

# Aplicação de Fuzzy para a redução do consumo de energia de módulos internos em veículos aéreos não tripulados

Daniel Fernando Pigatto  
Instituto de Ciências  
Matemáticas e de  
Computação, Universidade de  
São Paulo  
Av. Trabalhador São-carlense,  
400 - Centro  
São Carlos, SP, Brasil – CEP:  
13.566-590  
pigatto@icmc.usp.br

Kalinka Castelo Branco  
Instituto de Ciências  
Matemáticas e de  
Computação, Universidade de  
São Paulo  
Av. Trabalhador São-carlense,  
400 - Centro  
São Carlos, SP, Brasil – CEP:  
13.566-590  
pigatto@icmc.usp.br

Angélica Félix de Castro  
Universidade Federal Rural do  
Semi-Arido  
Av. Francisco Mota, 572 -  
Bairro Costa e Silva  
Mossoró, RN, Brasil – CEP:  
59.625-900 – +55 84  
3317-8200  
angelica@ufersa.edu.br

Trevor Martin  
University of Bristol  
Merchant Venturers' Building,  
Woodland Road  
Clifton BS8 1UB, Bristol, UK  
trevor.martin@bristol.ac.uk

## ABSTRACT

Unmanned aircraft systems are a specific type of critical embedded system that has been focus of research in recent years. In these systems, when fault of any kind occur, high value assets are placed at risk, and in some cases even human lives. Due to their high criticality, the development of improvements to these systems in order to increase the safety becomes an important topic in the area. However, it is always important to focus on efforts towards energy savings, which naturally pose new challenges to research, since it can significantly impact the performance and safety of these vehicles. This paper aims to study the possibility to disable internal modules of an aircraft (unmanned aerial vehicle) in order to save energy without sacrificing performance, vehicle safety or information security. A study of Fuzzy Logic applied to such scenario is presented in this paper.

## CCS Concepts

•Computing methodologies → *Intelligent agents*;

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for components of this work owned by others than ACM must be honored. Abstracting with credit is permitted. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee. Request permissions from [permissions@acm.org](mailto:permissions@acm.org).

EATIS '16 April 27–29, 2016, Cartagena, Colombia

© 2016 ACM. ISBN 978-1-5090-2435-3/16 IEEE...\$31.00

DOI:

## Keywords

Fuzzy; Veículos aéreos não tripulados, Computação verde

## 1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de aeronaves não tripuladas são um tipo específico de sistema embarcado crítico que tem sido alvo de pesquisas nos últimos anos. Nestes sistemas, quando falhas de qualquer natureza ocorrem, ativos de alto valor são colocados em risco e, em alguns casos, até mesmo vidas humanas. Devido a essa alta criticidade, desenvolver melhorias para estes sistemas visando o aumento da segurança dos mesmos se torna um tópico de importância na área. Entretanto, é sempre importante que esforços na direção da economia de energia sejam evidenciados, os quais naturalmente impõem novos desafios à pesquisa, uma vez que podem impactar significativamente no desempenho e na segurança destes veículos.

Este artigo tem como proposta o estudo sobre a possibilidade de se desativar módulos internos de uma aeronave (veículo aéreo não tripulado) a fim de se economizar energia, sem prejudicar o desempenho e a segurança do veículo (*safety*) e da informação (*security*). A economia no uso de energia promove um aumento no tempo de autonomia de funcionamento do veículo, tornando-se ainda mais crítico com a utilização de vários sensores de monitoramento que podem vir a consumir valores significativos de energia. Um estudo com *Fuzzy* aplicado ao cenário destes veículos será apresentado neste trabalho. A *Lógica Fuzzy* visa resolver problemas onde a informação não é precisa, ou seja, tal informação varia de acordo com a compreensão que se tem sobre um determinado assunto.

O restante do artigo está organizado da seguinte maneira: a Seção 2 apresenta uma revisão dos principais conceitos de sistemas embarcados críticos, introduz os veículos que são foco deste trabalho e também alguns importantes tópicos ligados à computação “verde”; a Seção 3 apresenta a técnica de inteligência artificial conhecida como *Fuzzy*, será usada neste trabalho; a Seção 4 descreve o problema proposto neste trabalho; a Seção 5 mostra a implementação do problema; e a Seção 6 encerra o trabalho com as conclusões sobre a solução do problema.

## 2. SISTEMAS EMBARCADOS CRÍTICOS

Dispositivos responsáveis por funções dedicadas são chamados de sistemas embarcados. Estes sistemas estão inseridos em um sistema mais amplo, como é o caso de um refrigerador, onde existe um sistema de refrigeração, composto de um motor e uma serpentina, mas existe um sistema embarcado que recebe comandos de ajustes de temperatura e monitora o funcionamento do motor de refrigeração, ligando-o e desligando-o ao atingir temperaturas pré-programadas. O mesmo existe em televisores, rádios, *players*, roteadores, semáforos, celulares, automóveis, aviões etc., sendo cada um deles especificamente desenvolvido para desempenhar funções inerentes aos sistemas maiores.

Dentre os sistemas embarcados, alguns deles podem ser considerados críticos. Os domínios de aviônicos e automotivos são exemplos clássicos onde custos, ciclos de produção curtos e requisitos que visam dependabilidade, robustez, segurança, controle de emissão de poluentes e demandas específicas de cada cenário influenciam na obtenção de um produto final [6]. Devido ao alto investimento em pesquisas nesta área, a perda de um produto destes acarreta em perdas financeiras consideravelmente altas.

### 2.1 Veículos aéreos não tripulados (VANTs)

Com exceção dos mísseis, existem basicamente três tipos de aeronaves que voam sem piloto. Eles são os veículos aéreos não tripulados (*Unmanned aerial vehicles* – UAVs), os veículos pilotados remotamente (*Remotely piloted vehicles* – RPVs) e os *drones*. Nenhum deles tem tripulação ou piloto humano a bordo, por isso pode-se utilizar o termo genérico “veículo aéreo não tripulado” ou, simplesmente, VANT.

De acordo com [4], no passado, essas aeronaves eram todas chamadas de *drones*, ou seja, um “avião sem piloto controlado por sinais de rádio”. Hoje, o termo foi praticamente abandonado por desenvolvedores de VANTs e pela comunidade, sendo ainda usado para designar veículos que apresentam pouca flexibilidade para a realização de missões sofisticadas e que voam sem a realização de manobras mais estáveis e aprimoradas. O termo *drone* tem sido usado de modo errado pela imprensa em notícias veiculadas recentemente para se referir a VANTs de um modo geral.

### 2.2 Computação “verde”

Problemas como o elevado consumo de energia elétrica (que contribui, também, para a emissão de gases nocivos), a quantidade de insumos não-renováveis utilizada na produção de computadores e periféricos, bem como o descarte de equipamentos obsoletos são problemas que têm sido levantados como preocupantes na área de tecnologia da informação [12].

Entretanto, a abordagem chamada como TI-pelo-verde não considera mais a TI como uma razão pelos problemas ambientais, mas sim como uma potencial solução aos problemas ambientais [13]. O efeito negativo da TI na sustentabilidade ambiental e a magnitude do tema sustentabilidade estimulou o interesse da academia para a realização de pesquisas sobre TI verde [12]. Alguns representantes do “movimento verde” afirmam que ser “verde” é uma reação aos excessos resultantes do desenvolvimento das sociedades e do aumento de resíduos gerados por tal desenvolvimento. Ser “verde” significa adotar meios sustentáveis para planejar e investir, atendendo às necessidades de hoje – bem como às necessidades de amanhã – preservando os recursos e reduzindo os custos organizacionais.

Na área de TI, mais especificamente, o movimento “verde” vem sendo comumente referido pelos estudiosos da área como TI Verde [9], um termo genérico para as medidas e atividades do departamento de TI das empresas que visam contribuir para os objetivos orientados pela sustentabilidade empresarial e pela responsabilidade social corporativa [9].

No contexto de VANTs, os esforços no sentido da computação “verde” também têm sido mais frequentes nos últimos anos, sendo um deles focado na redução do consumo de energia por módulos internos da aeronave. Devido à popularização do conceito de *fly-by-wireless* [2, 3, 8, 11, 14], a substituição de cabos por comunicação sem fio, esta redução de consumo de energia tem sido mais viável. Além disso, com este paradigma de comunicação que permite a redução do consumo de energia, também é possível, conseqüentemente, aumentar o tempo de autonomia de funcionamento dos VANTs.

## 3. LÓGICA FUZZY

O termo *Fuzzy* significa algo nebuloso, impreciso ou vago. Tendo isso em vista, a Lógica *Fuzzy* visa resolver problemas onde a informação não é precisa, ou seja, tal informação varia de acordo com a compreensão que se tem sobre um determinado assunto. Nas subseções abaixo serão apresentados conceitos de conjuntos e subconjuntos *Fuzzy*.

### 3.1 Conjuntos Fuzzy

Os conjuntos fuzzy são uma extensão dos conjuntos clássicos (conjuntos *crisp*). A teoria dos conjuntos *Fuzzy* foi formalizada por Zadeh [15] e passou a tratar objetos de forma que seus graus de pertinência para um ou outro grupo variem entre 0 e 1. Segundo a Lógica Tradicional, ou um objeto (O) é totalmente pertencente a um grupo A ou o objeto é totalmente não pertencente a tal grupo. Por outro lado, nos Conjuntos *Fuzzy* um objeto pode ser parcialmente pertencente a um grupo A e parcialmente pertencente a outro grupo B.

Todos os conceitos conhecidos para um conjunto na matemática podem ser expandidos para os Conjuntos *Fuzzy*, realizando-se as devidas adaptações. Dessa forma, é possível efetuar uma união, uma interseção, um complemento ou um produto cartesiano entre conjuntos *Fuzzy*.

Sabendo que qualquer conjunto clássico pode ser caracterizado por uma função, conhecida como função característica, Zadeh obteve a formalização matemática de um conjunto *Fuzzy*. A Definição 3.1.1, a seguir, mostra a representação de uma função de pertinência de um subconjunto *Fuzzy*.

**Definição 3.1.1** Seja  $U$  um conjunto e  $A$  um subconjunto

de  $U$ . A função característica de  $A$  é dada por:

$$X_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{se } x \in A \\ 0 & \text{se } x \notin A \end{cases}$$

Com isso,  $X_A$  é uma função cujo domínio é  $U$  e a imagem está contida no conjunto  $\{0, 1\}$ . Se  $X_A(x) = 1$  significa que  $x$  está contido em  $A$ , caso contrário,  $X_A(x) = 0$  significa que  $x$  não está contido em  $A$ . Dessa forma, uma função característica é responsável por descrever completamente o conjunto  $A$ , dado que tal função indica quais elementos do conjunto universo  $U$  são também elementos de  $A$  [7].

### 3.2 Subconjuntos Fuzzy

Um subconjunto *Fuzzy*  $F$  de um conjunto universo  $U$  é definido em termos de uma função de pertinência  $\varphi$  que a cada elemento  $x$  de  $U$  associa um número  $\varphi(x)$ , entre zero e o máximo grau de pertinência de  $x$  em  $F$ , neste caso é igual a 1. Com isso, a Definição 3.2.1 mostra como é possível indicar um conjunto *Fuzzy* de acordo com sua função de pertinência.

**Definição 3.2.1** Seja  $U$  um conjunto clássico. Um subconjunto *Fuzzy*  $A$  de  $U$  é caracterizado por uma função

$$\varphi_A : U \rightarrow [0, 1]$$

pré-fixada, denominada função de pertinência do subconjunto *Fuzzy*  $A$ .

Com isso, tem-se que o valor  $\varphi_A(x) \in [0, 1]$  associa qualquer elemento  $x \in U$  ao conjunto *Fuzzy*  $A$  com um determinado grau de pertinência. Se  $\varphi_A(x) = 0$ , isso significa que  $x$  não pertence ao conjunto *Fuzzy*  $A$ . Caso contrário, se  $\varphi_A(x) = 1$ , indica que  $x$  pertence completamente ao conjunto *Fuzzy*  $A$ .

Formalmente, é possível obter a definição de subconjunto *Fuzzy* ampliando o contra domínio da função característica, ou seja, o conjunto  $\{0, 1\}$ , para o intervalo  $[0, 1]$ . Com isso, tem-se que um conjunto clássico  $A$  de  $U$  é um caso particular do conjunto *Fuzzy*, para o qual a função de pertinência  $\varphi_A$  é sua função característica de  $A$ , isto é,

$$\varphi_A : U \rightarrow \{0, 1\}$$

Um subconjunto *Fuzzy*  $F$  é composto de elementos  $x$  de um conjunto clássico  $U$ , providos de um valor de pertinência a  $F$ , dado por  $\varphi_F(x)$ . Com isso, pode-se dizer que um subconjunto *Fuzzy*  $F$  de  $U$  é dado por um conjunto de pares ordenados:

$$F = \{(x, \varphi_F(x)), x \in U\}$$

O conjunto clássico de  $U$  definido por

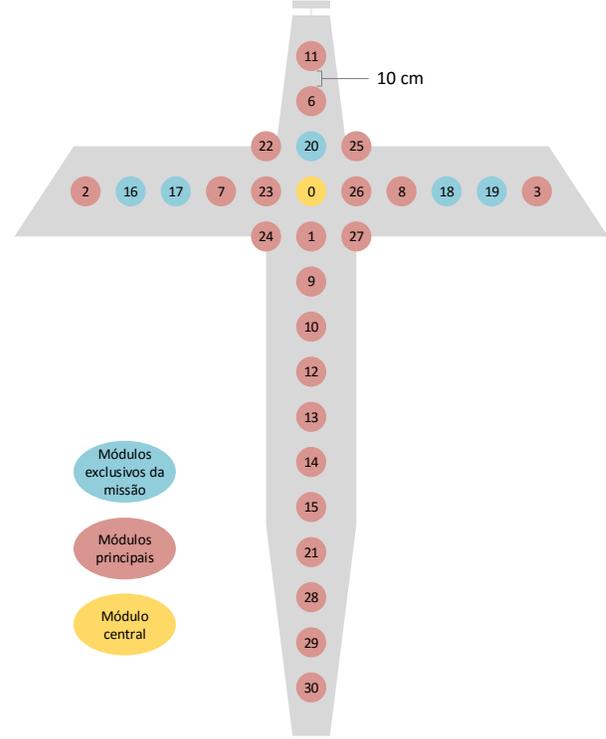
$$\text{supp}F = \{x \in U : \varphi_F(x) > 0\}$$

é denominado suporte de  $F$  e é muito importante no que tange a relação entre as teorias de conjuntos clássica e *Fuzzy*.

## 4. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA PROPOSTO

A Figura 1 mostra a disposição dos módulos internos em um VANT, ilustrando o cenário usado neste trabalho.

Para que se possa reduzir o consumo de energia de um módulo interno de um VANT, algumas variáveis devem ser monitoradas. De acordo com a criticidade da região onde



**Figure 1: Módulos dispostos no interior do VANT. O módulo central é o centralizador da comunicação; os módulos principais são aqueles obrigatórios para o funcionamento normal da aeronave; e os módulos exclusivos da missão são menos críticos e necessários apenas para a missão, ou seja, em caso de falhas destes módulos não haverá risco para a integridade da aeronave.**

a missão está sendo executada, a importância no módulo no contexto do VANT e o nível de economia que se deseja obter, será possível encontrar um valor recomendável para os módulos operantes. Quando possível, módulos que não estão em uso ou que estão sendo usados com pouca frequência, podem ser temporariamente desligados.

Para avaliar como é possível economizar energia nos nós dos VANTs usando lógica *Fuzzy*, algumas variáveis de entrada foram definidas:

1. **Nível de Economia de Energia (*EcoEne*)**. Trata-se da variável destinada a determinar o quanto de energia deseja-se economizar;
2. **Criticidade da Região Geográfica (*CriGeo*)**. Determina se a região de execução da missão é considerada crítica ou não (por exemplo, se a região apresenta a existência de pessoas, o cenário é considerado crítico);
3. **Sensibilidade da Informação da Missão (*SenInfo*)**. Define o quão sensível é a informação coletada, isto é,

se a operação envolve dados confidenciais e que, portanto, não devem ser acessados por pessoas não autorizadas, esta variável determinará que um cuidado maior deve ser dedicado a estas informações.

Essas variáveis são importantes para analisar quais nós internos do VANT podem ser desligados e assim economizar energia. Como saída do sistema *Fuzzy*, a variável Nó Ativo (*NoA*) foi determinada, a qual indicará quais módulos devem ser ativados: todos, apenas os nós de missão ou somente os nós principais.

## 5. DESCRIÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DO PROBLEMA

Nesta seção serão mostrados alguns detalhes com relação à implementação do problema, tais como: variáveis linguísticas, curvas e valores crisp utilizados.

### 5.1 Definição das variáveis linguísticas – Fuzzificação

Como discutido na seção anterior, existem três variáveis linguísticas que serão abordadas neste trabalho: Nível de Economia de Energia (*EcoEne*), Criticidade da Região Geográfica (*CriGeo*) e Sensibilidade da Informação da Missão (*SenInfo*).

Para a variável linguística *EcoEne*, foram adotados os seguintes termos linguísticos: “baixo”, “médio” e “alto”. Com isso, foram definidas as fronteiras às quais os termos definidos pertencem: um valor considerado baixo aparece na faixa entre 0 e 4, um valor médio seria entre 3 e 7, e um valor alto aparece no intervalo entre 6 e 10. Tendo em vista estes valores, pode-se expressar a descrição das funções de pertinência, como mostra a Figura 2.

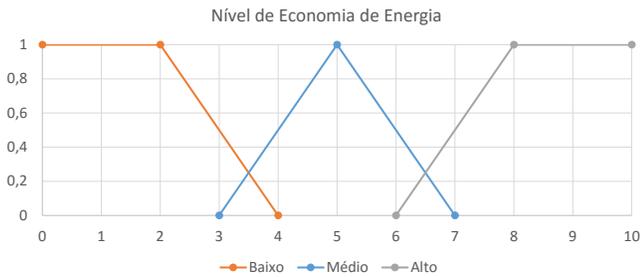


Figure 2: Funções utilizadas para a variável linguística *EcoEne*.

Na Figura 2 é possível notar a existência de duas funções trapezoidais e uma triangular. Isso foi definido pelo fato de representarem melhor a realidade. Dessa forma, um valor que está na faixa “baixo” tem seu grau de pertinência a esse termo entre 0 e 4. Após isso, entre 3 e 7, o número começa a deixar de ser “baixo” e começa a ter a pertinência ao termo “médio” aumentada. Assim, existem regiões de transição de estado do valor.

Da mesma forma em que a variável *EcoEne* foi criada, a variável *CriGeo* teve termos adotados: “baixo”, “médio” e “alto”. Os intervalos foram assim definidos: “baixo” de 0 a 4, “normal” de 3 a 7 e “alto” de 6 a 10. A partir desses dados, pode-se gerar um gráfico que mostra as definições realizadas. A Figura 3 ilustra essas definições.

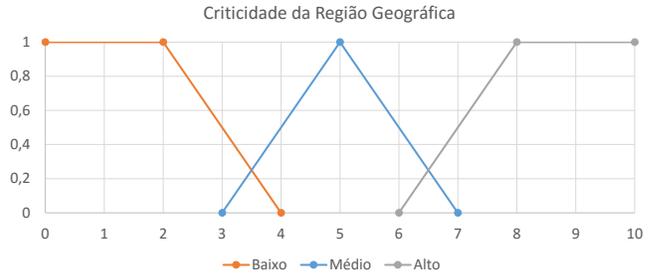


Figure 3: Funções utilizadas para a variável linguística *CriGeo*.

A terceira variável linguística definida foi *SenInfo*. Para esta variável foram atribuídos os seguintes termos: “baixo”, “normal” e “alto”. A “nota” atribuída a essa situação varia na faixa de 0 a 10. Assim, uma decisão ficou categorizada da seguinte maneira: “baixo” se enquadra na faixa de 0 a 4, “médio” de 3 a 7, e “alto” de 6 a 10. O gráfico que representa essa variável é mostrado na Figura 4.

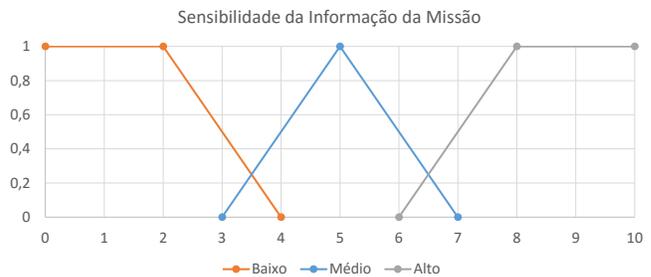


Figure 4: Funções utilizadas para a variável linguística *SenInfo*.

Por fim, foi definida a variável linguística de saída Nó Ativo (*NoA*). Ela ficou assim categorizada: “todos” em um intervalo de 0 a 100, “principais” de 51 a 100 e “missão” de 0 a 50. O gráfico representando esses intervalos aparece na Figura 5.

Sendo assim, todas as variáveis de entrada e saída tiveram seus conjuntos *Fuzzy* definidos com seus respectivos graus de

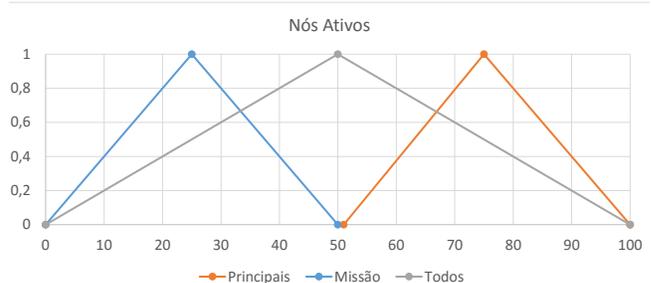


Figure 5: Funções utilizadas para a variável linguística de saída *NoA*.

pertinência.

## 5.2 Definição das regras – Inferência

Nesta seção, serão apresentadas as regras de inferência definidas para o problema proposto. Uma inferência em lógica Uma maneira simples de conceituar inferência em lógica *Fuzzy* é a aplicação de uma regra do tipo: *SEX, ENTAOY*; desde que as variáveis analisadas, *X* e *Y* neste caso, sejam noções difusas. Sendo assim, algumas regras foram definidas para que fosse aplicado o sistema *Fuzzy* e podem ser visualizadas na Lista 1.

Lista 1: Regras de inferência.

REGRA 1:	IF EcoEne IS baixo AND CriGeo IS baixo AND SenInfo IS baixo THEN NoA IS Todos;
REGRA 2:	IF EcoEne IS baixo AND CriGeo IS alto AND SenInfo IS baixo THEN NoA IS Todos;
REGRA 3:	IF EcoEne IS alto AND CriGeo IS alto AND SenInfo IS medio THEN NoA IS Principais;
REGRA 4:	IF EcoEne IS alto AND CriGeo IS baixo AND SenInfo IS alto THEN NoA IS Principais;
REGRA 5:	IF EcoEne IS alto AND CriGeo IS baixo AND SenInfo IS baixo THEN NoA IS Missao;

Para os operadores *AND* e *OR* foram atribuídas as funções  $\min(A, B)$  e  $\max(A, B)$ , respectivamente, que são exemplos de operadores *T – normas* e *T – conormas* que generalizam os operadores *AND* e *OR* (para a abordagem *Fuzzy*). A primeira função,  $\min(A, B)$ , retorna *A* se  $A \leq B$ , caso contrário retorna *B*. Já a função  $\max(A, B)$  retorna *A* se  $A \geq B$ , caso contrário retorna *B* [5].

Uma vez definidos os conjuntos de pertinência e as regras, o sistema usando lógica *Fuzzy* já pode ser implementado utilizando uma linguagem qualquer e uma API (*Application Programming Interface*) especialista que será responsável pela fuzzificação e defuzzificação. A API receberá as regras e os conjuntos *Fuzzy* como parâmetros além das variáveis de entrada, de forma que gere a variável de saída *NoA*. Existem diversas APIs disponíveis para executar a tarefa, sendo a *JFuzzyLogic* a utilizada nesse trabalho.

## 5.3 Avaliação da saída do sistema – Defuzzificação

Essa é uma fase importante da lógica *Fuzzy*. O defuzzificador analisa as diversas respostas fornecidas pelas regras lógicas e atribui à saída um número. Esse número é que dirá o que é mais pertinente de fazer: “diminuir”, “manter” ou “aumentar” a quantidade de servidores e com que grau. Essa ponderação de respostas pode ser realizada por diversos métodos [10].

Os métodos mais comuns usados na defuzzificação do sistema são: Centróide, Primeiro do Máximo e Centro do Máximo. Existem outros métodos para defuzzificação, porém, os métodos citados acima são os mais utilizados. Nesse trabalho, foi usado o método do centróide.

Para o cálculo do método do Centróide é necessário encontrar o Baricentro (ou Centróide) da figura formada pela composição dos gráficos das variáveis utilizadas. Com isso, para encontrar o valor do Centróide de uma figura plana

composta por formas geométricas básicas (por exemplo: triângulo e retângulo), deve-se encontrar a área da figura e seu respectivo baricentro dividindo a figura em formas conhecidas, tais como as citadas anteriormente.

Área de um retângulo ( $A_{ret} = B * H$ ) e Área de um triângulo ( $A_{tri} = (B * H)/2$ ), onde *B* é a base da forma e *H* é a altura. Baricentro de um retângulo ( $Bar_{ret} = (B/2; H/2)$ ) e Baricentro de um triângulo ( $Bar_{tri} = (B/3; H/3)$ ).

Em seguida, deve ser calculada cada uma das componentes do Baricentro, sendo:  $Y_G$  a coordenada *y* e  $X_G$  a coordenada *x*. Para isso, utilizam-se as seguintes equações:

$$X_G = \frac{\sum_{i=1}^N x_i A_i}{\sum_{i=1}^N A_i}$$

$$Y_G = \frac{\sum_{i=1}^N y_i A_i}{\sum_{i=1}^N A_i}$$

O valor de  $X_G$  é, portanto, o valor encontrado para variável de saída analisada.

## 5.4 Implementação usando JFuzzyLogic

O Controlador de Lógica *Fuzzy* (FCL) [1] é um modelo de sistema baseado em regras adequado para aplicações de engenharia em que as estratégias de controle clássicas não alcançam bons resultados ou quando é difícil obter um modelo matemático. A organização IEC (*International Electrotechnical Commission*) publicou um padrão para a programação de Controle *Fuzzy* na seção 7 da norma IEC 61131 para oferecer um entendimento comum para integração de aplicações utilizando Lógica *Fuzzy* em sistemas de controle. A biblioteca *jFuzzyLogic* oferece uma implementação completa de um Sistema de Inferência *Fuzzy* (FIS), uma Interface de Programação (API) e um *plug-in* para o ambiente de desenvolvimento (IDE) Eclipse na linguagem Java.

O atual trabalho foi implementado em Java e usando essa biblioteca disponível, onde o principal módulo é o FB (*Function Block*), que pode ter múltiplas variáveis de entrada e saída, ter variáveis locais e ser acionada por um sinal externo.

A Lista 2 exhibe o programa implementado em Java e a Lista 3 exhibe o *Function Block* utilizado nesse estudo de caso.

Lista 2: Programa Java desenvolvido usando a biblioteca JFuzzyLogic

```

1.     public class Vants {
2.     public static void main(String[] args) throws Exception {
3.     String filename = "vants.fcl";
4.     FIS fis = FIS.load(filename, true);
5.
6.     if (fis == null) {
7.     System.err.println("Can't load file: " + filename + ".");
8.     System.exit(1); }
9.
10.    // Get default function block
11.    FunctionBlock fb = fis.getFunctionBlock(null);
12.
13.    // Set inputs
14.    fb.setVariable("EcoEne", 8);
15.    fb.setVariable("CriGeo", 7);
16.    fb.setVariable("SenInfo", 5);
17.
18.    // Evaluate
19.    fb.evaluate();
20.
21.    // Show output variable's chart
22.    fb.getVariable("NoA").defuzzify();
23.
24.    // Print ruleSet
25.    System.out.println(fb);
26.    System.out.println("NosAtivos: " +
27.    fb.getVariable("NoA").getValue());
28.    }
29.    }

```

### Lista 3: Function Block desenvolvida para solucionar o problema

```

1. FUNCTION_BLOCK vants
2. VAR_INPUT
  a. EcoEne : REAL;
  b. CriGeo : REAL;
  c. SenInfo : REAL;
  d. END_VAR
3.
4. VAR_OUTPUT
  a. NoA : REAL;
  d. END_VAR
5.
6. FUZZIFY EcoEne
  a. TERM baixo := (0, 1) (2,1) (4,0);
  b. TERM medio := (3, 0) (5,1) (7,0);
  c. TERM alto := (6, 0) (8, 1) (10, 1);
  d. END_FUZZIFY
7.
8. FUZZIFY CriGeo
  a. TERM baixo := (0, 1) (2,1) (4,0);
  b. TERM medio := (3, 0) (5,1) (7,0);
  c. TERM alto := (6, 0) (8, 1) (10, 1);
  d. END_FUZZIFY
9.
10. FUZZIFY SenInfo
  a. TERM baixo := (0, 1) (2,1) (4,0);
  b. TERM medio := (3, 0) (5,1) (7,0);
  c. TERM alto := (6, 0) (8, 1) (10, 1);
  d. END_FUZZIFY
11.
12. DEFUZZIFY NoA
  a. TERM Missao := (0,0) (25,1) (50,0);
  b. TERM Principais := (51,0) (75,1) (100,0);
  c. TERM Todos := (0,0) (50,1) (100,1);
  d. METHOD : COG;
  e. DEFAULT := 0;
  f. END_DEFUZZIFY
13.
14. RULEBLOCK No1
  a. AND : MIN;
  b. ACT : MIN;
  c. ACCU : MAX;
15.
16. RULE 1: IF EcoEne IS baixo AND
  CriGeo IS baixo AND SenInfo IS baixo THEN NoA IS Todos;
17.
18. RULE 2: IF EcoEne IS baixo AND
  CriGeo IS alto AND SenInfo IS baixo THEN NoA IS Todos;
19.
20. RULE 3: IF EcoEne IS alto AND
  CriGeo IS alto AND SenInfo IS medio THEN NoA IS Principais;
21.
22. RULE 4: IF EcoEne IS alto AND
  CriGeo IS baixo AND SenInfo IS alto THEN NoA IS Principais;
23.
24. RULE 5: IF EcoEne IS alto AND
  CriGeo IS baixo AND SenInfo IS baixo THEN NoA IS Missao;
25.
26. END_RULEBLOCK
27.
28. END_FUNCTION_BLOCK

```

Percebe-se que na Lista 2, linhas 11, 12 e 13, valores aleatórios foram atribuídos às variáveis *EcoEne* (valor 8 – considerado nível de economia alta de acordo com a Figura 2), *CriGeo* (valor 7 – nível de criticidade alto – ver Figura 3) e *SenInfo* (valor 5 – sensibilidade media da informação, possível de ver a Figura 4). Após a execução das listas acima, o resultado dado pelo sistema *Fuzzy* para o valor do bari-centro foi: 75.38888888888901. Logo, se esse valor for visualizado no gráfico final da variável linguística *NoA* (Figura 5), percebe-se que se trata de um valor que pertence tanto à categoria “Principais” como à categoria “Todos”. Logo, no exemplo dado e com esses valores nas variáveis de entrada, todos os nós poderiam ser ligados (“todos”) mas se isso não for possível e/ou se necessita realmente economizar energia, ligam-se apenas os nós principais (“principais”).

Pode-se executar o algoritmo acima quantas vezes forem necessárias onde, a partir das variáveis de entrada, o sistema *Fuzzy* indicará qual a melhor maneira de gerenciar os nós dos VANTs a serem acionados: se todos, apenas os nós principais ou apenas os nós de missão.

## 6. CONCLUSÕES

O principal objetivo deste trabalho foi a aplicação de Lógica *Fuzzy* no gerenciamento de energia em uso por módulos internos em VANTs, com o intuito de otimizar o consumo do recurso.

Primeiramente foram definidos módulos genéricos internos de um avião, os quais podem ser classificados como exclusivamente de missão ou exclusivamente de operação da aeronave. O VANT também tem consciência da região sobrevoada para realização de uma missão e a sua criticidade. E, além disso, ainda existem dados referentes à criticidade das informações manipuladas pela missão.

O objetivo deste trabalho foi determinar quando um módulo interno do VANT pode ser desligado a fim de economizar energia. Esta decisão baseia-se nas informações supracitadas sobre criticidade da região geográfica, criticidade das informações manipuladas e categoria do módulo. Também é possível definir uma escala de economia desejada, a qual seria definida por um operador humano, entretanto respeitada apenas caso as circunstâncias não levem o sistema ao risco de problemas de segurança (*safety* e *security*).

Após definido o problema onde se pode utilizar lógica *Fuzzy*, foi necessário passar pelas etapas de Fuzzificação, Inferência e Defuzzificação. Conforme a quantidade de variáveis linguísticas foi aumentada, a complexidade do problema também cresceu, pois são necessárias regras mais complexas para que o sistema possa gerar uma saída de acordo com o que se deseja.

Dessa maneira, implementou-se um exemplo de aplicação, onde, sob determinadas condições, foram avaliados quais os módulos de um VANT poderiam ser mantidos em operação e quais poderiam ser desativados temporariamente, economizando energia. O algoritmo desenvolvido pode ser utilizado quantas vezes forem necessárias. *Fuzzy* é uma lógica de aproximação e que atualmente é muito utilizada para resolver problemas de cunho real.

## 7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Ciência sem Fronteiras – CNPq e FAPESP pelas bolsas concedidas.

## 8. REFERENCES

- [1] P. Cingolani and J. Alcalá-Fdez. JFuzzyLogic: A robust and flexible Fuzzy-Logic inference system language implementation. *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, pages 10–15, 2012.
- [2] T. E. Coelho, R. Macedo, P. Carvalhal, J. A. Afonso, L. F. Silva, H. Almeida, M. J. Ferreira, and C. Santos. A Fly-By-Wireless UAV Platform Based on a Flexible and Distributed System Architecture. In *2006 IEEE International Conference on Industrial Technology*, pages 2359–2364. IEEE, 2006.
- [3] O. Elgezabal Gomez. Fly-by-wireless: Benefits, risks and technical challenges. In *CANEUS Fly by Wireless Workshop 2010*, pages 14–15. IEEE, aug 2010.
- [4] P. Fahlstrom and T. Gleason. *Introduction to UAV Systems*. Aerospace Series. Wiley, 2012.
- [5] G. P. Farias, G. P. Dimuro, and A. C. R. Costa. Aplicação de agentes BDI com percepção fuzzy em um modelo presa-predador fuzzy. *Revista de Informática Teórica e Aplicada*, 17(3):299–324, 2011.
- [6] V. Januzaj, S. Kugele, B. Langer, C. Schallhart, and H. Veith. New Challenges in the Development of Critical Embedded Systems—An “aeromotive” Perspective. In T. Margaria and B. Steffen, editors, *Leveraging Applications of Formal Methods, Verification, and Validation*, volume 6415 of *Lecture*

- Notes in Computer Science*, pages 1–2. Springer Berlin / Heidelberg, 2010.
- [7] L. Martins and G. Pereira. Utilizando Lógica Fuzzy para Avaliar a Qualidade de uma Compra Via Internet. 2011.
- [8] A. Mifdaoui and T. Gayraud. Fly-By-Wireless for next generation aircraft: Challenges and potential solutions. In *2012 IFIP Wireless Days*, pages 1–8. IEEE, nov 2012.
- [9] A. Molla, V. Cooper, B. Corbitt, H. Deng, K. Peszynski, S. Pittayachawan, and S. Y. Teoh. E-Readiness to G-Readiness: Developing a Green Information Technology Readiness Framework. *19th Australasian Conference on Information Systems*, pages 669–678, 2008.
- [10] Mudanças Abruptas. Lógica Nebulosa e Negócios, 2015.
- [11] D. F. Pigatto, J. Smith, K. R. Lucas, and J. C. Branco. Sphere: A novel platform for increasing safety & security on Unmanned Systems. In *2015 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, pages 1059–1066. IEEE, jun 2015.
- [12] A. C. Salles, A. P. Alves, D. B. Dolci, and G. L. Lunardi. Adoção de Práticas de TI Verde nas Organizações: Um Estudo Baseado em Mini Casos. *EnADI*, pages 1–16, 2013.
- [13] S. Seidel and J. Recker. Green Business Process Management and a Call for Action. *Business and Information Systems Engineering*, 3:245–252, 2011.
- [14] G. Studor. "Fly-by-Wireless": A Revolution in Aerospace Vehicle Architecture for Instrumentation and Control. jan 2007.
- [15] L. A. Zadeh. Fuzzy Sets. *Information and Control*, 3(1):338–353, 1965.