

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

VANDER CELIO NUNES

**APLICAÇÃO DA LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA DE ANOTAÇÃO COM
DOIS VALORES - LPA2v EM TOMADA DE DECISÃO DE UM MANIPULADOR
ROBÓTICO INDUSTRIAL NO PROCESSO DE PALETIZAÇÃO**

SANTOS/SP

2015

VANDER CELIO NUNES

**APLICAÇÃO DA LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA DE ANOTAÇÃO COM
DOIS VALORES - LPA2v EM TOMADA DE DECISÃO DE UM MANIPULADOR
ROBÓTICO INDUSTRIAL NO PROCESSO DE PALETIZAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Santa Cecília
como parte dos requisitos para obtenção de título de
Mestre no Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Mecânica, com a orientação do Prof. Dr.
João Inácio da Silva Filho.

SANTOS/SP

2015

Autorizo a reprodução parcial ou total deste trabalho, por qualquer que seja o processo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos.

Nunes, Vander Celio.

Aplicação da Lógica Paraconsistente Anotada de Anotação com dois valores - LPA2v em tomada de decisão de um Manipulador Robótico Industrial no processo de paletização. / Vander Celio Nunes - 2015.83p.

Orientador: João Inácio da Silva Filho.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Santa Cecília, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Santos, SP, 2015.

1. Paletização. 2. Medição de Peças. 3. Lógica Paraconsistente Anotada de Anotação com dois valores - LPA2v. 4. Otimização de Cargas. 5. Tratamento de incertezas.

I. Da Silva Filho, João Inácio, II. Aplicação da Lógica Paraconsistente Anotada de Anotação com dois valores - LPA2v em tomada de decisão de um Manipulador Robótico Industrial no processo de paletização.

Elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas – Unisanta

Dedico este trabalho à minha esposa
e família, devido à dedicação e
paciência na busca do conhecimento,
da ciência e pesquisa.

AGRADECIMENTOS

À minha esposa Vera Lucia Marques Nunes que sempre me apoiou em tudo inclusive na vida acadêmica e, à minha família que soube compreender o esforço aplicado neste estudo.

Ao professor Prof. Dr. João Inácio da Silva Filho meu agradecimento pelo ensino da Lógica Paraconsistente Anotada de Anotação com dois valores – LPA2v e sistemas especialistas, pela dedicação e orientações de eminente importância para o início, desenvolvimento e conclusão desta dissertação.

À UNISANTA agradeço pelo título de Mestre conquistado.

A todo corpo docente do programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, com especial destaque para os professores Prof. Dr. Aldo Ramos Santos e Prof. Dr. Marcos Tadeu Tavares Pacheco, pelo incentivo ao ingresso no ramo de pesquisa acadêmica.

À equipe da secretaria de Mestrado, Sandra e Imaculada, pelo auxílio e pronto atendimento em todas as fases do processo de estudo.

Ao Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial SENAI/SP pela bolsa auxílio durante este programa de mestrado, investimento acadêmico e tecnológico.

Em especial ao SENAI Anchieta, onde ministrou aulas, e me auxiliaram muito com sua estrutura, com a colaboração dos amigos, ao diretor o senhor Augusto Lins de Albuquerque Neto, coordenadores, professores e demais funcionários dessa unidade do SENAI.

E finalmente agradeço à Santa Cecília e a Mãe Rainha e Vencedora Três Vezes Admirável de Schoenstat, minhas santas de devoção, pela intercessão e recebimento de minhas orações e encaminhamento a Deus.

RESUMO

O principal objetivo deste trabalho é aplicar os princípios da lógica paraconsistente anotada de anotação com dois valores (LPA2v) para atender a um processo de paletização pela flexibilidade de peças, diferenciados de acordo com sua variação dimensional. O objetivo da análise paraconsistente consiste em proporcionar meios para posicioná-los de modo que a área de armazenamento, paletes, tenham a sua ocupação completa, com o espaço físico disponível suficiente apenas para o funcionamento do manipulador robótico. Para executar esta tarefa, foi necessário inserir um algoritmo, por meio de uma programação baseada em LPA2v no controlador de um braço mecânico automatizado chamado de robô industrial, com a tarefa específica de verificar o tamanho da peça de trabalho em relação ao tamanho do dispositivo de transporte, paleta, e assim obter a melhor posição de transporte das peças com a colocação correta no sistema de transporte. O algoritmo paraconsistente é programado, a fim de fazer pleno uso do espaço quanto possível, minimizando a necessidade de paletes que se deslocam ao longo da linha de produção. A análise e o desempenho do algoritmo paraconsistente permite novos processos objetivando aumentar a rentabilidade em função do produto final, reduzindo o custo de produção no que diz respeito à consumo de energia elétrica, à necessidade de espaço de armazenamento entre a produção de células e, portanto, os custos de logística interna e externa. Apresentamos um exemplo de aplicação que demonstra a capacidade de otimização de tarefas com o algoritmo paraconsistente implementado em um manipulador robótico industrial no processo de paletização.

Palavras Chave: Paletização. Robótica. Logística. Lógica Paraconsistente Anotada. Otimização de Carga. Tratamento de Incertezas.

ABSTRACT

The main purpose of this paper is to apply the principles of paraconsistent annotated Logic with annotation of two values (PAL2v) to meet a process of palletizing by the flexibility of parts, differentiated according to their dimensional variation. The aim of paraconsistent analysis is to provide means to position them so that the storage area, pallet, have your full occupancy, with enough free physical space only for the operation of the robotic manipulator. To perform this task, it was necessary to insert an algorithm, by means of a PAL2v-based scheduling in an automated robotic arm controller called industrial robot with the specific task to verify the size of the workpiece relative to the size of the device transport pallet, and thereby obtain the best transport position the parts with proper placement in the transport system. The paraconsistent algorithm is programmed in order to make full use of the space as possible, minimizing the need for pallets moving along the production line. The analysis and the performance of paraconsistent algorithm enables new processes and increasing profitability depending on the final product, reducing the cost of production with regard to electricity, the need for storage space between cell production and therefore the costs of internal logistics and external. We present an example application that demonstrates the efficiency and task optimization capability with paraconsistent algorithm implemented in an Industrial Robotic Manipulator in the palletizing process.

Keywords: Palletizing. Robotics. Logistics. Paraconsistent Annotated Logic. Load optimization. Treatment of Uncertainties.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – RETICULADO DE <i>HASSE</i>	21
FIGURA 2 – RETICULADO DE <i>HASSE</i> DE 4 ESTADOS COM ANOTAÇÃO DE 2 VALORES	23
FIGURA 3 – RETICULADO REPRESENTADO PELO QUPC	24
FIGURA 4 – RETICULADO REPRESENTADO ATRAVÉS DO QUPC	25
FIGURA 5 – REPRESENTAÇÃO DO GRAU DE INCERTEZA	26
FIGURA 6 – RETICULADO REPRESENTADO POR QUPC NO PLANO CARTESIANO 26	26
FIGURA 7 – REPRESENTAÇÃO DO GRAU DE CERTEZA	27
FIGURA 8 – REPRESENTAÇÃO DOS GRAUS DE CERTEZA E DE INCERTEZA.....	28
FIGURA 9 – QUADRADO UNITÁRIO COM NOVOS SEGMENTOS QUE DELIMITAM 12 REGIÕES.....	29
FIGURA 10 -- REPRESENTAÇÃO NO QUADRADO UNITÁRIO DAS REGIÕES DOS ESTADOS EXTREMOS E NÃO-EXTREMOS.....	30
FIGURA 11 – REPRESENTAÇÃO NO GRÁFICO DOS GRAUS DE CERTEZA E INCERTEZA COM VALORES DE CONTROLE DE AJUSTES EM $\frac{1}{2}$	31
FIGURA 12– REPRESENTAÇÃO DO ALGORITMO DE ANÁLISE PARACONSISTENTE DA LPA2V COM SAÍDA DE GRAU DE EVIDÊNCIA RESULTANTE REAL.....	35
FIGURA 13 – NÓ DE ANÁLISE PARACONSISTENTE COM SAÍDA DE GRAU DE EVIDÊNCIA RESULTANTE REAL E BLOCO DE COMPLEMENTAÇÃO EM μ_2	37
FIGURA 14 – TRANSFORMAÇÃO DE GCT EM μ_{CTR}	38
FIGURA 15 -- GRÁFICO μ_{CTR} VERSUS Φ_E PARA ANÁLISE DE EVIDÊNCIAS	39
FIGURA 16 – REPRESENTAÇÃO DO ROBÔ INDUSTRIAL COM CINCO GRAUS DE LIBERDADE.....	44
FIGURA 17 – REPRESENTAÇÃO DOS MOVIMENTOS DO PUNHO (GARRA) DO ROBÔ INDUSTRIAL.....	45
FIGURA 18 – REPRESENTAÇÃO DO ESQUEMA ELÉTRICO SIMPLIFICADO DO FOTODIODO.	49
FIGURA 19 – REPRESENTAÇÃO DO <i>ENCODER</i> ABSOLUTO.....	51
FIGURA 20 – REPRESENTAÇÃO DO <i>ENCODER</i> INCREMENTAL.	52
FIGURA 21 – TABELA INFORMATIVA DOS VALORES DO <i>ENCODER</i> E EVIDÊNCIAS FAVORÁVEIS E DESFAVORÁVEIS RELACIONADOS À OCUPAÇÃO DO PALETE.	54
FIGURA 22 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA OCUPAÇÃO DAS PEÇAS COM RELAÇÃO AO PALETE.....	55

FIGURA 23 – GRÁFICO CORRESPONDENTE À OCUPAÇÃO DO PALETE MEDIANTE A OTIMIZAÇÃO DO ESPAÇO COM DUAS PEÇAS.	57
FIGURA 24 – GRÁFICO CORRESPONDENTE AO GRAU DE OTIMIZAÇÃO DO ESPAÇO. (GRAU DE OTIMIZAÇÃO DO ESPAÇO REPRESENTADO NO EIXO DA ABSCISSA E O VALOR DA EVIDÊNCIA REAL NO EIXO DA ORDENADA).	58
FIGURA 25 – A ILUSTRAÇÃO REPRESENTA A DISPONIBILIDADE DAS PEÇAS DE FORMA INICIAL E FINAL DA TAREFA.	60
FIGURA 26 – A ILUSTRAÇÃO REPRESENTA UMA TABELA QUE DENOTA AS POSIÇÕES GRAVADAS NO CONTROLADOR.	61
FIGURA 27 – FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO.	63
FIGURA 28 – O PALETE E AS PEÇAS DE TESTE.	66
FIGURA 29 – O PALETE E AS PEÇAS DE TESTE.	66
FIGURA 30 – A ILUSTRAÇÃO CORRESPONDE AO RETICULADO DE HASSE E SUAS SAÍDAS CONDICIONAIS.	71
FIGURA 31 – A ILUSTRAÇÃO CORRESPONDE AO RETICULADO DE HASSE E SUAS SAÍDAS CALCULADAS.	71
FIGURA 32 – A ILUSTRAÇÃO CORRESPONDE AO RETICULADO DE HASSE E SUAS SAÍDAS CALCULADAS.	73

LISTA DE SIGLAS

LP	Lógica Paraconsistente.
LPA	Lógica Paraconsistente Anotada.
LPA2v	Lógica Paraconsistente Anotada de Anotação com dois valores.
mm	Milímetro.
MV	Variável Manipulada.
NAP	Nó de Análise Paraconsistente.
Po	Proposição objeto.

LISTA DE SÍMBOLOS

τ	Reticulado finito
$\sim$	Operador de negação
μ	Grau de crença (ou de evidência favorável)
λ	Grau de descrença (ou evidência desfavorável)
$\mathbb{R}$	Conjunto dos números reais
T	Inconsistente
V	Verdadeiro
$\perp$	Paracompleto
pT	Conotação de Inconsistente à proposição p
$p1$	Conotação de Verdade à proposição p
$p0$	Conotação de Falsidade à proposição p
$p\perp$	Anotação ou grau de evidência atribui uma conotação de Indefinição à proposição p
$P\mu$	Sentença proposicional
QUPC	Quadrado Unitário do Plano Cartesiano
Gc	Grau de Certeza
Gct	Grau de Contradição
p	Proposição Inicial
$\perp \rightarrow f$	Paracompleto tendendo ao Falso
$\perp \rightarrow v$	Paracompleto tendendo ao Verdadeiro
$T \rightarrow f$	Inconsistente tendendo ao Falso
$T \rightarrow v$	Inconsistente tendendo ao Verdadeiro
$Qv \rightarrow T$	Quase-verdadeiro tendendo ao Inconsistente
$Qf \rightarrow T$	Quase-falso tendendo ao Inconsistente
$Qf \rightarrow \perp$	Quase-falso tendendo ao Paracompleto
$Qv \rightarrow \perp$	Quase- verdadeiro tendendo ao Paracompleto
V_{scc}	Valor limite superior de Controle de certeza
V_{sci}	Valor limite superior de Controle de incerteza

V_{icc}	Valor limite inferior de Controle de certeza
V_{ici}	Valor limite inferior de Controle de incerteza
S1	Saída discreta
S2a	Saída analógica
S2b	Saída analógica
G_i	Grau de Incerteza
$G_{cmáxV}$	Valor máximo para um estado lógico de Verdade
$G_{cmáxF}$	Valor máximo para um estado lógico de Falsidade
φ	Intervalo de certeza
$\varphi_{(\pm)}$	Intervalo de Certeza sinalizado
φ_E	Intervalo De Evidência Resultante
$\varphi_{E(\pm)}$	Intervalo De Evidência Resultante Sinalizado
μ_{ctr}	Grau De Contradição Normalizado
μ_1	Grau de evidência favorável da peça 1
μ_2	Grau de evidência favorável da peça 2
μ_{ER1}	Grau de Evidência Resultante NAP 1
μ_{ER}	Grau de Evidência Resultante Real
G_{Cr}	Grau de Certeza resultante
G_{CR}	Grau de Certeza real
μ_{ER}	Grau de Evidência Resultante Real da RAP
λ_1	Grau de Evidência Desfavorável da peça 1
λ_2	Grau de Evidência Desfavorável da peça 2

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. JUSTIFICATIVA	16
1.2. RELEVÂNCIA DO TEMA	17
1.3. OBJETIVO	18
1.4. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	19
2. LÓGICA PARACONSISTENTE.....	20
2.1 LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA	20
2.2 LOGICA PARACONSISTENTE ANOTADA DE ANOTAÇÃO COM DOIS VALORES (LPA2V).....	22
2.3 ALGORITMO PARA-ANALISADOR.....	31
2.4 APLICAÇÕES DO ALGORITMO PARA-ANALISADOR	33
2.5 ALGORITMOS PARACONSISTENTES.....	33
2.5.1 O ALGORITMO - NÓ DE ANÁLISE PARACONSISTENTE (NAP)	33
2.5.2 REDE DE ANÁLISE PARACONSISTENTE (RAP)	34
2.6 ANALISE PARACONSISTENTE COM SAÍDA DE GRAU DE EVIDÊNCIA	39
3. ROBÔ INDUSTRIAL	41
4. MODELAGEM MATEMÁTICA	53
5. IMPLEMENTAÇÃO DA PROPOSTA.	60
5.1 VARIÁVEIS E CARACTERÍSTICAS DE ARMAZENAMENTO.....	61
5.2 FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE MEDIÇÃO E MOVIMENTO DO ROBÔ	61
5.3 A APLICAÇÃO DA LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA DE ANOTAÇÃO COM DOIS VALORES – LPA2V NA MEDIÇÃO E TOMADA DE DECISÃO	64
5.3.1 ESTRUTURA OU ESTRATÉGIA PARA O TRATAMENTO DOS DADOS	64
5.4 MEDIÇÃO DAS PEÇAS OU PRODUTOS	66
5.5 ALGORITMO LPA2V IMPLEMENTADO	67
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	69
6.1. TESTES E VALIDAÇÃO DA ESTRATÉGIA ADOTADA.....	69
6.1.1 PRIMEIRA ETAPA DE VALIDAÇÃO DO CONCEITO E TOMADA DE DECISÃO	69
6.1.1.1. VALIDAÇÃO SEGUNDO O RETICULADO DE HASSE.	70
6.2. SEGUNDA ETAPA DE VALIDAÇÃO DO CONCEITO E TOMADA DE DECISÃO ..	72
6.2.1. VALIDAÇÃO: CAIXA MÉDIA E CILINDRO MENOR:	72
6.3. VALORES RESULTANTES	73

7. CONCLUSÕES.....	79
7.1 TRABALHOS FUTUROS	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81

1. INTRODUÇÃO

A robótica industrial tem uma fundamental importância para a saúde laboral do trabalhador e, principalmente, possibilita a melhoria do rendimento de produção onde substitui o esforço físico direto do ser humano e aumenta a precisão na repetibilidade dos processos fabris.

A sinergia da Engenharia Elétrica, Eletrônica com a Engenharia Mecânica viabilizam uma integração de processos denominados de automação, controle e instrumentação e estão estreitamente aliados com os avanços computacionais da microinformática como o desenvolvimento da tecnologia da informação. Estes processos estão em eminente evolução e há várias inovações sendo aprimoradas para se obter ganhos e assim agregar mais eficiência aliada ao processo.

O avanço da informática já tem trazido nas atividades do dia-a-dia muitos benefícios. Mudanças ainda inimagináveis muito maiores estão por vir (ABE, 2013).

O comissionamento entre as diferentes áreas de conhecimentos também auxiliam na evolução e construção do saber em vistas a expansão do desenvolvimento do conhecimento humano. A lógica clássica aristotélica que é binária em sua essência, começa a dar espaço para a lógica não clássica.

Na segunda metade do século XX as pesquisas na área da lógica finalmente conseguiram romper a barreira da lógica clássica, ou seja, surge o primeiro estudo de uma lógica não clássica denominada de lógica discursiva proposta pelo Polonês Jaskowski (DE MORAES, 2013).

O desafio maior é tratar a contradição, isto é, como representá-la de forma substancial ao ponto de significar e mensurar a tomada de decisão mediante a presença da dúvida, da inconsistência, existente.

O processo lógico racional não pode ignorar as contradições, mas procurar extrair delas informações que possam ser relevantes para a tomada de decisão. Dessa forma, a Lógica Paraconsistente Anotada pode ser uma boa ferramenta para tratarmos dados originários do Conhecimento Incerto. (DA SILVA FILHO *et al.*, 2008).

Atualmente há muitos tipos de lógicas não clássicas no campo de pesquisa que envolve controle, automação e logística.

Historicamente o conceito da lógica paraconsistente apareceu quando, de modo independente ao estudo do polonês Jaskowski, o lógico brasileiro Newton C.

A. da Costa por volta de 1950 apresentou um trabalho que considerava a contradição na estrutura da lógica. Este estudo foi denominado pelo filósofo peruano Francisco Miró Quesada de “Paraconsistentes” (“para”, que significa “ao lado de”). Tal denominação foi aceita pela comunidade científica mundial de imediato e estes estudos foram sendo cada vez mais aprofundados por diversos pesquisadores. Da Costa publicou vários trabalhos no campo de pesquisa da lógica paraconsistente com outros pesquisadores dentre os trabalhos publicados estão: *Paraconsistent Logics as a Formalism for Reasoning About Inconsistent Knowledge Base* (1989); *The Paraconsistent Logics Pr* (1989); *Automatic Theorem Proving in Paraconsistent Logics: Teory and Implementation* (1990) e *Remarks on Annotated Logic* (2000).

Em Da Silva Filho (1997) foi proposta uma das primeiras aplicações práticas da lógica paraconsistente em circuitos eletrônicos. A teoria começou a ganhar “vida” através desta aplicação inicial que culminou na construção do Controlador Lógico Paraconsistente (ParaControl) (DA SILVA FILHO, 2000) que foi posto em funcionamento para controlar o robô Emmy I. Em Torres (2004) foi proposta a construção do robô Emmy II, outro trabalho de grande relevância é encontrado em Martins (2003), onde se aplicou a Lógica Paraconsistente num sistema de supervisão de distribuição de energia elétrica, onde foi proposta uma Lógica Paraconsistente Anotada de quatro valores (LPA4v) aplicada em sistema de raciocínio baseado em casos para o restabelecimento de subestações elétricas. Em D’Antonio *et al.* (2012) foi desenvolvido um método estatístico paraconsistente de avaliação quantitativa de grânulos plásticos em praias. Em Nogueira (2013) é encontrado outro trabalho utilizando a LPA em estudo estatístico. Atualmente existem muitos outros trabalhos sendo desenvolvidos com a utilização da LPA.

1.1. Justificativa

Segundo Da Silva Filho *et al.* (2003) vários trabalhos, de cunho estritamente teórico, apresentam a Lógica Paraconsistente como uma boa solução para fazer tratamento de situações onde a Lógica Clássica, por ser binária, se mostra ineficaz ou impossibilitada de ser aplicada. Estas situações como, as de indefinições, as de ambiguidades e principalmente as de inconsistências aparecem e são descritas no mundo real com muita frequência.

O controle de posicionamento de cargas ou produtos em paletes foi escolhido para este trabalho devido à necessidade de alto índice de precisão na medição dimensional dos produtos, ou seja, baixíssima tolerância a incertezas, imprecisões e contradições, quando busca a economia quanto ao espaço de armazenagem do produto e consequentemente o estoque de forma geral. Dessa forma, procura-se com este trabalho, apresentar um inovador método trazendo a Lógica Paraconsistente para estruturar controles em tomada de decisão de um Manipulador Robótico Industrial no processo de paletização.

Os resultados destes estudos são baseados numa classe de Lógica Não Clássica denominada de Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores-(LPA2v). A análise e tratamento das medidas obtidas por sensores permite que vários problemas ocasionados por situações contraditórias e paracompletas possam ser tratados de uma maneira próxima da realidade. Isto é feito através da consideração de evidências com base na Lógica Paraconsistente Anotada (LPA), mais precisamente em sua forma especial denominada de Lógica Paraconsistente Anotada de Anotação com dois valores (LPA2v). Aplicando estes conceitos neste trabalho serão utilizados os algoritmos denominados de nós de análise paraconsistente (NAP) (DA SILVA FILHO *et al.*, 2003) extraídos dos fundamentos da LPA2v.

1.2. Relevância do Tema

A necessidade de se encontrar métodos onde os procedimentos de controle são cada vez mais exigentes faz com que as pesquisas de aplicações utilizando lógicas não-clássicas sejam cada vez mais relevantes. Com base nestas considerações o intuito principal desse trabalho é aplicar os princípios da Lógica Paraconsistente Anotada (LPA) de Anotação com dois valores (LPA2v) de forma a atender um processo de paletização mediante a flexibilidade de peças. Neste processo serão permitidas peças diferenciadas segundo sua variação dimensional, com o objetivo de posicioná-las de modo que a área de armazenamento, palete, tenha sua ocupação plena, com um espaço físico livre suficiente apenas para a manobra do manipulador robótico.

O controle utilizando a (LPA2v) é uma inovação, e sua aplicação em automação tem amplo campo a ser estudado nos quais os controladores de

processos baseados em lógicas Não-Clássicas serão temas bem relevantes em processos industriais.

Para efetuar a paletização de forma otimizada é necessário um algoritmo processador no controlador do robô industrial que, primeiramente, o faça verificar o tamanho da peça com relação à dimensão do dispositivo de transporte, palete. Considerando esta primeira etapa, o controlador terá requisitos necessários para tomar a decisão da melhor posição de transporte das peças, com a devida ocupação do sistema de transporte com vistas ao máximo aproveitamento possível. Com isso será minimizada a necessidade de paletes em movimento ao longo das linhas de produção, viabilizando novos processos e aumentando a lucratividade em função do produto final. Também haverá a redução do custo de produção quanto ao gasto da energia elétrica, a necessidade de espaço de armazenagem entre células de produção e por consequência os gastos com logística interna e externa.

1.3. Objetivo

1.3.1 Objetivo Específico

O objetivo deste trabalho consiste em encontrar, aplicar e testar um método baseado em Lógica Paraconsistente Anotada de Anotação com dois valores (LPA2v) para estruturar controles em tomada de decisão de um Manipulador Robótico Industrial no processo de paletização.

1.3.2 Objetivos Secundários

Para alcançar o objetivo principal foi necessário estabelecer alguns objetivos secundários, os quais são:

1. Investigar aplicações de algoritmos da Lógica Paraconsistente Anotada de Anotação com dois valores (LPA2v) em tomadas de decisão estabelecendo conceitos de otimização de paletes e testar sua funcionalidade no manipulador robótico .

2. Atualizar conceitos de controle de Manipulador Robótico adequando-os as modernas formas de controle com lógicas não clássicas mediante a aplicação e testes de um algoritmo em um robô articulado vertical.

1.4 Organização da Dissertação

Esta Dissertação está organizada do seguinte modo:

No capítulo 1 são apresentados alguns itens de relevância e os objetivos da pesquisa. No capítulo 2 serão apresentados os principais conceitos da Lógica Paraconsistente (LP) com os fundamentos necessários para a elaboração deste trabalho. No capítulo 3 apresentamos os principais fundamentos de um robô manipulador com destaque para as informações técnicas dos principais dispositivos que serão utilizados nesta pesquisa. No capítulo 4 são apresentadas as modelagens matemáticas para a implementação do algoritmo. No capítulo 5 apresentamos os algoritmos e sua implementação no robô manipulador que será utilizado nos testes com o destaque para a estratégia do tratamento dos dados provenientes das medições feitas pelo robô. No capítulo 6 são apresentados os resultados e descritas as discussões relevantes aos procedimentos adotados. No capítulo 7 são apresentadas as conclusões e sugeridos trabalhos futuros a partir dos resultados alcançados.

2. LÓGICA PARACONSISTENTE

A lógica é a ciência que estuda as leis do raciocínio, e segundo Aristóteles a lógica estabelece a maneira certa de como a razão deve operar, pouco importando se o raciocínio tem ou não fundamento na realidade (DA SILVA FILHO; ABE, 2000).

Dentro deste raciocínio a lógica pode ser dividida entre Lógica Clássica, que foi fundada pelos filósofos da Grécia antiga e fundamentada em rígidas leis binárias, e as Lógicas Não-Clássicas, que em seus fundamentos, existem de alguma forma conceitos que desconsideram alguns princípios da clássica.

As Lógicas Não-Clássicas violam justamente as suposições binárias que não admitem indefinições, ambiguidades e contradições nos seus fundamentos. Estabelece que o conceito de dualidade seja algo que pode coexistir com seu oposto para se obter melhor precisão nas conclusões para a tomada de decisão. As Lógicas Não-Clássicas podem complementar o escopo da lógica clássica ou podem rivalizar com ela. (DA SILVA FILHO *et al.*, 2008).

A Lógica Clássica é binária, ou seja, admite apenas dois estados que podem ser verdadeiro ou falso, 0 ou 1. Devido à sua característica binária fica impossível de ser utilizada em algumas situações que retratam o mundo real, que é incompleto e contraditório. Por isso recentemente têm surgidos diversas lógicas consideradas não clássicas.

2.1. Lógica Paraconsistente Anotada

A lógica não clássica, que utilizamos neste trabalho, é a Lógica Paraconsistente (LP) cujas propriedades fundamentais a permite atuar no mundo real oferecendo condições para tratamentos adequados às inconsistências, ou seja, tratamento adequado a duas ou mais interpretações diferentes sobre um mesmo assunto (DA SILVA FILHO; ABE, 2000).

Nesta área de tratamento de incertezas a lógica paraconsistente, na sua forma estendida, denominada lógica paraconsistente Anotada com Anotação de dois valores (LPA2v) também tem se destacado pelos métodos eficientes em tratar informações contraditórias valorizando estas informações que podem trazer evidências para estruturar resultados que retratam melhor a realidade (DA SILVA FILHO, 2006).

Segundo Da Silva Filho (1999) na Lógica Paraconsistente Anotada (LPA) as fórmulas proposicionais vêm acompanhadas de suas respectivas anotações e cada qual é pertencente a um reticulado finito τ onde se atribuem valores às suas correspondentes fórmulas proposicionais.

Uma Lógica Paraconsistente Anotada pode ser representada por um reticulado finito, que pode ser o de quatro vértices, “reticulado de Hasse”, conforme a Figura 1.

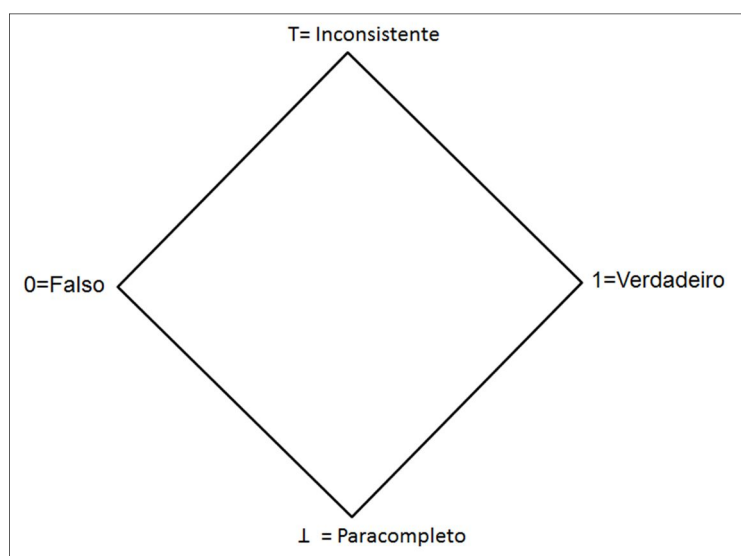


Figura 1 – Reticulado de Hasse.
(Fonte: DA SILVA FILHO, 2006).

A Lógica Paraconsistente Anotada (LPA) é uma lógica pertencente à classe de lógicas evidênciais e faz as análises de sinais representados por anotações que atribuem estados lógicos à proposição. Uma interpretação da LPA em um Reticulado associado permite o equacionamento de valores e a criação de algoritmos para a formação de sistemas de análises paraconsistentes (FERNANDES, 2012).

Na Lógica Paraconsistente Anotada (LPA) considera-se, também um operador $\sim: |\tau| \rightarrow |\tau|$ que se atribui a ação de negação lógica na LPA. Assim, o operador $\sim$ define-se como:

$$\begin{aligned} \sim(1) &= 0; \sim(0) = 1; \\ \sim(T) &= T \text{ e } \sim(\perp) = \perp. \end{aligned}$$

Para Da Silva Filho (1999) cada sentença proposicional é denominada de proposição e, através de uma análise da LPA, a fórmula atômica P_μ pode ter a interpretação de; que na preposição P com grau de confiança (ou de evidência favorável) de no máximo μ , ou até μ ($\leq \mu$). O grau de evidência pode ser definido como uma constante anotacional do reticulado, ou seja, induz-se na afirmação de que cada grau de evidência atribuído à proposição é um valor contido no conjunto de valores composto pelas constantes anotacionais do reticulado ($T, V, F, \perp$). Dessa forma considera-se que cada proposição é acompanhada de anotação que atribui o grau de evidência correspondente a cada variável proposicional, conforme segue abaixo:

- $p_T \rightarrow$ A anotação ou grau de evidência atribui uma conotação de Inconsistente à proposição P ;
- $p_1 \rightarrow$ A anotação ou grau de evidência atribui uma conotação de Verdade à proposição P ;
- $p_0 \rightarrow$ A anotação ou grau de evidência atribui uma conotação de Falsidade à proposição P ;
- $p_\perp \rightarrow$ A anotação ou grau de evidência atribui uma conotação de Indefinição à proposição P .

2.2 Logica Paraconsistente Anotada de Anotação com dois Valores (LPA2v)

Segundo Da Silva Filho (1999) a Lógica Paraconsistente Anotada de Anotação com dois valores (LPA2v) é adequada ao uso de evidências para ajudar a resolver, ou modelar inconsistências. As contradições são tratadas conforme a LPA2v e a análise dos Graus de Evidências traz situações resultantes de saídas que são denominadas de estados lógicos resultantes.

Em Da Silva Filho (1999) considerou-se que a saída pode ter seus estados denominados de extremos ou de estados denominados de não extremos. O primeiro grupo é composto por Falso, Verdadeiro, Inconsistente e Paracompleto, e o segundo possui todos os outros estados representados no reticulado. Sendo assim, são associados dois valores à uma anotação do reticulado que, por sua vez atribui estado lógico à Proposição P .

O mesmo estudo de Da Silva Filho (1999) aponta que o primeiro valor da anotação representa a Evidência Favorável à proposição P e o segundo valor

representa a Evidência Contrária (Evidência Desfavorável) à proposição P . O símbolo do grau de evidência favorável é a letra grega “ μ ” e o símbolo do grau de evidência desfavorável é a letra grega “ λ ”. Portanto, cada constante anotacional do reticulado pode ser representado pelo par (μ, λ) conforme a Figura 2.

- μ = Grau de evidência favorável;
- λ = Grau de evidência desfavorável.

No reticulado de Hasse com anotação de dois valores:

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

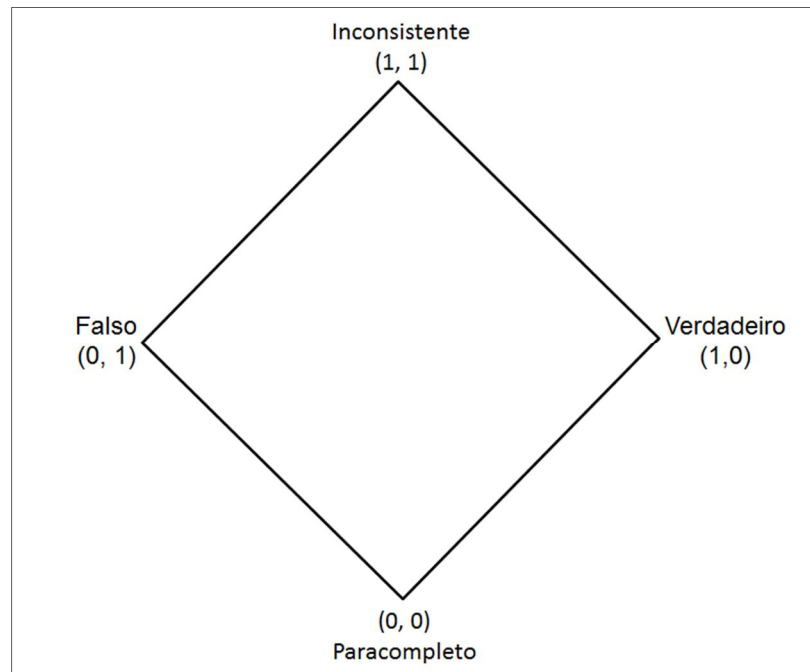


Figura 2 – Reticulado de Hasse de 4 estados com anotação de 2 valores.
(Fonte: DA SILVA FILHO, 1999).

Assim: Se P é uma fórmula básica, o operador $\sim : |\tau| \rightarrow |\tau|$ é definido como: $\sim [(\mu, \lambda)] = (\lambda, \mu)$ onde, $(\mu, \lambda \in \{x \in \mathbb{R} \mid 0 \leq x \leq 1\})$, considera-se (μ, λ) como uma anotação de P .

A atribuição dos graus de evidência objetiva solucionar justamente o problema de sinais contraditórios, ou seja, coletando-se evidências, analisando-as e assim modificar o comportamento do sistema para que as contradições possam diminuir (DA SILVA FILHO, 2006).

O reticulado da LPA2v pode ser representado num plano cartesiano como pontos no quadrado unitário. A Figura 3 representa o quadrado unitário do plano cartesiano (QUPC).

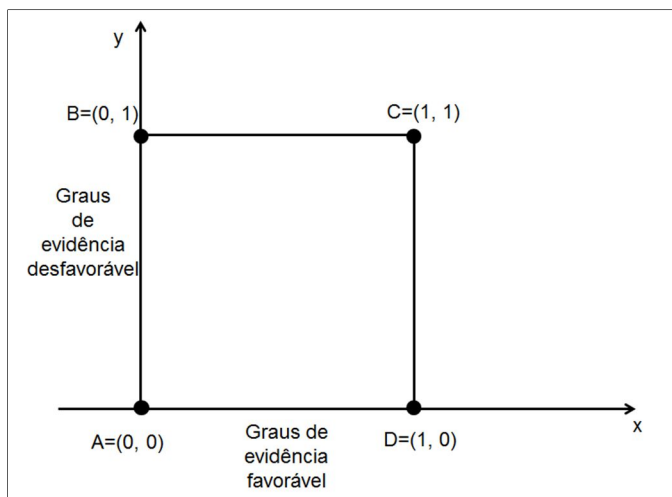


Figura 3 – Reticulado representado pelo QUPC.
(Fonte: DA SILVA FILHO, 2006).

Nesta representação, no eixo x (abscissas) estão os valores dos graus de evidência favorável e no eixo y (ordenadas) os valores dos graus de evidência desfavorável. Nos pontos A, B, C e D da Figura 3 tem-se:

- Ponto A = (0, 0) $\Rightarrow$ Paracompleto, ou Indeterminado;
- Ponto B = (0, 1) $\Rightarrow$ Falso;
- Ponto C = (1, 1) $\Rightarrow$ Inconsistente;
- Ponto D = (1, 0) $\Rightarrow$ Verdadeiro.

No QUPC considera-se um segmento de reta de extremidades nos pontos D e B o qual se chama de segmento perfeitamente definido. No interior do QUPC podem-se considerar vários segmentos de retas paralelos ao segmento perfeitamente definido, conforme mostra a Figura 4.

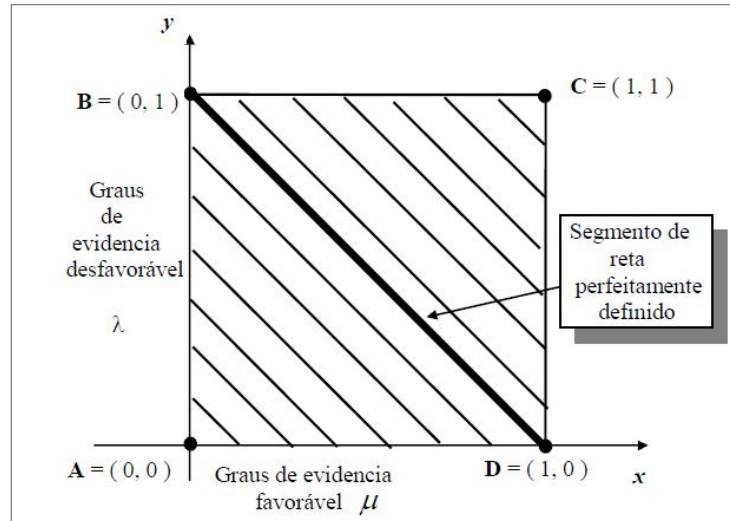


Figura 4 – Reticulado representado pelo QUPC.
(Fonte: DA SILVA FILHO, 2006).

À distância $d(x_{ij})$ entre qualquer ponto (x, y) pertencente aos segmentos paralelos e ao segmento perfeitamente definido é determinada pela equação:

$$d(x, y) = x + y - 1$$

No QUPC é visto que há uma relação direta entre o valor da distância $d(x, y)$ e as situações de inconsistência e paracompleteza, da seguinte forma:

- $d(x, y) = +1$ no ponto $C(1, 1)$, estado extremo de inconsistência;
- $d(x, y) = -1$ no ponto $A(0, 0)$, estado extremo de paracompleteza.

Valores intermediários entre $+1$ e -1 são encontrados quando os valores de x e de y variam entre 0 e 1, portanto, o resultado do cálculo da distância $d(x, y)$ varia entre -1 a $+1$. Com o grau de evidência favorável μ disposto no eixo x e o grau de evidência desfavorável λ disposto no eixo y , é definido o valor da distância $d(x, y)$ quando calculado através dos graus de evidências, como o Grau de Incerteza (G_i) ou Grau de Contradição (G_{ct}) da proposição P . Portanto:

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

Quando o grau de contradição for maior que zero será denominado de grau de Inconsistência. Se e somente se $\mu \geq \lambda$.

Quando o grau de contradição for menor que zero será denominado de grau de Paracompleteza. Se e somente se $\mu < \lambda$.

Estes valores são alocados em um eixo de graus, denominado de eixo dos graus de incertezas.

A Figura 5 mostra o eixo dos graus de incerteza com os seus valores no intervalo fechado de -1 a + 1.

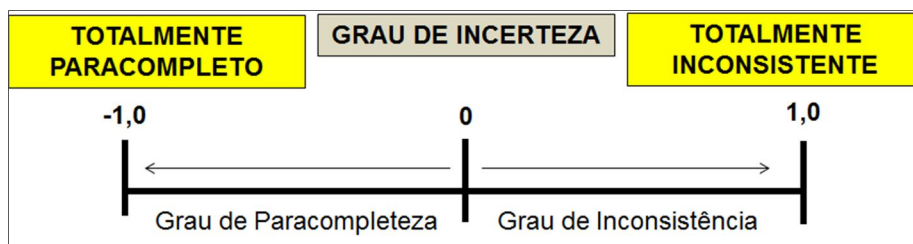


Figura 5 – Representação do grau de incerteza.
(Fonte: DA SILVA FILHO, 2006).

No quadrado unitário do plano cartesiano considerando-se o segmento de reta determinado pelos pontos A e C. Este novo segmento é denominado de segmento perfeitamente indefinido. Da mesma forma podem-se considerar segmentos paralelos ao perfeitamente indefinido, como mostra a Figura 6.

A distância $d_{ij}'(x_{ij})$ entre qualquer ponto (x, y) que pertença a estas retas paralelas e a reta perfeitamente indefinida é determinada por:

$$d'(x, y) = x - y$$

No QUPC é visto que há uma relação direta entre o valor da distância $d(x, y)$ e as situações de Verdade e Falsidade, da seguinte forma:

$d(x, y) = +1$ no ponto D(1,0), estado extremo de Verdade.

$d(x, y) = -1$ no ponto B(0,1), estado extremo de Falsidade.

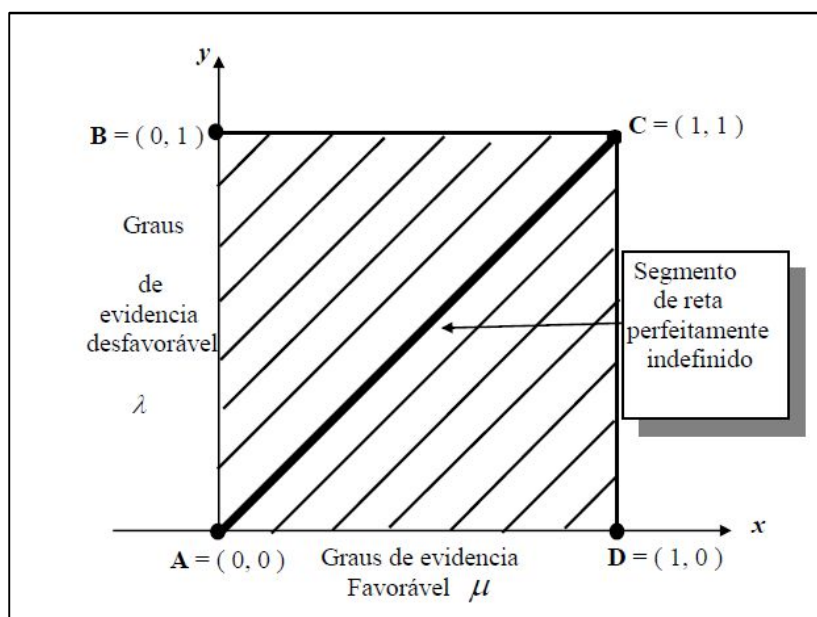


Figura 6 – Reticulado representado por QUPC no plano cartesiano.
(Fonte: DA SILVA FILHO, 2006).

Valores intermediários entre +1 e -1 são encontrados quando há variação entre 0 e 1 nos valores de x e de y , portanto, o resultado do cálculo da distância $d(x, y)$ varia entre -1 à +1.

Com o grau de evidência favorável μ disposto no eixo x e o grau de evidência desfavorável λ disposto no eixo y , é definido o valor da distância $d(x, y)$ quando calculado através dos graus de evidências, como sendo o grau de certeza G_c da proposição P . Portanto:

$$G_c = \mu - \lambda$$

Quando o Grau de certeza for igual ou maior que zero será denominado de Grau de verdade. Se e somente se $\mu \geq \lambda$.

Quando o grau de certeza for menor que zero, será denominado de grau de falsidade. Se e somente se $\mu < \lambda$.

Estes valores são alocados em um eixo de graus que denominamos de eixo dos graus de certeza. A Figura 7 mostra o eixo dos graus de certeza.

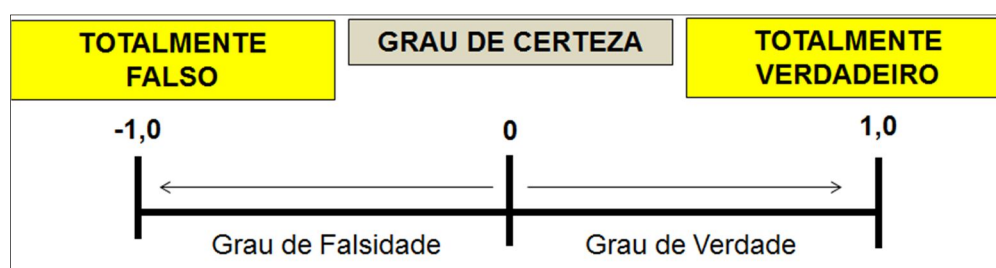


Figura 7 – Representação do Grau de Certeza.
(Fonte: DA SILVA FILHO, 2006).

Os eixos dos graus de certeza e de incerteza podem ser dispostos num único plano onde os valores dos graus considerados de incerteza são alocados na vertical e os valores dos graus considerados de certeza, na horizontal. Através dos graus de certeza e de incerteza as equações mostram a qualquer instante em que região do reticulado está situado o resultado da análise dos graus de evidência favorável e de evidência desfavorável atribuídos à proposição inicial P . A Figura 8 apresenta esta representação.

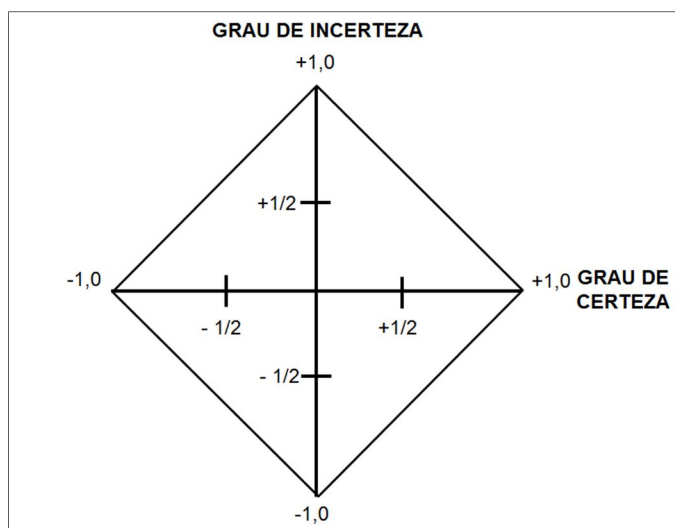


Figura 8 – Representação dos Graus de Certeza e de incerteza.
(Fonte: DA SILVA FILHO, 1999).

Com os valores do reticulado, são delimitadas regiões através do quadrado unitário do plano cartesiano que definem os estados lógicos resultantes de saída. Estes estados lógicos são descritos apenas com os valores dos graus de certeza e de incerteza por meio das equações. Cada par de valores composto por grau de certeza e grau de incerteza define a localização de um ponto no QUPC e consequentemente no reticulado da LPA2v. Verifica-se que este ponto está situado em uma única região delimitada correspondendo a um único estado resultante de saída. Na prática, isto significa o número de regiões delimitadas que define a resolução do quadrado unitário do plano cartesiano e é totalmente dependente da precisão da análise desejada na saída.

A resolução de 12 estados pode parecer a mais adequada para uma pesquisa inicial, ficando claro, no entanto, que o quadrado unitário pode ser dividido em qualquer número de regiões exigidas pela aplicação do projeto. Os novos segmentos de reta com suas respectivas denominações, que delimitam as regiões no quadrado unitário para uma resolução 12, podem ser vistas na Figura 9.

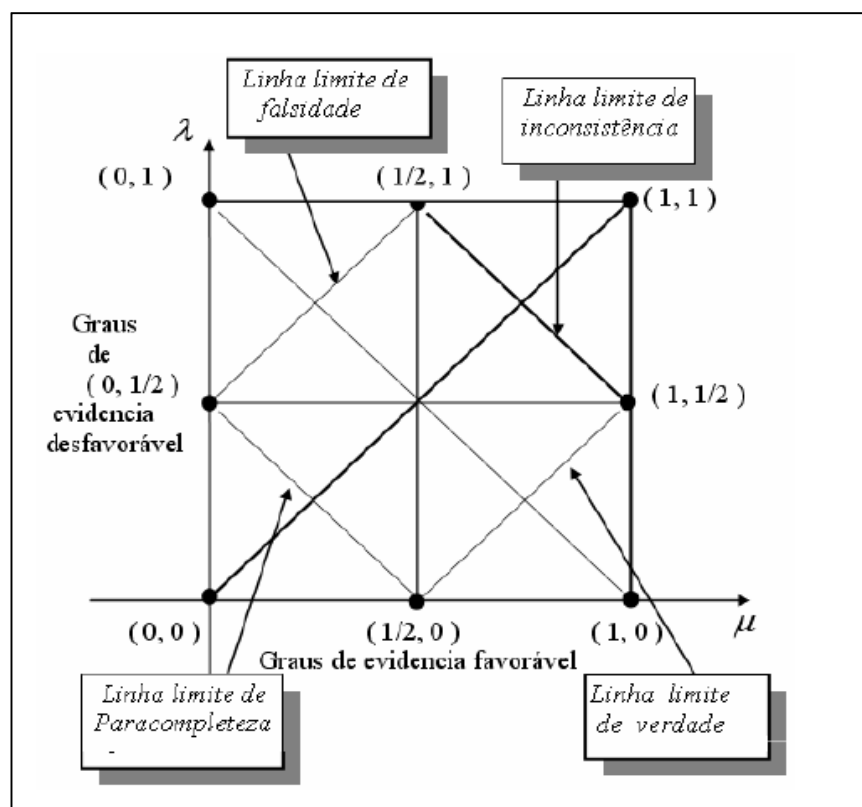


Figura 9 – Quadrado Unitário com novos Segmentos que delimitam 12 regiões.
(Fonte: DA SILVA FILHO, 1999).

Conforme Da Silva Filho (1999) para facilitar o reconhecimento de cada região, cada uma delas recebeu uma denominação de acordo com a sua proximidade com os pontos de estados extremos do reticulado. O QUPC de resolução 12 com as regiões e os seus correspondentes estados resultantes de saída, são mostrados na Figura 10 onde os estados extremos do quadrado unitário são:

$T \Rightarrow$ Inconsistente;

$F \Rightarrow$ Falso;

$\perp \Rightarrow$ Paracompleto;

$V \Rightarrow$ Verdadeiro.

E os estados não-extremos são denominados:

$\perp \rightarrow f \Rightarrow$ Paracompleto tendendo ao Falso;

$\perp \rightarrow v \Rightarrow$ Paracompleto tendendo ao Verdadeiro;

$T \rightarrow f \Rightarrow$ Inconsistente tendendo ao Falso;

$T \rightarrow v \Rightarrow$ Inconsistente tendendo ao Verdadeiro;

$Qv \rightarrow T \Rightarrow$ Quase-verdadeiro tendendo ao Inconsistente;

$Qf \rightarrow T \Rightarrow$ Quase-falso tendendo ao Inconsistente;

$Qf \rightarrow \perp \Rightarrow$ Quase-falso tendendo ao Paracompleto;

$Qv \rightarrow \perp \Rightarrow$ Quase- verdadeiro tendendo ao Paracompleto.

Na Figura são mostrados os estados extremos nos eixos dos valores de certeza foram delimitados pelo grau de verdade igual á $\frac{1}{2}$ para ser considerado “Verdadeiro” e grau de falsidade igual a $-\frac{1}{2}$ para ser considerado “Falso”. Da mesma forma os estados extremos nos eixos dos valores de incerteza foram delimitados por grau de inconsistência igual a $\frac{1}{2}$, para ser considerado “Inconsistente” e grau de paracompleteza igual a $-\frac{1}{2}$ para ser considerado “Paracompleto”.

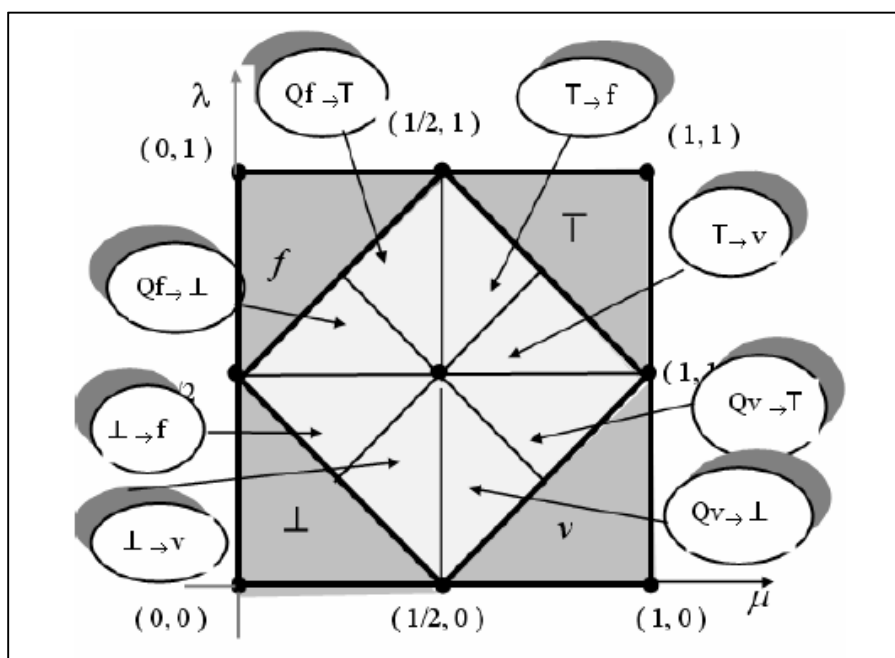


Figura 10 - Representação no quadrado unitário das regiões dos estados extremos e não-extremos.

(Fonte: DA SILVA FILHO, 1999).

Os valores limitantes dos estados extremos e não extremos é decisão de projeto, portanto é dependente das aplicações. Estes valores podem ser ajustados externamente e são denominados de Valores Limite ou de ajuste, onde:

- V_{scc} = Valor limite superior de Controle de certeza;
- V_{sci} = Valor limite superior de Controle de incerteza;
- V_{icc} = Valor limite inferior de Controle de certeza;
- V_{ici} = Valor limite inferior de Controle de incerteza.

No trabalho de Da Silva Filho (1999) o reticulado da LPA2v representado pelo quadrado unitário no plano cartesiano, foi projetado com regiões delimitadas por valores de controle $1/2$ e com resolução 12. A representação desta configuração feita pelos eixos dos valores dos graus de certeza e de incerteza na forma do reticulado é mostrada na Figura 11.

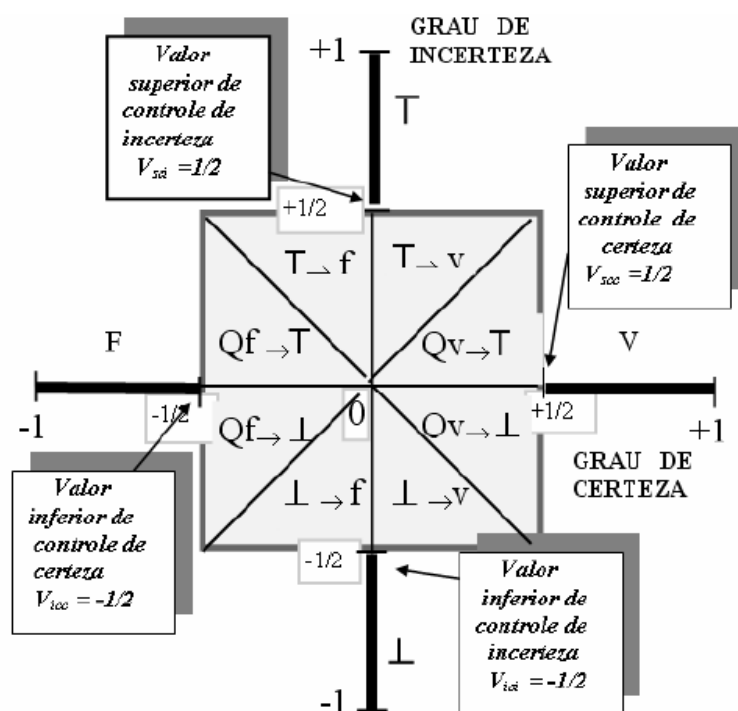


Figura 11 – Representação no gráfico dos graus de certeza e incerteza com valores de controle de ajustes em $1/2$.

(Fonte: DA SILVA FILHO, 1999).

Assim, de posse das configurações propostas e os valores obtidos é então, elaborado o algoritmo baseado na Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores (LPA2v) que foi denominado de “Para-Analisador”.

2.3 Algoritmo Para-Analisador

Como resultado das várias sentenças descritivas no reticulado representado no QUPC é proposto o algoritmo para implementação em um programa de computação convencional que possibilita a aplicação da Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores-LPA2v em Sistemas de Controle e Especialistas de Inteligência Artificial (IA) (DA SILVA FILHO, 2006).

/Definições dos valores/

V_{sc} = C1 */ Definição do valor superior de controle de certeza*/

V_{ic} = C2 */ Definição do valor inferior de controle de certeza*/

V_{sc} = C3 */ Definição do valor superior de controle de incerteza*/

V_{ic} = C4 */ Definição do valor inferior de controle de incerteza*/

/Variáveis de entrada/

μ

λ

/Variáveis de saída/

Saída discreta = S1

Saída analógica = S2a

Saída analógica = S2b

/Expressões matemáticas/

sendo: $0 \leq \mu \leq 1$ e $0 \leq \lambda \leq 1$

$G_i = \mu + \lambda - 1$

$G_c = \mu - \lambda$

/determinação dos estados extremos/

Se $G_c \geq C1$ então S1 = V

Se $G_c \leq C2$ então S1 = F

Se $G_i \geq C3$ então S1 = T

Se $G_i \leq C4$ então S1 = $\perp$

/determinação dos estados não-extremos/

Para $0 \leq G_c < C1$ e $0 \leq G_i < C3$

se $G_c \geq G_i$ então S1 = $Q_v \rightarrow T$

Senão S1 = $T \rightarrow v$

Para $0 \leq G_c < C1$ e $C4 < G_i \leq 0$

se $G_c \geq |G_i|$ então S1 = $Q_v \rightarrow \perp$

Senão S1 = $\perp \rightarrow v$

Para $C2 < G_c \leq 0$ e $C4 < G_i \leq 0$

se $|G_c| \geq |G_i|$ então S1 = $Q_f \rightarrow \perp$

Senão S1 = $\perp \rightarrow f$

Para $C2 < G_c \leq 0$ e $0 \leq G_i < C3$

se $|G_c| \geq G_i$ então S1 = $Q_f \rightarrow T$

Senão $S1 = T \rightarrow f$

$G_i = S2a$

$G_c = S2b$

/ FIM/

2.4 Aplicações do Algoritmo Para-Analisador

O *software* para-analisador foi implementado na prática por da Silva Filho (1999) no robô Emmy, que foi o primeiro robô a utilizar a LPA2v. O robô Emmy tem dois sensores de Ultrassom que trazem as informações de distância que o separa dos objetos. Um circuito interno chamado de Para-sônico transforma a distância em um sinal de tensão elétrica. Como resultado, a intensidade da tensão elétrica é proporcional à distância. Neste projeto do Robô Emmy os objetos são sensorizados a uma faixa de distância de 0,3 a 5m. Sinais proporcionais de 0 a 5V para Grau de Evidência favorável e de 5V a 0V para o Grau de Evidência desfavorável são gerados em um circuito. Estes valores são normalizados e considerados como as duas entradas para o Algoritmo Para-Analisador. Com a ação do Controlador Lógico Paraconsistente o robô Emmy mostra-se capaz de desviar de obstáculo em ambiente não estruturado fazendo análise e tratando os sinais conforme a Lógica Paraconsistente. Os dois sensores enviam os sinais anotados de informações sobre a existência de obstáculos que são analisados no Para-analisador e estão relacionados a proposição “Existe obstáculo à frente”. A análise paraconsistente gera 12 estados lógicos que fazem os circuitos posteriores produzirem 12 diferentes ações no robô Emmy (DA SILVA FILHO, 2000).

2.5 Algoritmos Paraconsistentes

2.5.1 O Algoritmo - Nó de Análise Paraconsistente (NAP)

Segundo Da Silva Filho *et al.* (2008) o Nó de Análise Paraconsistente é a denominação dada a um algoritmo extraído da LPA2v para análise de uma proposição através da entrada na forma de anotação composta por um Grau de Evidência Favorável (μ) e um Grau de Evidência Desfavorável (λ). Na saída se obtém o Grau de Evidência Resultante Real (μ_{ER}) (quando normalizado) e uma intensidade da contradição representada através de um Intervalo de certeza (ϕ_E).

2.5.2 Rede de Análise Paraconsistente (RAP)

O processo lógico racional não pode ignorar as contradições, mas procurar extrair delas informações que possam ser relevantes para a tomada de decisão (DA SILVA FILHO *et al.*, 2008). Os Nós de Análise Paraconsistente (NAPs) são algoritmos obtidos da metodologia estudada no LPA2v e do Algoritmo Para-analisador, para tomadas de decisão e controle no tratamento de sinais incertos e que poderão ser utilizados para compor uma Rede de Análise Paraconsistente.

Uma Rede de Análise Paraconsistente RAP compõe-se de dois ou mais NAPs interligados entre si e em cada nó é efetuada a análise de uma única proposição. No último nó da rede há uma proposição objeto (Po) e para se chegar até ela se faz necessária à análise das proposições de cada nó (DA SILVA FILHO *et al.*, 2008).

Para Da Silva Filho *et al.* (2008) dados imperfeitos são os que abrangem informações imprecisas, inconsistentes, parcialmente ignoradas e mesmo incompletas. Em sistemas de análise paraconsistente estes dados imperfeitos não são descartados, mas inseridos onde recebem tratamento convenientes em NAPs construídos para o apoio a tomada de decisão mesmo com informações provenientes de conhecimento incerto. O mesmo estudo de Da Silva Filho *et al.* (2008) aponta que este sistema composto pelo NAP deve ser robusto, bem fundamentado teoricamente na avaliação da incerteza e seguir certos critérios da seguinte classificação:

- O NAP deve gerar resultados de boa interpretação;
- O NAP deve tratar imprecisões;
- O NAP deve calcular valores incertos;
- O NAP deve apresentar consistência nos resultados;
- O NAP deve apresentar boa computabilidade dos dados envolvidos.

Nas utilizações das RAPs as fontes de informações providas de várias fontes ou de diferentes especialistas alimentam o NAP. Estas informações são os Graus de Evidência.

Tendo-se duas fontes de informação que enviam para o NAP sinais de evidência a respeito de uma determinada proposição, tal como:

- μ_1 - Sinal da Fonte de Informação 1;
- μ_2 - Sinal da Fonte de Informação 2.

A fórmula proposicional da LPA2v é dada por $P_{(\mu,\lambda)}$ onde:

μ = Grau de Evidência favorável à proposição P ;

λ = Grau de Evidência Desfavorável à proposição P calculado pelo complemento do Grau de Evidência Favorável da fonte de informação 2.

$$\lambda = 1 - \mu_2$$

Na Figura 12 tem-se a representação simbólica de um NAP.

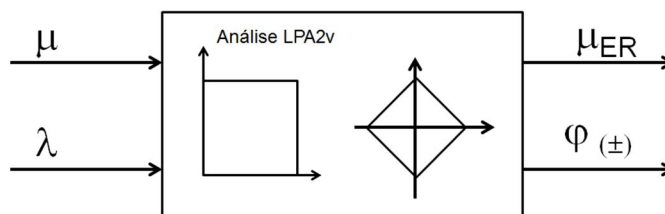


Figura 12– Representação do algoritmo de análise paraconsistente da LPA2v com saída de grau de evidência resultante real.
(Fonte: DA SILVA FILHO *et al.*, 2008).

Para Da Silva Filho *et al.* (2008) quando o resultado do NAP for Grau de Certeza zero significa que as fontes de informação não possuem evidências suficientes para afirmar ou refutar uma proposição, ou seja, 50% com Grau de Evidência favorável e 50% com Grau de Evidência desfavorável. Há a implicação de que nas fontes de informações podem ter duas possibilidades:

- Baixa intensidade de evidências para afirmar ou negar a proposição;
- Evidências com alta intensidade de inconsistência.

Neste mesmo estudo Da Silva Filho *et al.* (2008) demonstra que por outro lado, quando o Grau de Certeza for baixo por insuficiência de informações o sistema tem condições de receber um “reforço” nos valores dos Graus de Evidência, ou seja, as evidências devem ser reforçadas até que o Grau de Certeza atinja um valor máximo apropriado para que seja tomada a decisão.

Na análise paraconsistente há o Grau de Certeza G_c e outro valor correspondente, que é o Grau de Contradição G_{ct} . Se este último permitir variação no valor do primeiro pode-se afirmar que existem valores no eixo de G_c de valor máximo para um estado lógico Verdadeiro (V) e o de valor máximo para um estado lógico de Falsidade (F). O intervalo de certeza é representado pela letra grega φ , é definido como sendo o intervalo de valores de certeza em que o Grau de Certeza

pode variar sem a limitação do Grau de Contradição. Este intervalo é representado por:

$$\varphi = 1 - |G_{ct}|$$

O Grau de Certeza máximo tendendo a Verdade é dado por:

$$G_{CmáxV} = +\varphi$$

O Grau de Certeza máximo tendendo a Falsidade é dado por:

$$G_{CmáxF} = -\varphi$$

O Grau de Certeza resultante (G_{Cr}) das análises terá a indicação do quão poderá ser reforçado em suas evidências para aumentar a certeza da proposição P. A representação do Grau de Certeza resultante é:

$$G_{Cr} = \begin{bmatrix} Gc \\ \varphi \end{bmatrix}$$

Gc = Grau de Certeza calculado.

φ =Intervalo de Certeza.

Para Da Silva Filho *et al.* (2008) a indicação por φ é do valor máximo para afirmar ou refutar a proposição. O Intervalo de certeza informa qual será o Grau de certeza máximo negativo que se obtém diminuindo-se a afirmação da Evidência Favorável e aumentando-se a negação da Evidência Desfavorável levando o resultado se aproximar da Falsidade. O Intervalo de certeza indica qual será o Grau de Certeza máximo positivo que se obtém aumentando-se a afirmação da Evidência Favorável e diminuindo-se a negação da Evidência Desfavorável levando o resultado se aproximar do Verdadeiro.

Na representação simbólica, o Intervalo de Certeza φ é acrescido na sua frente de um sinal positivo (+) ou negativo (-) que vai indicar se o seu valor absoluto foi originado por um Grau de Contradição positivo tendendo a Inconsistente ou de um Grau de Contradição negativo tendendo a Indeterminado. A representação fica:

$$G_{Cr} = \begin{bmatrix} Gc \\ \varphi(\pm) \end{bmatrix}$$

O Grau de Certeza real (G_{CR}) representa o Grau de Certeza livre de efeito de contradição e para isso no processo de análise é subtraído do seu valor relativo um valor que se considera como o causado pelo efeito das inconsistências nas informações.

A distância D da reta, que vai do ponto máximo Grau de Certeza (V) até o ponto de intersecção de G_c e G_{ct} , é calculada pela equação abaixo:

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

Assim, o Grau de Certeza real G_{CR} é obtido através da determinação da distância D , conforme as seguintes condicionantes:

Para $G_c > 0$:

$$G_{CR} = (1 - D)$$

ou

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

Para $G_c < 0$:

$$G_{CR} = (D - 1)$$

ou

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

Desta forma pode-se obter o Grau de Evidência Resultante Real μ_{ER} conforme a equação a seguir:

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

Muitas outras possibilidades foram estudadas por Da Silva Filho *et al.* (2008), mas neste presente trabalho optou-se pelo algoritmo de análise paraconsistente com saída de grau de evidência resultante real representado com outra simbologia conforme a Figura 13.

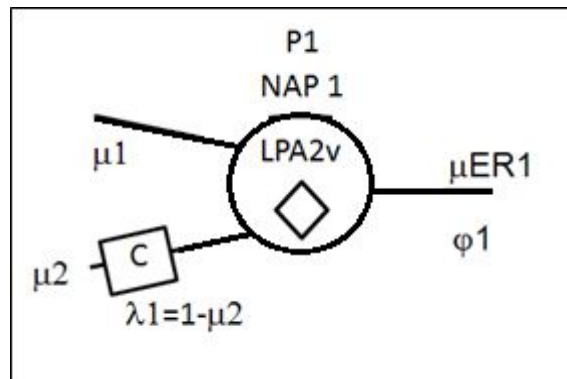


Figura 13 – Nó de Análise Paraconsistente com saída de Grau de Evidência Resultante Real e bloco de complementação em μ_2 .
(Fonte: DA SILVA FILHO *et al.*, 2008)

Para que a resposta em um NAP seja padronizada é feita a normalização no grau de contradição para que assim seus valores fiquem no intervalo real fechado entre 0 e 1. A equação é representada por:

$$\mu_{ctr} = \frac{G_{ct} + 1}{2}$$

ou

$$\mu_{ctr} = \frac{\mu + \lambda}{2}$$

A relação entre os valores do Grau de Contradição G_{ct} e os valores do Grau de Contradição normalizado μ_{ctr} é representada na Figura 14:

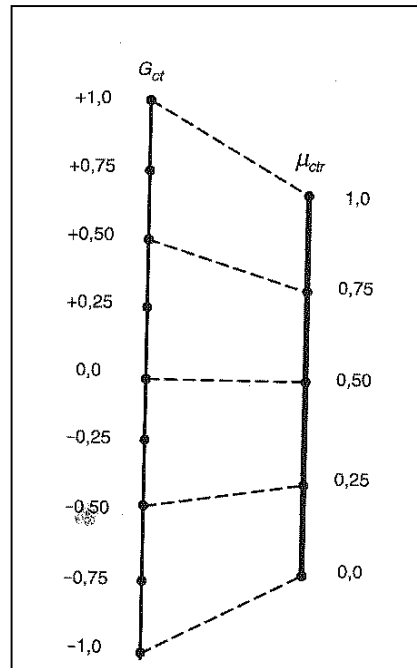


Figura 14 – Transformação de G_{ct} em μ_{ctr} .
(Fonte: DA SILVA FILHO *et al.*, 2008).

Pela Figura 14 observa-se que a normalização se dá quando μ_{ctr} é 0,5 e G_{ct} é 0, ou seja, não há contradição. Quando G_{ct} é igual a um, tem-se o estado lógico totalmente inconsistente ($\mu_{ctr}=1$) e quando G_{ct} é igual a um negativo, tem-se o estado lógico totalmente indeterminado ou Paracompleto ($\mu_{ctr}=0$).

Através do cálculo do grau de contradição (μ_{ctr}) normalizado pode-se determinar o Intervalo de Evidência resultante pela equação:

$$\varphi_E = 1 - |2 \cdot \mu_{ctr} - 1|$$

Assim pode-se estabelecer uma combinação entre o grau de contradição normalizado (μ_{ctr}) e (φ_E) da seguinte maneira:

- Se $\mu_{ctr}=1$ e $\varphi_E=0 \rightarrow$ O estado lógico é totalmente Inconsistente;
- Se $\mu_{ctr}=0,5$ e $\varphi_E=1 \rightarrow$ O estado lógico é sem contradição;
- Se $\mu_{ctr}=0$ e $\varphi_E=0 \rightarrow$ O estado lógico é totalmente Indeterminado.

Na combinação $\mu_{ctr}=0,5$ e $\varphi_E=1$ não há contradição, portanto esta associação pode ser considerada como o ponto ideal de ajuste, ou controle, de um sistema que se utiliza de algoritmos paraconsistentes para avaliação de incertezas e contradições. Na Figura 15 é mostrado o ponto ideal de controle:

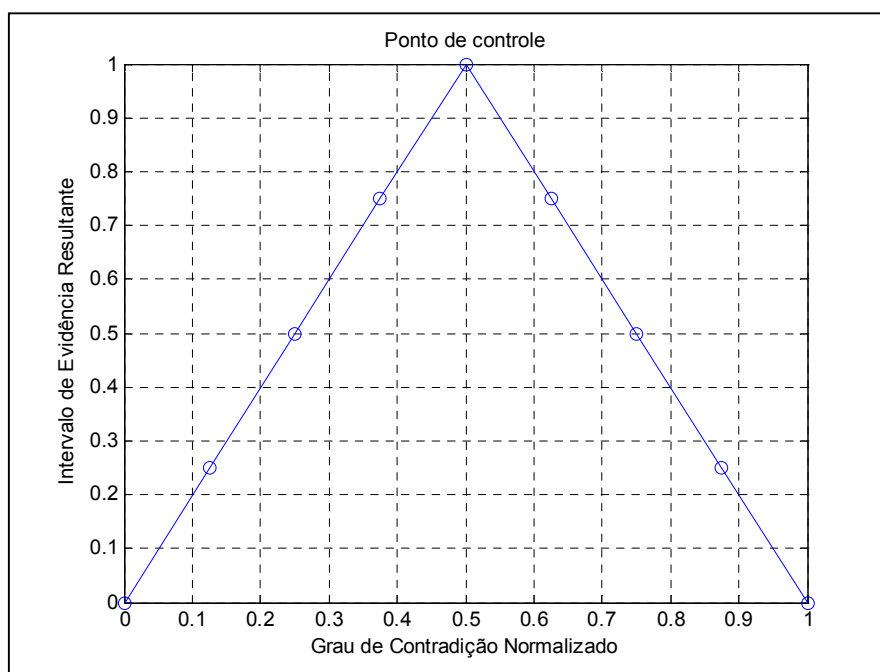


Figura 15 - Gráfico μ_{ctr} versus φ_E para análise de Evidências.
(Fonte: DA SILVA FILHO *et al.*, 2008).

2.6 Análise Paraconsistente com Saída de Grau de Evidência

O sistema Paraconsistente de Tratamento de Incertezas pode ser utilizado em diversos campos do conhecimento onde informações incompletas e contraditórias receberão um tratamento adequado através das equações da LPA2v.

Segundo Da Silva Filho *et al.* (2008) o sistema ou algoritmo nó de análise paraconsistente pode ser feito utilizando-se das equações obtidas no estudo dos NAPs.

O algoritmo de Análise paraconsistente para determinação do Grau de Certeza real e do Intervalo de Certeza é exposto a seguir:

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.

$$\mu_{ctr} = \frac{\mu + \lambda}{2}$$

Calcule o Intervalo de Evidência Resultante

$$\varphi_E = 1 - |2 \cdot \mu_{ctr} - 1|$$

Calcule o Grau de Certeza.

$$Gc = \mu - \lambda$$

Calcule o Grau de Contradição

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

Calcule a distância D

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

Calcule o Grau de Certeza Real

Se $Gc > 0$, $G_{CR} = (1 - D)$.

Se $Gc < 0$, $G_{CR} = (D - 1)$.

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.

Se não vá para o próximo ítem

Calcule o Grau de Evidência Resultante real

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

Determine a sinalização do Intervalo de Evidência resultante

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

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

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

Apresente os resultados na saída.

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

Fim.

3. ROBÔ INDUSTRIAL

3.1 Definição e Características

Uma definição de robô amplamente aceita é aquela estabelecida pela *Robotic Industries Association* (ANSI/RIA-R15.06-1999), “Um robô industrial é um manipulador multifuncional reprogramável fixo ou móvel, projetado para movimentar materiais, partes, ferramentas ou peças especiais, através de diversos movimentos programados, para o desempenho de uma variedade de tarefas”.

Os robôs mais utilizados na indústria e nos laboratórios de pesquisa são os robôs manipuladores. Existem também outros tipos de robôs tais como os exploradores, muito utilizados em diversas áreas de pesquisa espacial e submarina.

Mediante a definição podem ser salientadas diversas conclusões sobre as características dos robôs manipuladores. Uma delas é que a tarefa a ser realizada deve estar antecipadamente programada e seu acionador, controlador, depende desse programa de controle para efetuar exatamente a tarefa desejada. Essa característica é invariante para qualquer tipo de robô, portanto também para os manipuladores. Outra conclusão é que os manipuladores têm como principal objetivo deslocar materiais, os quais podem ser peças diversas, ferramentas que irão trabalhar sobre uma peça, sistemas de visão que terão que monitorar o andamento de um processo determinado, entre outras possibilidades.

O tipo mais conhecido de robô manipulador é o braço mecânico. Este consiste numa série de corpos rígidos, chamados *links*, interligados por juntas que permitem um movimento relativo entre esses corpos, assemelhando-se assim sua forma geral à de um braço humano.

O robô manipulador possui em sua estrutura física um dispositivo chamado de efetuator ou atuador final, onde sua função é entrar em contato direto com o objeto a ser manipulado ou manufaturado. Seu projeto e concepção pode ser uma ferramenta, como uma ponta de solda, por exemplo, destinada a soldar uma superfície. Pode ser algum dispositivo especial, como uma câmera de vídeo, mas, em geral, trata-se de algum tipo de garra ou pinça capaz de segurar uma peça com o intuito de deslocá-la pelo espaço de trabalho do robô. Os braços mecânicos costumam ter uma garra como atuador final, efetuator, embora a maioria dos braços industriais permita trocar esse dispositivo efetuator com facilidade e de forma automática.

3.2 Características Estruturais do Robô Industrial

As máquinas robóticas podem ser classificadas segundo critérios distintos e, portanto, podem ser agrupadas quanto à aplicação, quanto à cadeia cinemática, quanto ao tipo de atuadores, quanto à anatomia, entre outros. Pode tanto representar um veículo autônomo quanto um humanoide ou um simples braço com movimentos. O grau de interatividade com agentes externos permite classificá-los em totalmente autônomos, programáveis, sequenciais ou ainda inteligentes. De certa forma, dada à quantidade de aplicações que surgem a cada momento, e praticamente impossível haver uma única forma de classificação.

Os robôs industriais são máquinas projetadas para substituir o trabalho humano em situações de desgaste físico ou mental, ou ainda situações perigosas e repetitivas no processo produtivo industrial. Neste trabalho descartam-se aqueles que possuem o atrativo da forma humanoide, os veículos autônomos e outras formas robóticas.

O robô industrial será composto de um circuito eletrônico computadorizado de controle e um mecanismo articulado denominado manipulador.

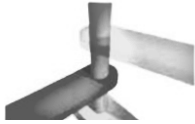
Para compreender melhor a tecnologia robótica, serão analisados, a seguir, alguns fatores que caracterizam os manipuladores e que são, em grande parte, responsáveis por tornar uma determinada configuração de braço mais adequada a uma dada automação. Entre estas características citam-se:

- Anatomia;
- Volume de trabalho;
- Sistemas de acionamentos;
- Sistema de controle;
- Desempenho e precisão;
- Órgãos terminais
- Sensores.

Em observação a característica anatomia o braço mecânico antropomórfico faz jus a semelhança ao braço humano, os elos entre as articulações são denominados sequencialmente de base, braço e antebraço.

As juntas (Fu, 1987) podem ser classificadas em rotativa, prismática, cilíndrica, esférica, parafuso e planar, onde as características individuais são descritas na tabela 1 a seguir:

Tabela 1. Classificação de juntas do Manipulador Robótico.

Juntas do manipulador robótico	
Esboço	Características técnicas
	Junta prismática ou linear: Move em linha reta. São compostas de duas hastes que deslizam entre si;
	Junta rotacional: Gira em torno de uma linha imaginária estacionária chamada de eixo de rotação. Ela gira como uma cadeira giratória e abrem e fecham como uma dobradiça;
	Junta esférica: Funciona com a combinação de três juntas de rotação, realizando a rotação em torno de três eixos;
	Junta cilíndrica: É composta por duas juntas, uma rotacional e uma prismática;
	Junta planar: É composta por duas juntas prismáticas, realiza movimentos em duas direções;
	Junta parafuso: É constituída de um parafuso que contém uma porca o qual executa um movimento semelhante ao da junta prismática, porém, com movimento no eixo central (movimento do parafuso).

(Fonte: ADADE FILHO, 1992).

Esses tipos de juntas caracterizam as partes constituintes do robô industrial, segundo seu tipo de movimento de forma análoga ao braço humano, das quais fazem menção a base, antebraço, braço, punho, conforme indicado Figura 16.

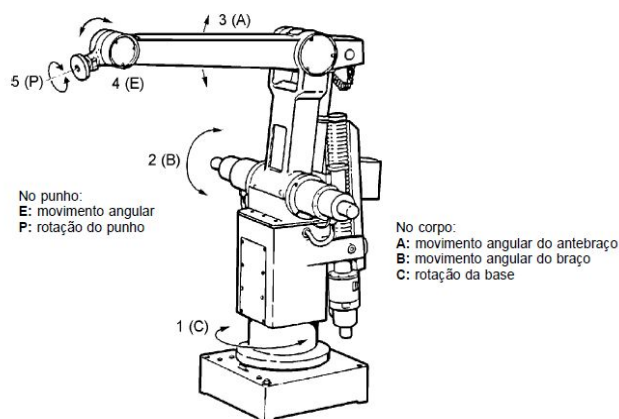


Figura 16 – Representação do Robô Industrial com cinco graus de liberdade.
(Fonte: NUNES *et al.*, 2014).

Os tipos de juntas que qualificam e quantificam os movimentos do robô em graus de liberdade (GL) possibilitam a representação em três dimensões no espaço, formando, em semelhança, figuras geométricas.

As juntas que facilitam essa compreensão são: rotativa (1 GL), cilíndrica (2 GL), prismática (1 GL), esférica (3 GL), fuso (1 GL) e planar (2 GL). Portanto, os graus de liberdade (GL) determinam os movimentos do braço robótico no espaço bidimensional ou tridimensional. Cada junta define um ou dois graus de liberdade, e, assim, o número de graus de liberdade do robô é igual a somatória dos graus de liberdade de suas juntas. Por exemplo, quando o movimento relativo ocorre em um único eixo, a junta tem um grau de liberdade, caso o movimento se dê em mais de um eixo, a junta tem dois graus de liberdade.

Observa-se que quanto maior a quantidade de graus de liberdade, mais complicada é a cinemática, a dinâmica e o controle do manipulador. O número de graus de liberdade de um manipulador está associado ao número de variáveis posicionais independentes que permitem definir a posição de todas as partes de forma unívoca.

Os movimentos robóticos podem ser separados em movimentos do braço e do punho. Em geral os braços são dotados de três acionadores e uma configuração 3GL, numa configuração que permita que o órgão terminal alcance um ponto qualquer dentro de um espaço limitado ao redor do braço. Pode-se identificar três movimentos independentes num manipulador robótico qualquer:

- Vertical transversal – movimento vertical do punho para cima ou para baixo;
- Rotacional transversal – movimento do punho horizontalmente para a esquerda ou para a direita;
- Radial transversal – movimento de aproximação ou afastamento do punho.

Os punhos são compostos de dois ou três graus de liberdade. As juntas dos punhos são agrupadas num pequeno volume de forma a não movimentar o órgão terminal em demasia ao serem acionadas. Em particular, o movimento do punho possui nomenclaturas específicas, conforme descritas na Figura 17.

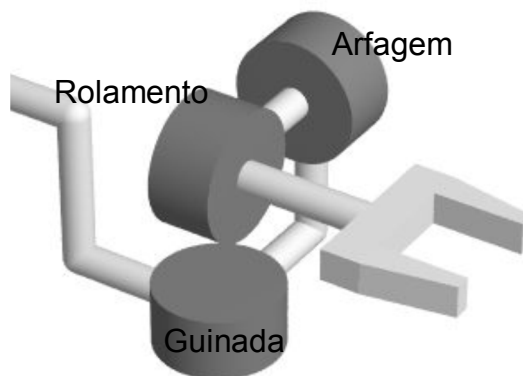


Figura 17 – Representação dos Movimentos do Punho (Garra) do Robô Industrial.
(Fonte: ADADE FILHO, 1992).

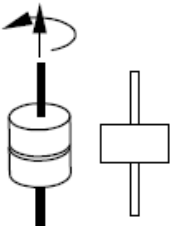
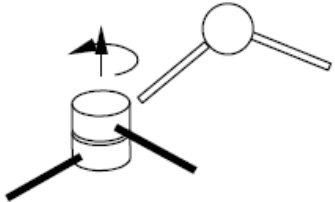
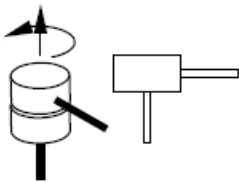
- *Roll* ou rolamento - rotação do punho em torno do braço;
- *Pitch* ou arfagem - rotação do punho para cima ou para baixo;
- *Yaw* ou guinada - rotação do punho para a esquerda e para a direita.

Tipos de juntas mais empregadas em robôs:

Robôs industriais utilizam em geral apenas juntas rotativas e prismáticas. A junta planar pode ser considerada como uma junção de duas juntas prismáticas e é também utilizada. As juntas rotativas podem ainda ser classificadas de acordo com

as direções dos elos de entrada e de saída em relação ao eixo de rotação. Têm-se assim as seguintes juntas rotativas:

Tabela 2. Classificação de juntas rotativas.

Juntas Rotativas	
	Rotativa de torção ou torcional - T: Os elos de entrada e de saída tem a mesma direção do eixo de rotação da junta;
	Rotativa rotacional - R: Os elos de entrada e de saída são perpendiculares ao eixo de rotação da junta;
	Rotativa revolvente - V: O elo de entrada possui a mesma direção do eixo de rotação, mas o elo de saída é perpendicular a este.

(Fonte: ADADE FILHO, 1992).

3.3 Especificação das Funções do Controlador do Robô

A Unidade responsável pela operação do braço mecânico é composta por um microprocessador que supervisiona a operação do robô, memória e componentes lógicos. O controlador recebe comandos de um computador externo e os traduz em instruções de operação para o braço mecânico.

O controlador também possui fontes de alimentação que fornece energia para ele mesmo e para os motores do braço do robô. O controlador deve ser conectado a um computador externo com a interface de operação e programação do robô instalada. Tipicamente é utilizada a interface serial RS-232C para conectar o controlador ao computador.

3.4 Função Multitarefa

Cada braço robótico tem um controlador associado, que é responsável pelo controle das juntas do braço, a tarefas de geração de trajetória e pela manutenção e execução dos programas que possui armazenado em memória. Cada junta de revolução tem o seu próprio sistema de controle, ao qual é fornecida a posição através de um dispositivo de monitoração de deslocamento angular chamado *encoder* óptico. A sincronização e o comando do movimento de todas as juntas, durante a execução das instruções do programa, cabe ao módulo de controle e execução do controlador.

A função dos controladores vai além do controle dos robôs que lhes estão associados. O fato de possuírem um sistema operativo multitarefa, que permite a execução de vários programas de forma simultânea, e de um interpretador, que permite a programação do robô em linguagem *ACL* (Advanced Control Language), permite que sejam usados como atuadores de todos os outros componentes da célula, servindo de elo entre estes e o computador de controle.

Os controladores são a base do modelo de integração adaptado possibilitando que a partir deles, se realize a interação entre os elementos periféricos da célula e o computador. A partir das suas portas de comunicação seriais, é possível obter-se indicações de fim de curso, de choque ou de superaquecimento. Estas mensagens irão desempenhar um papel fundamental na detecção e recuperação de falhas.

3.5 Dispositivo de monitoração de Posição dos graus de liberdade e do atuador final (Garra)

No intuito de obter os valores correlatos às dimensões das peças a serem manipuladas, paletizadas, é necessário tratar o sinal da medida do sensor alocado para esse intuito (segundo a proposta de estudo desse trabalho) com a utilização do sensor de posição chamado de *encoder*. Segundo essa observação é possível encontrar diferentes tipos de componentes que podem ser usados na constituição de sistemas de controle e monitoração.

Numa categoria ampla de componentes, geralmente encontra-se a denominação de transdutores, no qual é geralmente definido como um componente

que converte uma forma de energia em outra.

Em um transdutor eletromecânico o funcionamento é tal como um motor que converte energia elétrica em mecânica, e o gerador que é exatamente o oposto. Há outros transdutores que convertem quantidade física tal como posição, velocidade, temperatura e outras formas elétricas.

Para a monitoração de velocidade, posição e deslocamento linear ou angular, na proposta do trabalho como monitoração da dimensão das peças, é necessário o controle de deslocamento mediante o acionamento do atuador final, garra do robô. A sua operação é baseada em componentes elétricos, onde o controle se assemelha a um transdutor que converte quantidade física em uma forma elétrica.

Para obter valores dimensionais representativos faz-se uso de blocos lineares, proporcionais, consideravelmente simples à configuração de um sistema de controle, o que facilita a análise do sistema e exploração de sua operação. Em determinadas situações um modelo de bloco linear obscurece a estrutura física e a característica do componente que está sendo representado trazendo certas incertezas nas medições.

3.5.1 Captadores de Posição

São elementos que convertem a posição instantânea do eixo do robô, ou grau de liberdade em grandezas elétricas que podem ser comparadas com as cotas programadas de forma linear ou circular. Podem ser divididos em:

A) Captadores absolutos;

B) Captadores incrementais ou relativos.

O captador de posição denominado absoluto tem como característica a produção de um valor específico correspondente para cada posição do eixo. Portanto uma falta de energia não fará o sistema perder a informação, pois cada posição é fixa e devidamente referenciada.

O captador de posição incremental responde de forma que a cada posição da mesa um pulso é gerado incrementando um contador. Portanto uma falta de energia provocará a perda da informação. Dessa forma na qual foi concebido estruturalmente o dispositivo deverá ser referenciado com sensores chamados de

fim de curso, onde será indicada a marca zero, que é extremamente importante para manter a precisão das posições testadas e gravadas anteriormente.

Para que a detecção da posição do manipulador robótico ocorra são utilizados sensores possíveis de captar posição, que tem a função de transformar a incidência de luz, ou sua falta, em um sinal analógico interpretado pelo controlador do robô que indica e contabiliza os pulsos gerados conforme as características dos componentes eletrônicos sensíveis à luz, como, o fotodiodo e o fotoelétrico.

Os fotodiodos podem ser interpretados tanto no modo fotocondutivo como fotovoltaico, onde a luz incide numa junção semicondutora, exatamente como no caso das fotocélulas onde átomos portadores de carga são liberados. Nessas condições ocorre a manifestação de dois fenômenos que podem ser utilizados na prática, onde a resistência no sentido inverso da junção iluminada diminui e o outro é que aparece uma tensão no dispositivo. A variação da resistência inversa com a luz no modo de operação faz o sensor operar no modo fotocondutivo, de outra forma pode-se aproveitar a tensão gerada com a luz ocasionando a detecção em modo fotovoltaico.

Os fotodiodos são utilizados como chaves ópticas e acopladores ópticos como os usados em *encoders*, portanto é utilizado no atuador final do robô para mensurar a peça manipulada. Na Figura 18 é mostrado o esquema elétrico simplificado do componente em questão.

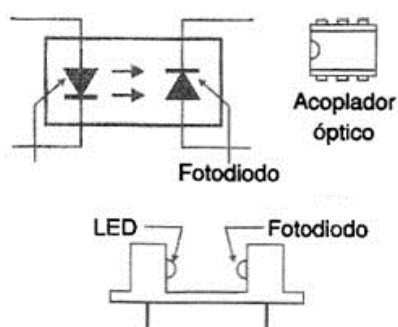


Figura 18 – Representação do esquema elétrico simplificado do Fotodiodo.
(Fonte: Saber Eletrônica 2006)

Os fotodiodos têm a velocidade de resposta muito alta, permitindo a detecção de pulsos de luz ou sombra de forma rápida, alcançando centenas de megahertz. Devido a essa característica, as aplicações desse sensor incluem aquelas em que a velocidade de resposta é muito importante tais como em *encoders*, sensores de

rotação e posição, recepção de sinais de luz modulados e *links* de fibras ópticas entre outras.

Um componente muito importante da família de fotodiodos é o fotodiodo PIN, criado em torno dos anos 1950, mas até hoje amplamente usado em sensores industriais de alta velocidade.

Os fotodiodos não apresentam nenhuma amplificação e de mesma forma são dispositivos rápidos. Se mais importante que a velocidade for a sensibilidade, recomenda-se o uso dos fototransistores.

O princípio de funcionamento do fototransistor é o mesmo do fotodiodo, libera carga nas junções quando a luz incide. No entanto, os transistores tem uma estrutura maior, o que significa uma velocidade um pouco menor. No entanto, os transistores podem ser usados de tal forma que a corrente gerada na liberação de cargas pela luz seja amplificada. Assim, os fototransistores como sensores podem apresentar ganho.

A rotação do disco cria uma série de pulsos pela interrupção ou não da luz emitida ao detector, estes pulsos de luz são transformados pelo detector em uma série de pulsos elétricos.

3.5.2 Codificadores Ópticos

Codificadores ópticos ou *encoders* são sensores de posição com saída digital. O *Encoder* é definido como um dispositivo eletro mecânico que pode monitorar movimento ou posição. Pode-se salientar o *encoder* ótico rotativo, onde esse captador e codificador de posição possui um disco que está preso a um eixo ou motor, de forma a criar um movimento rotacional, enquanto que a fonte de luz e o receptor estão fixos.

Em relação ao funcionamento existem ainda diversos tipos de *encoders*, dos quais se destacam os do tipo incremental e do tipo absoluto. O *encoder* absoluto, mostrado na Figura 19, fornece a posição angular a qualquer instante com base no ângulo de rotação de seu eixo. O *encoder* incremental, por sua vez, fornece apenas uma diferença de posição angular, e necessita de um sinal de referência para ajustar sua posição real. Um *encoder* absoluto, ao contrário do incremental, é capaz de recuperar sua posição após uma queda na alimentação.

Ambos os tipos de *encoder* usam um disco acoplado ao eixo rotativo contendo uma ou mais trilhas de pequenas janelas. De um dos lados do disco são posicionados diodos emissores de luz (LED), e, do outro, fotodetectores.

Cada vez que uma janela passa defronte ao LED, o fotodetector emite um sinal. A combinação dos sinais dos diversos detectores as diferentes trilhas fornece uma codificação única para cada posição angular. Há duas formas de codificar o sinal das trilhas: o código binário e o código Gray. O código binário tem a vantagem de fornecer o ângulo diretamente a partir da leitura do sensor, porém pode apresentar ruídos durante as transições entre janelas.

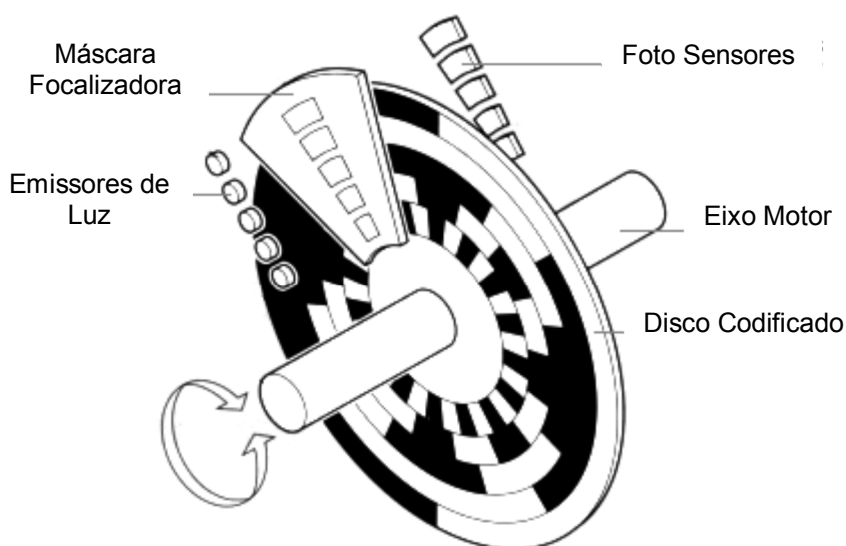


Figura 19 – Representação do *Encoder* Absoluto.
(Fonte: CARRARA, 2006.)

No código Gray ocorre apenas um bit de transição a cada janela, eliminando assim, eventuais ruídos. Contudo, este código necessita de uma tabela ou circuito de conversão para código binário. Quanto maior o número de trilhas (ou bits), maior será a resolução de *encoders*.

Encontram-se codificadores ópticos com até 4096 (12 bits) posições, o que garante precisão da ordem de 5 minutos de arco.

O codificador óptico incremental usa um disco com apenas uma trilha de janelas. Na parte fixa são instalados dois fotodetectores, e posicionados de forma a apresentar uma defasagem próxima a 90° entre si. Um dos canais é usado para incrementar um contador, que fornece o ângulo do eixo. O segundo canal indica o

sentido de rotação, isto é, indica se o contador incrementa ou decrementa o valor do ângulo. Codificadores incrementais são mais baratos e mais confiáveis do que os codificadores absolutos, porém necessitam de um sinal externo para indicar a posição de partida. Por isso, alguns deles apresentam uma terceira trilha, com apenas uma janela, que indica o instante em que o contador deve ser inicializado.

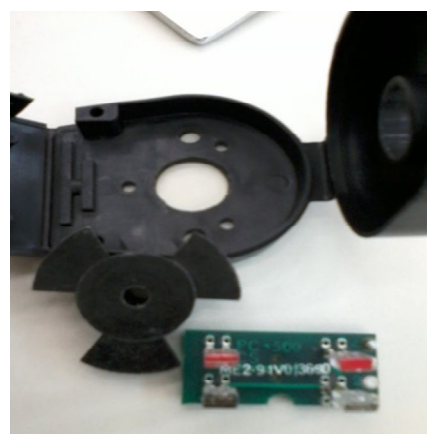
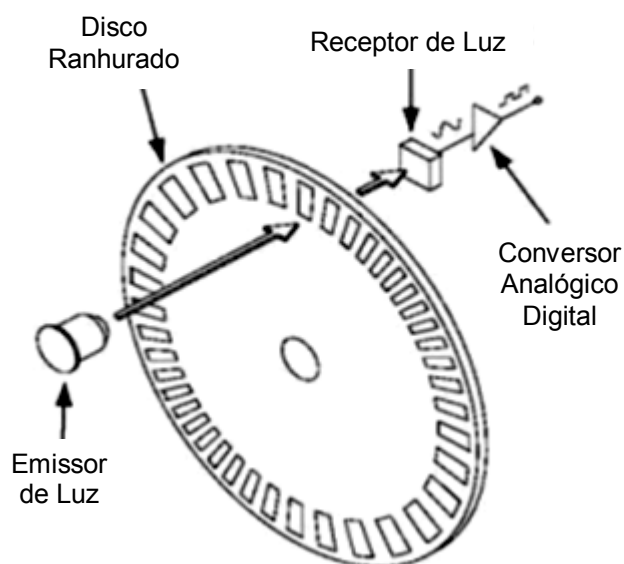


Figura 20 – Representação do *Encoder* Incremental.
(Fonte: CARRARA, 2006.)

Em outras variações, os leitores de posição podem utilizar o sistema fotoelétrico com escala graduada em fita de aço com superfície banhada em ouro. A graduação é de 100 μm e sua leitura da escala é feita através de reflexão, que é um processo análogo ao sistema translúcido.

O uso de transdutores absolutos de posição tem grande importância para evitar a perda de dados durante uma falha no fornecimento de energia.

A máscara focalizadora fixa é utilizada para permitir a passagem ou não da luz. Para os codificadores com resolução fina, com milhares de segmentos por revolução, usa-se uma máscara com várias fendas para aumentar a resolução da recepção de luz no obturador.

Os elementos que constituem os codificadores incrementais são simples, favorecendo o baixo custo, facilitam a aplicação e são considerados os codificadores mais comuns em sistemas de controle para máquinas ferramenta a C.N.C. (Comando Numérico Computadorizado).

4. MODELAGEM MATEMÁTICA

É apresentado agora, a modelagem matemática e os procedimentos para a normalização das grandezas de entrada para os algoritmos que serão implementados no manipulador robótico industrial.

Esta modelagem matemática torna-se necessária para envolver as equações da LPA2v e o modelo mecânico na elaboração do algoritmo com base na lógica paraconsistente anotada de anotação com dois valores (LPA2v) que atuará no controlador do Robô Industrial.

De acordo com a Lógica Paraconsistente Anotada de Anotação com dois valores (LPA2v), as proposições que orientam o trabalho são o cerne para o melhor aproveitamento do palete possibilitando a tomada de decisão. Quanto às evidências favoráveis, desfavoráveis, e o grau de certeza quanto a ocupação do palete, serão relacionados a duas proposições. A primeira proposição em análise será:

“A peça possui dimensões para caber no palete.”

Após verificação de que a peça cabe no palete, admite-se a presença de mais uma peça. Sendo assim, desde que a primeira já o tenha ocupado de modo a permitir a alocação da segunda peça, ocorre a segunda proposição em análise:

“A ocupação do palete está otimizada.”

Segundo a proposição mediante a ocupação ótima do palete, entre a dimensão mínima e máxima, cria-se os limites de controle em função da medida dos pulsos de *encoder*. Estes valores serão correlatos às dimensões observadas e informadas como parâmetros importantes para o modelamento da Lógica Paraconsistente Anotada de Anotação com dois valores – LPA2v em função da situação em questão que é a paletização robotizada do palete de transporte.

A otimização, portanto, tem como intuito a melhor rentabilidade do processo logístico, isto é, armazenagem e entrega dos produtos elaborados.

Mediante medidas e parâmetros reais das peças e palete, obtidos com o auxílio do algoritmo na tomada de decisão, que providencia um grau de certeza relacionado às dimensões da peça, obtém-se dados para a alocação satisfatória do palete.

Para o tratamento de dados pelo algoritmo da LPA2v as dimensões obtidas segundo a medição do robô serão normalizadas. A Normalização ocorrerá mediante a validação e teste do algoritmo com base em cinco peças distintas, sendo elas:

paralelogramos como caixa maior, caixa média e caixa menor e, cilindros como cilindro menor e maior. Estes modelos serão apresentados mais a frente.

Como resultado, será obtida a medida indireta do *encoder* da garra do robô e consequentemente o valor correspondente à evidência favorável e desfavorável mediante a fórmula:

$$\mu = \frac{P_{vpe}}{OCMI}$$

onde a sigla “ P_{vpe} ” indica o valor dos pulsos de *encoder* da peça manipulada e a sigla “ $OCMI$ ” corresponde ao valor da dimensão mínima, a ser ocupada do palete medido antecipadamente pelo *encoder* do robô.

Os valores obtidos pela Normalização com as peças testes são apresentados a seguir:

$$\lambda = 1 - \mu$$

Características das Peças	Encoder [pulsos]	μ	λ
caixa maior	428	0,756184	0,243816
caixa media	336	0,59364	0,40636
caixa menor	280	0,4947	0,5053
cilindro maior	330	0,583039	0,416961
cilindro menor	234	0,413428	0,586572
Ocupação Máxima do palete	610		
Ocupação Mínima do palete	566		

Figura 21 – Tabela informativa dos valores do *encoder* e evidências favoráveis e desfavoráveis relacionados à ocupação do palete.

A análise é iniciada comparando a ocupação, representada pela evidência favorável, do palete com relação à primeira peça disponibilizada pela linha de produção. Estas peças são disponibilizadas por intermédio do sistema de transporte, como exemplo uma esteira, com controle de parada por meio de um sensor.

Neste trabalho essa evidência será normalizada com base na condição:

$$se \mu > 1 \Rightarrow \mu (primeira \text{ peça}) = 1$$

$$senão \mu > 0 \Rightarrow \mu (primeira \text{ peça}) = \mu$$

Utilizando a mesma estratégia e após a aproximação e disponibilização da segunda peça, efetua-se a mesma regra de atribuição e consideração quanto à proposição em análise.

$$se \mu > 1 \Rightarrow \mu (segunda\ peça) = 1$$

$$senão \mu > 0 \Rightarrow \mu (segunda\ peça) = \mu$$

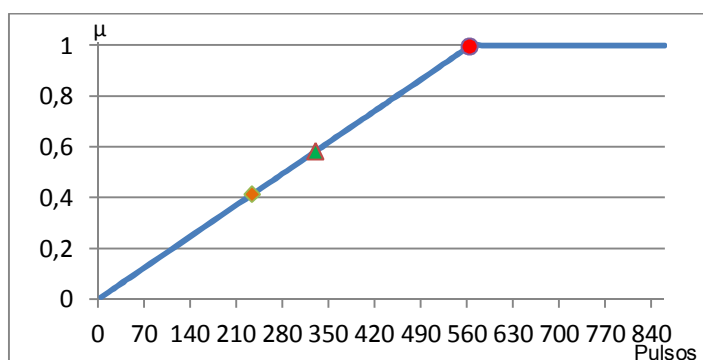


Figura 22 – Representação gráfica da ocupação das peças com relação ao palete.

Os pontos representados na figura 22 correspondem à ocupação individual das peças, onde o ponto laranja (losango) corresponde ao *encoder* da segunda peça (peça_2), o ponto verde (triângulo) corresponde ao *encoder* da primeira peça (peça_1) e o ponto vermelho (círculo) corresponde à soma dos *encoders* da primeira e segunda peça (peça_1 e peça_2). Os eixos do gráfico são orientados onde a abscissa corresponde aos pulsos de *encoder* e a ordenada corresponde à evidência favorável (μ).

Com base nas evidências favoráveis de cada peça atribui-se à consideração de palete “super otimizado” quando o valor da evidência favorável for maior ou igual ao valor de 1 (μ). Essa análise permite a tomada de decisão mediante a ocupação ótima do palete, somente com uma única peça, o que inicia um programa do robô que sequenciadamente efetua a manobra do palete para a área de entrega, considerando-o como completo (cheio).

Uma vez observado a otimização do palete mediante a ocupação por uma única peça faz-se necessário a tomada de decisão quanto à ocupação com mais peças. Nesse intuito leva-se em consideração a ocupação máxima e mínima para essa normalização dos dados obtidos pela medida da peça pelo robô.

Neste trabalho consideramos a análise feita da seguinte forma:

$$Se \left[\frac{(Pvpe1 + Pvpe2) - OCMI}{OCMAX - OCMI} \right] \text{ for } > 1, \mu_{peça1+peça2}=1.$$

Senão

$$Se \left[\frac{(Pvpe1 + Pvpe2) - OCMI}{OCMAX - OCMI} \right] \text{ for } \leq 0, \mu_{peça1+peça2}=0.$$

Senão

$$\mu_{peça1+peça2} = \left[\frac{(Pvpe1 + Pvpe2) - OCMI}{OCMAX - OCMI} \right]$$

Onde a sigla “ P_{vpe1} ” indica o valor dos pulsos de *encoder* da primeira peça manipulada, a sigla “ P_{vpe2} ” indica o valor dos pulsos de *encoder* da segunda peça manipulada, a sigla “ $OCMAX$ ” corresponde ao valor da dimensão máxima, e a sigla “ $OCMI$ ” corresponde ao valor da dimensão mínima, a ser ocupada do palete medido antecipadamente pelo *encoder* do robô.

De mesma forma é feita uma análise quanto a ocupação máxima do palete levando em consideração duas peças, onde ocorre a normalização dos valores medidos pelo *encoder* da garra do robô e posteriormente comparados quanto ao valor máximo, também normalizado, correspondente à ocupação máxima do palete. Para tanto, utiliza-se a fórmula condicional que segue:

$$se \left[\frac{(Pvpe1 + Pvpe2)}{OCMAX} \right] \text{ for } > 1, \mu_{\text{Máximo: peça1+peça2}}=1.$$

Senão

$$se \left[\frac{(Pvpe1 + Pvpe2)}{OCMAX} \right] \text{ for } < 0, \mu_{\text{Máximo: peça1+peça2}}=0.$$

Senão

$$\mu_{\text{Máximo: peça1+peça2}} = \left[\frac{(Pvpe1 + Pvpe2)}{OCMAX} \right].$$

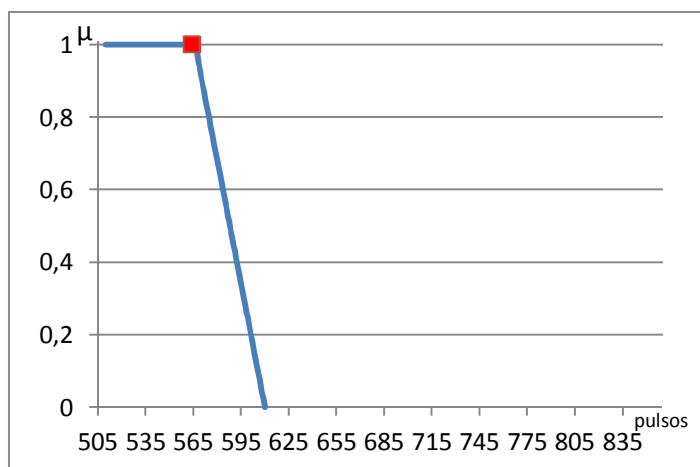


Figura 23 – O Gráfico corresponde a ocupação do palete mediante a otimização do espaço com duas peças.

Ponto vermelho: soma dos encoders da peça_1 e peça_2.

Nesta primeira fase são obtidas as informações normalizadas dos graus de evidência de ocupação do palete, bem como evidências favoráveis à proposição correlata à ocupação ótima do palete de armazenagem e transporte e, à verificação da possível ocupação do palete de forma a ultrapassar o limite máximo, admissível, seguro, de carga do palete. Denomina-se este valor final de Grau de otimização da palete.

O gráfico representado na figura 24 mostra o Grau de otimização alcançado, representado no eixo da abscissa e, o valor da evidência real calculada no eixo da ordenada. A marcação em vermelho (asterístico) indica o grau de otimização alcançado em relação à evidência real calculada entre os limites máximo e mínimo de ocupação do palete. Observa-se que o valor de 0,5 corresponde a um valor ruim, e o valor de 1 corresponde à condição de melhor uso do palete.

Com estas informações segue a análise de fato com base na Lógica Paraconsistente Anotada de Anotação com dois valores – LPA2v. Dessa forma, diante desses valores normalizados, modelados segundo à proposição, é feita a organização dos dados para obter o grau de certeza real, seguro, para a efetiva tomada de decisão quanto à manobra de movimentação da carga para a alocação cabível no palete de transporte. Se após a análise o resultado é de que a carga não caiba no palete, esta deverá ser alocada em uma área de manobra aguardando um novo palete.

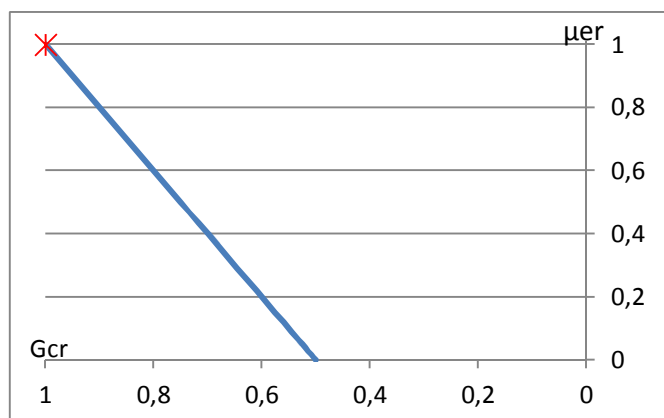


Figura 24 – Gráfico correspondente ao Grau de otimização do espaço.
(Grau de otimização do espaço representado no eixo da abscissa e o valor da evidência real no eixo da ordenada).

O próximo passo do controle é aplicar a análise paraconsistente através de um algoritmo NAP. Ao organizar os dados, evidências, em um nó paraconsistente NAP, são comparadas as evidências favoráveis obtidas mediante a análise da ocupação ótima, isto é, entre o valor admissível máximo e mínimo pré-estipulados. Isso fornece ao Controlador do Braço Robótico a evidência que considera a ocupação máxima do palete, pois se o valor obtido ultrapassar esse limite pode causar vários danos ao produto armazenado bem como também ao manipulador robótico. Nesse intuito compara-se o valor da evidência de otimização (valores máximo e mínimo) com o valor da evidência da ocupação máxima do palete, de forma a definir o maior valor entre as evidências. Neste procedimento utiliza-se como padrão a maior medida como a evidência favorável 1 (um), μ_1 , sendo a menor a evidência favorável 2 (dois), μ_2 . Após a definição, calcula-se o Grau de evidência desfavorável em relação a evidência favorável dois, portanto a menor, atribuindo a esta o símbolo λ_2 com base na fórmula do complemento:

$$\lambda_2 = 1 - \mu_2$$

Através da LPA2v é possível obter o grau de certeza entre dois valores consideráveis, μ_1 e μ_2 , anteriormente obtidos, com base na afirmação da proposição da ocupação ótima do palete e na evidência desfavorável da proposição obtida com relação ao menor valor obtido. Através das equações da Lógica Paraconsistente Anotada de Anotação com dois valores – LPA2v, é possível obter o grau de certeza (Gc) conforme visto anteriormente:

$$Gc = \mu_1 - \lambda_2;$$

Com base nos pressupostos baseados na Lógica Paraconsistente Anotada de Anotação com dois valores – LPA2v, é possível obter outras informações relevantes à tomada de decisão com relação ao processo em análise e implementá-las ao controlador do Manipulador Robótico.

Portanto, serão utilizados nos algoritmos os valores seguintes:

Grau de contradição: $G_{ct} = (\mu_1 + \lambda_2) - 1$.

Será levado em consideração o grau de contradição encontrado para evidenciar a real representatividade matemática do valor a ser considerado como grau de certeza relevante a tomada de decisão quanto à ocupação do palete de forma segura e otimizada.

Para tanto, efetuam-se os cálculos baseados nas seguintes equações:

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

Observado a condição que:

Se $G_c > 0$ corresponde ao $G_{CR} = 1 - D$;

Senão $G_{CR} = D - 1$;

A partir destes cálculos será possível mensurar o grau de evidência real, sendo o qual, representativo à proposição em análise, condizente a melhor ocupação possível do palete.

O cálculo do grau da evidência real (μ_{ER}) segundo a fórmula abaixo também será utilizado:

$$\mu_{ER} = (G_{cr} + 1) / 2;$$

O grau de evidência real possibilitará a tomada de decisão de forma segura para que o algoritmo de movimentação do robô posicione a peça de forma precisa no palete.

5. IMPLEMENTAÇÃO DA PROPOSTA.

Neste trabalho que consiste em testes de algoritmos da LPA2v em processos robóticos foi utilizado um Robô Manipulador tipo ER V. Para a implementação do algoritmo da LPA2v no controlador deste Robô Manipulador foi considerado o sistema mecânico que compõe uma célula de produção típica, conforme mostrada em forma simplificada na figura 25.

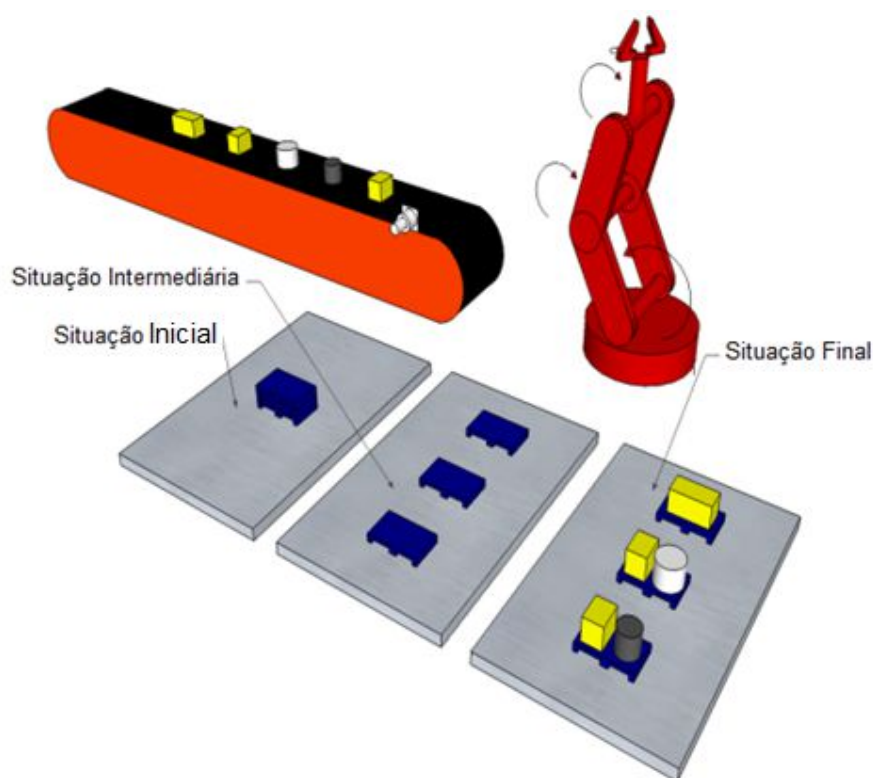


Figura 25 – A ilustração representa a disponibilidade das peças de forma inicial e final da tarefa.

Na figura 25 está representada a tarefa de teste da aplicação da lógica para a tomada de decisão quanto ao processo de paletização, onde os paletes são disponibilizados e empilhados e ficam aguardando a chegada das peças provenientes da linha de produção transportadas por uma esteira. Conforme a detecção da peça pelo sensor capacitivo, que está fixado à esteira (representado na cor branca, figura 25), o robô ER V efetua as manobras correlatas à ação de pegar e medir a peça. Com os dados da peça o robô efetua o deslocamento do palete da área inicial para a final e posteriormente movimenta a peça colocando-a na parte de cima do palete. Se necessário, a peça pode aguardar em um espaço de manobra

esperando a sua melhor alocação em um palete cabível. Essas ações perduram até o preenchimento de três paletes e a devida alocação de cinco peças de teste.

5.1. Variáveis e Características de Armazenamento

As posições do robô foram gravadas conforme a área de trabalho existente para teste e a disponibilidade das variáveis com as características de armazenagem segundo os graus de liberdade do robô. Essas variáveis registram os pulsos de *encoder* contabilizados por cada grau de liberdade e, posteriormente disponibilizados para a devida movimentação. As descrições das posições são indicadas na tabela de vetores de posição (figura 26).

VETORES DE POSIÇÃO		
Vetores Terrestres	Vetores Aéreos	Posições
-	saer[10]	Posição "HOME"
ster[8]	-	Posição para pegar o palete na área de trabalho.
ster[9]	-	Posição para pegar o palete na área de trabalho.
ster[10]	-	Posição para pegar o palete na área de trabalho.
ster[1]	saer[1]	Posições de carga e descarga do palete 1.
ster[2]	saer[2]	Posições de carga e descarga do palete 2.
ster[3]	saer[3]	Posições de carga e descarga do palete 3.
ster[11]	saer[11]	Posições de carga e descarga da caixa grande no palete 1.
ster[21]	saer[21]	Posições de carga e descarga do tonel pequeno no palete 2.
ster[22]	saer[22]	Posições de carga e descarga da caixa média no palete 2.
ster[31]	saer[31]	Posições de carga e descarga do tonel grande no palete 3.
ster[32]	saer[32]	Posições de carga e descarga da caixa pequena no palete 3.

Figura 26 – A ilustração representa uma tabela que denota as posições gravadas no controlador.

5.2 Fluxograma do Processo de Medição e Movimento do Robô

A sequência de tomada de decisão, segundo a medida das peças pela garra do robô, possibilita a comparação para a devida identificação da peça que por consequência, calcula o espaço que a peça ocupa no palete e armazena a informação do espaço restante.

Após a implementação dos algoritmos este procedimento é feito observando as equações da Lógica Paraconsistente Anotada de Anotação com dois valores –

LPA2v, diante da evidência favorável de ocupação e a evidência desfavorável, correspondente ao espaço que sobra, com base na proposta de ocupação otimizada do palete. Após essa análise os algoritmos da LPA2v utilizam o grau de certeza para atender a proposta em questão e posteriormente fazer a movimentação da peça para o palete, ou para uma área de manobra a espera de condições de armazenagem segura nos paletes posteriores.

O algoritmo LPA2v elaborado tem como primeira verificação os pulsos de *encoder* da primeira peça no momento do fechamento da garra do robô, que são armazenados em uma variável onde é normalizada, com base nos valores da ocupação mínima e máxima do palete, também orientados com base em pulsos de *encoder*. Essa normalização é analisada como evidência favorável ao preenchimento do palete segundo a ocupação mínima.

Em seguida o robô transporta a peça a um palete anteriormente conduzido a uma área de descarga. No instante em que uma segunda peça é detectada no sensor, a mesma análise é realizada, mas também uma análise quanto à ocupação mínima e máxima de ambas as peças, primeira e segunda, somando seus pulsos de *encoder* é feita de modo instantâneo.

Mediante as evidências favoráveis às proposições: “O Palete está Sub Utilizado” e “O Palete está Otimizado”, o robô direciona a segunda peça para o palete na qual já existe a primeira peça ou posiciona-a para uma área de manobra e posterior alocação em um próximo palete. Essas decisões são orientadas pelo cálculo do grau de certeza obtido entre os valores entre 0,5 a 0,99, sendo esse intervalo considerado como ocupação de palete bem aproveitado, portanto, otimizado.

O fluxograma que segue representa a parte de movimentação das peças após a tomada de decisão com base no grau de certeza supracitado.

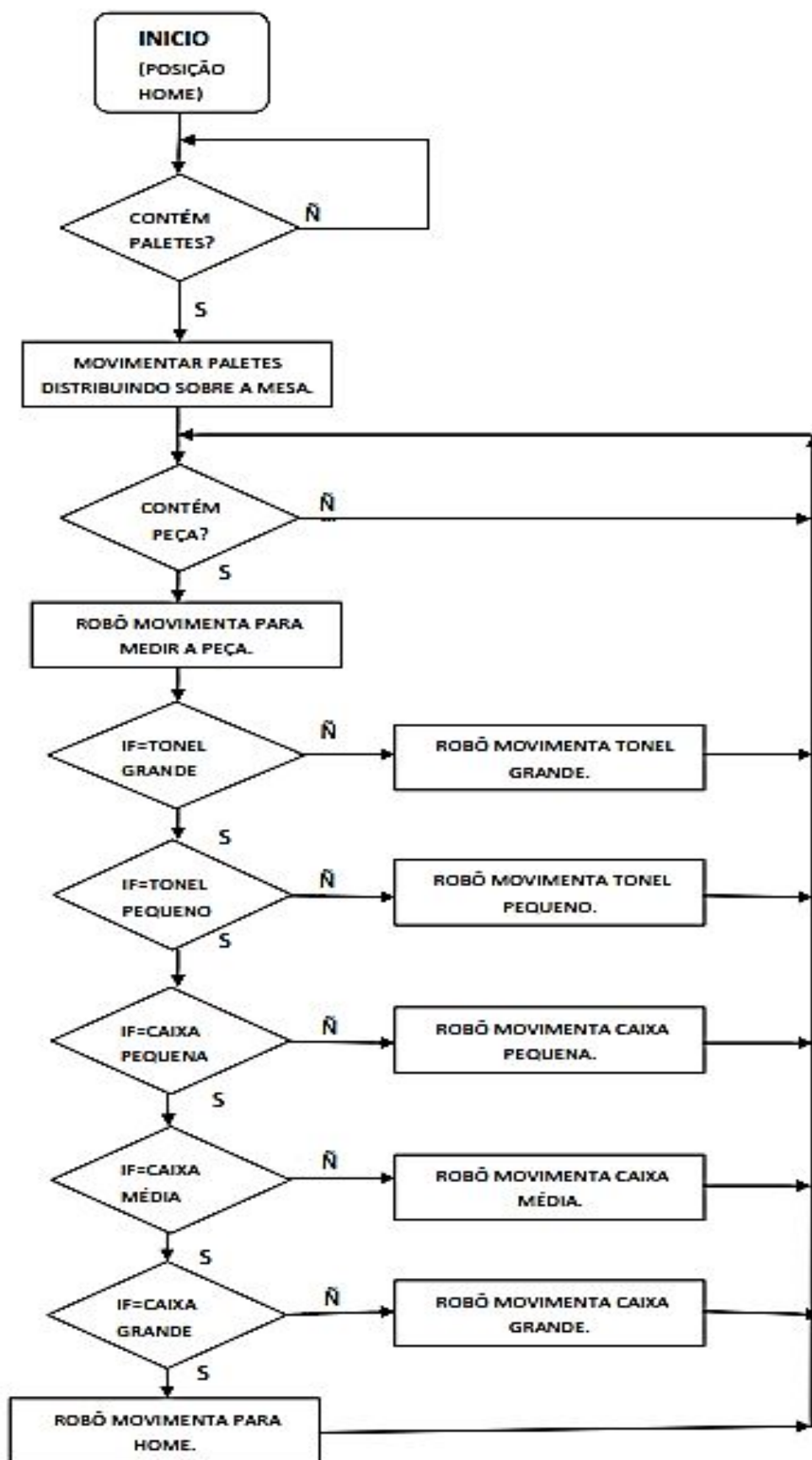


Figura 27 – Fluxograma do processo de tomada de decisão.

5.3 A Aplicação da Lógica Paraconsistente Anotada de Anotação com dois Valores – LPA2v na Medição e Tomada de Decisão

Conforme foi visto, a aplicação dos algoritmos e procedimentos com base nos conceitos e fundamentos da Lógica Paraconsistente Anotada de Anotação com dois valores - LPA2v no processo de paletização do Robô Manipulador passa inicialmente pelo método de extração de graus de evidência. Esta primeira etapa, portanto, consiste na normalização de valores de grandezas medidos no meio físico.

Neste trabalho foram utilizados os valores dos pulsos de *encoder* atribuídos pelo atuador final do robô industrial relativo às peças manipuladas. Através dos valores dos pulsos de *encoder* foi possível efetuar a normalização dos dados segundo a Lógica Paraconsistente Anotada de Anotação com dois valores – LPA2v. Para isto foi tomado como referência a dimensão maior do palete de transporte e obtiveram-se os valores de cada peça em função dos graus de evidência favorável (μ) e desfavorável (λ), quanto à proposição do preenchimento do palete.

Este procedimento inicial de normalização é feito com a devida observação em atender ao melhor aproveitamento do espaço útil para a paletização e manobra de peças. No final da normalização permite-se a análise dos dados provenientes da medição indireta das peças, possibilitando como parâmetro de tomada de decisão, para a escolha de um valor de referência relativo a melhor ocupação dos paletes e, com isso, aumentando o aproveitamento do espaço físico do palete.

5.3.1 Estrutura ou Estratégia para o Tratamento dos Dados

A estratégia de normalização dos dados adquiridos pelo atuador final do robô foi feita mediante a leitura da posição da abertura da garra com auxílio de um sensor medidor de posição denominado *encoder*, conforme foi descrito no item 3.52, acoplado ao motor elétrico do próprio Robô Manipulador.

O motor elétrico quando acionado, por consequência, efetua a abertura e fechamento da garra de forma controlada e monitorada, onde o início e fim de sua trajetória de deslocamento linear é obtido girando um fuso fixado à estrutura robótica. O fuso ao ser girado propicia o translado linear de uma porca que tem como função aumentar ou diminuir a distância entre os “dedos” e extremidades da pinça da garra.

Esse translado monitorado pelo *encoder* e seu circuito elétrico propicia a detecção dos pulsos gerados pelo fototransistor, semiconductor, que está acoplado à carcaça do motor elétrico, devidamente isolado de interferências elétricas e magnéticas. Este fototransistor monitora e, portanto contabiliza a passagem de luz alternada por um disco, com dimensões cilíndricas que, em sua periferia dimensional, possui divisões opacas e translúcidas. O Disco é acoplado diretamente ao eixo do motor elétrico e aproveitando-se de seu movimento circular, possibilita ao circuito, transformar a alteração analógica gerada pela alternância em informações digitais contáveis. Com apoio do controlador do robô, estas informações digitais são armazenadas em áreas de memória pré-estabelecidas para registrar as posições dos graus de liberdade do robô.

Essas informações são identificadas com índices de memória recebendo nomes onde seu conteúdo pode variar a cada medição. Estes dados de informação são representados por símbolos também conhecidos como variáveis de programação.

A normalização dos dados provenientes das informações necessárias para a paletização das peças individualmente têm correlação ao tamanho total do palete como referência. Portanto, cada peça ou produto a ser armazenado deverá ser normalizado, isto é, sendo possível obter para cada peça e palete um valor representativo a evidência quanto à ocupação real do espaço total observado dimensionalmente pelo palete, bem como a representação dimensional da peça com relação à ocupação parcial ou total da área de armazenagem.

Na análise, é feita a adequação dos valores das peças ao método de tratamento fundamentado à Logica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores PAL2v, segundo a evidência favorável à proposição que tem relação com a ocupação do palete e a evidência desfavorável à consideração da área livre, disponível, para próxima peça.

A próxima ocupação terá como limites a evidência favorável máxima admissível e a evidência desfavorável mínima possível, considerando que a representação total da ocupação de todas as peças processadas segundo a LPA2v. Desse modo torna possível o conhecimento do espaço livre no palete no intuito de verificar a ocupação ótima do palete mediante a consideração do espaço livre máximo admissível. E assim a partir destes dados de informação obtidos, pode-se qualificá-lo como palete ocupado sem riscos ao manipulador robótico e sem danos ou quedas aos produtos transportados.

5.4. Medição das Peças ou Produtos

A tomada de decisão, quanto a medição das peças ou produtos, é fundamentada com base na Lógica Paraconsistente Anotada de Anotação com dois valores – LPA2v em função do grau de certeza em relação à proposição que está sendo analisada. A ocupação parcial e posteriormente otimizada total do palete é devido à apresentação aleatória das peças conforme a dimensão individual com relação à ocupação ótima do palete. Este processo proporciona a ação efetiva de um manipulador robótico com auxílio de uma adequação quanto à linguagem de programação do robô e de um modelamento e normalização para melhor adequação dos dados fornecidos pelos sensores do robô até o parâmetro de tomada de decisão na manipulação da peça apresentada.

Todo o processo de decisão é feito segundo o melhor aproveitamento do espaço livre, e por consequência melhor ocupação final no palete, como também segundo os parâmetros de ocupação máxima e mínima pré-estabelecida no processo de paletização em questão.

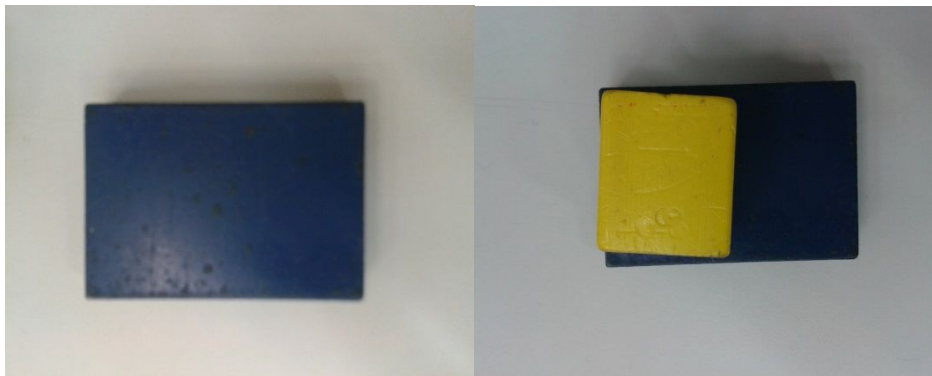


Figura 28 – A Palete e as peças de teste utilizadas neste trabalho.



Figura 29 – A Palete e três tipos de dimensões diferentes das peças de teste.

Neste processo de validação foram utilizadas peças especialmente preparadas para testes, de maneira a proporcionar a variação dimensional proposta para a tomada de decisão segundo a medição indireta, efetuada pelo robô. Portanto, conforme mostrados nas figuras 28 e 29, as dimensões das peças são de perfis geométricos cilíndricos e prismáticos, paralelogramos, e o palete tem as dimensões fixas com a análise de tolerância dimensional vinculada a otimização máxima quanto à ocupação possível da superfície do palete no intuito do melhor aproveitamento da célula robótica e estrutura logística disponibilizada.

5.5. Algoritmo LPA2v Implementado

Apresenta-se a seguir o algoritmo que tem como finalidade efetuar todo o cálculo correspondente às evidências favoráveis e desfavoráveis e apresentar como saída o grau de certeza. A atuação deste algoritmo é importante, pois o valor obtido em sua saída servirá como indicativo ao algoritmo da sequência de movimentos para a carga e ocupação do palete.

O algoritmo LPA2v implementado no Controlador do Braço Manipular Robótico com a finalidade de extrair o Grau de certeza é exemplificado a seguir:

```

6          PROGRAM DISSERTACAO1
7          *****
8  FOR      I = 1 TO 2 /*Análise de duas peças.
9  OPEN
10 DELAY   200
11 CLOSE
12 DELAY   200
13 SET     P1 = ENC[6] /*Variável P1 recebe o valor do encoder da Garra, eixo 6.
14 SET     P2 = 610 /*Valor que indica a ocupação máxima [pulsos de encoder].
15 SET     P3 = 566 /*Valor que indica a ocupação mínima [pulsos de encoder].
16 PRINTLN P1
17 SET     P11=P1 * -100 /*Adequação dos valores, fracionários para inteiros.
18 SET     VAR1[I] = P11
19 PRINTLN
20 PRINT   "PECA[" I "]= " VAR1[I]
21 PRINTLN

```

```

22  DELAY  100
23  OPEN
24  ENDFOR
25  SET    VAR1[3]=VAR1[1] + VAR1[2]
26  SET    P1=VAR1[3] / P3
27  IF     P1 > 100
28    SET   P1 = 100
29  ENDIF
30  SET    P4=P2 - P3
31  SET    P3=P3 * 100
32  SET    P5=VAR1[3] - P3
33  SET    P6=P5 / P4
34  IF     P1 > P6 /* Análise Segundo o nó de análise paraconsistente – NAP.
35    SET    MI1 = P1 /* Evidência favorável à ocupação mínima do palete.
36    SET    MI2 = P6 /* Evidência favorável à ocupação máxima do palete.
37  ELSE
38    SET    MI1 = P6
39    SET    MI2 = P1
40  ENDIF
41  SET    LAMB1=100 - MI1/*Evidência desfavorável à ocupação mínima do palete.
42  SET    LAMB2=100 - MI2/*Evidência desfavorável à ocupação máxima do palete.
43  SET    GC=MI1 - LAMB2 /*Grau de certeza ou grau de ocupação do palete.
44  SET    GCT=MI1 + LAMB2
45  SET    GCT=GCT - 100
46  PRINTLN
47  PRINTLN  "mi1=" MI1
48  PRINTLN  "lamb1=" LAMB1
49  PRINTLN  "mi2=" MI2
50  PRINTLN  "lamb2=" LAMB2
51  PRINTLN  "Gc=" GC
52  PRINTLN  "Gct=" GCT
53  END

```

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apresenta-se a seguir algumas considerações sobre os resultados alcançados na aplicação dos algoritmos e procedimentos fundamentados em LPA2v ao controlador do Robô Manipulador.

6.1. TESTES E VALIDAÇÃO DA ESTRATÉGIA ADOTADA.

Os valores obtidos foram tomados a partir da observação e representatividade mediante o Reticulado de Hasse através de uma planilha eletrônica para efeito de comparação.

6.1.1. PRIMEIRA ETAPA DE VALIDAÇÃO DO CONCEITO E TOMADA DE DECISÃO.

Para efetuar uma combinação entre as peças cilindro maior e cilindro menor e assim obter esta ação do Robô foram inicialmente feitos os modelamentos conforme descritos nos itens a seguir:

VALIDAÇÃO: Cilindro maior e cilindro menor:

O primeiro modelamento trata da evidência que representa a ocupação do palete perante o limite mínimo, considerando o palete “Sub Otimizado”, isto é, se a peça ou as peças ocuparem um espaço menor.

No segundo modelamento:

Cilindros: Maior e Menor	Soma dos <i>Encoders</i>	
pç_1+pç_2:	564	
Segundo Modelamento		
	μ_2 :	1
	λ_2 :	0
Carga Possível, mas NÃO Otimizada.		

SE($\mu_2 < 0,9999$; SE($\mu_2 \leq 0$; "Carga Impossível"; Carga Possível); Carga Possível mas NÃO Otimizada).

Primeiro Modelamento		
pç_1+pç_2:	μ_1 :	0,996466
	λ_1 :	0,003534
Palete Sub Otimizado		

SE($\mu_1 \geq 1$; "Palete Super Otimizado"; Palete Sub Otimizado).

Análise com base no Nó de Análise Paraconsistente (NAP):

Paleta

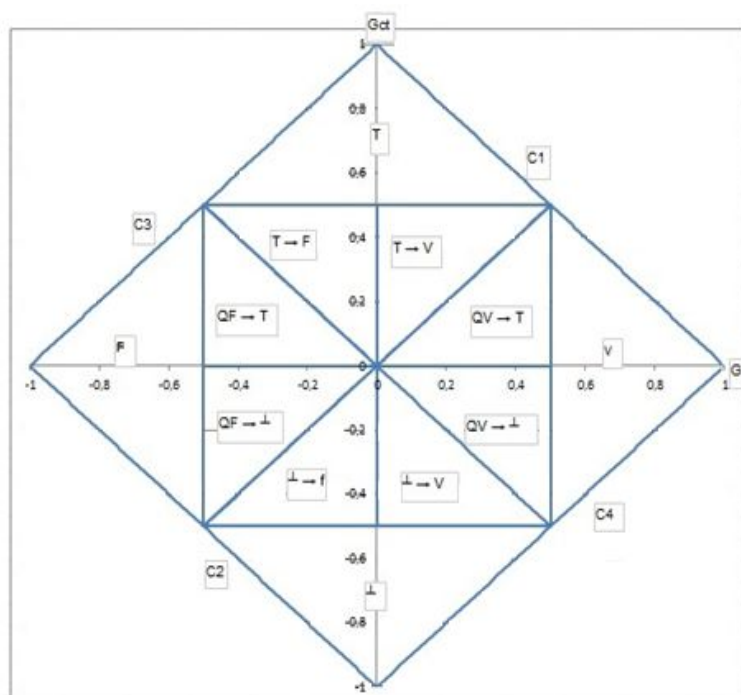
Segundo Modelamento	NAP1	μ_2 :	1
	máximo	λ_2 :	0

Primeiro Modelamento	NAP1	μ_1 :	0,996466
	mínimo	λ_1 :	0,003534

NAP1	
μ_E =	0,998233
G_c =	0,996466
G_{ct} =	0,003534
D =	0,004997
G_{CR} =	0,995003
μ_{ER} =	0,997501
μ_{ctr} =	0,501767
φ =	0,996466
φ_E =	0,996466

6.1.1.1. Validação Segundo o Reticulado de Hasse.

Para uma melhor verificação nos testes também foi feito uma análise do algoritmo implementado com visualização dos valores no Reticulado da LPA2v. Os resultados estão expostos no Reticulado mostrado na figura 31 com base e referência no Reticulado exemplificado na figura 30.



$T \Rightarrow$	INCONSISTENTE
$F \Rightarrow$	FALSO
$\perp \Rightarrow$	INDETERMINADO
$V \Rightarrow$	VERDADEIRO
$\perp \rightarrow F \Rightarrow$	INDETERMINADO TENDENDO A FALSO
$\perp \rightarrow V \Rightarrow$	INDETERMINADO TENDENDO A VERDADEIRO
$T \rightarrow F \Rightarrow$	INCONSISTENTE TENDENDO A FALSO
$T \rightarrow V \Rightarrow$	INCONSISTENTE TENDENDO A VERDADEIRO
$QV \rightarrow T \Rightarrow$	QUASE VERDADEIRO TENDENDO A INCONSISTENTE
$QF \rightarrow T \Rightarrow$	QUASE FALSO TENDENDO A INCONSISTENTE
$QF \rightarrow \perp \Rightarrow$	QUASE FALSO TENDENDO A INDETERMINADO
$QV \rightarrow \perp \Rightarrow$	QUASE VERDADEIRO TENDENDO A INDETERMINADO
$V_{sc} = C1 \Rightarrow$	VALOR SUPERIOR DE CONTROLE DE CERTEZA
$V_{ic} = C2 \Rightarrow$	VALOR INFERIOR DE CONTROLE DE CERTEZA
$V_{scct} = C3 \Rightarrow$	VALOR SUPERIOR DE CONTROLE DE CONTRADIÇÃO
$V_{icct} = C4 \Rightarrow$	VALOR INFERIOR DE CONTROLE DE CONTRADIÇÃO

Figura 30 – A Ilustração corresponde ao Reticulado de Hasse e suas saídas condicionais.
(Fonte: DA SILVA FILHO *et al.*, 2008).

Na figura 31 estão indicadas como Grau de Certeza Ideal (G_c) e Grau de Contradição Ideal (G_{ct}) em vermelho e Grau de Certeza Real e Grau de Contradição Real em Verde.

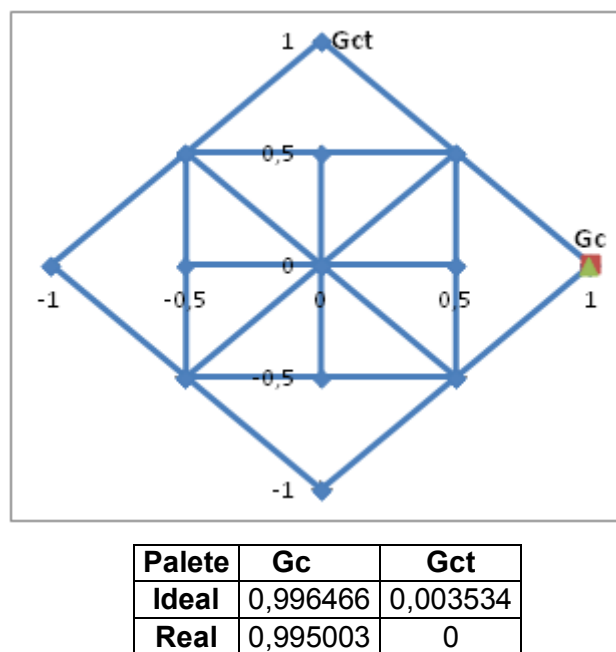


Figura 31 – A Ilustração corresponde ao Reticulado de Hasse e suas saídas calculadas.

6.2. Segunda Etapa de Validação do Conceito e Tomada de Decisão

6.2.1. Validação: Caixa Média e Cilindro Menor:

O primeiro modelamento trata da evidência que representa a ocupação do palete perante o limite mínimo, considerando o palete “Sub Otimizado”, isto é, se a peça ou as peças ocuparem um espaço menor.

No segundo modelamento:

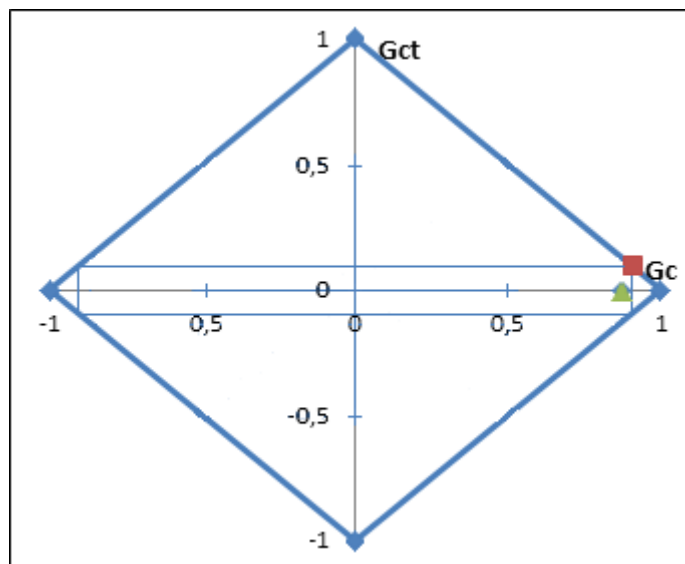
Caixa Média e Cilindro Menor	Soma dos Encoders	
peça_1+peça_2:	570	
Segundo Modelamento		
	μ_2 :	0,90909
	λ_2 :	0,09091
Carga Possível		
Primeiro Modelamento		
pç_1+pç_2:	μ_1 :	1
	λ_1 :	0
Paleta Super Otimizado		

Análise com base no Nó de Análise Paraconsistente (NAP):

Paleta			
Segundo Modelamento	NAP1	μ_2 :	0,90909
	Mínimo	λ_2 :	0,09091
Primeiro Modelamento	NAP1	μ_1 :	1
	Máximo	λ_1 :	0

NAP1	
μ_E =	0,954545
G_c =	0,909091
G_{ct} =	0,090909
D =	0,128565
G_{CR} =	0,871435
μ_{ER} =	0,935718
μ_{ctr} =	0,545455
φ =	0,909091
φ_E =	0,909091

Na figura 32 estão indicadas a localização no Reticulado de Hasse o Grau de Certeza Ideal (G_c) e Grau de Contradição Ideal (G_{ct}) (em vermelho) e Grau de Certeza Real e Grau de Contradição Real (em Verde).



Paleta	Gc	Gct
Ideal	0,909091	0,090909
Real	0,871435	0

Figura 32 – O Reticulado de Hasse e suas saídas calculadas.

6.3. Valores Resultantes

Com os processos simulados via *software Office Excell®* em um primeiro modelamento e normalização dos dados pode-se verificar a ocupação otimizada dos paletes por uma ou duas cargas de peças.

A tabela 3 mostra uma planilha cujos valores correspondem às combinações testadas com base na Lógica Paraconsistente Anotada de Anotação com dois valores – LPA2v. Os resultados foram obtidos segundo o modelamento matemático e estratégia elaborados para prover condições decisórias indicativas para a lógica atribuída ao controle do Robô Manipulador.

Em segundo modelamento o processo utilizou da análise efetuada pelo algoritmo NAP onde foi verificada a otimização dos paletes no intuito de evitar a sobra de espaço, desnecessário, no palete. Todo o procedimento foi orientado segundo as dimensões obtidas de forma indireta através da obtenção da leitura do *encoder* localizado no atuador final do robô.

Tabela 3. Valores resultantes obtidos por combinações testadas com base na Lógica Paraconsistente Anotada de Anotação com dois valores – LPA2v.

	Pulsos de Encoder		Pulsos de Encoder		Pulsos de Encoder						
Testes	Peça01	Descrição	Peça02	Descrição	SomaPcs	Otimização	Oc. Mínima	Gc	Gct	μE	Indicação
1	330	Cilindro Maior	234	Cilindro Menor	564	1,04545455	0,99646643	0,996466	0,003534	0,998233	Sobra Espaço
2	428	Caixa Maior	280	Caixa Menor	708	-2,2272727	1,25088339	0	1	0,5	Falta Espaço
3	428	Caixa Maior	330	Cilindro Maior	758	-3,3636364	1,33922261	0	1	0,5	Falta Espaço
4	428	Caixa Maior	234	Cilindro Menor	662	-1,1818182	1,16961131	0	1	0,5	Falta Espaço
5	428	Caixa Maior	428	Caixa Maior	856	-5,5909091	1,51236749	0	1	0,5	Falta Espaço
6	336	Caixa Média	280	Caixa Menor	616	-0,1363636	1,08833922	0	1	0,5	Falta Espaço
7	336	Caixa Média	330	Cilindro Maior	666	-1,2727273	1,17667845	0	1	0,5	Falta Espaço
8	336	Caixa Média	234	Cilindro Menor	570	0,90909091	1,00706714	0,909091	0,090909	0,954545	Otimizado
9	336	Caixa Média	336	Caixa Média	672	-1,4090909	1,18727915	0	1	0,5	Falta Espaço
10	280	Caixa Menor	330	Cilindro Maior	610	0	1,07773852	0	1	0,5	Otimizado
11	280	Caixa Menor	234	Cilindro Menor	514	2,18181818	0,90812721	0,908127	0,091873	0,954064	Sobra Espaço
12	280	Caixa Menor	280	Caixa Menor	560	1,13636364	0,98939929	0,989399	0,010601	0,9947	Sobra Espaço
13	330	Cilindro Maior	234	Cilindro Menor	564	1,04545455	0,99646643	0,996466	0,003534	0,998233	Sobra Espaço
14	330	Cilindro Maior	330	Cilindro Maior	660	-1,1363636	1,16607774	0	1	0,5	Falta Espaço
15	234	Cilindro Menor	234	Cilindro Menor	468	3,22727273	0,82685512	0,826855	0,173145	0,913428	Sobra Espaço
16	428	Caixa Maior	0	Sem Peça	428	4,13636364	0,75618375	0,756184	0,243816	0,878092	Sobra Espaço
17	336	Caixa Média	0	Sem Peça	336	6,22727273	0,59363958	0,59364	0,40636	0,79682	Sobra Espaço
18	280	Caixa Menor	0	Sem Peça	280	7,5	0,49469965	0,4947	0,5053	0,74735	Sobra Espaço
19	330	Cilindro Maior	0	Sem Peça	330	6,36363636	0,58303887	0,583039	0,416961	0,791519	Sobra Espaço
20	234	Cilindro Menor	0	Sem Peça	234	8,54545455	0,41342756	0,413428	0,586572	0,706714	Sobra Espaço
21	428	Caixa Maior	336	Caixa Média	764	-3,5	1,34982332	0	1	0,5	Falta Espaço
22	234	Cilindro Menor	280	Caixa Menor	514	2,18181818	0,90812721	0,908127	0,091873	0,954064	Sobra Espaço

6.4. Discussão

O controle de posicionamento de cargas ou produtos em paletes foi escolhido para este trabalho devido à necessidade de alto índice de precisão na medição dimensional dos produtos, ou seja, baixíssima tolerância a incertezas, imprecisões e contradições, quando busca a economia quanto ao espaço de armazenagem do produto e consequentemente o estoque de forma geral. Dessa forma, observou-se com este trabalho um inovador método utilizando a Lógica Paraconsistente para

estruturar controles em tomada de decisão de um Manipulador Robótico Industrial no processo de paletização.

Os resultados obtidos e apresentados na tabela 3 indicam a ocupação do palete segundo a presença de uma peça, e posteriormente com a presença de duas peças. Ainda referente a tabela 3, verifica-se que os resultados estão ordenados na sequência das planilhas de teste. Estas sequências foram elaboradas para desenvolver a lógica que é utilizada para gerar as condições da ocupação do palete e posterior tomada de decisão quanto ao posicionamento das peças movimentadas pelo manipulador robótico.

As combinações entre as peças que não são indicadas como otimizadas serão, conforme foi visto no modelamento dos algoritmos LPA2v, posicionadas na área de manobra e posteriormente verificadas pela garra do robô, as quais serão realocadas nos paletes posteriores.

O programa do robô industrial, com a utilização da Lógica Paraconsistente Anotada de Anotação com dois valores – LPA2v, segundo as análises citadas anteriormente nesse trabalho, propiciou a sequência esperada de comandos para a tomada dos valores das peças.

Todos os procedimentos do Braço Robótico utilizando os comandos provenientes do Controlador programado pela LPA2v, foram feitos convenientemente onde verificou-se a alocação segura, sem transbordo, das peças no palete.

O controle Lógico Paraconsistente teve uma ação efetiva, pois evitou as sobras em demasia de espaço no palete apresentando uma boa otimização de uso.

6.4.1 Comparação entre os dois algoritmos.

Por meio da observação das linhas de código é possível fazer, sem muito rigor, uma comparação entre os dois algoritmos: o convencional e o implementado com a LPA2v quando aplicados no controle do braço robótico. Inicialmente apresenta-se o algoritmo convencional.

As informações descritas na sequência desse parágrafo demonstram o método utilizado pelo controlador do robô para armazenar as posições e, também indicam a sintaxe dos comandos em forma sequenciada dos acionamentos possíveis do manipulador robótico que executa o procedimento de movimentação, medição e deslocamento das peças, conhecido como *“pick and place”*.

Essa linguagem de programação proprietária ao robô tem o nome de linguagem avançada de controle, “*Advanced Control Language - A.C.L.*”. Abaixo mostra-se algumas linhas do programa.

Algoritmo da Lógica Clássica

```

PROGRAM DISSERTACAO
*****
SET ANOUT[8] = 0 // parada da esteira
open
moved a[1]
moved t[1]
close
SET VAR1 = ENC[6] // mede o valor da peça
SET var1=-1 *var1 // inverte o sinal
PRINTLN VAR1 // mostra na tela o tamanho da peça
if var1>390 //-|
if var1 <400 //-| se a peça estiver entre estes valores será movimentada a peça
moved a[1]
moved a[3]
moved t[7]
open
moved a[3]
goto 2 // vai para o acionamento da esteira quando executar a colocação da peça
endif
endif
if var1>250
if var1<260 //-| se a peça estiver entre estes valores será movimentada a peça
moved a[1]
moved a[9]
moved a[8]
open
moved a[9]
goto 2 // vai para o acionamento da esteira quando executar a colocação da peça
endif
endif
if var1>300
if var1<310 //-| se a peça estiver entre estes valores será movimentada a peça
moved a[1]
moved a[7]
moved t[10]
open
moved a[7]
goto 2 // vai para o acionamento da esteira quando executar a colocação da peça
endif
endif
if var1>239
if var1<245 //-| se a peça estiver entre estes valores será movimentada a peça
moved a[1]
moved a[6]
moved t[9]
open
moved a[6]
goto 2 // vai para o acionamento da esteira quando executar a colocação da peça
endif
endif
if var1>210
if var1<220 //-| se a peça estiver entre estes valores será movimentada a peça
moved a[1]

```

```

moved a[5]
moved t[8]
open
moved a[5]
goto 2 // vai para o acionamento da esteira quando executar a colocação da peça
endif
endif
else
goto 1 // volta para label 1 enquanto o sensor não for acionado.
endif
end
(end)

```

.....

Algoritmo Paraconsistente- LPA2v

```

OPEN
  DELAY 200
  CLOSE
  DELAY 200
  SET P1 = ENC[6] /*Variável P1 recebe o valor do encoder da Garra, eixo 6.
  SET P2 = 610 /*Valor que indica a ocupação máxima [pulsos de encoder].
  SET P3 = 566 /*Valor que indica a ocupação mínima [pulsos de encoder].
  PRINTLN P1
  SET P11=P1 * -100 /*Adequação dos valores, fracionários para inteiros.
  SET VAR1[I] = P11
  PRINTLN
  PRINT "PECA[" I "]= " VAR1[I]
  PRINTLN
  DELAY 100
  OPEN
ENDFOR
SET VAR1[3]=VAR1[1] + VAR1[2]
SET P1=VAR1[3] / P3
IF P1 > 100
  SET P1 = 100
ENDIF
SET P4=P2 - P3
SET P3=P3 * 100
SET P5=VAR1[3] - P3
SET P6=P5 / P4
IF P1 > P6 /* Análise Segundo o nó de análise paraconsistente – NAP.
  SET MI1 = P1 /* Evidência favorável à ocupação mínima do palete.
  SET MI2 = P6 /* Evidência favorável à ocupação máxima do palete.
ELSE
  SET MI1 = P6
  SET MI2 = P1
ENDIF
SET LAMB1=100 - MI1/*Evidência desfavorável à ocupação mínima do palete.
SET LAMB2=100 - MI2/*Evidência desfavorável à ocupação máxima do palete.
SET GC=MI1 - LAMB2 /*Grau de certeza ou grau de ocupação do palete.
SET GCT=MI1 + LAMB2
SET GCT=GCT - 100
PRINTLN
PRINTLN "mi1=" MI1
PRINTLN "lamb1=" LAMB1
PRINTLN "mi2=" MI2
PRINTLN "lamb2=" LAMB2
PRINTLN "Gc=" GC

```

```
PRINTLN "Gct=" GCT  
END
```

Na comparação dos dois algoritmos é possível observar que a lógica clássica funciona de forma reduzida quanto à adaptação ou variação de cargas de tamanhos diversos, isto é, a lógica é pouco adaptativa.

A tomada de decisão quanto ao posicionamento das cargas, na lógica clássica, necessita de mais cálculos para nos dar certo grau de confiança a respeito do preenchimento do palete sem sobras excessivas. Para melhorar isso, o número de linhas aumentaria, e pouco melhoraria a capacidade adaptativa a novos processo de paletização.

Apesar da necessidade de maior número de implementações da LPA2v em processos de Manipulador Robótico tais que possam oferecer análises mais apuradas sobre a eficiência dos algoritmos, é possível, em comparação aos dois descritivos, verificar que consegue-se com a LPA2v um menor número de linhas de códigos para as ações produzidas na análise de carga e paletização. A isto, pode-se acrescentar a vantagem da utilização da LPA2v e oferecer melhores condições adaptativas, com possibilidades de processos interativos entre máquinas de modo a se obter resultados mais eficientes.

7. CONCLUSÕES

O controle de posicionamento de cargas em paletes foi escolhido para este trabalho devido à necessidade de alto índice de precisão na medição dimensional dos produtos, ou seja, baixíssima tolerância a incertezas, imprecisões e contradições, quando busca a economia do espaço de armazenagem do produto e consequentemente do estoque de forma geral. Com este trabalho é possível inovar, utilizando a Lógica Paraconsistente para estruturar controles em tomada de decisão de um Manipulador Robótico Industrial no processo de paletização.

Os resultados obtidos neste trabalho mostraram principalmente que é possível estruturar um algoritmo de modo que este seja capaz de atuar na medição de paletes e no controle de áreas de alocação de cargas variáveis em um Robô Manipulador mesmo com informações baseadas em flexibilidade de dados, incertezas e contradições limites. A utilização do algoritmo da LPA2v, atuando no Robô Manipulador, teve como consequência a tomada de decisão objetivando o melhor aproveitamento das operações de medida, de manipulação das peças e palete em questão. Com base nestes resultados é possível considerar que este trabalho contribui para pesquisas em robótica, porque uma vez verificado a real aplicação da Lógica Paraconsistente Anotada de Anotação com dois valores - LPA2v na tomada de decisão quanto à comparação das peças a serem alocadas em áreas pré-determinadas é possível utilizar os procedimentos em outros equipamentos que possuam linguagens de programação proprietárias. E assim pode-se agregar valores e dinamismo às decisões do Robô. Essa possibilidade fica bastante clara para as linguagens que possibilitem adequações diversas quanto à medição de peças e armazenagens em conjunto com medidores dimensionais, como sensores, para flexibilizar a lógica de maneira a funcionar como uma inteligência artificial adaptativa. Mediante o trabalho realizado e descrito nessa dissertação a obtenção dos valores dimensionais das peças ocorreu de forma direta, onde as informações obtidas são armazenadas e comparadas sem a necessidade de qualquer conversão em qualquer unidade de medida. Uma validação com base no Reticulado de Hasse facilita a compreensão da estratégia utilizada na tomada de decisão para as possíveis combinações entre as peças disponibilizadas para efetuar a paletização. Os resultados obtidos demonstraram que os algoritmos da LPA2v são adequados para estas técnicas de inteligência artificial adaptativa nas quais os

parâmetros de inicialização e valores de tolerâncias fornecidos podem ser adaptados conforme destino e customização da nova tarefa a ser automatizada. Dessa forma o produto fim do trabalho é um processo preciso e flexível na armazenagem e movimentação de peças em um ambiente industrial com vista a melhor utilização do espaço disponível para o transporte e armazenagem sem desperdício de espaço e por consequência minimizando a necessidade de grandes áreas de estoque, abrindo caminho, e disponibilizando mais áreas para o processo de produção efetiva.

7.1 Trabalhos Futuros

Nesta aplicação o algoritmo da LPA2v demonstrou simplicidade em seus cálculos com as ações necessárias à tomada de decisão quanto a real ocupação do palete e posterior manobra do mesmo, como também de suas peças apoiadas ou aquelas que serão apoiadas pelo manipulador robótico.

Tudo indica que a simplicidade do algoritmo obtido pelas equações da LPA2v será uma boa ferramenta para implementar novos procedimentos às ações de Manipuladores Robóticos, pois neste trabalho, os algoritmos LPA2v implementados, apresentaram como consequência, a rápida adequação ao equipamento. Esta propriedade facilita a variação de peças e possíveis manutenções quanto à modificação da área de descarga, e, portanto podem ser úteis para promover a disponibilização de espaço para a implementação de novas tarefas ou processos vinculados ao processo fabril e logístico existente. Espera-se, portanto que novos trabalhos de pesquisa e desenvolvimento possam ser iniciados a partir da contribuição promovida por esta pesquisa. Na sequência desse trabalho será desenvolvido um programa de computador em linguagem C ou em outras linguagens de programação, para a aplicação da lógica em braços Robóticos que trabalhem conjuntamente. A própria fundamentação da Lógica Paraconsistente, que oferece algoritmos capazes de tratar a contradição entre eles, facilita a simulação e teste destes sistemas obtendo-se novas propostas dimensionais nas ações do Braço Robótico deixando-o com maior flexibilidade em suas ações de produção industrial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABE, J. M.; **ABERTURA WICS 2013 – 1º Workshop Intelligence Computing System 2013** vídeo parte 1, IEA USP, Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.iea.usp.br/midiateca/video/workshop-de-inteligencia-artificial-2013-parte-1-1>>. Acesso em 23 jul. 2013, 21:23:00.

ADADE FILHO, A.; **Fundamentos de Robótica: Cinemática, Dinâmica e Controle de Manipuladores Robóticos**. Apostila publicada pelo ITA-CTA. São José dos Campos, 1992.

ANSI/RIA R15.06-1999 **National Robot Safety Standard**. Published by Robotic Industries Association (RIA).

BAPTISTA, R.; DA SILVA FILHO, J. I.; MORILLA, J. C., “**Proposal of automatic control three-way valve through algorithms of Paraconsistent Annotated Logic**”, Artigo técnico, Revista *Science and Technology*, Vol. 2, Nº2, UNISANTA – Universidade Santa Cecília, Santos, 2013, pp.69-73. Disponível em: <<http://periodicos.unisanta.br/index.php/sat/article/view/189>>. Acesso em 08 mar. 2014, 19:42:00.

BERTO, M. F., “**Aplicação da Lógica Paraconsistente Evidencial Et. no controle de sensores de temperatura na atuação de robôs móveis**”, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Paulista (UNIP), São Paulo, SP, 2007, 154p.

Disponível em:

<http://www1.unip.br/ensino/pos_graduacao/strictosensu/eng_producao/download/eng_macielfranciscoberto.swf>. Acesso em 08 mar. 2014, 19:33:00.

CAMPOS, M. C. M. M.; TEIXEIRA, H. C. G “**Controles Típicos de equipamentos e processos industriais**”, Editora Blucher, 2ª. Ed., São Paulo, 2010, pp. 115.

CARRARA, V.; **Apostila de Robótica do Curso de Engenharia de Controle e Automação**, Universidade Braz Cubas, Mogi das Cruzes, 2006.

DA COSTA, N. C. A, ABE, J.M. e SUBRAHMANIAN V. S. **Remarks on Annotated Logic**. Instituto de Estudos Avançados da USP, 2000.

DA COSTA, N. C. A; HENSCHEN, L. J.; LU, J. J. *et al.* **Automatic Theorem Proving in Paraconsistent Logics: Theory and Implementation**. Instituto de Estudos Avançados da USP - 1990.

DA COSTA, N. C. A & SUBRAHMANIAN, V. S.. **Paraconsistent Logics as a Formalism for Reasoning About Inconsistent Knowledge Bases**. Instituto de Estudos Avançados da USP - 1989.

DA COSTA, N. C. A; SUBRAHMANIAN, V. S. e VAGO, C. **The Paraconsistent Logics Pt**. Instituto de Estudos Avançados da USP - 1989.

D'ANTONIO, V. J. A.; PEREIRA, C. D. S.; DA SILVA FILHO, J. I., **“Um método estatístico/paraconsistente de avaliação quantitativa de grânulos plásticos (Pellets) em praias”**, Artigo técnico, Revista *Science and Technology*, Vol. 1, Nº2, UNISANTA – Universidade Santa Cecília, Santos, 2012, pp.48-53.

Disponível em <<http://periodicos.unisanta.br/index.php/sat/article/view/92>>

Acesso em 08 mar. 2014, 19:58:00.

DA SILVA FILHO, J. I., **“Implementação De Circuitos Lógicos Fundamentados Em Uma Classe De Lógicas Paraconsistentes Anotadas”**. 1997. 131p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Eletrônica.

Disponível em:

<<http://www.paralogike.com.br/Dissertacao%20de%20Mestrado%20LPA.pdf>>.

Acesso em 07 jul. 2013. 21:05:10.

DA SILVA FILHO, J. I., **“Métodos De Aplicações Da Lógica Paraconsistente Anotada De Anotação Com Dois Valores-Lpa2v Com Construção De Algoritmo E Implementação De Circuitos Eletrônicos”**. 1999. 226p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais.

Disponível em:

<<http://www.paralogike.com.br/Tese.pdf>>. Acesso em 20 jul. 2013. 21:10:00.

DA SILVA FILHO, J. I.; ABE, J. M., **“Introdução à lógica paraconsistente anotada com ilustrações”** Editora Emmy, 1ª. Ed., Santos, 2000, pp. 25, 54, 147-150.

DA SILVA FILHO, J. I., **“Métodos de Aplicações da Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores-LPA2v”**, Artigo técnico, Revista Seleção Documental, Santos, 2006, pp. 18-25.

DA SILVA FILHO, J. I.; ABE, J. M.; LAMBERT TORRES, G., **“Inteligência Artificial com as Redes de Análises Paraconsistentes”** Editora LTC, 1ª. Ed., Rio de Janeiro, 2008, pp.4-5, pp.40-84, pp.101-185.

DA SILVA FILHO, J. I., **“Lógica ParaFuzzy-Um método de Aplicação da Lógica Paraconsistente e Fuzzy em Sistemas de Controle Híbridos”**, Artigo técnico, Revista Seleção Documental, Santos, 2009, pp. 16-24.

DE MORAES, L., **Palestra Lógica Discursiva**; WICS 2013 – 1º *Workshop Intelligence Computing System* 2013 vídeo parte 1, IEA USP, Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

Disponível em:

<<http://www.iea.usp.br/midiатеca/video/workshop-de-inteligencia-artificial-2013-parte-1-1>>.

Acesso em 07 jul. 2013, 22:23:00.

FERNANDES, C. L. M.; MARIO, M. C.; DA SILVA FILHO, J. I.; **“Estudo para inclusão da Lógica Paraconsistente Anotada em Normas específicas para utilização em Controladores Programáveis”**, Artigo técnico, Revista *Science and*

Technology, Vol. 1, Nº2 , UNISANTA – Universidade Santa Cecília, Santos, 2012, pp.59-63.

FRANCHI, C. M.; **“Controle de processos industriais. Princípios e aplicações”** Editora Érica, 1ª Ed., São Paulo, 2011, p. 38.

GOZZI, G.; **“Estrutura e Características Gerais dos Robôs - Curso de Automação Industrial”**. Disponível em:
<<http://www.faatesp.edu.br/publicacoes/aula2.pdf>>. Acesso em dezembro em 2014.

Manual do Robô Scorbote Eshed Robotec ER V Plus, Intelitek Inc., Catalog #100016 Rev. C, February 1996, Web site: www.intelitek.com.

MONTEIRO, L. H. A.; **“Sistemas dinâmicos”** Editora Livraria da Física, 3ª Ed., São Paulo, 2011, p.66.

NOGUEIRA, L. F. G.; PEREIRA, C. D. S.; DA SILVA FILHO, J. I., **“Techniques based on Paraconsistent Annotated Logic in the assessment of the mussel Perna perna response (Linnaeus, 1758)”**, Artigo técnico, *Revista Science and Technology*, Vol. 2, Nº1 , UNISANTA – Universidade Santa Cecília, Santos, 2013, pp.24-30. Disponível em:
<<http://periodicos.unisanta.br/index.php/sat/article/view/135>>. Acesso em 08 mar. 2014, 20:15:00.

NUNES, V. C.; LOPES, I. C., **“Análise de rentabilidade econômica de um sistema flexível de produção mediante o conceito do Computador Integrando a Manufatura – C.I.M.”**, *Unisanta Science and Technology*, 2013, 6, July, ISSN 2317-1316 (1996, p. 40 e p.49).

NUNES, V. C.; Torres, C. R.; Da Silva Filho, J. I.; **“Algoritmo de Interatividade e Comissionamento entre Robô Industrial e Torno CNC em Célula Flexível de Manufatura”**, Artigo Técnico, Seleção Documental, GLPA, N.33, Ano 9, Ed. Paralogike, Santos, São Paulo, Brasil, 2014, ISSN 1809-0648, pp.15-19.

OGATA, K., **“Engenharia de Controle Moderno”**, Editora LTC, 3ª. Ed., Rio de Janeiro, 2000, pp.83-84.

SABER ELETRÔNICA. São Paulo: Editora Saber, n. 405, out. 2006. Disponível em
<<http://www.sabereletronica.com.br/artigos/1532-todos-os-tipos-de-sensores>>. Acesso em 20 de Junho de 2014, 21:23:00.

SCORBOT-ER V PLUS USER'S MANUAL. (1996, February). (3rd ed.). Intelitek, Eshed Robotec Limited, Catalog # 100016 Revision C.

TORRES, C. R., **“Sistema Inteligente Paraconsistente para Controle de Robôs Móveis Autônomos”**, Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2004, 85 p..

WATANABE, E. T.; SANTOS, F. M.; **“Estudo da cinemática inversa aplicada num braço robótico”**. Universidade Braz Cubas, Mogi das Cruzes, 2006.