ISSN:2594-6153

# Controle de qualidade dimensional em esteira transportadora com Lógica Paraconsistente Anotada: a grandeza que decide

Alessandro Ferreira Paz Lima, João Inácio da Silva Filho

Universidade Santa Cecília (UNISANTA) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Santos-SP, Brasil

E-mail: alessandrofpl@gmail.com

**Resumo:** A inspeção dimensional automatizada decide por comparação com um limiar, e a discordância entre dois sensores que medem a mesma peça costuma ser eliminada por média antes da decisão. Este trabalho aplica a Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores a um portão de qualidade em esteira, com dois ultrassons avaliando a proposição "a peça mede entre 1,0 e 1,5 cm". A validação numérica mostrou que o algoritmo ParaAnalisador, por testar o Grau de Certeza antes do Grau de Contradição, aprova peça com os sensores discordando em mais da metade da tolerância. Decidir pelo Grau de Certeza Real corrige o caso sem limiar arbitrado.
**Palavras-chave:** lógica paraconsistente anotada; LPA2v; controle de qualidade; inspeção dimensional; Para-Analisador.

## Dimensional quality control on a conveyor belt with Paraconsistent Annotated Logic: the deciding quantity

**Abstract:** Automated dimensional inspection decides by comparison against a threshold, and disagreement between two sensors measuring the same part is usually removed by averaging before the decision. This work applies Paraconsistent Annotated Logic with annotation of two values to a conveyor belt quality gate, with two ultrasonic sensors assessing the proposition "the part measures between 1.0 and 1.5 cm". Numerical validation showed that the Para-Analyzer algorithm, by testing the Degree of Certainty before the Degree of Contradiction, approves parts while the sensors disagree by more than half the tolerance. Deciding by the Real Degree of Certainty fixes the case with no arbitrary threshold.
**Keywords:** paraconsistent annotated logic; PAL2v; quality control; dimensional inspection; Para-Analyzer.

## Introdução

A inspeção automatizada de peças em linha de produção é hoje tratada sobretudo por visão computacional, tanto no reconhecimento do defeito [1] quanto na integração com o controle da linha [2]. O que não aparece nesses trabalhos é a situação em que duas fontes de medição, olhando para a mesma peça, discordam entre si: a arquitetura habitual resolve a divergência antes de decidir, por média ou por voto, e a discordância some do registro no instante em que aparece — embora possa significar peça na fronteira da tolerância, superfície irregular ou sensor descalibrado.

A Lógica Paraconsistente admite a contradição sem que o sistema se torne trivial [3], e sua versão anotada com dois valores extrai de duas fontes duas grandezas independentes: o Grau de Certeza, que mede o consenso a favor da proposição, e o Grau de Contradição, que mede o quanto as fontes se opõem [4]. Há aplicação industrial em monitoramento de ativos por vibração [5] e em sintonia de controladores em cascata [6], e o baixo custo computacional dos algoritmos os torna adequados a sistemas embarcados [7].

Não se localizou trabalho que aplique a lógica à inspeção dimensional em esteira. Ao construir uma bancada para isso, apareceu um problema que não é da montagem e sim do algoritmo de decisão: o Para-Analisador avalia o Grau de Certeza antes do Grau de Contradição, e por isso aprova peça cujos sensores discordam em mais da metade da tolerância verificada. Este artigo apresenta o caso, mostra por que antepor uma guarda de contradição não o resolve, e propõe decidir pelo Grau de Certeza Real.

**Objetivos**

Verificar se a Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores pode decidir um portão de qualidade dimensional a partir de duas fontes que discordam entre si, e examinar se a ordem de avaliação do algoritmo Para-Analisador é adequada a essa aplicação.

**Material e Métodos**

A bancada é uma esteira de lona movida por um motor de corrente contínua sob ponte H, comandada por um Arduino Uno programado em blocos, sem escrever código. A dez centímetros da lona, um suporte graduado sustenta dois sensores de ultrassom HC-SR04 apontados para baixo, e três lâmpadas sinalizam o destino da peça. Os sensores ficam lado a lado de propósito: apontados para o mesmo trecho da mesma peça parada, uma diferença grande entre as leituras não pode ser atribuída à posição de medição, e é isso que torna a discordância informativa.

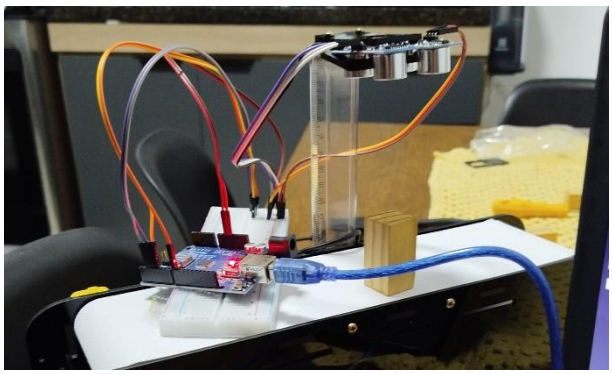


**Figura 1.** Bancada, com os dois sensores de ultrassom sobre a lona e a peça na janela de medição.

A proposição é "a peça mede entre 1,0 e 1,5 cm", e uma faixa não sai de uma normalização monotônica: uma rampa crescente daria evidência máxima a uma peça de três centímetros.

Usaram-se duas valorações opostas sobre a mesma leitura — uma por "a peça não é curta demais", outra por "a peça não é comprida demais" — unidas pelo conectivo AND da própria lógica, que é a minimização entre graus de evidência [4]. Elas trabalham em distância, que é o que o sensor entrega, e suas rampas de 0,2 cm põem os limites nominais exatamente sobre o Grau de Certeza igual a 0,5, o valor de controle adotado. A evidência do primeiro sensor entra como grau favorável e a do segundo como desfavorável, pelo complemento.

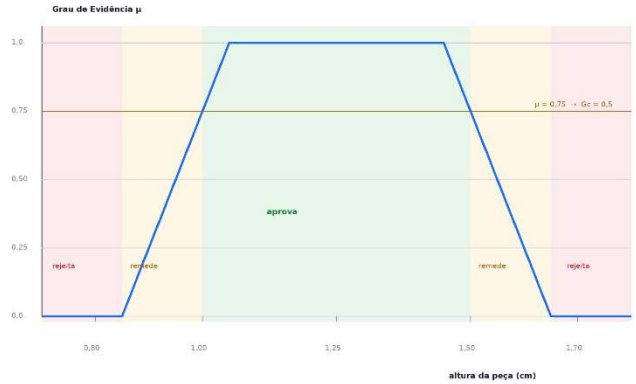



**Figura 2.** Grau de Evidência da proposição-faixa, pela minimização de duas valorações opostas.

## Resultados

A modelagem foi conferida caso a caso pela transformação inversa e pelo invariante $|Gc| + |Gct| \leq 1$, que delimita o reticulado. A Tabela 1 traz lado a lado o estado que o Para-Analisador aponta e a decisão tomada pelo Grau de Certeza Real.

**Tabela 1.** Validação numérica, com a lona a 10 cm. A primeira coluna traz as alturas vistas pelos sensores 1 e 2; a penúltima, o estado apontado pelo Para-Analisador.

| Alturas | μ | λ | Gc | Gct | Gcr | Estado | Decisão |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1,25 e 1,25 cm | 1,00 | 0,00 | +1,00 | 0,00 | +1,000 | V | aprova |
| 0,80 e 0,80 cm | 0,00 | 1,00 | −1,00 | 0,00 | −1,000 | F | rejeita |
| 1,70 e 1,70 cm | 0,00 | 1,00 | −1,00 | 0,00 | −1,000 | F | rejeita |
| 1,25 e 0,97 cm | 1,00 | 0,40 | +0,60 | +0,40 | +0,434 | V | remede |
| 1,25 e 0,95 cm | 1,00 | 0,50 | +0,50 | +0,50 | +0,293 | T | remede |
| 1,25 e 0,90 cm | 1,00 | 0,75 | +0,25 | +0,75 | 0,000 | T | remede |

Nas três primeiras linhas, sem contradição, as duas colunas finais concordam. A quarta é o resultado central: com um sensor vendo 1,25 cm e o outro 0,97 cm na mesma peça, a anotação é P(1,00; 0,40), de onde saem Gc = +0,6 e Gct = +0,4. O Grau de Certeza supera o valor de controle, e a ordem do algoritmo faz com que o Grau de Contradição sequer seja consultado: o Para-Analisador responde “Verdadeiro”, e a peça seria aprovada com os dois sensores discordando em 0,28 cm, mais da metade da tolerância de 0,5 cm que o portão deveria verificar. O Grau de Certeza Real, na mesma anotação, vale +0,434, fica abaixo do corte e devolve a peça para nova medição. É a única linha em que as colunas divergem, e é a que um portão de qualidade não pode errar. Nas duas últimas a contradição cresce e as colunas voltam a concordar, com o Grau de Certeza Real descendo até zerar por indefinição.

O programa, montado apenas com blocos, compila para o Arduino Uno sem ajuste manual e ocupa 20 % da memória de programa e 22 % da de dados.

**Discussão**

O Para-Analisador avalia os estados extremos em ordem fixa: testa o Grau de Certeza contra os valores de controle e só então examina o Grau de Contradição [4]. Uma anotação aprovada no primeiro teste nunca chega ao terceiro. A ordem não está errada; é adequada ao problema para o qual foi escrita. No robô Emmy, a proposição é "existe obstáculo à frente" e o robô precisa continuar andando: privilegiar a certeza é o desejável, e a contradição alta apenas modula a manobra [9]. Num portão de inspeção a prioridade se inverte, porque aprovar sob contradição é o erro mais caro: a peça segue adiante e o registro não guarda sinal de que a evidência era contraditória.

A correção que ocorre primeiro é antepor um teste do Grau de Contradição, devolvendo a peça sempre que $|Gct| \geq 0{,}5$. Ela é insuficiente, e a quarta linha da Tabela 1 é o contraexemplo: com Gct = +0,4 a guarda não dispara. O problema é estrutural, não de ajuste de limiar — pelo invariante $|Gc| + |Gct| \leq 1$, um Grau de Certeza de +0,6 convive com contradição de até 0,4, e qualquer limiar escolhido deixa descoberta a vizinhança imediata dele. A resposta está no próprio formulário da lógica. O Grau de Certeza Real é, por definição, a certeza já descontado o efeito da contradição, obtida pela distância D do estado ao vértice de certeza máxima, com $D = \sqrt{((1 - |Gc|)^2 + Gct^2)}$ e $Gcr = 1 - D$ para Gc positivo [8]. Ao contrário do Grau de Certeza, responde às duas coordenadas ao mesmo tempo e cai continuamente conforme a contradição cresce: vale +1,000 na peça nominal, +0,500 na que mede exatamente o limite, onde não há contradição a descontar, e +0,434 em P(1,00; 0,40). O critério passa a ser um só — $Gcr \geq +0{,}5$

aprova, Gcr ≤ −0,5 rejeita, e o intervalo entre eles devolve a peça para nova medição. Vem junto a guarda de indefinição do Nó de Análise Paraconsistente, que anula o Grau de Certeza Real quando o Intervalo de Evidência cai a 0,25 ou a distância ultrapassa a unidade [8]: contradição alta demais devolve zero, e zero não aprova nem rejeita. O reticulado permanece como diagnóstico impresso no monitor; quem assina a decisão passa a ser o Grau de Certeza Real.

O problema não aparece na literatura de inspeção citada porque nela a discordância entre fontes não chega a ser representada: não existindo grandeza que a meça, não existe a questão de qual grandeza deve decidir [1,2]. Quanto aos limites, a resolução dos ultrassons é da ordem de 0,3 cm, comparável à tolerância de 0,5 cm, o que torna a bancada adequada ao ensino e inadequada à metrologia; as duas fontes são de mesma natureza, de modo que falha comum aos dois sensores não produz contradição; e os ensaios com peças reais ainda não foram executados, de modo que os resultados são de validação numérica, não de desempenho medido na esteira.

**Considerações Finais**

A discordância entre dois sensores pode ser o critério de decisão de um portão de qualidade, e não um ruído a eliminar antes dele; e a escolha da grandeza que decide é questão de projeto tão importante quanto a modelagem da proposição, porque a ordem de avaliação do Para-Analisador, adequada a um robô que precisa continuar andando, aprova peça com os sensores em franca discordância quando transposta para um portão de inspeção, antepor uma guarda de contradição não resolve, e decidir pelo Grau de Certeza Real resolve com uma grandeza já existente no formulário da lógica. Como continuidade, pretende-se executar os ensaios com peças reais e substituir um dos ultrassons por sensor de outra natureza como os de visão computacional.

**Referências**

1. Mighouar Z, Melloui J, Mansouri K, Ech-chhibat MEH, Zahiri L. A systematic review of deep learning based machine vision for quality control in industry 4.0. Discover Mechanical Engineering. 2026;5(1):141. doi: 10.1007/s44245-026-00320-w.
2. Maślanka M, Jancarczyk D, Rysiński J. Integration of machine vision and PLC-based control for scalable quality inspection in Industry 4.0. Sensors. 2025;25(20):6383. doi: 10.3390/s25206383.
3. Da Costa NCA. On the theory of inconsistent formal systems. Notre Dame Journal of Formal Logic. 1974;15(4):497-510. doi: 10.1305/ndjfl/1093891487.
4. Da Silva Filho JI. Métodos de aplicações da Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores – LPA2v. Seleção Documental. 2006;1(1):18-25.

5. Corrêa MP, Machado AC, Da Silva Filho JI, Garcia DV, Mario MC, Sedano CTS. Paraconsistent annotated logic applied to industry assets condition monitoring and failure prevention based on vibration signatures. Research, Society and Development. 2022;11(1):e14211125104. doi: 10.33448/rsd-v11i1.25104.
6. Matos SLC, Lorenzo RB. Rede de análise paraconsistente com compensador de tempo morto aplicado em sintonia de controladores para um processo industrial. Revista Científica SENAI-SP. 2023;1(1):107-27.
7. De Carvalho Junior A, Justo JF, De Oliveira AM, Da Silva Filho JI. A comprehensive review on paraconsistent annotated evidential logic: algorithms, applications, and perspectives. Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2024;127:107342. doi: 10.1016/j.engappai.2023.107342.
8. Da Silva Filho JI, Lambert-Torres G, Abe JM. Inteligência artificial com as redes de análises paraconsistentes: teoria e aplicações. Rio de Janeiro: LTC; 2009. 339 p.
9. Da Silva Filho JI, Torres CR, Abe JM. Robô móvel autônomo Emmy: uma aplicação eficiente da Lógica Paraconsistente Anotada. Seleção Documental. 2006;(3):19-26.