

Sistema inteligente paraconsistente para controle de robôs móveis autônomos

PARACONSISTENT INTELLIGENT SYSTEM FOR AUTONOMOUS MOBILE ROBOT CONTROL

Cláudio Rodrigo Torres
Germano Lambert -Torres
GAIA – Grupo de Aplicações de Inteligência Artificial
UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá
Jair Minoro Abe
Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia
UNIP - Universidade Paulista

RESUMO

Os Sistemas Inteligentes tradicionais são usualmente baseados na lógica clássica ou em algumas de suas extensões. Assim, em certas situações, quando nos defrontamos com incertezas, contradições (inconsistência) ou quando existe falta de informação (paracompleteza), muitas vezes algumas simplificações ou adaptações são necessárias para que o sistema continue funcionando, podendo torná-lo complexo ou, paradoxalmente, ineficiente. Por outro lado, nos sistemas de controle de robôs móveis autônomos são comuns o aparecimento de incerteza, inconsistência e paracompleteza. No tocante ao tratamento da incerteza, grandes avanços foram alcançados graças à descoberta da lógica fuzzy e outros sistemas lógicos não-clássicos (v.g. lógica multivalorada). Conflitos aparecem por diferentes motivos. Eles podem surgir de diversos modos: dados contraditórios, limites de recursos, limitação dos sensores, etc. Conflitos podem ser expressos como meras diferenças ou contradição lógica. Em 1999, foi proposta a construção de um robô móvel autônomo, chamado Emmy, cujo funcionamento baseia-se na Lógica Paraconsistente Anotada. O sistema de controle utilizado na Emmy é capaz de lidar com as situações de incerteza, inconsistência e paracompleteza de modo não-trivial. O sistema proposto utiliza como base o controlador lógico paraconsistente Paracontrol. Este trabalho possui como objetivo propor um sistema de controle para um robô móvel autônomo, porém utilizando uma variação do Paracontrol.

PALAVRAS CHAVE

Lógica paraconsistente Anotada. Sistema de controle. Sistema inteligente. Robô móvel autônomo.

ABSTRACT

This work intends to show a controller based on the evidential annotated paraconsistent logic $E\hat{o}$ – Paracontrol. The Paracontrol is a variation of the logic analyzer. This work also shows an autonomous mobile robot, which is named Emmy II, in order to demonstrate the Paracontrol's new properties. As an innovation, the Paracontrol presents besides the characteristics of the previous controller (manipulation of uncertainties, contradiction and paracompleteness information), the speed control in the various robot's actions.

KEYWORDS

Paraconsistent logic. Control system. Intelligent system. Autonomous mobile robot.

INTRODUÇÃO

O presente trabalho apresenta algumas características adicionais ao controlador comentado, podendo ser classificado como um refinamento e melhoria no que tange à locomoção do robô Emmy. O sistema de controle proposto, no qual se manteve o nome Paracontrol, utiliza 6 (seis) estados lógicos e apresenta como novidade alguns comandos não existentes na Emmy:

- Controle de velocidade nas diversas ações: por exemplo, detectando-se um obstáculo à frente, o novo Paracontrol permite que o robô freie escalonadamente, permitindo uma parada “mais suave”. Também, frente a dados contraditórios como aludidos no início, o robô gira “mais suavemente”.
- O novo controlador permite movimentos retró-grados. Em certas situações o robô pode se movimentar para trás ou girar com uma roda fixa e outra girando para trás, permitindo ao robô realizar manobras mais fluentes que as da Emmy.

- A combinação das duas características acima, mais as demais apresentadas no protótipo original, faz do novo protótipo um robô com movimentos mais “sofisticados” que o anterior, dando-se assim, mais um passo importante no que se espera de um robô móvel autônomo. O robô móvel autônomo construído com o novo Paracontrol denomina-se Emmy II.

TÓPICOS IMPORTANTES EM LÓGICA

A lógica clássica surgiu, ao que tudo indica, por volta de 384-322 a.C. com Aristóteles e possui os seguintes princípios básicos, entre outros:

- Princípio da identidade: todo objeto é idêntico a si mesmo.
- Princípio da contradição (alguns autores o denominam de princípio da não-contradição): de duas proposições contraditórias (i.e., uma é a negação da outra) uma delas deve ser falsa.
- Princípio do meio (ou do terceiro) excluído: de duas proposições contraditórias uma delas deve ser verdadeira.

Em 1910, o lógico russo Nicolai A. Vasil'ev (1880 – 1940) e o lógico polonês Jan Lukasiewicz (1878 – 1956), publicaram independentemente, trabalhos que trataram de lógicas que admitem contradições, porém, em nível Aristotélico.

Em 1948, o lógico polonês Stanislaw Jaskowski (1906 – 1965) formalizou com base na lógica discursiva (ou discussiva) um cálculo proposicional paraconsistente denominado cálculo proposicional discursivo. Independentemente, o lógico brasileiro Newton C. A. da Costa, (1929 -) em 1954, desenvolveu vários sistemas paraconsistentes contendo todos os níveis lógicos usuais: cálculo proposicional, cálculo de predicados, cálculo de predicados com igualdade, cálculo de descrições e lógica de ordem superior (na forma de teoria dos conjuntos).

Com a proliferação de sistemas lógicos alternativos à lógica clássica, hodiernamente podemos conceber a ciência Lógica como a ciência que engloba os diversos sistemas lógicos (clássica, paraconsistente, difusa, etc.). Assim, sem muito rigor, a ciência Lógica pode ser dividida em duas classes: a lógica dedutiva e a lógica indutiva.

A lógica dedutiva estuda as inferências logicamente necessárias (ou válidas), de modo que, se as premissas forem verdadeiras, a conclusão necessariamente também é verdadeira. Esta categoria de lógica, por sua vez, pode ser dividida em dois grandes grupos: a lógi-

ca dedutiva clássica e a lógica dedutiva não-clássica.

A parte nuclear da lógica dedutiva clássica constituiu-se no estudo do cálculo de predicados de primeira ordem e alguns de seus importantes sub-sistemas tais como o cálculo proposicional clássico e o cálculo implicativo clássico.

A lógica dedutiva não-clássica pode ser dividida em dois tipos de estudos:

-aquele que complementa o escopo da lógica clássica. Inclui-se nesta categoria os diversos sistemas modais, tais como, lógica do conhecimento, lógica deôntica, lógica temporal e outras;

-aquele que substitui a lógica clássica em alguns de seus pontos ou na maioria de seu domínio. Este último ramo chama-se lógicas rivais ou heterodoxas. Inclui-se nesta categoria: as diversas lógicas polivalentes (ou multivaloradas), lógicas fuzzy, lógicas paraconsistentes, lógicas anotadas, etc.

Como nesta dissertação a lógica paraconsistente possui papel importante, tecemos as considerações a seguir.

A LÓGICA PARACONSISTENTE

A lógica paraconsistente pode ser definida como se segue. Seja T uma teoria fundada sobre uma lógica L, e suponha-se que a linguagem de L e T contenha um símbolo para a negação (se houver mais de uma negação, uma delas deve ser escolhida pelas suas características lógico-matemáticas). A teoria T diz-se inconsistente se ela possuir teoremas contraditórios, i.e., tais que um é a negação do outro; caso contrário, T diz-se consistente. A teoria T diz-se trivial se todas as fórmulas de L (ou todas as fórmulas fechadas de L) forem teoremas de T; em hipótese contrária, T chama-se não-trivial.

Uma lógica L chama-se paraconsistente se puder servir de base para teorias inconsistentes, mas não-triviais.

Uma lógica L denomina-se para-completa se puder ser a lógica subjacente de teorias nas quais se infringe o princípio da contradição, i. e., existem fórmulas tais que elas e suas negações são ambas falsas. De modo preciso, uma lógica se diz para-completa se nela existirem teorias não-triviais maximais às quais não pertencem uma dada fórmula e sua negação.

No escopo das aplicações, uma questão indesejável da lógica clássica é sua fragilidade. Com efeito, pode-se demonstrar que a presença de uma contradição na lógica clássica trivializa qualquer teoria baseada

nela. Conseqüentemente, a lógica clássica é impotente para manipular diretamente o conceito de inconsistência, ficando impossibilitada de se fazer um tratamento não-trivial na presença de contradições. Em conseqüência, quando necessitamos tratar inconsistências diretamente, precisamos lançar mão das lógicas paraconsistentes.

DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE

O sistema de controle estudado utiliza seis estados lógicos em vez dos 12 estados lógicos utilizados no *Paracontrol* da *Emmy*. Além disso, ele possui controle de velocidade, o que não ocorre no robô *Emmy* [2, 6]. O *Paracontrol* é um controlador lógico que constitui a materialização em circuito eletro-eletrônico do algoritmo *Para-analisador*. O *Para-analisador* possui sua estrutura baseada na Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial, da qual falaremos mais adiante com detalhe, e possui basicamente duas entradas (uma, a evidência favorável e a outra, a evidência contrária) e possui como saída 12 estados (incluindo entre eles, os estados verdadeiro, falso, inconsistente e paracompleto, além de estados “intermediários”) que constituem os estados de tomada de decisão do robô *Emmy*.

Como dito anteriormente, a *Emmy* possui dois sensores ultra-sônicos: um para determinar o grau de evidência favorável e o outro para determinar o grau de evidência contrária. Com o *Paracontrol*, a *Emmy* pode agir adequadamente em certas situações “especiais”, tais como frente a dados contraditórios: um sensor pode detectar um obstáculo à frente (por exemplo, uma parede), enquanto o outro pode não detectar obstáculo algum (por exemplo, pode estar em direção a uma porta aberta). Havendo essa situação, a *Emmy* pára e gira 45° na direção que está mais livre. Assim, se na nova medição, não houver inconsistência, ela poderá tomar outra decisão, por exemplo, de se locomover à frente, contornando-se, assim, o obstáculo. O presente trabalho apresenta algumas características adicionais ao controlador comentado, podendo ser classificado como um refinamento e melhoria no que tange à locomoção do robô *Emmy*. O sistema de controle proposto, no qual manteremos o nome *Paracontrol*, utiliza 6 (seis) estados lógicos e apresenta como novidade alguns comandos não existentes na *Emmy*:

1) Controle de velocidade nas diversas ações: por exemplo, detectando-se um obstáculo à frente, o novo

Paracontrol permite que o robô freie escalonadamente, permitindo uma parada “mais suave”. Também, frente a dados contraditórios como aludidos no início, o robô gira “mais suavemente”.

2) O novo controlador permite movimentos retrogrados. Em certas situações, o robô pode se movimentar para trás ou girar com uma roda fixa e outra girando para trás, permitindo ao robô realizar manobras mais fluidas que as da *Emmy*.

3) A combinação das duas características acima, mais as demais apresentadas no protótipo original, faz do novo protótipo um robô com movimentos mais “s sofisticados” que o anterior, dando-se assim, mais um passo importante no que se espera de um robô móvel autônomo.

O robô móvel autônomo construído com o novo *Paracontrol* denomina-se *Emmy II*.

CONSTRUÇÃO FÍSICA DO ROBÔ MÓVEL AUTÔNOMO EMMY II

A plataforma utilizada para a montagem do robô *Emmy II* possui aproximadamente 25cm de diâmetro e 23cm de altura. Os componentes principais do robô *Emmy II* são um microcontrolador da família 8051, dois sensores de ultra-som e dois motores de corrente contínua. A Figura 1 mostra a estrutura básica do robô *Emmy II*.

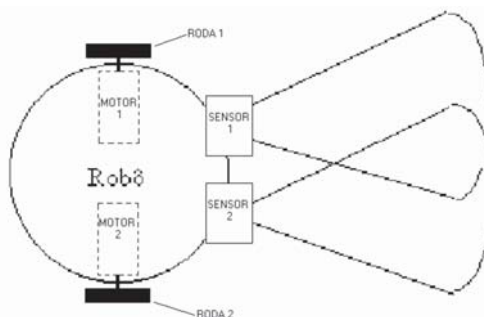


Figura 1 – Estrutura básica do robô *Emmy II*

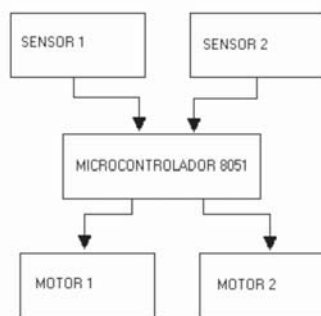


Figura 2 – Diagrama em blocos simplificado

Os sensores de ultra-som são responsáveis pela verificação de obstáculos à frente do robô. Os sinais gerados pelos sensores são enviados para o microcontrolador. Os valores do grau de evidência favorável (m) e do grau de evidência contrária (l) na proposição “A frente do robô está livre” são determinados pelo microcontrolador com base nos sinais re-

cebidos dos sensores de ultra-som. O microcontrolador também determina o movimento a ser executado pelo robô, ou seja, qual motor deve ser acionado, com base na decisão proveniente do Paracontrol.

A Figura 2 mostra o diagrama em blocos simplificados do robô móvel autônomo Emmy II; enquanto a Figura 3 mostra uma vista frontal e inferior do robô.

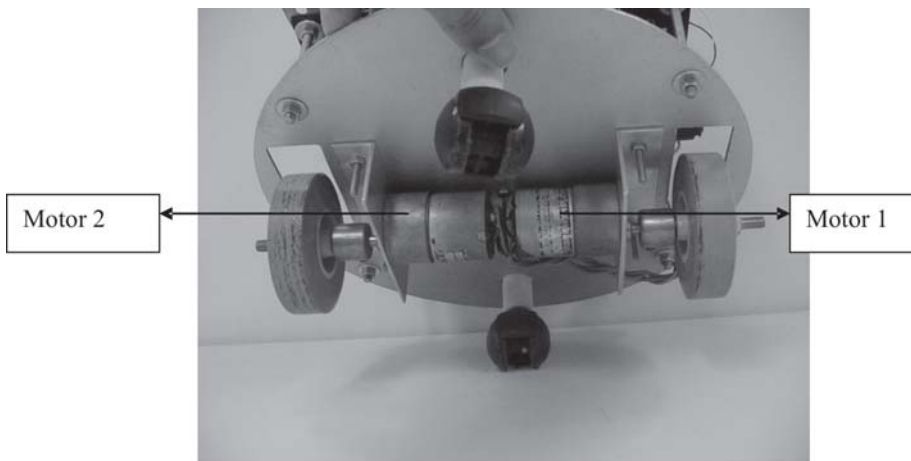
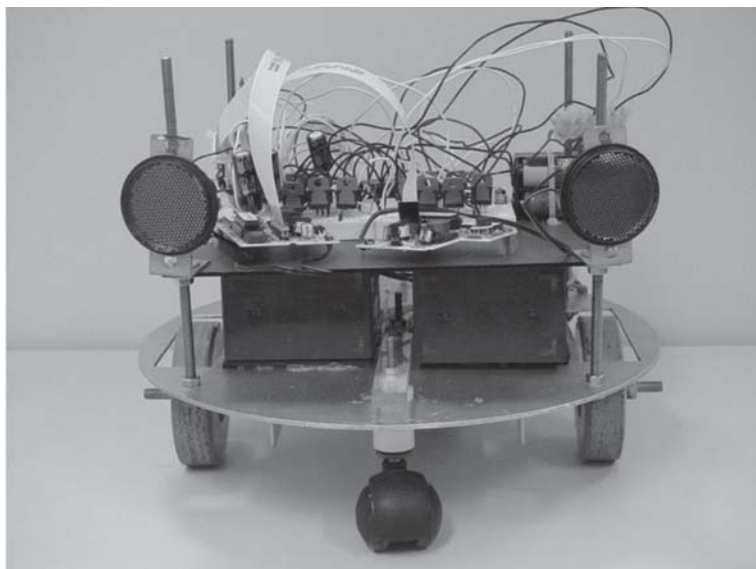


Figura 3 – Vista frontal e inferior do robô Emmy II

PROGRAMAÇÃO DO ROBÔ EMMY II

O componente principal do robô Emmy II é o microcontrolador 89C52, pois ele é responsável por determinar as distâncias entre os sensores de ultra-som e os obstáculos localizados à frente do robô, calcular os valores dos graus de evidência favorável e evidência contrária na proposição “A frente do robô

está livre”, executar o algoritmo Para-analisador e gerar sinais para o acionamento dos motores. Armazena-se o programa na memória interna do microcontrolador 89C52..

Os movimentos possíveis neste robô são os seguintes:

1. Seguir em frente em linha reta. Os motores 1 e

2 são acionados para frente ao mesmo tempo com a mesma velocidade.

2. Ir para trás em linha reta. Os motores 1 e 2 são acionados para trás ao mesmo tempo com a mesma velocidade.

3. Girar para a direita. Apenas o motor 1 é acionado para frente com o motor 2 parado.

4. Girar para a esquerda. Apenas o motor 2 é acionado para frente com o motor 1 parado.

5. Girar para a direita. Apenas o motor 2 é acionado para trás com o motor 1 parado.

6. Girar para a esquerda. Apenas o motor 1 é acionado para trás com o motor 2 parado.

O sinal gerado pelo sensor S1 considera-se como

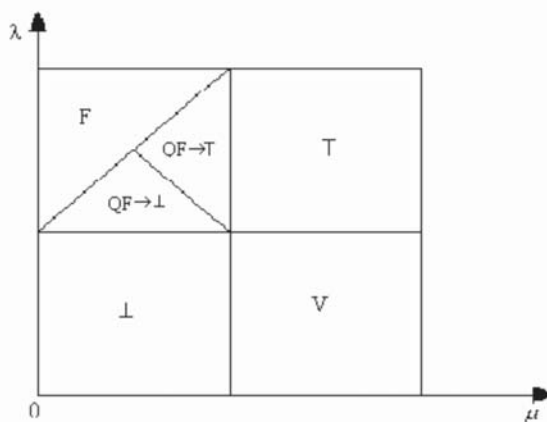


Figura 4 – Reticulado com os estados lógicos utilizado pelo robô Emmy II

A verificação dos valores do grau de evidência favorável e do grau de evidência contrária, tomada de decisão e movimentação dos motores é feita de forma seqüencial. Tal seqüência de ações é quase imperceptível ao se observar o robô movimentando-se.

Para cada estado, a respectiva decisão é a seguinte:

Estado V: Ir para frente. Os motores 1 e 2 são acionados para frente ao mesmo tempo.

Estado F: Ir para trás. Os motores 1 e 2 são acionados para trás ao mesmo tempo.

Estado : Girar para a direita. Apenas o motor 1 é acionado para frente. Permanecendo o motor 2 parado.

Estado T: Girar para a esquerda. Apenas o motor 2 é acionado para frente. Permanecendo o motor 1 parado.

Estado QF : Girar para a direita. Apenas o motor 2 é acionado para trás. Permanecendo o motor 1 parado.

grau de evidência favorável e o sinal originado pelo sensor S2 considera-se como grau de evidência contrária na proposição “A frente do robô está livre”. Quando existe um obstáculo próximo ao sensor S1 o grau de evidência favorável é baixo e quando o obstáculo está distante do sensor S1 o grau de evidência favorável é alto. Por outro lado, quando existe um obstáculo próximo ao sensor S2, o grau de evidência contrária é alto e quando o obstáculo está distante do sensor S2 o grau de evidência contrária é baixo.

O robô decide qual movimento escolher baseado nos valores do grau de evidência favorável, no grau de evidência contrária e no sistema de controle proposto de acordo com o reticulado com os respectivos estados lógicos extremos e não-extremos da Figura 4.

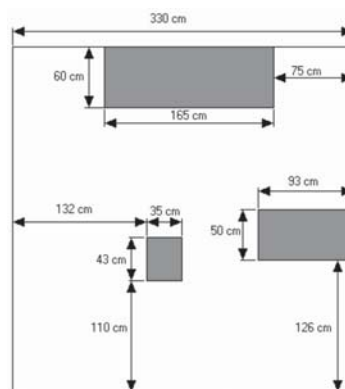


Figura 5 – Ambiente de testes do robô Emmy II

Estado QF T: Girar para a esquerda. Apenas o motor 1 é acionado para trás. Permanecendo o motor 2 parado.

As justificativas para as escolhas são as seguintes:

Quando o estado for Verdadeiro (V), significa que a frente do robô está livre. Assim, o robô pode seguir em frente.

Na Inconsistência (T), μ e λ assumem valores altos (i.e., pertencentes à região T). Isto significa que S1 está distante de um obstáculo e S2 está próximo de um obstáculo, sendo que o lado esquerdo está mais livre que o direito. Assim, a ação recomendada é girar para a esquerda. Aciona-se apenas o motor 2 para a frente e mantendo o motor 1 parado.

Quando for detectado o estado de Paracompleteza (), μ e λ assumem valores baixos. Isto significa que S1 está próximo de um obstáculo e S2 está distante de um obstáculo, sendo que o lado direito está mais livre que o esquerdo. Portanto, a decisão deve ser girar para a direita. Aciona-se apenas o motor 1 para frente e

mantendo-se o motor 2 parado.

No estado de Falsidade (F), a frente do robô está obstruída por um obstáculo muito próximo do robô. Portanto, a decisão é recuar.

No estado Quase-falso tendendo ao Inconsistente (QF T), a frente do robô continua obstruída, com as seguintes características: o obstáculo não está tão próximo como na Falsidade e o lado esquerdo está um pouco mais livre do que o direito. A decisão é girar para a esquerda, acionando-se apenas o motor 1 para trás e mantendo-se o motor 2 parado.

No estado Quase-falso tendendo ao Paracompleto (QF), a frente do robô continua obstruída, do seguinte modo: o obstáculo não está tão próximo como na falsidade e o lado direito está um pouco mais livre do que o esquerdo. A decisão é girar para a direita, acionando-se apenas o motor 2 para trás e mantendo-se o motor 1 parado.

TESTES

Com o objetivo de verificar a funcionalidade do robô Emmy II executaram-se quatro testes. Esses testes constituem-se basicamente em contar quantas vezes o robô se choca contra algum obstáculo quando se locomove por um determinado ambiente. A Figura 5 mostra o ambiente onde os testes com o robô Emmy II foram realizados.

O tempo de duração e o resultado de cada teste são os seguintes:

Teste 1: Duração: 3 minutos e 50 segundos. Resultado: 13 colisões.

Teste 2: Duração: 3 minutos e 10 segundos. Resultado: 7 colisões

Teste 3: Duração: 3 minutos e 30 segundos. Resultado: 10 colisões.

Teste 4: Duração: 2 minutos e 45 segundos. Resultado: 10 colisões.

Os sensores de ultra-som utilizados pelo robô Emmy II não detectam obstáculos a uma distância de 7,5 cm ou menos. Os sensores de ultra-som emitem ondas sonoras e esperam o retorno dessas ondas (eco) para determinar a distância entre o obstáculo e o sensor; mas nem sempre essas ondas retornam, às vezes, elas refletem para uma outra direção. Essas são as causas principais das colisões ocorridas durante os testes. Isto pode ser resolvido com a colocação de mais sensores e algumas modificações no Paracontrol.

As causas das colisões são as seguintes:

Teste 1: Total de colisões: 13.

Colisões causadas por causa do reflexo das ondas sonoras: 4.

Colisões causadas pela proximidade do obstáculo: 9.

Teste 2: Total de colisões: 7.

Colisões causadas por causa do reflexo das ondas sonoras: 2.

Colisões causadas pela proximidade do obstáculo: 5.

Teste 3: Total de colisões: 10.

Colisões causadas por causa do reflexo das ondas sonoras: 5

Colisões causadas pela proximidade do obstáculo: 5.

Teste 4: Total de colisões: 10.

Colisões causadas por causa do reflexo das ondas sonoras: 4.

Colisões causadas pela proximidade do obstáculo: 6.

Uma outra possibilidade de colisão existe quando se detecta o estado falso. Nessa situação o robô vai para trás por 0,4 segundos, como não existe sensoriamento atrás do robô, a possibilidade de colisão é grande.

CONCLUSÕES

Neste trabalho propôs-se uma nova versão do Paracontrol (controlador lógico paraconsistente) baseado na lógica paraconsistente evidencial Et. Implementou-se o Paracontrol num robô móvel autônomo que foi denominado Emmy II. Como novidade, tal controlador permite o controle da velocidade dos movimentos do robô e possibilita ajustes via software. O robô Emmy II realiza movimentos retrógrados, o que não era possível no robô Emmy.

O funcionamento do robô Emmy II mostrou-se bastante satisfatório. Conseguiu-se, assim, a implementação de um robô móvel autônomo sem supervisão externa e com possibilidade de navegação em ambiente não estruturado a um custo financeiro relativamente baixo.

Os controladores baseados na lógica paraconsistente anotada são capazes de manipular incerteza, contradição e paracompleteza de modo eficiente. Possibilitando, assim, novas pesquisas com perspectivas interessantes.

REFERÊNCIAS

ABE, J.M. Fundamentos da lógica anotada 1992. Tese, Ph. D. em _____, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

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. Tese Ph. D. em _____ Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

LAMBERT-TORRES, G et al. Advances in intelligent systems and robotics, IOS Press, Amsterdam, v. 2 n. , p.217-217, 2003. _____. _____. v. 2, n. , p.240-240, 2003.

COSTA, N.C.A.;ABE,J. A.; SUBRAHMANIAN, V. S.Remarks on annotated logic. Zeitschrift fur

mathematische logik und grundlagen der mathematik, [S.l.], v.37, p.561-570, 1991.

COSTA N. C. A. et al. Lógica paraconsistente aplicada. [S. l.]: Atlas, 1999. 214p.

SILVA FILHO, J. I. Métodos de aplicação da lógica paraconsistente anotada de anotação com dois valores LPA2v com construção de algoritmo e implementação de circuitos eletrônicos. 1999. Tese (Ph. D. em _____ - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

SILVA FILHO, J. I.; ABE, J. M. Emmy: a paraconsistent autonomous mobile robot. IOS PRESS, Amsterdam, v. 71, n. , p. 287-287, 2001.

NEIBUR, D, et al. Artificial Neural Networks for Power Systems: state of the art. Neural networks applications in power Systems,p. 37-110, 1996.

HAYKIN, S. Redes Neurais: princípios e práticas. [S.I]: Bookman, 2001.

LOONEY, C.G. Pattern Recognition Using Neural Networks: theory and algorithms for engineers and scientists: Oxford University Press, 1997.