

PS-914

**THE STABILITY OF THE HAZY SYSTEMS:
A HAZY CONTROLLER FOR THE PROBLEM OF PARKING A
TRUCK, SIMULATED IN MATLAB®**

Luiz Lustosa Vieira, Dr (UnidF - Pro-Reitoria of Masters degree and Researches Brasília – Brazil)
- Luiz.lustosa@unidf.edu.br

Jorge Juan Zavaleta Gavidia (Federal university of Rio de Janeiro of Electronic Computation,
Brazil) - jorgejzg@posgrad.nce.ufrj.br

Luciano Soares Pinto (UnidF - Pro-Reitoria of Nucleus Masters degree and Researches Brasília –
Brazil) - soarespinto@gmail.com

Daily we came across complex problems and, a lot of times, with little information regarding its characteristics, or still, with imprecise and intuitive information (subjective). The need to elaborate automatic systems that can aid us in the taking of decision, in complex atmospheres; it becomes more and more crucial. A lot of times, a specialist's experimental knowledge is fundamental in those applications, what demands flexible paradigms of construction of such automated systems. Even so, not always the traditional models based on the Classic Logic get to work with this problem type. In this sense, the Hazy Logic comes as the tool that allows the modulate of more flexible and close systems of the reality to be modeled. A fundamental characteristic of this logic is its capacity to negotiate mathematically of imprecise information of the human language. Now countless commercial applications exist, in the most varied areas, of hazy systems. It is in this perspective that the present work has for objective to discuss one of the important characteristics of a hazy system, the capacity of working with absence of rules (maintaining its stability) through a case study. This, for its time, consists of developing a hazy controller, simulated in MatLab®, to solve the problem of parking a truck in a specific point in a parking.

Keywords: Strategic administration of Technology of Information, Systems Interfacing and Integration, Classic Logic, Hazy Systems, Stability.

A ESTABILIDADE DOS SISTEMAS NEBULOSOS: UM CONTROLADOR NEBULOSO PARA O PROBLEMA DE ESTACIONAR UM CAMINHÃO, SIMULADO EM MATLAB®

Luiz Lustosa Vieira, Dr

Luiz.lustosa@unidf.edu.br

Unidf – Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa
Brasília - Brasil

Jorge Juan Zavaleta Gavidia

jorgejz@posgrad.nce.ufrj.br

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Núcleo de Computação Eletrônica
Brasil

Luciano Soares Pinto

soarespinto@gmail.com

Unidf – Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa
Brasília - Brasil

Resumo

Diariamente nos deparamos com problemas complexos e, muitas vezes, com poucas informações a respeito de suas características, ou ainda, com informações imprecisas e intuitivas (subjetivas). A necessidade de elaborar sistemas automáticos que possam nos auxiliar na tomada de decisão, em ambientes complexos, torna-se cada vez mais crucial. Muitas vezes, o conhecimento experimental de um especialista é fundamental nessas aplicações, o que exige paradigmas flexíveis de construção de tais sistemas automatizados. Porém, nem sempre os modelos tradicionais baseados na Lógica Clássica conseguem lidar com este tipo de problema. Neste sentido, a Lógica Nebulosa se apresenta como a ferramenta que permite a modelagem de sistemas mais flexíveis e próximos da realidade a ser modelada. Uma característica fundamental desta lógica é a sua capacidade de tratar matematicamente de informações imprecisas da linguagem humana.

Atualmente existem inúmeras aplicações comerciais, nas mais variadas áreas, de sistemas nebulosos. É nesta perspectiva que o presente trabalho tem por objetivo discutir uma das características importantes de um sistema nebuloso, a capacidade de trabalhar com ausência de regras (mantendo a sua estabilidade) através de um estudo de caso. Este, por sua vez, consiste em desenvolver um controlador nebuloso, simulado em MatLab®, para resolver o problema de estacionar um caminhão em um ponto específico em um estacionamento.

Palavras-chave : Gestão Estratégica de Tecnologia de Informação, Systems Interfacing and Integration , Lógica Clássica, Sistemas Nebulosos, Estabilidade.

1. Introdução

Diariamente nos deparamos com problemas complexos e, muitas vezes, com poucas informações a respeito de suas características, ou ainda, com informações imprecisas e intuitivas (subjetivas). A necessidade de elaborar sistemas automáticos que possam nos ajudar na tomada de decisão em meio a um emaranhado de variáveis, em ambientes complexos, torna-se cada vez mais presente. Muitas vezes, o conhecimento experimental de um especialista é fundamental nessas aplicações, o que exige paradigmas flexíveis de construção de tais sistemas automatizados. Porém, nem sempre os modelos tradicionais conseguem lidar com este tipo de problema. Nesse sentido, a Lógica Nebulosa se apresenta como a ferramenta que permite a modelagem de sistemas mais flexíveis e próximos da realidade a ser modelada. Uma característica fundamental desta lógica é a sua capacidade de tratar matematicamente de informações imprecisas da linguagem humana.

A Lógica Nebulosa se distancia da Lógica Clássica (ou Aristotélica), uma vez que nesta última os objetos são classificados em categorias não ambíguas. Isto é, não há possibilidade de um objeto estar presente em mais de uma categoria ao mesmo tempo. No entanto, há uma gama enorme de problemas que rodeiam as nossas vidas que não se enquadram nessa perspectiva. O que impossibilita o tratamento dos mesmos através de metodologias convencionais que estão fundamentadas neste paradigma.

Os sistemas nebulosos se destacam como modelos alternativos para superar tais limitações. Cruz (1998) apresenta as seguintes vantagens destes sistemas: 1) Utilizam regras que conseguem expressar as imprecisões e aproximações dos métodos de decisões dos especialistas. Por esta razão são mais fáceis de construir, entender, manter e testar. 2) Podem ser prototipados em menos tempo. 3) São mais robustos e conseguem trabalhar com ausência de regras. 4) Necessitam de menos regras. 5) Podem trabalhar com informações imprecisas. 6) Podem chegar a conclusões de maneira paralela. 7) Acumulam evidências contra e a favor de proposições. Quanto às suas desvantagens, de acordo com o autor, são: embora mais fáceis de construir e prototipar que os sistemas convencionais eles necessitam que sejam executadas mais simulações e sintonia antes de serem definitivamente aprovados. Não possuem uma definição matemática precisa e nítida como os sistemas tradicionais. Não aprendem com experiência. Além de ser complicado o estabelecimento de regras nebulosas corretas.

Atualmente existem inúmeras aplicações comerciais, nas mais variadas áreas, baseados na Lógica Nebulosa, dentre elas, controle automático de trens; controle de máquinas de lavar; controle de freios ABS; sistemas de controle de estoque; controle de secadoras de roupa, controle de tráfego urbano etc.

É nesta perspectiva que o presente trabalho tem por objetivo discutir uma das características importantes de um sistema nebuloso, a capacidade de trabalhar com ausência de regras, através de um estudo de caso. Este, por sua vez, consiste em desenvolver um controlador nebuloso, simulado em MatLab[®], para resolver o problema de estacionar um caminhão em ponto específico de um estacionamento.

Para tanto, primeiramente serão expostos alguns conceitos fundamentais de conjuntos clássicos e nebulosos, elucidando as suas diferenças. Em seguida será apresentado o modelo proposto de controlador nebuloso do caminhão. Logo após serão mostradas as estratégias e escolhas adotadas para a construção do controlador nebuloso. Para depois, discutir os resultados obtidos. Por fim, serão apresentadas as considerações finais a respeito do experimento proposto.

2. Conceitos Fundamentais

Um conjunto clássico é uma coleção de objetos de um dado domínio, no qual um objeto pertence ou não pertence a um conjunto. Portanto, há uma fronteira exata entre os membros de um conjunto e aqueles que não pertence a este conjunto. A dificuldade em definir limites mais flexíveis que separam os conjuntos na Lógica Clássica motivou o desenvolvimento dos conjuntos nebulosos (Langari; Yen, 1998).

2.1 Conjuntos Clássicos

Nos conjuntos clássicos a função que determina se um objeto pertence ou não a um conjunto é chamada de Função de Inclusão (ou de Pertinência). Esta, por sua vez, pode ser definida da seguinte forma: *seja um conjunto clássico A (definido em um Universo de Discurso¹ X) é definido pela sua função de inclusão $\chi \rightarrow \{0,1\}$ que mapeia cada elemento de X em 0 ou 1, dependendo se o elemento pertence ou não ao conjunto* (Cruz, 1998). Ou seja,

$$\chi_A(x) \begin{cases} 1 & \text{se } x \in A \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Embora toda a teoria da matemática moderna esteja fundamentada nos conjuntos clássicos, estes, por sua vez, se apresentam inapropriados quando aplicados a uma gama considerável de problemas do mundo real².

As três operações básicas aplicadas aos conjuntos clássicos³ são a união, $A \cup B = \{x \mid x \in A \text{ ou } x \in B\}$; interseção, $A \cap B = \{x \mid x \in A \text{ e } x \in B\}$; e o complemento, $A^c = \{x \mid x \in U \text{ e } x \notin A\}$. Estes operadores possuem diversas propriedades fundamentais, tais como, *Comutatividade; Associatividade; Idempotência; Distributividade; Absorção; Involução; Elemento Neutro; Lei de De Morgan; Lei da Não Contradição ($A \cap \bar{A} = \emptyset$); e a Lei da Exclusão do Meio ($A \cup \bar{A} = X$)*. Cabe ressaltar, que a *Lei da Não Contradição* estabelece que os limites entre os conjuntos são definidos precisamente, não admitindo a possibilidade de objeto pertencer a dois conjuntos ao mesmo tempo. A seguir apresentaremos uma breve explanação sobre os conjuntos nebulosos, e suas diferenças em relação aos conjuntos clássicos apresentados nesta seção.

¹ É o espaço onde estão definidos os elementos de um dado conjunto. Por exemplo, idade dos seres humanos $0 \leq \text{anos} \leq 170$ idade.

² Um dos grandes problemas está na definição do limiar entre dois conjuntos, que é abrupta.

³ Onde U é o Universo de Discurso e A, B e C são subconjuntos de U .

2.2 Conjuntos Nebulosos

Os conjuntos nebulosos têm por objetivo generalizar a idéia representada pelos conjuntos nítidos (clássicos). Isto é, enquanto nestes últimos a fronteira de decisão, que determina se um elemento pertence ou não a um conjunto, é definida abruptamente, em conjuntos nebulosos esta fronteira é mais flexível, não é abrupta. Os limiares entre os conjuntos não são nitidamente definidos e um objeto pode pertencer, ou melhor, representar a idéia geral do conjunto com um grau de inclusão. Isto é, um elemento poderá estar contido em mais de um conjunto. A decisão a qual conjunto ele está mais ligado dependerá do grau de inclusão nos conjuntos em que ele é membro. Assim a função de inclusão de um conjunto A é definida em seu Universo de Discurso e caracterizada pela função $\mu_A(\cdot): X \rightarrow [0, 1]$ que mapeia cada elemento de X em um número real no intervalo $[0, 1]$. (Cruz, 1998; Langari; Yen, 1999) Assim, um conjunto nebuloso pode ser indicado, dentre outras maneiras, como um conjunto de pares ordenados⁴.

Um conjunto nebuloso pode ser descrito pela sua função de inclusão. Existem vários tipos de funções de inclusão, as mais usadas são as triangulares, as trapezoidais, as Gaussianas e as Sigmoidais. Neste trabalho foram utilizadas apenas as duas primeiras, as quais discutiremos a seguir.

A função de inclusão triangular, de acordo com Langari e Yen (1999), é especificada por três parâmetros⁵ $\{a, b, c\}$ como pode ser visto na equação abaixo.

$$\text{Triangular } (x: a, b, c) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x-a) / (b-a) & a \leq x \leq b \\ (c-x) / (c-b) & b \leq x \leq c \\ 0 & x > c \end{cases}$$

Já a Função de Inclusão Trapezoidal é determinada por quatro parâmetros $\{a, b, c, d\}$ (Lagari; Yen, 1999).

$$\text{Trapezoidal } (x: a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x-a) / (b-a) & a \leq x < b \\ 1 & b \leq x < c \\ (d-x) / (d-c) & c \leq x < d \\ 0 & x \geq d \end{cases}$$

De acordo com Oliveira Jr. (1999), as funções triangulares aparecem normalmente em casos em que se deseja expressar pertinência crescente à esquerda e decrescente à direita. Quanto as funções trapezoidais, estas podem ser utilizadas em situações semelhantes, em que se deseja ampliar a faixa de inclusão máxima.

⁴ Por exemplo, $A = \{ (x, \mu_A(x)) \mid x \in X \}$.

⁵ A forma da função é determinada pela escolha desses três parâmetros.

As operações de união, interseção e complemento em conjuntos nebulosos são expressas em termos das funções de inclusão, proposto por Lotfi Zadeh, na década de 1960, como uma forma de aplicar estes conceitos aos conjuntos nebulosos. Além disso, foi preservada a maioria das propriedades dos conjuntos clássicos neste paradigma. No entanto, há duas operações que não se mantêm quando aplicadas aos conjuntos nebulosos: A lei da Não Contradição ($A \cap A = \emptyset$) e a Lei da Exclusão do Meio ($A \cup A = X$). Como os conjuntos nebulosos não são nitidamente definidos eles não obedecem a estas leis, ou seja, um elemento pode pertencer a mais de um conjunto com um determinado grau de inclusão⁶. Existem inúmeras operações que podem ser utilizadas para implementar as operações de interseção e união. No entanto, estas operações devem obedecer a arcabouço de regras – chamadas de T-norms (Triangular-norms) e S-noms (Triangular-conorms) - que as generalizam. As T-noms generalizam a operação de Interseção, por outro lado, as S-norms generalizam a operação de União.

Os operadores T-norms mapeiam $[0,1] \times [0,1]$ para $[0,1]$ obedecendo as cinco condições: **T.1** $T(0,0) = 0$; **T.2** $T(x,y) = T(y,x)$; **T.3** $T(x,1) = x$; **T.4** $T[T(x,y),z] = T[x,T(y,z)]$; **T.5** $T(z,w) \leq T(x,y)$ se $z \leq x$ e $w \leq y$. Tanto a operação de produto algébrico quanto a de mínimo, dentre outras, obedecem aos axiomas acima e conseqüentemente, poderão ser utilizadas para definir as operações de interseção de conjuntos nebulosos. Quanto às regras S-norms, elas mapeiam $[0,1] \times [0,1]$ para $[0,1]$ e devem satisfazer os cinco axiomas: **S.1** $S(1,1) = 1$; **S.2** $S(x,y) = S(y,x)$; **S.3** $S(x,0) = x$; **S.4** $S[S(x,y),z] = S[x,S(y,z)]$; **S.5** $S(z,w) \leq S(x,y)$ se $z \leq x$ e $w \leq y$. A operação de máximo também obedece aos axiomas acima e pode ser utilizada para definir as operações de união de conjuntos nebulosos. Tanto a operação de máximo como a de mínimo foram utilizadas neste trabalho⁷.

2.3 Sistema Nebuloso

Em muitas aplicações automatizadas deseja-se acrescentar o conhecimento experimental de um especialista. Na abordagem clássica isto é muito difícil, uma vez que a linguagem humana é imprecisa e seus conceitos são subjetivos. Já no paradigma nebuloso, este saber pode ser transformado em termos de regras que formarão a “inteligência” do sistema nebuloso. Este, por sua vez, pode ser visualizado através do esquema apresentado por Cruz (1998), na Figura 1.

⁶ Uma diferença importante entre conjuntos nebulosos e clássicos, é que estes últimos utilizam critérios rígidos que poderiam excluir elementos que estão próximos da fronteira de decisão e que podem contribuir para a compreensão do problema que está sendo analisado.

⁷ Existem outras formas alternativas de operações entre conjuntos, nomeadas de Operações Compensatórias e Não Zadeh, que procuram compensar as regras originalmente definidas por Lotfi Zadeh, maiores detalhes podem ser encontrados em Cox (1994).

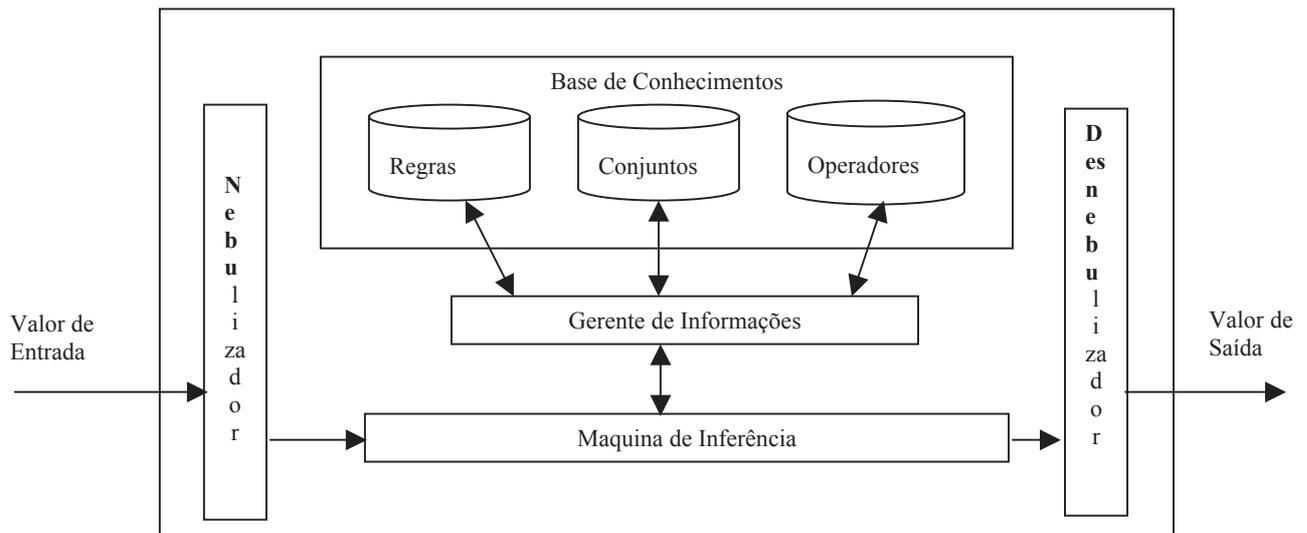


Figura 1: Esquema de um Sistema Nebuloso. Modificado de Cruz (1998).

De acordo com este esquema, o *nebulizador* é o responsável pela transformação dos dados de entrada em graus de pertinência que serão utilizados na avaliação dos níveis de ativação das regras nebulosas. Já *máquina de inferência*, é a responsável por todos os cálculos. A *base de conhecimento*, por sua vez, guarda consigo todas as definições sobre as regras, conjuntos e operadores. Um outro componente importante do sistema nebuloso é o *gerente de informações*, este obtém da base conhecimentos informações sobre as regras que devem ser executadas. Por fim, o *desnebulizador* é o responsável em transformar o valor nebuloso de saída em um valor nítido, de acordo com o contexto externo (Oliveira Jr., 1999; Cruz, 1998).

Cruz (1998) estabelece quatro passos fundamentais para construir um Sistema Nebuloso. O primeiro deles consiste em definir as variáveis nebulosas de entradas e as saídas: a) definir o Universo de Discurso das variáveis; b) dividir o Universo de Discurso em conjuntos nebulosos; c) definir as Funções de Inclusão dos conjuntos. A segunda etapa consiste na construção da Base de Regras⁸. O próximo passo consiste em simular o Sistema; para, posteriormente, testá-lo. Em seguida, será apresentado o controlador nebuloso proposto neste trabalho.

3. O Controlador Nebuloso do Caminhão

O controlador nebuloso⁹ proposto neste trabalho deverá ser capaz de resolver o problema de estacionar um caminhão em um ponto determinado do estacionamento. O objetivo do simulador é fazer com que o caminhão chegue no ponto do estacionamento com um certo ângulo ($\phi_f=90^\circ$) e alinhe a posição (x,y) do caminhão com a posição final desejada (x_f,y_f) , Figuras 2 e 3 nos anexos. *Deve-se assumir que o caminhão se desloca apenas para trás*. A área de estacionamento

⁸ A Base de Regras será composta por proposições difusas que podem ser classificadas em *condicionais* e em *incondicionais*. As primeiras são do tipo IF x is A THEN y is B. Enquanto que as incondicionais são do tipo x is A.

⁹ Para a construção do controlador nebuloso foi utilizado o processo de inferência de Mandani, mais conhecido por método MAX-MIN, uma vez que utiliza a função MIN para conjunção (no interior de cada regra) e MAX para composição dos resultados das regras (Oliveira Jr, 1999).

corresponde ao plano $[0:100] \times [0:100]$ e (x_f, y_f) é igual a $(50, 100)$. Em cada etapa da simulação o controlador deve produzir o ângulo θ que leva o caminhão para a posição final a partir de qualquer posição inicial e qualquer ângulo na área de estacionamento¹⁰. As variáveis¹¹ podem assumir valores nos seguintes intervalos¹²: $0 < x < 100$; $-90 < \phi < 270$; $-30 < \theta < 30$. As equações que indicam o movimento do caminhão, caso ele tenha se movido para trás (da posição (x, y) para (x', y') em uma iteração) são as seguintes¹³: $\phi = \phi + \theta$; $x' = x + r \cos(\phi)$; $y' = y + r \sin(\phi)$.

O Universo de Discurso da variável de entrada x foi dividido em cinco conjuntos nebulosos, Quadro 1 em anexo. Já as variáveis ϕ e θ foram decompostas em sete conjuntos nebulosos, Quadros 2 e 3 em anexo. As suas respectivas Funções de Inclusão estão expressas nas Figuras 4, 5 e 6 em anexo. Quanto a Base de Regras, foram construídas 35 regras para construir o controlador nebuloso, ver Quadro 4 nos anexos¹⁴.

4. Metodologia

Para implementar o controlador nebuloso do caminhão foi utilizado o software MatLab[®] - e sua biblioteca específica para lógica nebulosa *Fuzzy Logic Toolbox*¹⁵. Uma vez construído o sistema nebuloso, iniciou-se o processo de simulação.

O processo de simulação consistiu em gerar aleatoriamente uma amostra de ϕ (ângulos discretos entre -90 e 270) e outra de x (valores da abscissa entre 0 e 100), para depois formar pares de entrada (x, ϕ) com o intuito de avaliar a consistência das regras estabelecidas para o problema. A amostra obtida de para simulação esta contida na Tabela 1 em anexo. Uma vez simulado e testado o sistema, deu-se início ao procedimento de exclusão das regras, baseado em um processo aleatório para a escolha da regra a ser eliminada, Tabela 2 em anexo.

Para avaliar a capacidade do sistema de funcionar com ausência de regras foram utilizadas duas medidas de eficiência: **Erro de estacionamento** e **Erro de trajetória**. A primeira consiste na distância Euclidiana entre a posição que o caminhão chegou e a posição desejada¹⁶. Quanto à outra medida, ela foi definida como a razão entre o comprimento da trajetória seguida pelo caminhão e o tamanho da reta que une os pontos iniciais e finais da trajetória¹⁷. A seguir, serão discutidos os resultados do experimento.

¹⁰ Foi estabelecido que existe espaço suficiente entre o caminhão e o ponto de chegada de tal forma que a coordenada y pôde ser ignorada.

¹¹ O valor de y , na simulação, foi fixado em 20.

¹² Estes intervalos correspondem aos Universos de Discurso das respectivas variáveis.

¹³ r é a distancia fixa que o caminhão anda em todos os movimentos para trás, em cada passo da simulação.

¹⁴ Estas regras foram extraídas do exemplo apresentado por Ross (1995) para simular do estacionamento de um caminhão utilizando um controlador nebuloso.

¹⁵ O sistema nebuloso foi implementado utilizando as seguintes propriedades do FIS (*Fuzzy Inference System*): *And method: min; Or method: max; Aggregation: max; Defuzzification: centroid*.

¹⁶ Erro de estacionamento = $[(\phi_f - \phi)^2 + (y_f - y)^2 + (x_f - x)^2]^{1/2}$

¹⁷ Erro de trajetória = $[(\text{comprimento da trajetória}) / (\text{comprimento da reta entre a posição inicial e final})]$

5. Discussão dos Resultados

O experimento de exclusão de regras foi marcado por alguns acontecimentos interessantes. O primeiro deles diz respeito ao aumento do tempo de execução que se apresentou diretamente relacionado ao aumento do número de regras eliminadas. Além disso, verificou-se também a presença de *outliers*, principalmente após a exclusão da oitava regra, nos conjuntos de erros de trajetória e de estacionamento. Especialmente os pares abaixo:

x	20	79	32	14	46	21	95
ϕ	217	-81	246	253	231	-51	-63

Quadro 5: Pares de ϕ e x que apresentaram *outliers*.

Um outro momento importante da simulação ocorreu quando a vigésima quinta regra, na qual se observa o zero do conjunto θ , foi excluída. A partir desse instante não foi mais possível dar continuidade à simulação, pois o sistema estava apenas alguns pares, e após um certo momento entrava em um *loop infinito*, sendo necessário abortar a execução do simulador. Diante deste fato, foi decidido encerrar o processo de simulação.

Apesar do processo de simulação ter sido encerrado com a exclusão de apenas 24 regras, que representam 69% do total, pôde-se verificar que o sistema nebuloso implementado foi capaz de funcionar com a ausência de regras. As Figuras 7 e 8 (em anexo) ilustram bem este fato. A primeira delas exibe a simulação do estacionamento do caminhão com toda a amostra de pares x e ϕ , sem a retirada de regras. A segunda mostra o desempenho do sistema com a ausência de 15 das regras. Ao analisar esta Figura, deve-se atentar para o fato de que o par ϕ e x utilizado pode não representar o comportamento do conjunto da amostra, uma vez que uma regra retirada pode influenciar no desempenho do caminhão para um dado par, mas não com outro par, conforme foi observado durante a simulação. Por fim, a Figura 9 (em anexo) retrata o desempenho do sistema nebuloso com a ausência de 69% das regras, o que valida a sua capacidade de funcionamento na ausência de regras. No entanto, deve-se observar que ele não manteve o mesmo comportamento desejado para todos os pares da amostra, ou seja, esta sua capacidade dependerá do papel da regra excluída para o funcionamento do sistema como um todo. O desempenho do controlador nebuloso pode também ser verificado através dos Gráficos 1 e 2 (em anexo) de medidas de eficiência do sistema. Estes mostram o quanto o desempenho do sistema nebuloso ficou prejudicado à medida que aumentava o número de regras excluídas.

6. Considerações Finais

Os resultados obtidos durante o experimento nos forneceram subsídios necessários para verificar que o sistema nebuloso proposto neste trabalho foi capaz de trabalhar com ausência de regras, apesar de não ter mantido o comportamento desejado para todos os valores (ϕ e x) amostrados. Verificou-se também que este seu desempenho dependerá, em grande parte, da importância

da regra excluída na Base de Regras. Caso a regra eliminada seja essencial para a sua performance, ele poderá ter uma conduta totalmente adversa da esperada.

Um outro aspecto relevante que pôde ser verificado neste experimento refere-se a capacidade do sistema de trabalhar com informações imprecisas (subjetivas) – que puderam ser expressas por meio de suas regras. Este fato foi verificado através dos excelentes resultados obtidos durante o processo de simulação e teste. O que corrobora com a idéia de que os sistemas nebulosos podem ser utilizados para resolver uma gama variada de problemas que não se encaixam nos moldes dos paradigmas tradicionais.

7. Referências Bibliográficas

COX, Earl. **The Fuzzy Systems Handbook**. London: AP Professional, 1994.

CRUZ, Adriano Joaquim. **Lógica Nebulosa**. Rio de Janeiro, 1998. Disponível em: <<http://www.nce.ufrj/adriano/fuzzy/bibliogr.htm>> . Acesso em: 20 ago. 2002.

LANGARI, Reza; YEN, John. **Fuzzy Logic**. New Jersey: Prentice-Hall, 1999.

OLIVEIRA JR., Hime Aguiar e. **Lógica Difusa: aspectos práticos e aplicações**. Rio de Janeiro: Interciência, 1999.

ROSS, T. J. **Fuzzy logic with engineering applications**. New York: McGraw-Hill, 1995.

ANEXOS

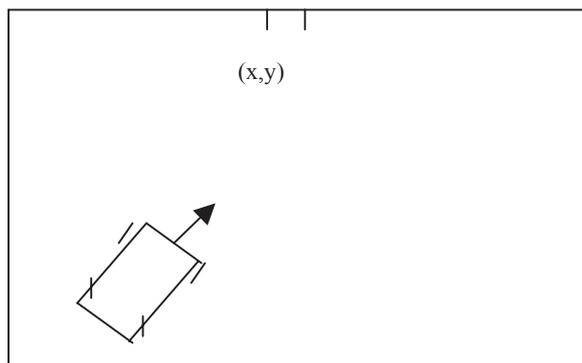


Figura 2: Ponto de Estacionamento.

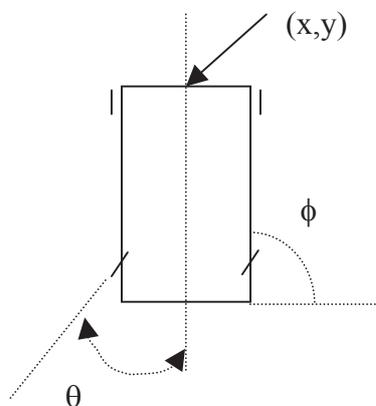


Figura 3: Variáveis que determinam a posição do caminhão.

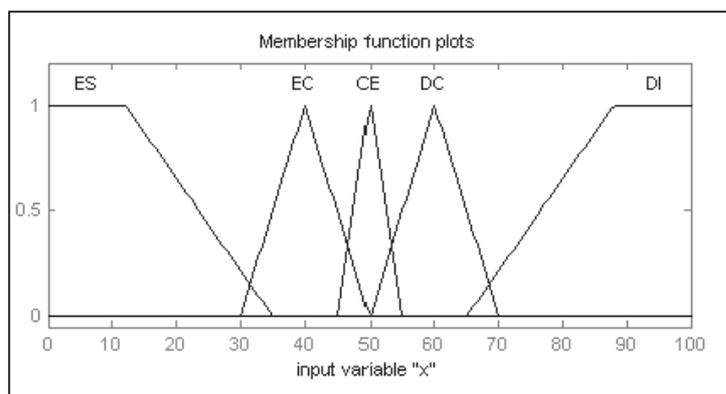


Figura 4: Funções de Inclusão da Variável x.

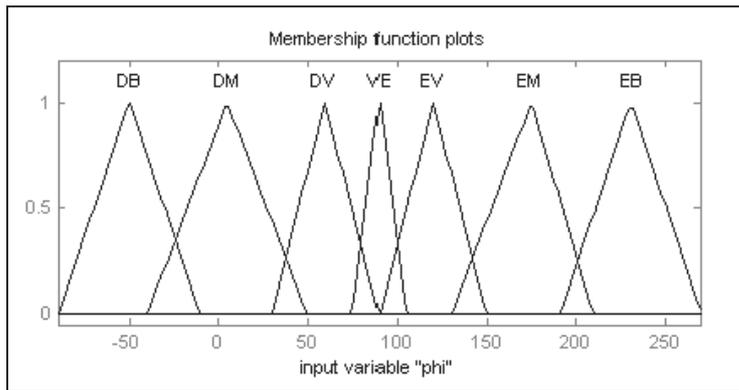


Figura 5: Funções de Inclusão da Variável ϕ .

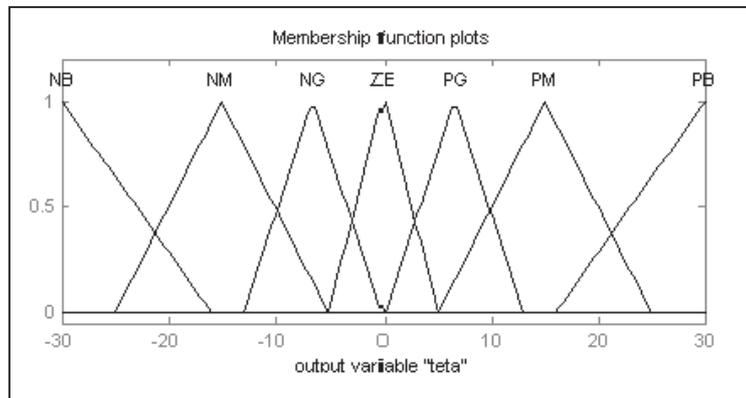


Figura 6: Funções de Inclusão da Variável θ .

Nome	Função	Intervalo
ES	Trapézio	[-22.5 -2.5 12 35]
EC	Triângulo	[30 40 50]
CE	Triângulo	[45 50 55]
DC	Triângulo	[50 60 70]
DI	Trapézio	[65 88 102.5 122.5]

Quadro 1: Conjuntos nebulosos da variável x.

Nome	Função	Intervalo
DB	Triângulo	[-90 -50 -10]
DM	Triângulo	[-40 5 50]
DV	Triângulo	[30 60 90]
DV	Triângulo	[30 60 90]
EV	Triângulo	[90 120 150]
EM	Triângulo	[130 175 210]
EB	Triângulo	[191 231 271]

Quadro 2: Conjuntos nebulosos da variável ϕ .

Nome	Função	Intervalo
NB	Triângulo	[-40 -30 -16]
NM	Triângulo	[-25 -15 -5]
NG	Triângulo	[-13 -6.5 0]
ZE	Triângulo	[-5 0 5]
PG	Triângulo	[0 6.5 13]
PM	Triângulo	[5 15 25]
PB	Triângulo	[16 30 40.02]

Quadro 3: Conjuntos nebulosos da variável θ .

1. if(x is ES) and (phi is DB) then (teta is PG)
2. if(x is EC) and (phi is DB) then (teta is PM)
3. if(x is CE) and (phi is DB) then (teta is PM)
4. if(x is DC) and (phi is DB) then (teta is PB)
5. if(x is DI) and (phi is DB) then (teta is PB)
6. if(x is ES) and (phi is DM) then (teta is NG)
7. if(x is EC) and (phi is DM) then (teta is PG)
8. if(x is CE) and (phi is DM) then (teta is PM)
9. if(x is DC) and (phi is DM) then (teta is PB)
10. if(x is DI) and (phi is DM) then (teta is PB)
11. if(x is ES) and (phi is DV) then (teta is NM)
12. if(x is EC) and (phi is DV) then (teta is NG)
13. if(x is CE) and (phi is DV) then (teta is PG)
14. if(x is DC) and (phi is DV) then (teta is PM)
15. if(x is DI) and (phi is DV) then (teta is PB)
16. if(x is ES) and (phi is VE) then (teta is NM)
17. if(x is EC) and (phi is VE) then (teta is NM)
18. if(x is CE) and (phi is VE) then (teta is ZE)
19. if(x is DC) and (phi is VE) then (teta is PM)
20. if(x is DI) and (phi is VE) then (teta is PM)
21. if(x is ES) and (phi is EV) then (teta is NB)
22. if(x is EC) and (phi is EV) then (teta is NB)
23. if(x is CE) and (phi is EV) then (teta is NG)
24. if(x is DC) and (phi is EV) then (teta is PG)
25. if(x is DI) and (phi is EV) then (teta is PM)
26. if(x is ES) and (phi is EM) then (teta is NB)
27. if(x is EC) and (phi is EM) then (teta is NB)
28. if(x is CE) and (phi is EM) then (teta is NM)
29. if(x is DC) and (phi is EM) then (teta is NG)
30. if(x is DI) and (phi is EM) then (teta is PG)
31. if(x is ES) and (phi is EB) then (teta is NB)
32. if(x is EC) and (phi is EB) then (teta is NB)
33. if(x is CE) and (phi is EB) then (teta is NM)
34. if(x is DC) and (phi is EB) then (teta is NM)
35. if(x is DI) and (phi is EB) then (teta is NG)

Quadro 4: Base de Regras do controlador nebuloso do caminhão.

Tabela 1 - Amostra de x e ϕ

i	x	ϕ
1	16	123
2	38	118
3	18	15
4	53	249
5	25	65
6	7	2
7	0	188
8	65	178
9	57	-60
10	36	192
11	20	217
12	47	-49
13	58	-11
14	76	220
15	63	48
16	79	-81
17	100	226
18	23	186
19	67	-55
20	82	87
21	8	74
22	30	88
23	32	246
24	14	253
25	86	168
26	87	175
27	98	-34
28	62	-1
29	61	216
30	45	66
31	42	-9
32	4	201
33	9	-6
34	27	49
35	1	43
36	73	236
37	33	45
38	5	127
39	46	231
40	78	28
41	83	107
42	11	134
43	21	-51
44	97	-5
46	92	156
47	48	38
48	95	-63
49	81	-2
50	17	106

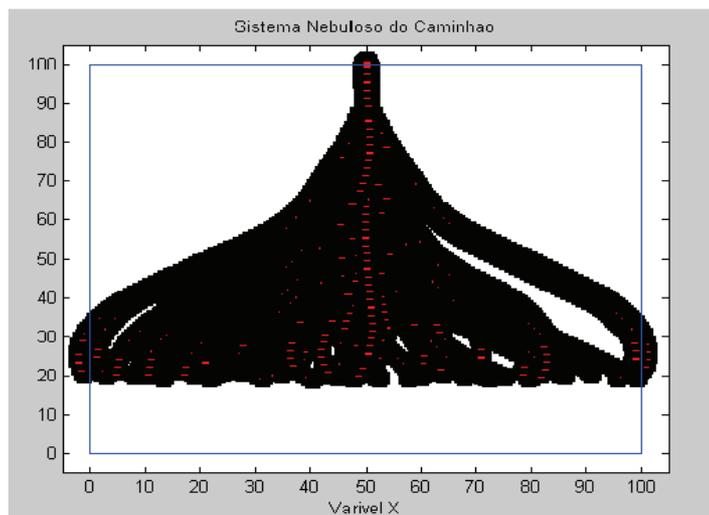


Figura 7: Simulação do estacionamento do caminhão com todos os ϕ e x da amostra, sem a retirada de regras.

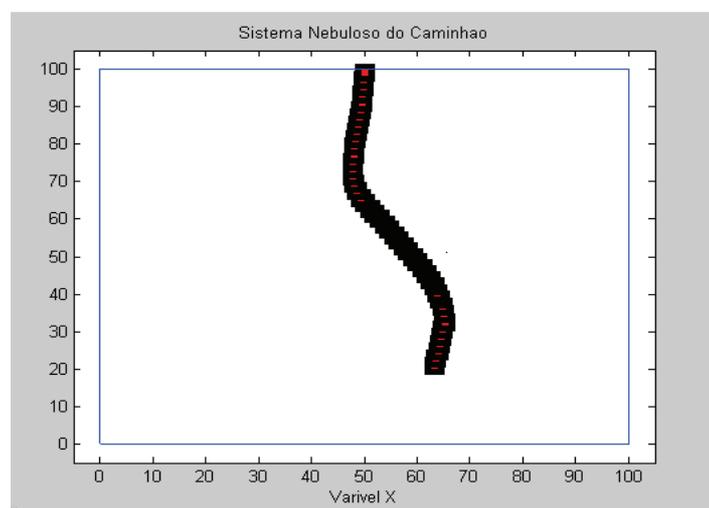


Figura 8: Simulação do estacionamento do caminhão com quinze regras excluídas para $x=63$ e $\phi = 48$.

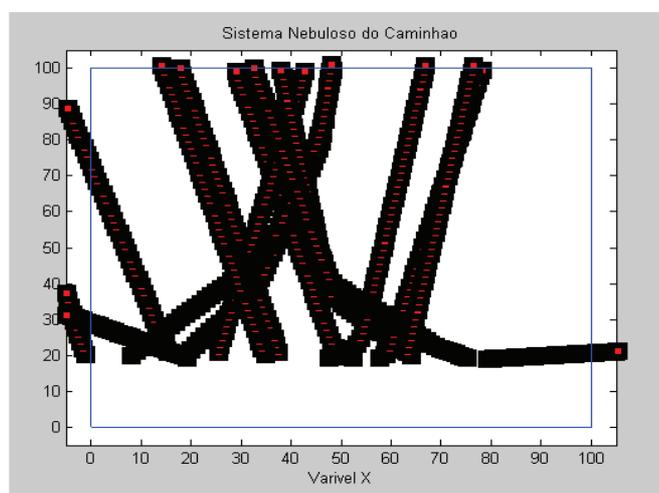


Figura 9: Simulação do estacionamento do caminhão com todos os ϕ e x da amostra, com 24 regras retiradas.

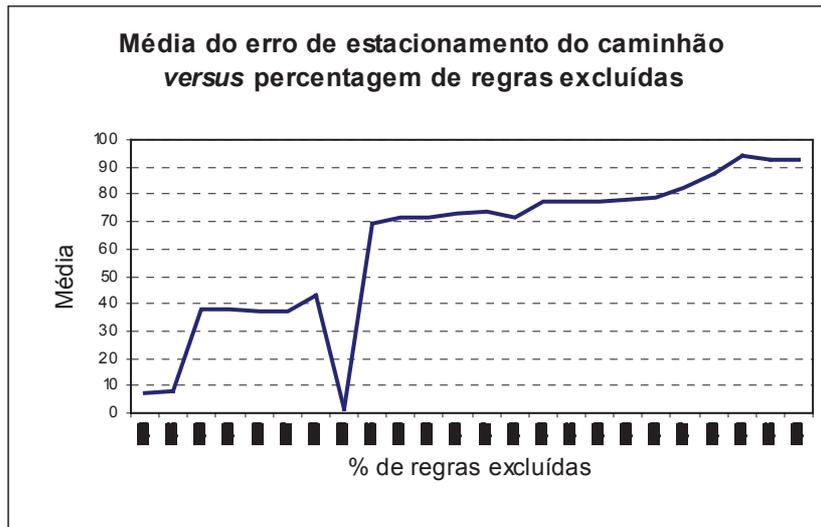


Gráfico 1: Desempenho do sistema nebuloso segundo a média do erro de estacionamento do caminhão.

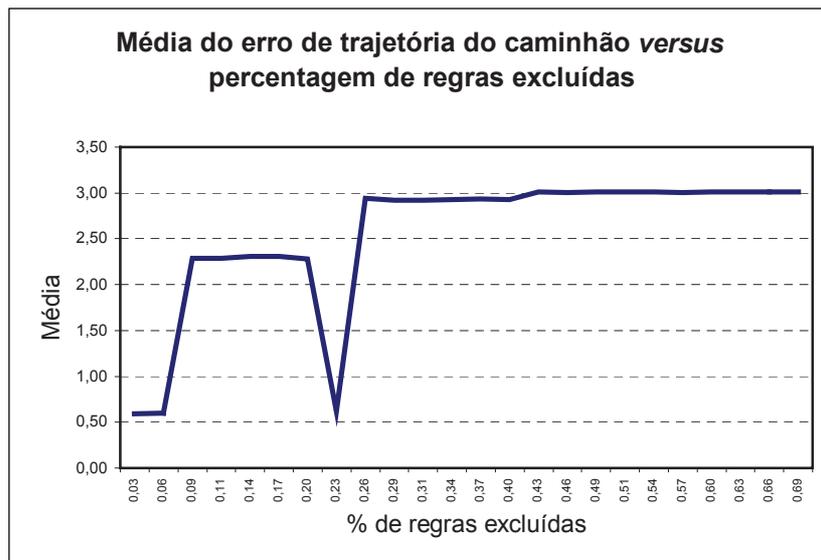


Gráfico 2: Desempenho do sistema nebuloso segundo a média do erro de trajetória do caminhão.