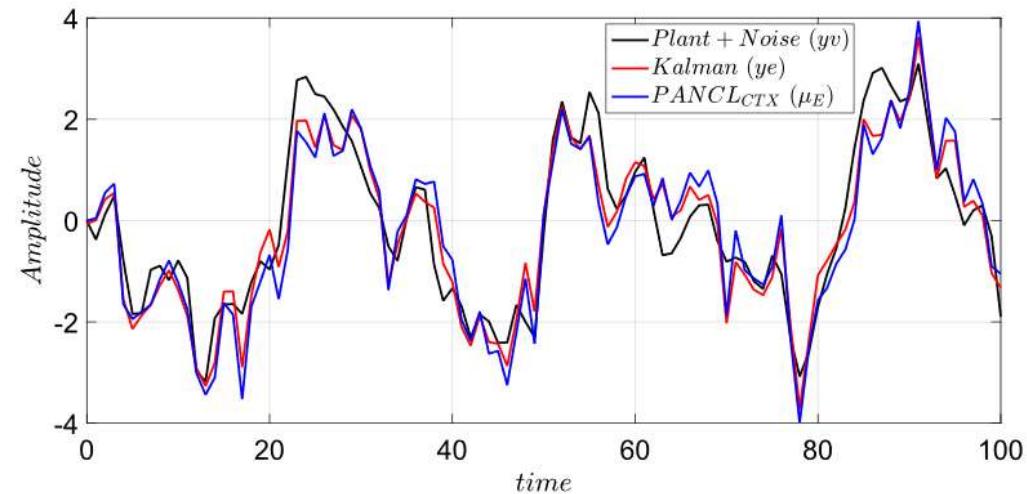
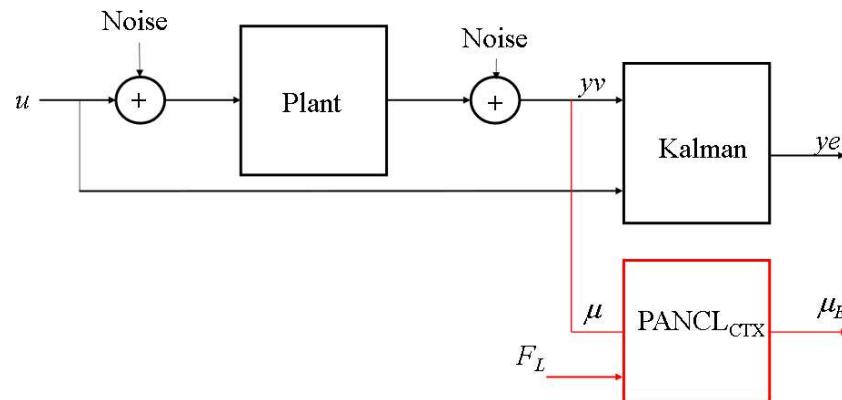
THE MATHWORKS INC. Kalman Filter Design. Mathworks Documentation, 2019.

Disponível em: <<https://www.mathworks.com/help/control/examples/kalman-filter-design.html>>.

Exemplo:

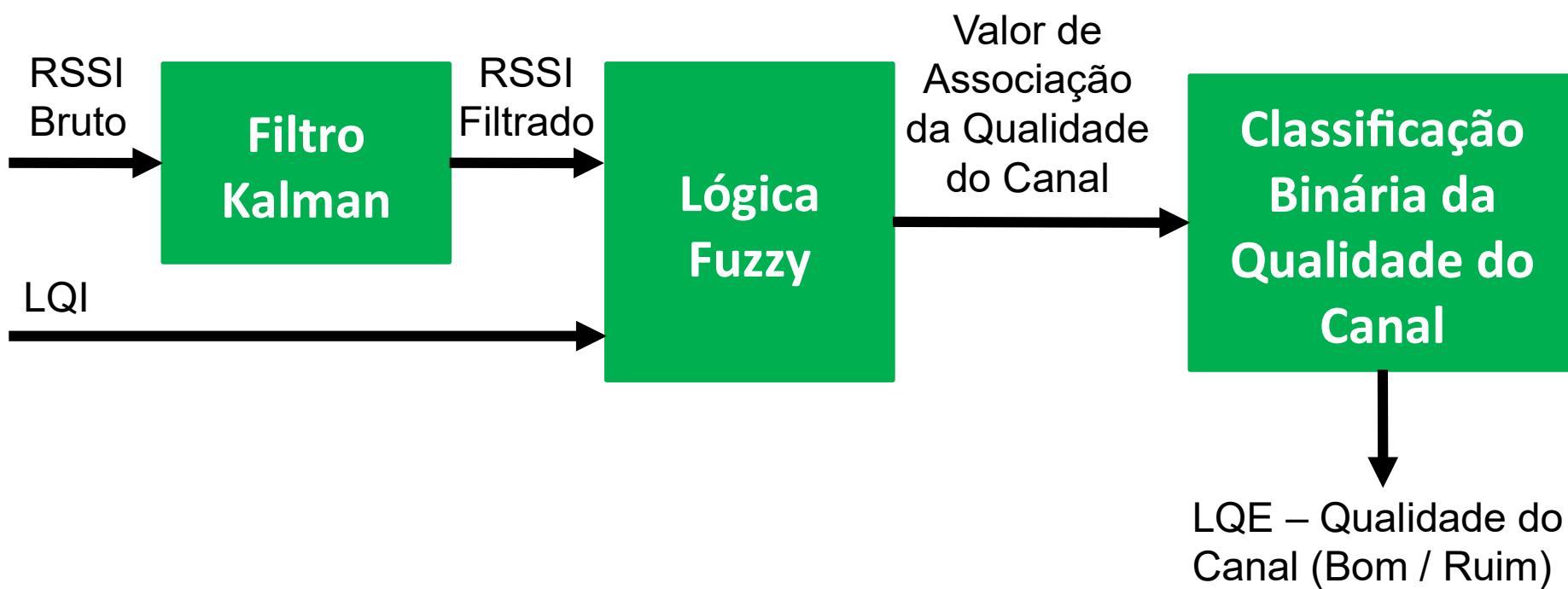
Kalman: $R = 1$; $Q = 2.3$

PAL2v Filter: 1st order LPF, $F_L = 0.643$



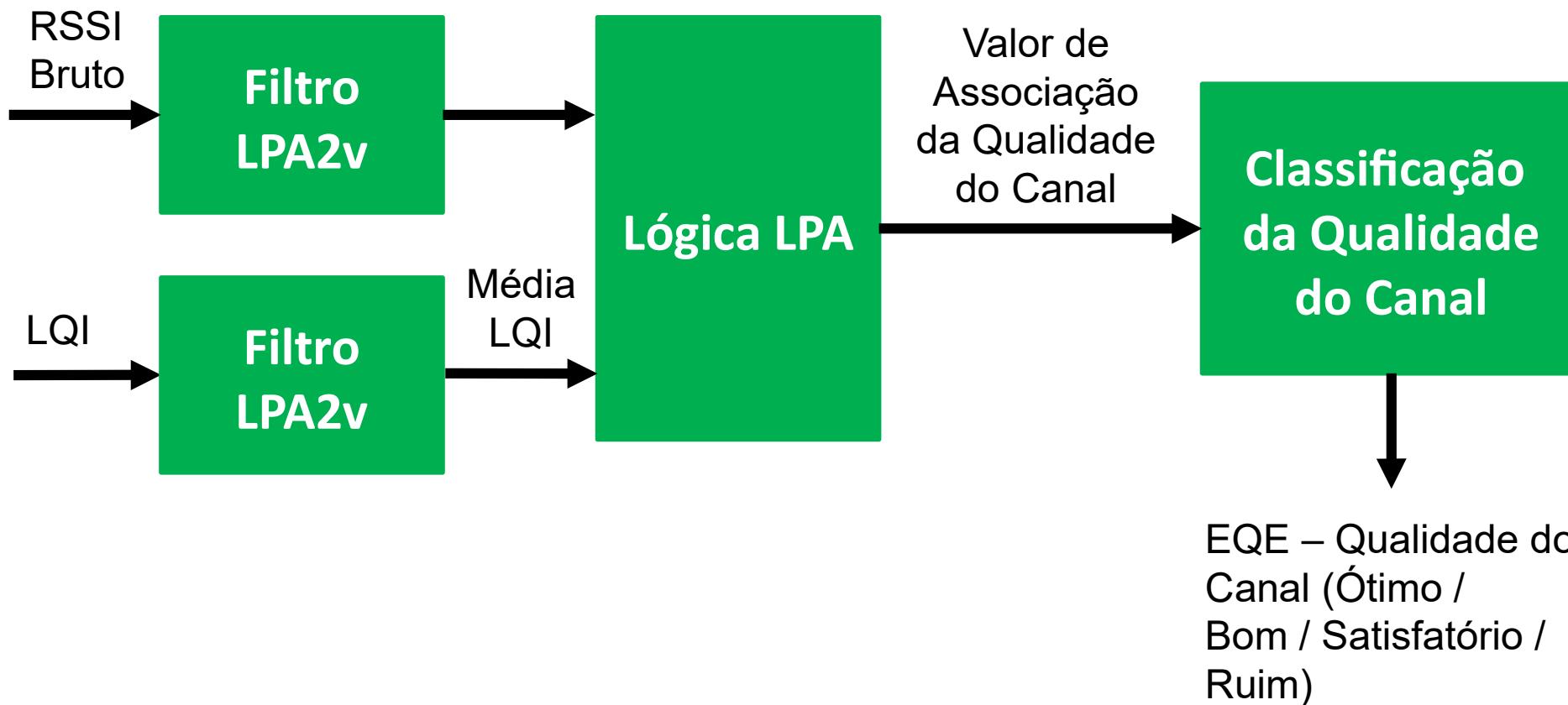
Estimador de Qualidade de Enlace

- Referência [27]:

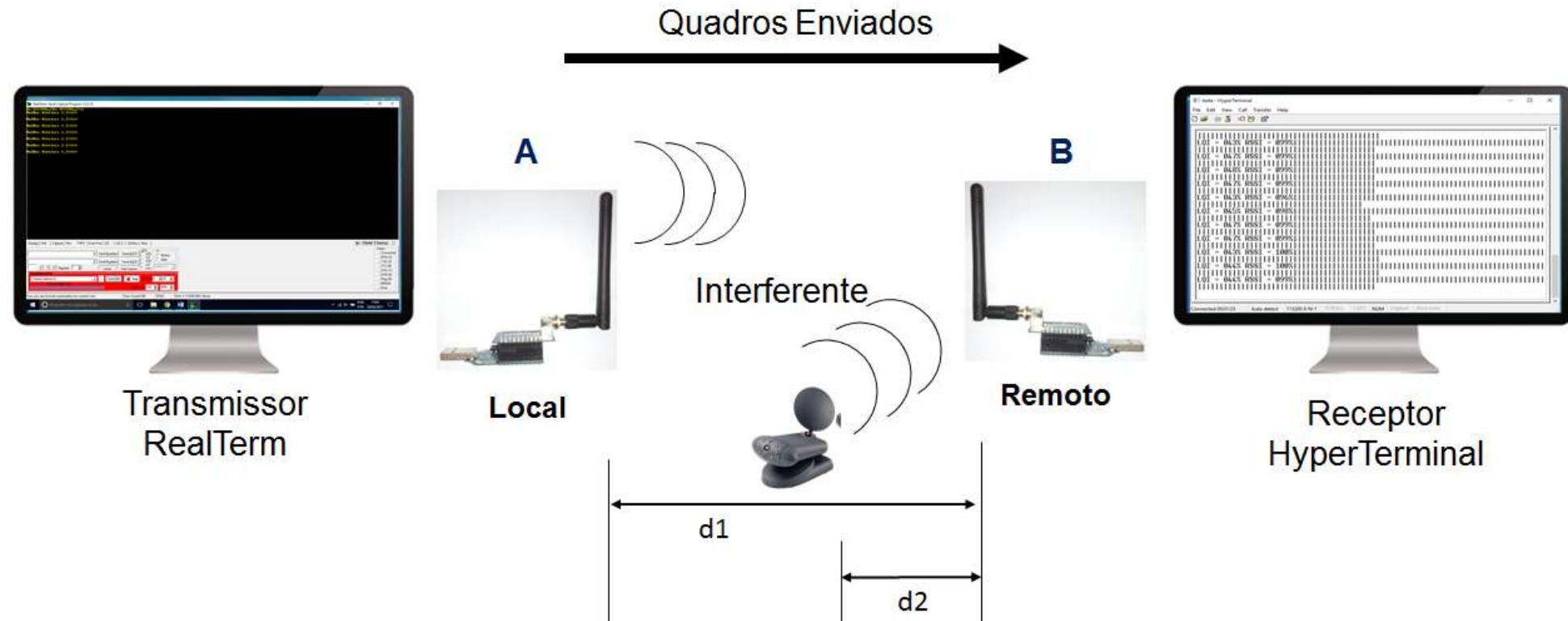


Estimador de Qualidade de Enlace – LQE_{PAL2v}

- Publicado em [26].



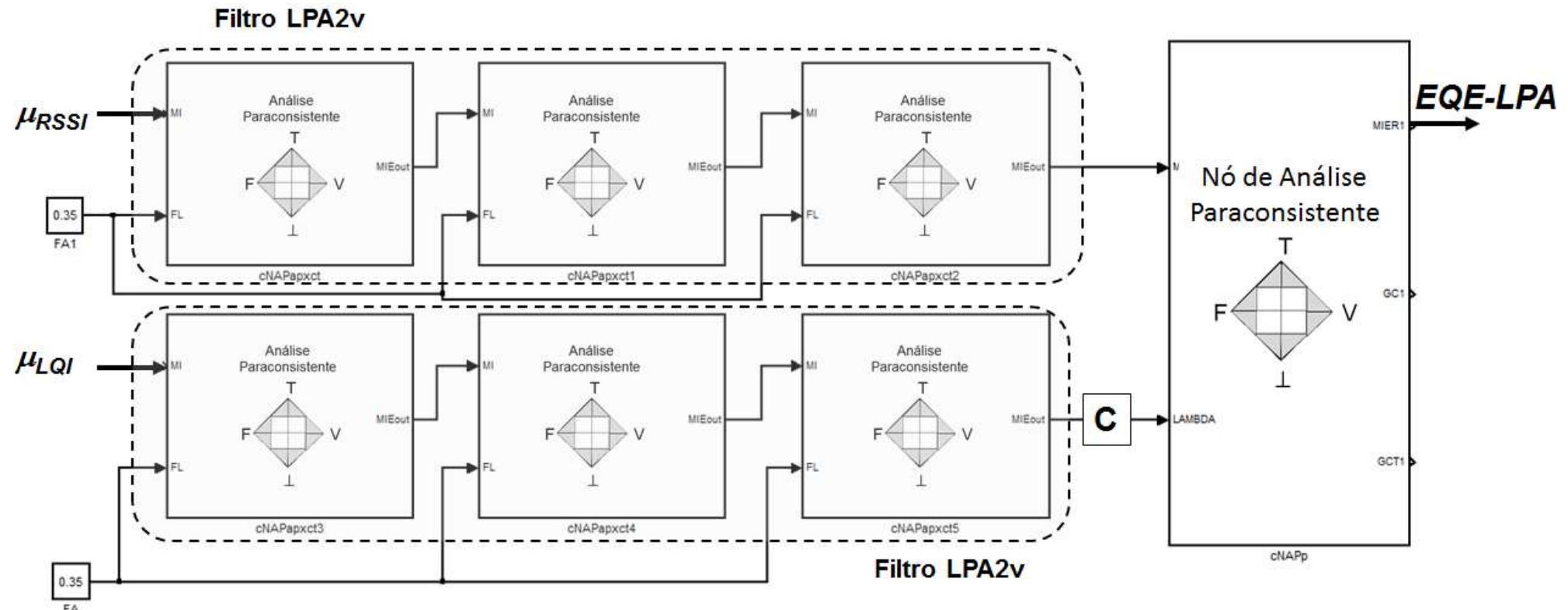
Estimador de Qualidade de Enlace – LQE_{PAL2v}



Configuração Ensaios de RSSI e LQI

38 ensaios a 1, 5, 10 e 12m de distância, A=>B e B=>A, 9,6kbps e 115,2 kbps

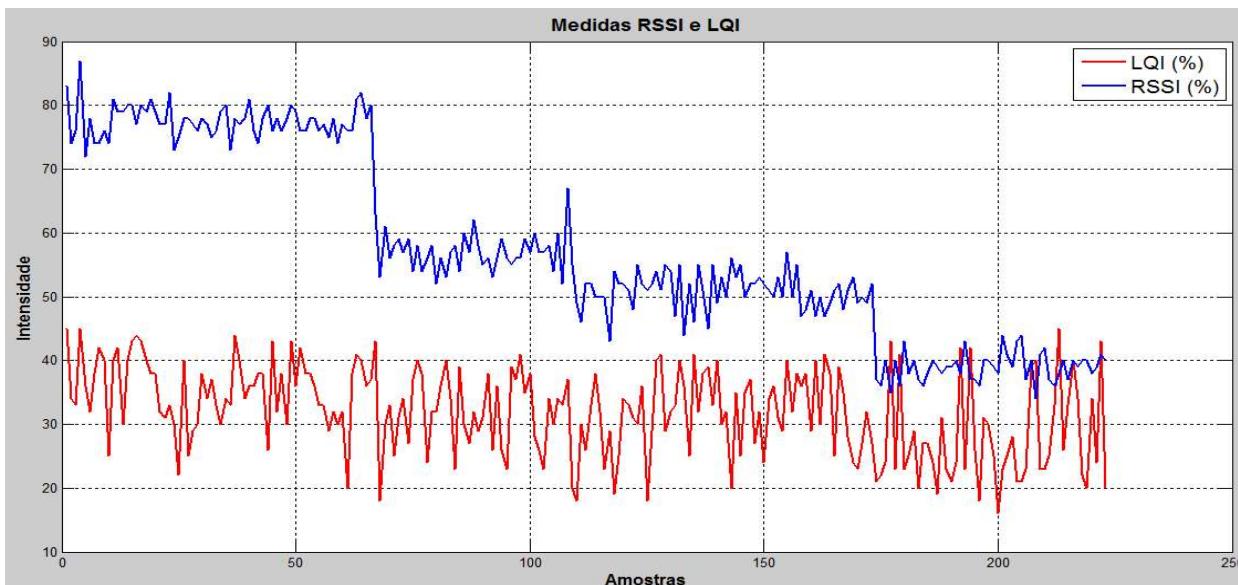
Estimador de Qualidade de Enlace – LQE_{PAL2v}



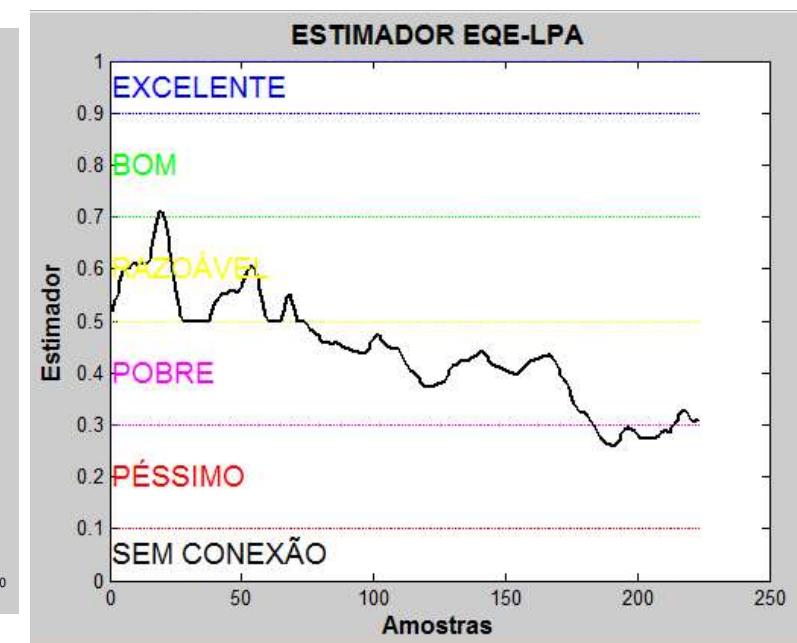
Estimador de Qualidade de Enlace – LQE_{PAL2v}

- Medidas a diferentes distâncias, sensor A=>B, com interferência

Métricas RSSI e LQI



Resultado LQE_{PAL2v}





Exercício 5:

a. Acesse o arquivo com modelo de PAL2v Filter em Simulink disponível no link:

<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/129644-pal2v-filter>

b. Experimente Filtros com 2, 3 e 4 blocos

c. Altere o valor de FL e veja o efeito na filtragem

# Células	Fator Aprendizagem (F_L)
1	0.4
1	0.2
2	0.3
2	0.1
3	0.3
3	0.1
4	0.3
4	0.1

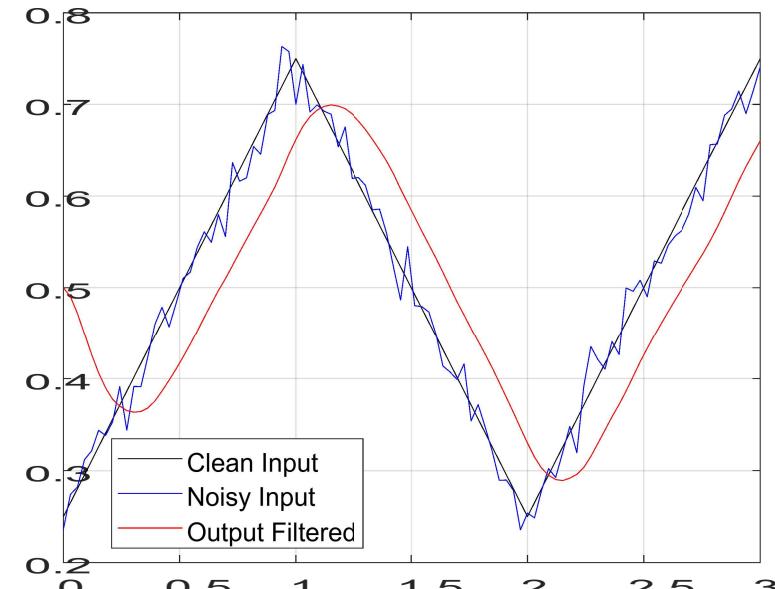
Exercício 6:

- Alternativamente execute o script PAL2v_Filter_Demo.m fornecido pelo professor.
- Este script permite selecionar:
 - entre onda quadrada, senoidal ou triangular;
 - Ordem do Filtro (de 1 a 5);
 - Escolher diferentes valores de FL;
 - Exibe a função de transferência do PAL2v Filter

Exemplo:

- Onda Triangular
- $N = 3$
- $F_L = 0.35$

```
Command Window
PAL2v Filter Transfer Function :
343
-----
/ 13      \3
8000 | ----- - 1 |
\ 20 z      /
>>>
```





Vantagens da PAL2v

- É robusta e consistente;
- É reversível;
- Matemática e regras simples;
- Resposta rápida e confiável mesmo com informações incertas;
- Flexível (soluções híbridas, diferentes estruturas, redes de análise, redes neurais, ...)

Desafios

- Desenvolvimento de algoritmos e ferramentas para maior popularização.



6. Conclusão



Perguntas?



aedcarvalhojr@ifsp.edu.br



- [1] DA SILVA FILHO, J. I.; ABE, J. M.; TORRES, G. L. Inteligência Artificial com Redes de Análises Paraconsistentes. 1º edição, LTC, 314 p., 2008.
- [2] VICKERS, P., 2013. Understanding Inconsistent Science. Oxford University Press, <http://dx.doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199692026.001.0001>.
- [3] DA SILVA FILHO, J. I. Treatment of Uncertainties with Algorithms of the Paraconsistent Annotated Logic. Journal of Intelligent Learning Systems and Applications, vol. 4, nº 2, 2012, p. 144-153.
- [4] DE CARVALHO, F. R.; ABE, J. M. A paraconsistent decision-making method. Springer, 2018, 225 p.
- [5] GARCIA, D. V.; *et al.* Analysis of Raman spectroscopy data with algorithms based on paraconsistent logic for characterization of skin cancer lesions. Vibrational Spectroscopy, v. 103, 2019, 10 p.
- [6] ZAMANSKY, A. On recent applications of paraconsistent logic: an exploratory literature review, Journal of Applied Non-Classical Logics, Vol 29, issue 4, 2019, p. 382-391.
- [7] DA SILVA FILHO, J. I.; ROCCO, A. Power systems outage possibilities analysis by Paraconsistent logic. 2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, Pittsburgh, PA, 2008, p. 1-6.
- [8] DE CARVALHO JR, A.; *et al.* A Study of Paraconsistent Artificial Neural Cell of Learning Applied as PAL2v Filter. IEEE Latin America Transactions, vol. 16, no. 1, 2018, p. 202-209.
- [9] DE CARVALHO JR, A.; *et al.* (2023). A Paraconsistent Artificial Neural Cell of Learning by Contradiction Extraction (PANCLCTX) with Application Examples. In: Abe, J.M. (eds) Advances in Applied Logics . Intelligent Systems Reference Library, vol 243. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-031-35759-6_5.
- [10] DE CARVALHO JR, A.; *et al.* Paraconsistent State Estimator for a Furuta Pendulum Control. SN COMPUT. SCI. 4, 29 (2023). DOI: 10.1007/s42979-022-01427-z



- [11] DE CARVALHO JR, A.; *et al.* A comprehensive review on paraconsistent annotated evidential logic: Algorithms, Applications, and Perspectives, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Volume 127, Part B, 2024, 107342, ISSN 0952-1976 DOI: 10.1016/j.engappai.2023.107342.
- [12] DE CARVALHO JR, A.; *et al.* Rotary Inverted Pendulum Identification for Control by Paraconsistent Neural Network, in *IEEE Access*, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3080176.
- [13] DE CARVALHO JR, A.; *et al.* Model reference control by recurrent neural network built with paraconsistent neurons for trajectory tracking of a rotary inverted pendulum, *Applied Soft Computing*, 2022, 109927, ISSN 1568-4946, DOI: 10.1016/j.asoc.2022.109927.
- [14] COELHO, M. S.; *et al.* Hybrid PI controller constructed with paraconsistent annotated logic. *Control Engineering Practice*, Volume 84, 2019, p. 112-124.
- [15] CARVALHO, F.R., ABE, J.M., 2018. A Paraconsistent Decision-Making Method. In: Smart Innovation, Systems, and Technologies, vol. 87, Springer.
- [16] CÔRTES, H. M., SANTOS, P. E., DA SILVA FILHO, J. I., 2022. Monitoring electrical systems data network equipment by means of fuzzy and paraconsistent annotated logic. *Expert Syst. Appl.* 187, 115865. DOI: 10.1016/j.eswa.2021.115865.
- [17] DE CARVALHO JR, A.; *et al.* PARACONSISTENT LOGIC APPROACH FOR ACTIVE NOISE REDUCTION, *JOURNAL OF MECHATRONICS ENGINEERING*, vol. 3, issue 1, pag. 2-8, 2020. DOI: 10.21439/jme.v3i1 . Disponível em: <http://jme.ifce.edu.br/index.php/jme/article/view/81>
- [18] DA SILVA FILHO, J. I., *et al.* Paraconsistent Algorithm Extractor of Contradiction Effects - *ParaExtractor_{ctr}*. *Journal of Software Engineering and Applications*, v. 4, n. 10, p. 579, 2011. DOI: 10.4236/jsea.2011.410067.
- [19] DA SILVA FILHO, J. I. Introdução às células neurais artificiais paraconsistentes. Seleção Documental: Inteligência Artificial e novas Tecnologias, n. 8, p. 5-14, 2007.



REFERÊNCIAS

- [20] WODJCIECHOWSKI, J., CETENARESKI, J. A., MARCHIORI, V. L. Redes Neurais Paraconsistentes. PUC – Paraná, Brasil, 2002. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/267784358> Redes Neurais Artificiais Paraconsistentes.
- [21] DA SILVA FILHO, J. I., *et al.* Process of learning from demonstration with paraconsistent artificial neural cells for application in linear cartesian robots. *Robotics*, v. 12, n. 3, p. 69, 2023. DOI: 10.3390/robotics12030069.
- [22] CRUZ, C. M., *et al.*, Application of Paraconsistent Artificial Neural Network in Statistical Process Control acting on voltage level monitoring in Electrical Power Systems, 2015 18th International Conference on Intelligent System Application to Power Systems (ISAP), Porto, Portugal, 2015, pp. 1-6, doi: 10.1109/ISAP.2015.7325579.
- [23] DA SILVA FILHO, J. I., *et al.* Paraconsistent annotated logic algorithms applied in management and control of communication network routes, *Sensors* 21 (12). 710 doi:10.3390/s21124219.
- [24] CARVALHO, A., DA SILVA FILHO, J. I., MARIO, M. C. Estimador de Estado Adaptativo Paraconsistente, Exatas Online, ISSN 2178-0471 Edição Especial, vol. 9, Mar. 2018, pág. 25-30. Disponível em: http://www2.uesb.br/exatasonline/images/V9NE_WMO_pag2_5-30.pdf.
- [25] CARVALHO, A.; *et al.* LPA2v Aplicada ao Tratamento de Sinais de Sensores MEMS e Controle de Sistemas Robóticos. Revista Acadêmica - Ensino de Ciências e Tecnologias do IFSP – Campus Cubatão, QUALIF, ISSN 2595-2277, VOLUME 4 - NÚMERO 4 – AFEVEREIRO/JUNHO DE 2019, pág. 177-194. Disponível em: https://intranet.cbt.ifsp.edu.br/qualif/volume04/Engenharia/Artigo_E_02_177_194.pdf.
- [26] CARVALHO, A.; DA SILVA FILHO, J. I.; MARIO, M. C. Estimador de Qualidade de Enlace de Nós Sensores Sem Fio com Filtro LPA2v e Rede Neural Artificial Paraconsistente. I JORNADA DO IFSP - SUBMISSÃO DE TRABALHOS, 8º CONGRESSO DE INOVAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO IFSP (2017). Disponível em: <http://ocs.ifsp.edu.br/index.php/conict/8cic/paper/view/2791/182>.
- [27] JAYASRI, T. HEMALATHA, M. “Link Quality Estimation using Soft Computing Technique”. *Middle-East Journal of Scientific Research* 21 (1): 158-168, ISSN 1990-9233. IDOSI Publications, 2014. DOI: 10.5829/idosi.mejsr.2014.21.01.21131.