



ISSN 2175-6295

Rio de Janeiro- Brasil, 07 e 08 de novembro de 2007.

SPOLM2007

LÓGICA NEBULOSA: APLICAÇÕES E TENDÊNCIAS

Léa Maria Dantas Sampaio

Programa de Engenharia em Produção da COPPE - UFRJ
Cidade Universitária - Centro de Tecnologia, Ilha do Fundão - Rio de Janeiro, Brasil
lea@pep.ufrj.br

Mário Jorge Ferreira de Oliveira

Programa de Engenharia em Produção da COPPE - UFRJ
Cidade Universitária - Centro de Tecnologia, Ilha do Fundão - Rio de Janeiro, Brasil
mario_jo@pep.ufrj.br

Aníbal Alberto Vilcapoma Ignacio

Programa de Engenharia em Produção da COPPE - UFRJ
Cidade Universitária - Centro de Tecnologia, Ilha do Fundão - Rio de Janeiro, Brasil
avilcap@pep.ufrj.br

Resumo

Este trabalho fornece os conceitos básicos de conjuntos nebulosos e uma revisão das aplicações de Lógica nebulosa, enfocando as últimas tendências de combinar essa técnica com outros campos do conhecimento, tais como a simulação, controle, diagnóstico e classificação. Uma vasta pesquisa foi realizada e inclui a produção de companhias comerciais e de pesquisa. O trabalho inclui uma avaliação do conteúdo de jornais especializados, patentes e eventos referentes à forte evolução dessa técnica.

Palavras-chave: Lógica nebulosa, Simulação nebulosa, Lógica *fuzzy*, Controle, Diagnóstico e Classificação.

Abstract

This work provides basic concepts of fuzzy set and a review of fuzzy logic applications, focusing on the recent trends of combining this technique with other fields such as simulation, control, diagnose and classification. A major research on this field was carried out and includes the production of business and research organizations. The research includes the special journals, patents and events related to the strong development of this technique.

Keywords: Fuzzy logic, Fuzzy simulation, Control, Diagnose and Classification.

1. INTRODUÇÃO

A lógica clássica, desenvolvida por Aristóteles, estabeleceu um conjunto de regras rígidas, baseadas em premissas e conclusões. A lógica binária, hoje aplicada amplamente em informática, foi desenvolvida por Boole (lógica booleana) e apenas utiliza dois valores 0 ou 1, que representam decisões falsas ou verdadeiras, sim ou não, nunca com o mesmo significado.

Uma extensão da lógica binária é a lógica multivalorada, pela qual uma variável pode assumir vários valores, por exemplo, falso e verdadeiro, ao mesmo tempo. A Lógica nebulosa (LN) é uma lógica multivalorada capaz de capturar informações vagas, geralmente descritas numa linguagem natural, e convertê-las em um formato numérico de fácil manipulação.

No presente trabalho, busca-se dar seus conceitos básicos, origens e desenvolvimento, bem como suas aplicações, tendências e perspectivas.

2. ORIGENS DA LÓGICA NEBULOSA

A LN tem suas origens nos sistemas multivalorados desenvolvidos por Jan Lukasiewies, nos quais os valores não são exatos (*crisp*) e sua indistinção exhibe uma distribuição descrita pela função de pertinência (*membership*).

Baseia-se no princípio de que o pensamento humano é estruturado não em números, mas sim em classes de objetos, cuja transição entre pertencer ou não a um conjunto é gradual ao invés de abrupta. O raciocínio humano não trabalha somente com dicotomias (falso ou verdadeiro), mas se compõe de linguagem natural, na sua maior parte, com multiplicidade de sentidos. É esta característica, classificada de nebulosidade ou indistinção (*fuzziness*), que sugere um aspecto de incerteza, por vezes considerado como ambigüidade.

Segundo Chen [1], Lofti Zadeh escreveu, em 1965, o primeiro artigo sobre conjuntos nebulosos (*fuzzy sets*) e introduziu e explicou a noção básica de '*fuzziness*'. Logo depois dessa primeira publicação, outros cientistas começaram a escrever e formalizar este tema.

3. OBJETIVOS DA LÓGICA NEBULOSA

Sendo por sua própria natureza uma metodologia lingüística, a LN e suas interfaces com outras técnicas semelhantes permitem a um especialista contornar problemas, cujo tratamento numérico é muito difícil pela quantidade de variáveis envolvidas ou por manipulações matemáticas complexas, cujos resultados nem sempre atendem as expectativas de soluções desejadas.

Esta lógica está ligada à importância relativa da precisão. Os autores acreditam que nada é incondicionalmente verdadeiro e por isso se opõem a toda afirmação de verdade absoluta. A LN está baseada em palavras e não em números, ou seja, através dela os valores-verdade são expressos lingüisticamente.

Esta lógica utiliza vários modificadores de predicado como, por exemplo: "muito, mais ou menos, pouco, bastante e médio" e um amplo conjunto de quantificadores, como por exemplo: "poucos, vários, em torno de". A lógica faz uso das probabilidades lingüísticas, tais como "provável/improvável", que são interpretadas como números nebulosos, manipulados pela sua aritmética e manuseia todos os valores entre 0 e 1, tomando-os apenas como um limite.

Utiliza-se esta lógica porque mais variáveis observáveis podem ser valoradas e o uso de variáveis lingüísticas se aproxima do pensamento humano, simplificando a solução de problemas, proporcionando um rápido protótipo dos sistemas e simplificando a aquisição da base do conhecimento do problema a ser resolvido. A lógica é de fácil entendimento, tendo conceitos matemáticos muito simples. Ela é flexível ao interagir com qualquer sistema, sendo por isto indicada para se trabalhar com dados imprecisos.

Outra utilidade é a de modelar funções não lineares de complexidade arbitrária, possibilitando a criação de um sistema nebuloso que se combina com qualquer conjunto de dados de entrada-saída. Esse processo é feito facilmente através de técnicas adaptativas.

Os sistemas nebulosos podem ser construídos com o auxílio da experiência de especialistas, o que permite uma interação com pessoas que já entendam o problema em análise. Embora esta abordagem não pretenda substituir os métodos convencionais de controle, ela simplifica a sua implementação.

Essa lógica não é uma panacéia. Não se deve usar a LN no caso de existir uma solução mais simples para um problema, a qual deve ser escolhida. Como ela representa a codificação do senso comum, provavelmente utilizá-la significa tomar a decisão correta. Trata-se de uma ferramenta poderosa para se lidar rápida e eficientemente com a imprecisão e a não linearidade.

4. CONCEITOS BÁSICOS

Os conceitos da lógica clássica (cálculo proposicional) e da lógica multivalorada apresentam um isomorfismo com a teoria dos conjuntos nebulosos. A seguir é mostrado um resumo dos principais conceitos referentes a estes.

4.1. CONJUNTOS NEBULOSOS

Na teoria dos conjuntos nebulosos existe um grau de pertinência de cada elemento a um determinado conjunto. Um conjunto nebuloso é um conjunto preciso ou exato (*crisp*) com limites imprecisos (*fuzzy*). Por exemplo, na lógica exata, quando é definido o conjunto A de pessoas de estatura alta, este é formado por todas as pessoas que medem 1,75 m. Mas, quando esse conjunto é classificado na LN, se compõe de todas as pessoas que medem entre 1,60 e 1,75m. Neste intervalo existe uma função que aponta o grau de verdade de uma variável, chamada de função de pertinência (ver Figura 1).

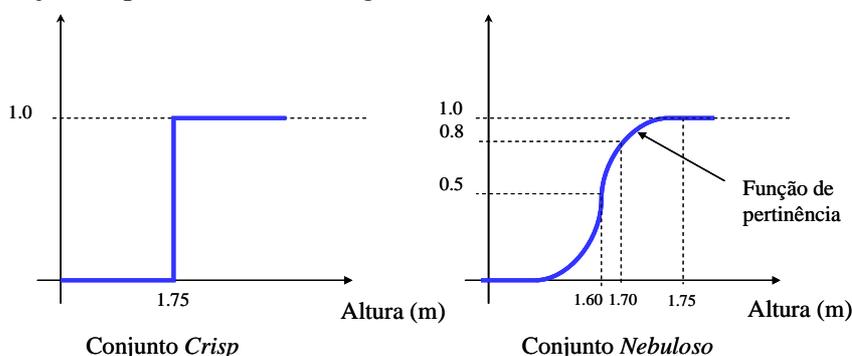


Figura 1 - Exemplo de conjuntos nebulosos

4.2. FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA (FP) E TERMOS LINGÜÍSTICOS

Um conjunto nebuloso, formado por graus ou níveis de verdade, é descrito por uma função de pertinência μ entre o intervalo $[0, 1]$ onde:

- 0 representa a falsidade absoluta; e
- 1, a verdade absoluta.

As funções de pertinência de operações do conjunto nebuloso são definidas da mesma forma que os conjuntos convencionais. Contudo, a teoria dos conjuntos nebulosos e a LN são generalizações dos conjuntos ordinários e da lógica clássica e proporcionam uma estrutura sistemática para representar conhecimentos qualitativos e com eles se raciocinar. Assim, há muitos exemplos em que a função de pertinência de um objeto em relação a um determinado conjunto, indica que esse objeto não pode ser nem completamente incluído, nem completamente excluído dele. Este fato significa que se pode estar mais ou menos certo sobre a verdade ou a falsidade de uma variável em questão.

Diferente dos conjuntos convencionais (não nebulosos), um conjunto nebuloso é uma classe que admite a possibilidade de pertinência parcial, demonstrado anteriormente. Os graus de pertinência refletem então, um ordenamento de elemento num certo universo. Um exemplo pode ser mostrado na Figura 2, quando se tenta definir o conjunto de pessoas altas. A função de pertinência (μ) da lógica clássica somente apresenta dois valores 0 e 1. Na LN, μ é uma curva que mostra os vários níveis de verdade para a variável altura (ver Figura 2).

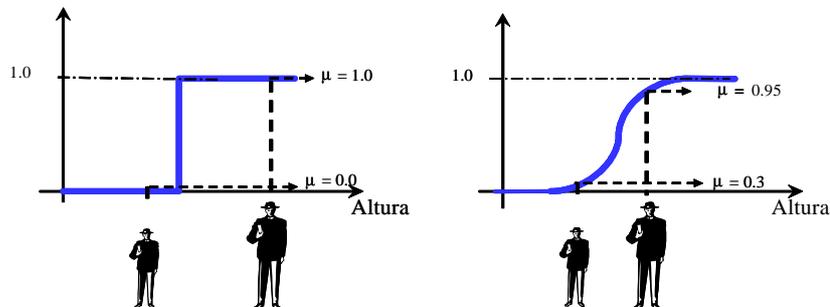


Figura 2 - Função de Pertinência (baseada em [1])

Vários formatos de FP são encontrados na implementação de sistemas nebulosos, contudo, os conjuntos nebulosos de forma trapezoidal ou triangular são convencionalmente os mais utilizados em modelos de engenharia. Entretanto, várias funções podem representar a variação do grau de pertinência e o mapeamento do mesmo por uma determinada função, o que é de suma importância para o sucesso nas soluções de problemas lingüísticos.

De forma geral, alguns métodos de determinação das funções de pertinência são usualmente utilizados e propostos na bibliografia pesquisada, dos quais se destacam:

- 1) Avaliação e dedução subjetivas: resumidamente, especialistas e/ou usuários desenham ou especificam de alguma forma, curvas de pertinência diferentes, apropriadas ao problema apresentado ou podem ser apresentadas a estas pessoas curvas de possíveis conjuntos para se proceder à escolha dos mesmos, formando um *ranking*.
- 2) Formas *adhoc*: das infinidades de formas possíveis de funções de pertinência, toma-se como regra a simples forma dos conjuntos nebulosos triangulares.
- 3) Conversão de frequência ou probabilidade: utiliza-se as informações de histogramas de frequências atribuídos às variáveis lingüísticas, como forma de graduá-las.

Na maioria dos processos de composição das regras dos sistemas nebulosos, utiliza-se uma combinação dos três métodos anteriormente citados.

Uma variável numérica possui valores numéricos como, por exemplo, idade igual 65. Uma variável lingüística possui valores que não são números, mas palavras ou frases na linguagem natural, como por exemplo, “Idade = idoso”. Um valor lingüístico é um conjunto nebuloso e todos os valores lingüísticos formam um conjunto de termos, como por exemplo, o conjunto de termos: “jovem”, “velho”, “muito jovem”, “maduro”, “não maduro” etc.

Partição nebulosa da variável lingüística “Idade”, formada pelos valores lingüísticos: “jovem”, “maduro” e “idoso” é mostrada na Figura 3.

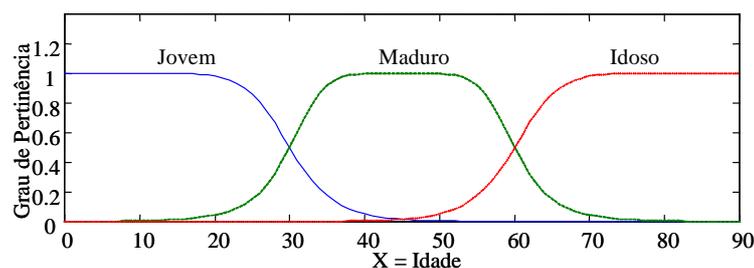


Figura 3 - Partição Nebulosa (baseada em [1])

4.3. OPERADORES LÓGICOS

As operações em conjuntos nebulosos (Figura 4) são as de conjunção, disjunção e negação que, passando para uma fórmula matemática, tornam-se:

- Conjunção (**e**): $m(A \text{ e } B) = \text{mín}(m(A), m(B))$
- Disjunção (**ou**): $m(A \text{ ou } B) = \text{máx}(m(A), m(B))$
- Negação (**não**): $m(\text{não } A) = 1 - m(A)$

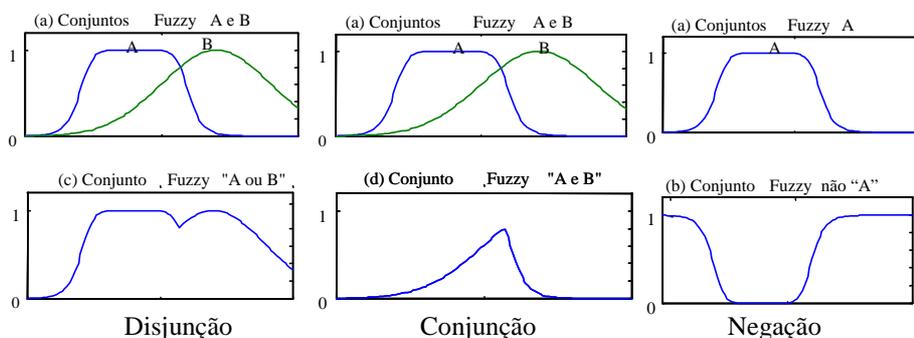


Figura 4 - Operadores lógicos [1]

4.4. REGRAS NEBULOSAS

A LN objetiva modelar modos de raciocínio imprecisos, que têm um papel importante na forma humana de pensar. Observando-se a Figura 5, deve se considerar que, na criação de regras nebulosas o processo de inferência deve estar baseado nos operadores lógicos *if-then* e nos conjuntos: conjunção, disjunção e negação, apresentados acima.

A preposição *if* refere-se aos termos “antecedentes” e a preposição *then*, aos termos “conseqüentes”, relacionados às variáveis lingüísticas de entrada e de saída de um sistema nebuloso, respectivamente (ver Figura 5).

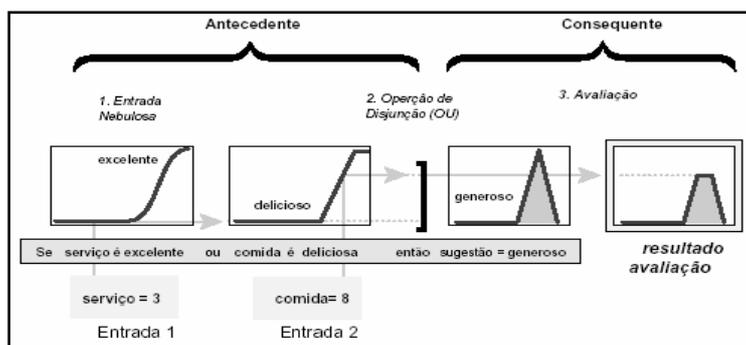


Figura 5 - Regras Nebulosas [1]

Dentre todos os modelos de inferência nebulosa, destacam-se na bibliografia pesquisada, os de Mandani, o mais usado, que utiliza os operadores e/ou relacionados à lógica de agregação e composição min/max, ilustrado.

4.5. CICLO DOS PROCESSOS NEBULOSOS

Os elementos que compõem o ciclo de um processo nebuloso são descritos abaixo:

- 1) **Fuzificação**: Transforma as variáveis de entrada (medidas *crisp* ou exatas) em conjuntos nebulosos que representam incertezas. Transforma informação quantitativa em informação qualitativa, através de um processo de generalização. Nesta etapa os valores numéricos são transformados em graus de pertinência para um valor lingüístico. Cada valor de entrada terá um grau de pertinência em cada um dos conjuntos nebulosos. O tipo e a

quantidade de funções de pertinência usados em um sistema dependem de alguns fatores tais como: precisão, estabilidade, facilidade de implementação.

- 2) Base das Regras - direcionam o conhecimento do sistema através das regras que regem as relações das variáveis.
- 3) Inferência - o mecanismo da inferência avalia a relevância das regras de controle num determinado momento e decide qual saída deve ter o processo.
- 4) Agregação - São as técnicas utilizadas na obtenção de um conjunto nebuloso de saída a partir de um conjunto de inferência nas regras.
- 5) Defuzzificação - converte a decisão tomada pelo mecanismo de inferência num valor *Crisp* (valor numérico), transformando a informação qualitativa em informação quantitativa, através de um processo de especificação.

Este ciclo dos processos nebulosos é mostrado na Figura 6.

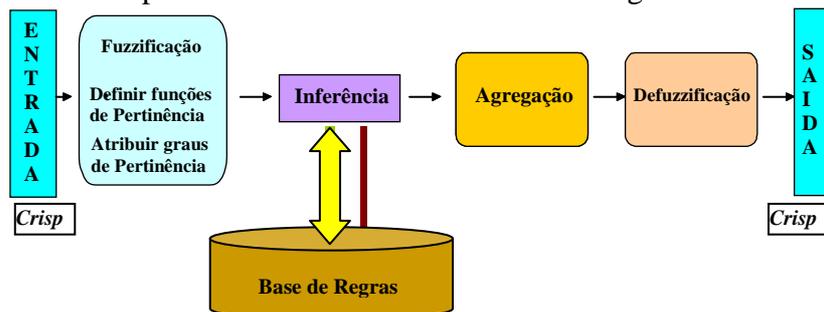


Figura 6: Ilustração do ciclo que envolve processos nebulosos.

Várias estratégias de defuzzificação têm sido propostas, sendo descritos aqui os métodos mais encontrados nos sistemas nebulosos (SN). Dentre aqueles utilizados para defuzzificação, os mais conhecidos são: centróide, média dos máximos, distância de *Hamming*, barras verticais, método da altura etc.

Ressalta-se que, para o sucesso do ciclo apresentado neste item é de suma importância a escolha adequada da função de pertinência que mapeia os dados nebulosos, a definição coerente dos termos lingüístico e a composição consistente de regras.

5. APLICAÇÕES DA LÓGICA NEBULOSA

Diversas áreas estão sendo beneficiadas pela tecnologia decorrente da LN. Dentre essas áreas podem ser citadas algumas que tiveram relevância no avanço tecnológico e que merecem destaque. O controle de processos industriais é considerado como área pioneira, sendo as primeiras experiências datadas de 1975 quando foi demonstrado no Queen College, em Londres, que um controlador nebuloso muito simples conseguiu controlar eficientemente uma máquina a vapor. Na mesma época, a primeira aplicação industrial significativa foi desenvolvida pela indústria de cimento F.L.Smidth Corporation, da Dinamarca.

Hoje em dia, uma grande variedade de aplicações comerciais e industriais está disponível, destacando-se neste cenário o Japão e mais recentemente, os EUA e a Alemanha. Dentre os exemplos típicos incluem produtos de consumo, tais como geladeiras (*Sharp*), ar condicionado (*Mitsubishi*), câmeras de vídeo (*Canon, Panasonic*), máquinas de lavar roupa (*Sanyo*), aspiradores de pó etc.

Na indústria automotiva destacam-se transmissões automáticas (*Nissam, Lexus*), injeção eletrônica, suspensão ativa e freios anti-bloqueantes. Sistemas industriais incluem controle de grupo de elevadores (*Hitachi, Toshiba*), veículos auto-guiados, robôs móveis (*Nasa, IBM*), controle de motores (*Hitachi*), ventilação de túneis urbanos (*Toshiba*), controle de tráfego urbano, controle de parada e partida de trens de metrô (*Sendai, Tokio*). Estas citações são ilustrativas, pois correntemente mais de 1000 patentes envolvendo LN já foram anunciadas.

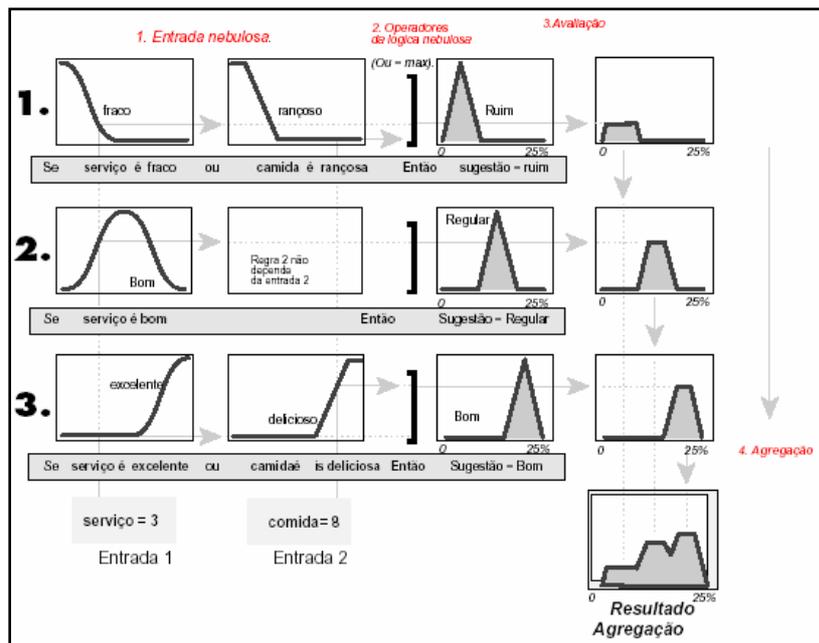


Figura 7 - Processo nebuloso [1]

Na Figura 7 é apresentado um exemplo que mostra todos os passos de um processo nebuloso.

Segundo Hellendoorn [2], ao se considerar essas diversas aplicações envolvendo teoria nebulosa, a maior parte diz respeito ao controle nebuloso. No entanto, deve-se levar em conta diferentes formas de aplicação, tais como controle nebuloso, classificação nebulosa, diagnósticos nebulosos, sistemas especialistas nebulosos, análise de dados nebulosa, processamento de imagem nebuloso etc.

Existem no mercado alguns softwares de LN, sendo que o Matlab é o mais conhecido e utilizado. Na Tabela 1 estão relacionados os atuais softwares. É importante ressaltar que os softwares existentes ainda não possuem uma interface amigável e nem um sistema de modelagem de fácil elaboração.

Tabela 1 – Softwares de Lógica nebulosa

Nome do produto	Empresa comercial	Endereço
Flint toolkit	Logic Programin Associates Ltda	http://www.lpa.co.uk/fln.htm
Genex 2.0	Xiera Technologies Inc	http://www.xiera.com
FuzzyTech	INFORM GmbH	http://www.fuzzytech.com
FlexTool	CynapSys	http://www.flextool.com
Matlabfuzzylogic	The Math Works	http://www.mathworks.com
rFlash	Rigel Corporation	http://www.rigelcorp.com

5.1. SISTEMAS DE CONTROLE NEBULOSOS

A LN pode ser utilizada para a implementação de controladores nebulosos, aplicados aos mais variados tipos de processos. Tanto as leituras de sensores, quanto os sinais esperados pelos atuadores do sistema de controle não têm valores precisos (*crisp*) e, portanto são necessários elementos adicionais entre o controlador nebuloso e o processo a ser controlado. Estes elementos são denominados fuzzificador e defuzzificador, e estão posicionados na entrada e saída do sistema de controle, respectivamente. Estes elementos são responsáveis por transformar as medidas obtidas dos sensores em conjuntos nebulosos (fuzzificador), e em

transformar os conjuntos nebulosos, obtidos na saída do controlador, em valores precisos de controle para o processo (defuzzificador).

Esse é um sistema fechado, cuja saída nebulosa retro-alimenta o processo, a fim de gerar uma nova entrada para o sistema nebuloso. Um exemplo de um sistema de controle nebuloso é o aspirador de pó da Siemens que adapta a potência de seu motor à quantidade de poeira do chão e ao tipo de carpete.

Diversas aplicações podem ser destacadas, como controle adaptativo de manipuladores de robô, usando sistemas nebulosos sobre restrições de acuidade [3]; modelo de controle de inventário [4]; a utilização de controle e monitoramento na medicina [5]; tecnologia nebulosa como ferramenta de modelagem e controle de sistemas especialistas em medicina e assistência à saúde [6]; controle de manipuladores robóticos [7]; e outras aplicações [8], [9] [10], [11] e [12].

5.2. SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO NEBULOSOS

Não existe nessa forma uma retro-alimentação do processo. Os dados de entrada geram as saídas nebulosas como resultado final. Um exemplo desse sistema é a máquina de lavar com alguns parâmetros usados para determinar, de acordo com a quantidade e o tipo de roupa, a decisão sobre como espremer ou conseguir uma fricção ótima das roupas.

Podem ser destacadas as aplicações, como: sistema de apoio à decisão multi-atributo, baseado na LN, para avaliação de desempenho [13]; avaliação do desempenho de companhias de ônibus com análise nebulosa multicritério [14]; tomada de decisão multi-atributo com base em relações nebulosas entre objetos [15]; regra paralela que ativa um sistema de produção nebuloso com resolução de conflitos por fraca monotonicidade nebulosa, aplicada à classificação de múltiplos objetos caracterizada por múltiplas incertezas [16]; e outras [17] e [18].

5.3. SISTEMAS DE DIAGNÓSTICOS NEBULOSOS

Somados aos sistemas de tomada de decisão, este tipo está estreitamente ligado aos sistemas especialistas nebulosos. Ambos diferem da classificação nebulosa devido à importância maior do operador humano. As áreas de aplicação desse sistema são comumente, grandes fábricas de difícil descrição, através de algoritmo exato, ou de difícil modelagem, através de modelos matemáticos convencionais.

Um importante aspecto dos sistemas de diagnóstico é a presença de uma interface com o usuário. Normalmente, o operador humano pode levantar questões ao sistema e pedir que este explique porque chegou a certo diagnóstico. Um outro aspecto é a maneira como os resultados são apresentados ao usuário. Normalmente, a defuzzificação não faz sentido nesses sistemas, sendo necessário em lugar disso, uma teoria melhorada de aproximação lingüística, a fim de possibilitar ao usuário obter respostas mais inteligíveis. São exemplos de aplicação: as técnicas de processamento de imagem para avaliação da qualidade de alimentos [19]; telemedicina e LN [20]; LN e redes neurais em aplicações de diagnóstico de erros [21]; e mais: tomada de decisão e sistemas especialistas [22]; diagnóstico de gerador *online* [23]; sistema de diagnóstico baseado na classificação nebulosa [24]; e reconhecimento de padrões com algoritmos de função-objetivo nebulosa [25].

Apesar do uso no Brasil ser incipiente, várias indústrias e empresas vem desenvolvendo produtos e serviços com aplicação da LN, tais como: Villares, IBM, Klockner & Moeller, Robertshaw, Yokogawa, HI Tecnologia. Nos últimos anos, o potencial de manuseio de incertezas e de controle de sistemas complexos, possibilitados pela LN, está sendo combinado com Redes neurais artificiais, que por sua vez, possuem características de adaptação e aprendizagem. A palavra certa para isto é simbiose, que vem gerando novas classes de sistemas e de controladores “neuro-nebulosos”, que combinam desta forma os potenciais e as características individuais em sistemas adaptativos e inteligentes.

5.4. LÓGICA NEBULOSA COMBINADA COM SIMULAÇÃO: APLICAÇÕES

Nesta seção é mostrado um resumo das mais recentes aplicações da combinação de LN com as técnicas de simulação, apresentadas nas formas de artigo, patentes e livros. A grande maioria das aplicações se concentra no campo de controladores nebulosos, dentro da implementação e modelagem de simulação, nas mais variadas áreas de aplicação. A seguir, são apresentados, por ordem cronológica, alguns trabalhos publicados.

Sob a forma de artigos encontram-se as seguintes aplicações: em Guneralp *et al.* [26] é apresentada uma metodologia para se avaliar as condições do solo para alocação de área que requer restauração, dentro de uma área militar no Texas. Em Bajec e Mraz [27], é feita uma abordagem nebulosa na modelagem para a simulação de comportamentos animais. Em Cochran e Chan [28] é desenvolvida uma abordagem de conjunto nebuloso para a seleção multi-critério de software de simulação de eventos discretos orientada a objeto, para análise de sistema de produção. Em Mahmoud *et al.* [29] é projetado e simulado um controlador nebuloso para uma planta de hidropotência que possui um complexo sistema, formado por diversas turbinas hidráulicas que dividem um duto comum.

Odetunji *et al.* [30] desenvolveram um sistema de controle nebuloso para uma planta de fermentação de gari (alimento feito à base da raiz cassava) e demonstra sua operação por meio de simulação. Esse sistema ajuda a reduzir o consumo de energia e, ao mesmo tempo, facilita a produção de fermento com melhor qualidade e polpa desidratada. Em Shefelbine *et al.* [31] é apresentada uma simulação da cicatrização de fratura no osso trabecular com análise de elementos finitos e LN. Em Ardehali *et al.* [32] é feita uma simulação numérica e uma análise das metodologias dos controladores, baseando-se na LN, como medidas de eficiência de energia dinâmica. No trabalho de Lin *et al.* [33] é desenvolvido um simulador da monitoração e controle da dosagem de anestesia intravenosa, feita através de algoritmos de controle nebuloso (SOFLC).

Kosonen [34] executa uma simulação em tempo real, baseada em controle nebuloso de semáforo com esquema de controle multi-agente. Zhang *et al.* [35] apresentam uma aplicação de LN a uma simulação de eventos discretos para modelar as incertezas na quantidade de recursos requeridos nas operações de construção, controlando as atividades. Cierpiz e Heyduk [36] simulam o controle da qualidade do carvão, usando um monitor de LN. Finalmente, Liu *et al.* [37] executam uma simulação para descrever um sistema distribuído pela Internet, de agente de *software* com interação dos usuários, filtragem hierárquica e avaliação de propriedade intelectual, com base na LN e ambiente de simulação do *site* do vendedor.

Sob a forma de patentes, destacam-se os trabalhos de: Marczyk [38] que inventou um processo para criar mapas cognitivos nebulosos a partir de simulação com método de Monte Carlo; Kurt [39] criou uma simulação de processo celular, por gerenciamento de conjuntos de dados, descrevendo as interações moleculares e celulares com o uso de redes neurais nebulosas adaptativas; Gardner [40] criou um método de otimização do tempo de corrida da simulação com base nos valores de entrada que passam por controladores nebulosos; Ruan e Li [41] criaram um método de simulação e um controlador nebuloso adaptativo; finalmente, Bergeon e Datin [42] desenvolveram um processo de auto-ajuste, usado em controlador automático, utilizando simulação para treinar um sistema especialista nebuloso que estabelece parâmetros para controlador adaptativo.

Na forma de livro escrito em russo, Leonenkoff [43] disserta sobre a teoria e aplicação das simulações de LN. Nele, o software MATLAB e a caixa de ferramenta de LN são introduzidos e usados para resolver inúmeros exemplos de aplicação, guiados por essa obra.

6. TENDÊNCIAS E PERSPECTIVAS

Segundo Córdon *et al.* [44], os sistemas nebulosos têm demonstrado habilidades para resolver diferentes tipos de problemas em várias áreas de aplicação. A tendência em expansão é a combinação de sistemas nebulosos com outras técnicas modernas. De acordo com Zadeh *et al.* [45, 46], essas são teorias que lidam com as incertezas (*soft computing*), denotadas por todas as combinações de LN com: redes neurais, algoritmo genético, teoria do caos, teoria da probabilidade, dinâmicas não lineares, dentre outras.

Atualmente, existe um crescente interesse em aumentar os sistemas nebulosos com capacidade de aprendizado e de adaptação. As abordagens bem sucedidas desses sistemas nebulosos híbridos, com métodos de aprendizado e adaptação têm sido feitas no campo da *soft computing*. A revista *Fuzzy set and system* de 2004 dedicou uma edição especial sobre sistemas nebulosos genéticos. Nessa revista, diversos trabalhos abordam o estado da arte, novas técnicas evolutivas, sistemas de aprendizado, e diversas aplicações. Córdon *et al.* [44], Sánchez e José [47] apresentam novos métodos para o aprendizado mais eficiente; Hoffmam e Silva [48] apresentam novas regras de classificação nebulosa; Delgado *et al.* [49] sugerem um enfoque hierárquico evolutivo entre os indivíduos e a população (sistemas nebulosos genéticos) gerada através de modelos nebulosos. Finalmente, Hagraas [50] apresenta uma moderna técnica de genética nebulosa para aprendizado *online* e adaptativo de *robots* autômatos em sistemas de navegação. Com certeza estes sistemas devem proporcionar uma significativa contribuição para os sistemas de automação e controle no futuro, principalmente em controle de processos.

Uma das perspectivas para a LN é uma resposta ao crescente progresso da manipulação e armazenagem de informação digital, já que as capacidades humanas são limitadas para analisar e explorar uma quantidade enorme de dados com as ferramentas atuais de base de dados. Uma nova disciplina do conhecimento chamada de *knowledge discovery in database* (KDD) surgiu recentemente. A LN tem servido de suporte para o uso de um KDD. Alguns autores abordam o problema de pré-processamento de dados, objetivando uma redução de dados mais especificamente, com ferramentas de seleção. Também são utilizados métodos de agrupamentos de dados nebulosos, inclusive combinados com métodos de visualização, que trabalham de forma interativa com mineração de dados (*data mining*).

Algumas recentes dissertações de mestrado mostram aplicações importantes da LN como estas três a seguir. Na sua dissertação, Bueno [51] utiliza bases de conhecimento em redes de dependência, construídas com cadeias de LN, a fim de monitorar a qualidade ambiental e seus recursos, como indicadores, analisando-os e tomando decisões para otimizar o estado futuro e diminuir os danos ambientais. Maranhão [52] apresenta, em sua dissertação, uma abordagem de classificação temática de indicadores para dados geobiofísicos e sócio-econômicos, utilizando-se um sistema de inferência *fuzzy*, permitindo assim, uma modelagem das fronteiras dos indicadores em zonas de transição e aplicando-se um modelo de suporte à decisão baseado em conhecimento. Finalmente, Oliveira [53] aborda o mesmo problema anterior para as áreas marítimas portuárias, utilizando-se um sistema de inferência *fuzzy* em conjunto com um SIG, permitindo assim, uma melhor modelagem das fronteiras dos indicadores em zonas de transição no estabelecimento do critério de seleção.

6.1. ORGANIZAÇÕES PROFISSIONAIS E ASSOCIAÇÕES LIGADAS À LÓGICA NEBULOSA

Na Tabela 2 é mostrada uma lista de organizações profissionais de LN e redes existentes no mundo que estão se expandindo rapidamente.

Também têm sido mais divulgados os congressos, jornais especializados e os livros. Dentre estes, os mais recentes são mostrados nas Tabelas 3, 4 e 5.

Tabela 2 – Organizações profissionais

Nome	Sigla	Local	Endereço eletrônico
International Fuzzy Systems Association	IFSA	Internacional	http://www.pa.info.mie-u.ac.jp/~furu/ifsa/
Japan Society for Fuzzy Theory and Systems	SOFT	Japan	http://www.j-soft.org/index-e.html
The Berkeley Initiative in Soft Computing		EU	http://www-bisc.cs.berkeley.edu/
North American Fuzzy Information Processing Society	NAFIPS	EU	http://morden.csee.usf.edu/Nafipsf/
Asociacion Espanhola de Tecnologia e Logica Fuzzy		Espanha	http://decsai.ugr.es/flat/eflat.html
The European Society for Fuzzy Logic and Technology	EUSFLAT	Europa	http://www.eusflat.org/
Hungarian Fuzzy Association		Hungria	http://www.mft.hu/
the EURO Working Group on Fuzzy Sets		Europa	http://allserv.rug.ac.be/~bdebaets/eurofuse.html
Sociedade Brasileira de Automação	SBA	Brasil	http://www.sba.org.br/

Tabela 3 – Conferências recentes sobre LN

Congresso	país	Endereço
IFSA 2005	China	http://www.pa.info.mie-u.ac.jp/~furu/ifsa/
Fuzz-IEEE 2005	EU	http://www.ewh.ieee.org/soc/nns/FUZZ-IEEE/2005/
AGOP 2005	Italia	http://www.math.sk/agop/

Tabela 4 – Jornais especializados em LN

Nome	Endereço
Journal of Fuzzy Sets and Systems.	http://www.elsevier.com
International Journal Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems	http://www.worldscinet.com/ijufks/ijufks.shtml
IEEE Transactions on Fuzzy Systems.	http://www.ieee-nns.org/pubs/tfs/
International Journal of Approximate Reasoning.	http://www.elsevier.
International Journal of Intelligent Systems.	http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/jhome/36062
Mathware and Soft Computing	http://docto-si.ugr.es/Mathware/
Journal of Intelligent & Fuzzy Systems	http://www.iospress.nl/html/10641246.php
Soft Computing	http://www.springerlink.com/app/home/journal.asp?wasps=0fba-c8a9d43a4004ac63bc57d7cff845&referrer=parent&backto=linkingpublicationresults,1:101181,1

Tabela 5 – Alguns livros recentes

Livro	Ano	Endereco
E.P. Klement, R. Mesiar (Eds.) <i>Logical, Algebraic, Analytic and Probabilistic Aspects of Triangular Norms</i> , Elsevier, 2005. 492 pages. ISBN 0-444-51814-2.	2005	http://www.elsevier.com/wps/find/bookdescription.cws_home/705173/description#description
E. Damiani, L.C. Jain, M. Madravio (Eds.) <i>Soft Computing in Software Engineering</i> , Vol. 159 of <i>Studies in Fuzziness and Soft Computing</i> , Springer, 2004. 312 pages. ISBN 3-540-22030-5	2004	http://www.springeronline.com/sgw/cda/frontpage/0,,5-175-22-31323155-0,00.html
G. Resconi, L.C. Jain <i>Intelligent Agents</i> , Vol. 155 of <i>Studies in Fuzziness and Soft Computing</i> , Springer, 2004. 402 pages. ISBN 3-540-22003-8.	2004	http://www.springeronline.com/sgw/cda/frontpage/0,10735,5-175-22-30019275-0,00.html
D. Ruan, X. Zeng (Eds.) <i>Intelligent Sensory Evaluation</i> Springer, 2003. 443 pages. ISBN 3-540-20324-9.	2003	http://www.springeronline.com/sgw/cda/frontpage/0,,5-175-22-31323155-0,00.html
J. Haluska <i>The Mathematical Theory of Tone Systems</i> Vol. 262 of <i>Pure and Applied Mathematics Series</i> , Marcel Dekker, New York, 2004. 380 pages. ISBN 0-8247-4714-3.	2004	http://www.dekker.com/servlet/product/productid/4714-3

7. CONCLUSÕES

Esse trabalho aborda conceitos básicos de LN e suas aplicações. É apresentada uma revisão da literatura referente a essa ferramenta e relacionados recentes trabalhos de aplicação de sistemas nebulosos em combinação com outras técnicas modernas e com a simulação, cujo desempenho é muito bem sucedido em várias áreas de aplicação, tais como a indústria, medicina, odontologia, geologia, processamento de imagens, mineração de dados, dentre outros.

Essas combinações com a LN são, sobretudo eficientes no campo dos controladores e da automação, uma vez que a tendência mais enfática, no momento, é aumentar a capacidade de aprendizado e adaptação desses sistemas (*soft computing*).

Novas perspectivas dessa ferramenta têm se concentrado nos sistemas genéticos nebulosos e nas descobertas do conhecimento em base de dados (KDD).

Conclui-se que tem se consolidado uma forte expansão de atuação e evolução da LN, retratadas nos diversos artigos encontrados na literatura.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Chen, C.H. (Editor). Fuzzy Logic and Neural Network Handbook. McGraw-Hill, 1996.
- [2] Hellendoorn H., 1997. “After the fuzzy wave reached Europe”, European Journal of Operational Research, Volume 99, pp. 58-711.
- [3] Purwar S., Kara I.N., Jha A.N., 2005. “Adaptive control of robot manipulators using fuzzy logic systems under actuator constraints”. Fuzzy Sets and Systems, 152 pp. 651–664.
- [4] Samanta B., Al-Araimi S.A., 2001 “An inventory control model using fuzzy logic”, Int. J. Production Economics, 73 pp. 217-226.
- [5] Mahfouf M., Abbod M.F., Linkens D.A., 2001.” A survey of fuzzy logic monitoring and control utilization in medicine”, Artificial Intelligence in Medicine, 21 pp. 27-42.
- [6] Abbod Maysam F, Keyserlingk Diedrich G., Linkens Derek A., Mahfouf Mahdi. 2001. Survey of utilization of fuzzy technology in Medicine and Healthcare, Fuzzy Sets and Systems 120 pp. 331–349.
- [7] Silva, Clarence W., 1995, Applications of fuzzy logic in the control of robotic Manipulators, Fuzzy Sets and Systems 70, pp. 223- 234.
- [8] Lee C.C., 1990.”Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller – part I an II”, IEEE Transaction on systems, Man and Cybernetics 20/2 (1990) pp. 404-418; 419-435.
- [9] Mandani E.H., 1976. “Advanced in the linguistic synthesis of fuzzy controllers”, International Journal of Man-Machine Studies 8, pp. 669-678.
- [10] Ollero, A., Garcia Cerezo, A., Shinoara, W. and Hayashi S., 1992.” Desig fuzzy control system”, Research Report, Department of Engineering System, University of Malaga.
- [11] Palm R., 1992.”Sliding mode fuzzy control” in: Proceedings of the IEEE International Conference on Fuzzy System, Fuzzy IEEE’92, Orlando.
- [12] Yamakawa T, 1989.”Stabilization of in inverted pendulum by a high-speed fuzzy logic controller hardware system”, Fuzzy Set and System 32, pp. 161-180.
- [13] Omero M., Lorenzo D., Raffaele P. e Walter U., 2005. “Multiple-attribute decision support system based on fuzzy logic for performance assessment” European Journal of Operational Research, 160, pp. 710-725.

- [14] Hsing, Y.C.; Deng, H.; Chang, Y., 2000. "Fuzzy multicriteria analysis for performance evaluation of bus companies", *European Journal of Operational Research*, V. 126, Issue: 3, pp. 459-473.
- [15] Felix, R., 1992. "Multiple attribute decision making based on fuzzy relationships between objects", in *Proceeding of the 2nd International conference on fuzzy logic and neural networks, IIZUKA'92*, Japan.
- [16] Siler W., Tucker D., Buckley J., 1987. "A parallel rule firing fuzzy production system with resolution of memory conflicts by weak fuzzy monotonicity, applied to the classification of multiple objects characterized by multiple uncertain feature". *International Journal of Man-Machine Studies* 26, pp. 321-332.
- [17] Bocklisch S.F,1986." A diagnosis system based on fuzzy classification". *Computers in Industry* 7, pp. 73-82.
- [18] Bocklisch S.F,1987."Beratungssysteme mit unscharfen Klassifikatoren und Klassifikatorennetzen", Berlin 30, pp. 344-348.
- [19] Cheng-Jin Du and Da-Wen Sun, 2004." Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation". *Trends in Food Science & Technology* 15 pp. 230–249.
- [20] Ahmed A. Taleb, Bigand A., 2003. "Telemedicine and fuzzy logic: application in ophthalmology", *Pattern Recognition Letters* 24, pp. 2731–2742.
- [21] Frank Paul M., and Birgit Kiippen-Seliger, 1997. "Fuzzy Logic and Neural Network Applications to Fault Diagnosis", *International Journal of Approximate Reasoning* 16 pp. 67-88.
- [22] Zimmerman H.J., 1987. "Fuzzy Set, Decision Making and Expert Systems", Klumer Academic Publishers, Boston. MA.
- [23] Osborne R.L., Gonzales A.J., Weeks C.A., 1986. "First years experience with on-line generator diagnostics", In *Proceedings American Control Conference*, Chicago.
- [24] Bocklisch S.F,1986." A diagnosis system based on fuzzy classification". *Computers in Industry* 7, pp. 73-82.
- [25] Bezdek J.C., 1981. "Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms", Plenum, New York.
- [26] Guneralp B., Gertner G. Mendoza G. Anderson A. 2003. "Spatial Simulation and Fuzzy Threshold Analyses for allocating restoration areas". *Transactions in GIS*, 7 pp. 325-343.
- [27] Bajec L., N., M. Mraz, "Simulating flocks on the wing: the fuzzy approach", *Journal of Theoretical Biology* 233 (2005) pp. 199–220.
- [28] Cochran J. K., Chen Hung-Nan, 2005. "Fuzzy multi-criteria selection of object-oriented simulation software for production system analysis", *Computers & Operations Research* 32, pp. 153–168.
- [29] Mahmoud M., Dutton K., Denman M., 2005. "Design and simulation of a nonlinear fuzzy controller for a hydropower plant", *Electric Power Systems Research* 73 pp. 87–99.
- [30] Odetunji O., Owolarafe O. Kehinde, 2005. "Computer simulation of fuzzy control system for gary fermentation plant", *Journal of Food Engineering* 68 pp. 197-207.

- [31] Shefelbine, S. J., Augat, P., Lutz C., Ulrich S., 2004. "Trabecular bone fracture healing simulation with finite element analysis and fuzzy logic", Institute for Orthopaedics and Biomechanics, Helmholtzstrasse 14, 89081 Ulm, Germany, Accepted 7 October.
- [32] Ardehali M.M., Saboori M., Teshnelab M., 2004. "Numerical simulation and analysis of fuzzy PID and PSD control methodologies as dynamic energy efficiency measures", Energy Conversion and Management 45 pp. 1981–1992.
- [33] Lin, f. J., Shieh, H. J., Shyu, K. K., Huang, P. K. 2004. "On-line gain-tuning ip controller using real-coded genetic algorithm", Electric Power Systems Research 72, pp. 157–169.
- [34] Kosonen I., 2003. "Multi-agent fuzzy signal control based on real-time simulation". Transportation Research Part C 11 pp. 389-403.
- [35] Hong Zhang, C. M. Tam e Jonathan Jingsheng Shi, Application of Nebulosa Logic to Simulation for Construction Operations Journal of Computing in Civil Engineering, Vol. 17, No. 1, January 2003, pp. 38-45
- [36] Cierpisz S., Heyduk A., 2002. "A simulation study of coal blending control using a fuzzy logic ash monitor", Control Engineering Practice, 10 pp. 449-456.
- [37] Liu J.; Shragowitz E.; Tsai W.; 2000. Combining Hierarchical Filtering, Nebulosa Logic, and Simulation with Software Agents for IP (Intellectual Property) Selection in Electronic Design University of Minnesota - Computer Science and Engineering Technical Report.
- [38] Marczyk, J. "A Process For The Creation Of Fuzzy Cognitive Maps From Monte Carlo Simulation Generated Meta Model". Complex Systems Engineering In, patente: AU2003284347- Austrália, 2004-05-13.
- [39] Kurt, H.. "Computer-assisted simulation of cellular processes, by managing data sets describing cellular molecular interactions using neural adaptive fuzzy network". patente: n DE10207716–Alemanha, 2003-09-04.
- [40] Gardner, C. "Optimization of simulation run-times based on fuzzy-controlled input values". Requerente: Micron Technology Inc (US); patente: n US6205439 – Estados Unidos, 2001.
- [41] Ruan, D. (Be); Li, X., 2000. "An Adaptive Fuzzy Controller And Simulation Method" Requerente: Sck Cen (Be); Ruan Da (Be); patente: n WO0016173, Bélgica – Estados Unidos.
- [42] Bergeon, M.; Datin, X. "Self-tuning of predictive controller used in automatic controller - uses simulation of controller to train fuzzy logic expert system to set parameters of adaptive controller", requerente: N SA (FR); patente: n FR2689260 – França, 1993-10-01.
- [43] Leonenkoff, A., 2003. "Fuzzy Simulation in MATLAB and fuzzyTech". MATLAB & Simulink Based Books- Neural/Fuzzy.
- [44] Cordon, O., Gomide, F., Herrera, F., Hoffmann, F., Magdalena, L., 2004. "Ten years of genect fuzzy system: current framewok and new trends", Fuzzy Set and Systems, 141 pp. 5-31.
- [45] Zadeh, L. A.; Jamshidi, Md., Titli, A. Applications of Fuzzy Logic: Towards High Machine Intelligence Quotient Systems. Environmental and Intelligent Manufacturing Series, Prentice Hall, 1997.
- [46] Zadeh, L. A. Fuzzy Logic Toolbox User's Guide. Berkeley, CA, 1995.

- [47] Sánchez L. e José O., 2004. A fast genetic method for inducing descriptive fuzzy models, *Fuzzy Sets and Systems*, pp. 33-46.
- [48] Hoffmann, Leandro T.; Silva, J. D. S. Modelagem de um agente móvel de aprendizagem para vagueio em ambientes inexplorados. In: V Encontro Nacional de Inteligência Artificial, 2005, São Leopoldo. Anais do XXV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação - V Encontro Nacional de Inteligência Artificial, 2005. v. 1. p. 882-892.
- [49] Regattieri Delgado, M.; Von Zuben, F.J.; Gomide, F., 2004. “Co-evolutionary Genetic Fuzzy Systems: A Hierarchical Collaborative Approach”. *Fuzzy Sets and Systems*, Amsterdam, v. 141, n. 1, p. 89-106.
- [50] Hagra, H., 2004: “A hierarchical type-2 fuzzy logic control architecture for autonomous mobile robots”. [IEEE T. Fuzzy Systems 12](#) V.4, pp. 524-539.
- [51] Bueno, M.C.D., 2003. “Utilização de redes de dependência e Lógica nebulosa em estudos de avaliação ambiental”. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Computação na Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
- [52] Maranhão, M.R.A., 2005. “Modelo de seleção de áreas para atualização do mapeamento sistemático baseado em lógica nebulosa”. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Computação, Área de Concentração em Geomática, na Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
- [53] Oliveira, S.S., 2007. “Metodologia de seleção de áreas marítimas portuárias para atualização de dados de levantamentos hidrográficos baseada em Lógica Nebulosa”. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Computação, Área de Concentração em Geomática, na Universidade do Estado do Rio de Janeiro.