ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS

Cap Com LEONARDO FERNANDO CANELOSSI ROSA

A VIABILIDADE DO EMPREGO DE SISTEMA ESPECIALISTA NA ANÁLISE DE GUERRA ELETRÔNICA APLICADA NAS OPERAÇÕES MILITARES

Rio de Janeiro

2009

Cap COM LEONARDO FERNANDO CANELOSSI ROSA

A VIABILIDADE DO EMPREGO DE SISTEMA ESPECIALISTA NA ANÁLISE DE GUERRA ELETRÔNICA APLICADA NAS OPERAÇÕES MILITARES

Trabalho apresentado à Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre Profissional em Operações Militares.

Orientador: Cap Com ALEXANDRE SANTANA MOREIRA

Rio de Janeiro

2009

Cap Com LEONARDO FERNANDO CANELOSSI ROSA

A VIABILIDADE DO EMPREGO DE SISTEMA ESPECIALISTA NA ANÁLISE DE GUERRA ELETRÔNICA APLICADA NAS OPERAÇÕES MILITARES

Trabalho apresentado à Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre Profissional em Operações Militares.

Aprovado em: _____.

Banca Examinadora

_____
MANOEL MÁRCIO GASTÃO – Cel R1 – Presidente
Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais

_____
JORGE LUIZ DOMINGOS FERREIRA – Maj – 1º Membro
Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais

_____
ALEXANDRE SANTANA MOREIRA – Cap – 2º Membro
Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais

À minha esposa e filhas, Thaís, Larissa e Bruna, uma homenagem pela confiança em mim depositada nos momentos de maior incerteza.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde, graça e disposição que Ele me tem proporcionado para consecução dos meus objetivos, além de minha eterna gratidão pelos maiores bens que me deu, minha esposa e minhas filhas.

Aos meus pais Walteir Rosa Sobrinho e Luzia Canelossi Rosa Sobrinho, pelo amor, educação, pelas inúmeras horas que velaram meu sono, e pelas palavras de incentivo a cada tropeço de minha jornada, minha gratidão.

Aos meus sogros Jurandir Cordeiro Vaz e Josefa Alves Ferreira Vaz, pelas palavras amorosas, pelos incentivos, colaborações e apoios, meus sinceros reconhecimentos.

A minha esposa, Thaís e minhas filhas, Larissa e Bruna pela compreensão, dedicação, apoio, incentivo e companheirismo nos momentos em que este trabalho foi priorizado.

Ao meu Orientador, Capitão Alexandre Santana Moreira, meus sinceros agradecimentos pela orientação firme e objetiva na realização deste trabalho.

E a todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram para a consecução desta pesquisa.

RESUMO

A utilização da Inteligência Artificial permite obter ganhos significativos de performance na resolução de problemas. Cada vez mais presente, a inteligência artificial simula o pensamento humano e se alastra pelo cotidiano. O combate moderno produz uma vasta quantidade de informações, tornando ainda mais complexa atividade de análise de Guerra Eletrônica (GE), o que exige grande habilidade e perspicácia do analista para a produção de conhecimento sobre os alvos eletrônicos do oponente. Neste sentido, o presente trabalho tem por objetivo verificar a viabilidade e operacionalização do emprego de um sistema especialista como ferramenta de apoio ao analista de GE. Para tal, foi realizada uma pesquisa bibliográfica que abordou as principais características da análise de GE e da inteligência artificial, cuja integração orientou que a resolução de problemas específicos de análise de um cenário de GE pode ser obtida pelo uso de sistema especialista calcado na lógica difusa, devido às grandes incertezas do combate. Pretendeu-se também verificar se a criação de um sistema especialista poderá aperfeiçoar a produção do conhecimento elaborado pelo Analista de GE, com a finalidade de gerar conhecimento sobre o oponente de maneira confiável e oportuna. A pesquisa apresentou a tendência da análise de GE ser realizada com o apoio de ferramentas inteligentes, sendo o emprego do sistema especialista o mais viável, pois traz como benefícios evidentes a rapidez no processamento dos dados obtidos pelos sensores de GE, aumenta a confiabilidade no conhecimento gerado pelo analista, além de assegurar um método científico na abordagem do cenário de GE. Concluiu-se também que para o aperfeiçoamento do processo de análise, é necessário o desenvolvimento do sistema especialista, ou seja, do motor de inferência e de heurísticas de GE, cuja elaboração pelos analistas de GE mais experientes, constituem a base de conhecimento do sistema especialista. Recomenda-se também o mapeamento do processo de análise de GE, a fim de assegurar um método científico em sua abordagem.

Palavras-chave: Guerra Eletrônica. Inteligência Artificial. Sistema Especialista.

ABSTRACT

The use of artificial intelligence enables significant gains in performance of troubleshooting. Increasingly, Artificial Intelligence replicates human thinking and becoming more and more present in everyday life. Modern combat produces a vast amount of information, making the activity of electronic warfare (EW) analysis even more complex, which requires great skill and wit of the analyst for the production of knowledge about the opponent's electronic targets. Thus, this work is to check the viability and operation of the employment of an expert system as a tool of EW analyst support. To this end, a bibliographic search was carried out addressing the main features of EW analysis and artificial intelligence, whose integration has shown that the specific troubleshooting of analysis in EW scenario can be obtained by using expert system based on fuzzy logic, due to significant uncertainties. It also aimed at verifying whether the creation of an expert system can improve the production of knowledge produced by EW analyst with the purpose of generating reliable and timely knowledge about the opposing party. The survey presented EW analysis trends with smart tools support, and the use of the most viable expert system, because it brings obvious benefits to the speed in processing the data obtained by EW sensors, improves reliability in knowledge generated by the analyst, as well as to ensure a scientific method in EW scenario approach. It also concluded for the analysis process improvement, it is necessary expert system development, i.e. inference engine and heuristics for EW, whose preparation by experienced EW analysts forms the basis of expert system knowledge. It also advises the mapping of EW analysis processes, in order to ensure a scientific method in the approach.
Keywords**:** Electronic Warfare. Artificial Intelligence. Expert System.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A Op	Área de Operações
Anl	Análise
Anl Tec	Análise Técnica
Aqs	Aquisição
BD Ref	Banco de dados de Referência
BD Sin	Banco de dados do Sinal
C^2	Comando e Controle
C^2 Cmb	Comando e Controle em Combate
C^2 GE	Comando e Controle na Guerra Eletrônica
Com	Comunicação
DART	Ferramenta de Análise e Replanejamento Dinâmico
EW	*Electronic Warfare* “Guerra Eletrônica”
Freq	Freqüência
GE	Guerra Eletrônica
IA	Inteligência Artificial
Infe	Informe
Intlg Sin	Inteligência do Sinal
Loc Elt	Localização Eletrônia
LP/LC	Linha de Partida / Linha de Controle
MAE	Medidas de Ataque Eletrônico
MAGE	Medidas de Apoio de Guerra Eletrônica
Msg	Mensagem
MPE	Medidas de Proteção Eletrônica
NCom	Não-Comunicações
OODA	Observar, Orientar, Decidir e Avaliar
PB	Pedido de Busca
SEC^2Ex	Sistema Estratégico de Comando e Controle do Exército
SEGE	Sistema Estratégico de Guerra Eletrônica
SIGELEX	Sistema de Guerra Eletrônica do Exército
Sis Op C^2	Sistema Operacional Comando e Controle
STGE	Sistema Tático de Guerra Eletrônica

SUMÁRIO

1 **INTRODUÇÃO** 9
2 **METODOLOGIA** 11
3 **RESULTADOS** 14
3.1 A ANÁLISE DE GUERRA ELETRÔNICA 14
3.1.1 **Generalidades** 14
3.1.2 **Conceito de análise de Guerra Eletrônica** 15
3.1.3 **Fontes de dados para auxiliar a análise de GE** 16
3.1.4 **Classificação da análise de GE quanto ao tempo disponível** 16
3.1.4.1 Análise imediata 17
3.1.4.2 Análise corrente 17
3.1.4.3 Análise de longo prazo 17
3.1.5 **Ramos da Análise de GE** 17
3.1.5.1 Análise de Mensagem 18
3.1.5.2 Análise de Tráfego 18
3.1.5.3 Análise de Localização Eletrônica 19
3.1.5.4 Análise Técnica 19
3.1.5.5 Análise Final 19
3.1.6 **Formalização e Difusão** 20
3.1.7 **Metodologia de Análise de GE** 20
3.1.8 **O produto da análise de GE** 21
3.2 A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL 21
3.2.1 **Conceito** 21
3.2.2 **Generalidades** 21
3.2.3 **Lógica Fuzzy** 22
3.2.4 **O emprego da IA no processo de Tomada de Decisão** 24
3.2.5 **Aplicações práticas de técnicas de Inteligência Artificial** 25
3.2.6 **Sistema Especialista** 26
3.2.6.1 Tipos de problemas solucionados por sistemas especialistas 27
3.2.6.2 Sistemas especialistas versus sistemas de solução de problemas 27
3.2.7 **Heurísticas** 28
4 **DISCUSSÃO** 29
4.1 A INTEGRAÇÃO ENTRE A ANÁLISE DE GE E A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL 29
4.1.1 **A contribuição da IA nos trabalhos do analista de GE** 29

4.1.2 **Usuários envolvidos com sistemas especialistas** 31
4.1.3 **Heurísticas básicas da análise de GE de Comunicações**.....31
4.1.4 **Tendências**.....32
4.1.5 **Outras aplicações da Lógica Difusa nas Operações Militares**.....32
4.1.5.1 Grau de destruição de um objetivo, em função do propósito 33
4.1.5.2 Determinação do poder de fogo inimigo.....33
4.1.5.3 Análise do sistema de defesa aérea inimigo 33
4.1.5.4 Cálculo do alcance e da aplicação dos radares inimigos 33
4.1.5.5 Análise de tráfego de comunicações.....34
5 **CONCLUSÕES**.....34
REFERÊNCIAS.....36

1 **INTRODUÇÃO**

As Operações Militares compreendem um complexo de atividades que exige uma elevada capacidade de planejamento, comando, controle e coordenação de emprego das forças terrestre, aérea e naval. Essas características levam à necessidade de um sistema de comunicações confiável, de grande capacidade de tráfego, muito flexível, permitindo transmissão de mensagens em tempo real e que ofereça segurança face às atividades de Guerra Eletrônica do oponente [1].

O Comando e Controle (C^2) caracterizam-se pelo exercício da autoridade e da direção que um comandante tem sobre as forças sob seu comando para o cumprimento da missão designada. O Sistema Operacional Comando e Controle dependem da eficácia das Comunicações, o que o torna alvo primordial do esforço de busca do inimigo para obtenção de informações através das Medidas de Apoio de Guerra Eletrônica, a qual compreende as ações de Aquisição (Busca, Interceptação, Monitoração e Registro), Localização Eletrônica e Análise (escopo desta pesquisa) e, nos momentos críticos das operações, das Medidas de Ataque Eletrônico, a qual compreende no Campo das Comunicações as ações de Interferência e Dissimulação Eletrônica (Manipulativa ou Imitativa) [1, 2, 3, 4].

O ambiente de guerra moderno produz uma vasta quantidade de informações obtidas pelos sensores, que devem ser processadas de maneira inteligente, para que o Comandante de determinada Área de Operações gaste suas energias no planejamento e na execução somente com as informações que realmente interessam, ou seja, com informações corretas, seguras e oportunas, as quais lhe proporcionarão maior agilidade no ciclo de tomada de decisão e, por conseguinte, agir de maneira apropriada nos atuadores (sistemas de armas, por exemplo). Sendo a essência do $C^{2,}$ a tomada da decisão, cabe ressaltar que, atualmente, o modelo utilizado baseia-se no círculo OODA (Observar, Orientar, Decidir e Agir) e não mais no modelo clássico de um processo de tomada de decisões apresentado no C 11-1: Emprego das Comunicações [3, 5, 6].

Não existe ainda um *framework* (estrutura sistêmica) definido para análise de GE, como o que existe, por exemplo, para a análise dos fatores da decisão (missão, inimigo, terreno e condições meteorológicas, meios e tempo) ou dos fatores de análise do inimigo (Dispositivo – Composição – Valor - Atividades importantes, recentes e atuais - Peculiaridades e deficiências). Independente de quem os analisa,

existe um método para os trabalhos a serem realizados quanto aos fatores da decisão ou sobre os fatores de análise do inimigo. Já para um dado cenário de GE, o trabalho do analista está fundamentado em seu próprio julgamento, não existindo, pois, um método sistêmico que o oriente em sua importantíssima tarefa. A situação atual do cenário de Guerra Eletrônica, o conhecimento da Doutrina de Emprego do oponente (Operações), juntamente com o conhecimento geral sobre o oponente e o específico de Guerra Eletrônica do analista constitui as peças que o auxiliarão no processo de análise [2, 6, 7].

Como auxiliar o analista de GE, a fim de otimizar seu tempo de resposta, qualificando melhor o conhecimento gerado? Este trabalho buscou analisar o emprego da Inteligência Artificial como ferramenta na análise de Guerra Eletrônica aplicado nas Operações Militares, através da criação de um sistema especialista, buscando mostrar a evidente importância e a excelente contribuição que a inteligência artificial pode proporcionar à Guerra Eletrônica na resolução de problemas específicos de análise. Este trabalho não abordou questões relativas às técnicas para criação do sistema especialista, nem às relativas ao *framework* de análise e nem da elaboração das heurísticas de GE e de seus respectivos graus de pertinência. E não se pretendeu, jamais, substituir o trabalho do analista de GE, mas elaborar uma ferramenta que possa auxiliá-lo em seu árduo trabalho, uma vez que o seu assessoramento, certamente, irá influenciar a tomada de decisão de seu Comandante operacional [2, 8, 9].

O sistema especialista fundamentado na lógica Fuzzy para a definição do grau de pertinência das heurísticas de GE reduz ou limita a busca por soluções em domínios, que são difíceis e pouco compreendidos, e talvez não produza resultados fiéis, porém ele é capaz de produzir resultados aceitáveis dentro do contexto existente [8, 9].

Há exemplos na literatura de ferramentas de inteligência artificial aplicada à análise desenvolvida pela Agência Americana de Projetos de Pesquisas em Defesa Avançada (*DARPA*). O sistema especialista *DART – Dynamic Analisys and Replanning Tool* (Ferramenta Dinâmica de Análise e Replanejamento) foi empregado na 1ª Guerra do Golfo, realizando, além de muitas outras funções, o planejamento de transporte logístico, envolvendo em seus cálculos mais de cinqüenta mil variáveis. Este sistema foi capaz de apresentar resultados satisfatórios de planejamento em horas, o que por qualquer outro método levaria semanas. Esta

Agência declarou que compensou com folga os mais de 30 anos de investimentos em Inteligência Artificial para a resolução de problemas específicos. Esta aplicação possibilita vislumbrar a viabilidade dos sistemas especialistas também em outros sistemas operacionais do Exército Brasileiro [10].

Esta pesquisa se justifica pela escassez de trabalhos anteriores, comprovado pela pesquisa realizada na biblioteca desta Escola de Aperfeiçoamento e apresenta-se, pois, como uma área promissora e de vanguarda, capaz de revelar excelentes resultados para a análise de Guerra Eletrônica.

O presente estudo pretendeu integrar conceitos da área de inteligência artificial à análise de GE, a fim de verificar sua viabilidade, no intuito de aperfeiçoar os resultados obtidos pela análise de GE, principalmente no tocante ao tempo de resposta do analista de GE, visando agilizar o processamento de dados, aumentando o grau de confiabilidade do conhecimento gerado pelo analista. Este trabalho teve por objetivo analisar a viabilidade do emprego de um sistema especialista como ferramenta capaz de realizar análise de GE, resolvendo problemas específicos de Guerra Eletrônica.

A fim de viabilizar a consecução do objetivo geral de estudo, foram formulados objetivos específicos, de forma a concatenar, logicamente, o raciocínio descritivo apresentado, buscando descrever como se dá a análise de GE, descrever a inteligência artificial e sistemas especialistas, ambientar a respeito das heurísticas dos sistemas especialistas e qual tipo de lógica a ser empregada e verificar se este sistema especialista irá aperfeiçoar o processo de análise de GE.

2 **METODOLOGIA**

Por meio da técnica de pesquisa bibliográfica, do método de abordagem dedutivo e de uma pesquisa exploratória foram obtidos dados e informações necessárias para a execução da pesquisa.

Quanto à natureza, o presente estudo caracteriza-se por uma pesquisa qualitativa do tipo aplicada, pois tem um resultado visível que é gerar conhecimentos para uma aplicação prática dirigido à solução de problemas específicos, relacionada à integração da análise Guerra Eletrônica e da Inteligência Artificial. Valeu-se para tal do método dedutivo, responsável por esclarecer os procedimentos lógicos seguidos neste trabalho científico como forma de viabilizar a tomada de decisões

acerca do alcance da investigação, do escopo da análise de GE a ser modelado para o sistema especialista e do tipo de lógica a ser empregada na elaboração das heurísticas e de seu grau de pertinência.

Face ao objetivo geral proposto, depreende-se que se trata de uma pesquisa descritiva que, para sua consecução, contou com as técnicas de revisão bibliográfica e documental que teve por método a leitura exploratória e seletiva do material de pesquisa, bem como sua revisão integrativa, contribuindo para o processo de síntese e análise dos resultados de vários estudos, de forma a consubstanciar um corpo de leitura atualizado e compreensível. Tal fato permitiu a definição de termos, a coleta de dados e a estruturação de um modelo teórico de análise que possibilitou, por sua vez, a solução do problema proposto.

Na busca do embasamento científico necessário à definição de termos, redação do Referencial Teórico e estruturação de um modelo teórico, que constituísse no suporte necessário à descrição e análise das variáveis em questão, viabilizando a solução do problema de pesquisa, foi realizada uma revisão literária nos seguintes termos:

a. **Fontes de busca**

A seleção das fontes de pesquisa foi baseada em publicações de autores de reconhecida importância no meio acadêmico e militar, além dos artigos veiculados em periódicos indexados pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) para os assuntos de Inteligência Artificial; e em manuais do Exército Brasileiro e do periódico do Centro de Comunicações e Guerra Eletrônica, para os assuntos relativos à análise de GE.

A base de dados eletrônico da SciELO não foi incluída nas fontes de pesquisa para assuntos de Inteligência Artificial, pois os trabalhos pesquisados indexados pela CAPES foram suficientes para responder às questões formuladas relativas a este assunto.

Foi realizada pesquisa nas bases de dados eletrônico da EsAO e da ECEME, onde não foi encontrado nenhum trabalho publicado à respeito da integração entre a Inteligência Artificial e a análise de GE.

b. **Estratégia de busca para as bases de dados eletrônicas**

Durante as pesquisas nas bases de dados eletrônicos foram empregados os seguintes termos descritores: “análise guerra eletrônica inteligência artificial”,

“inteligência artificial análise guerra eletrônica”, “análise guerra eletrônica” e “inteligência artificial”, conforme as peculiaridades de cada base de dados.

Ao findar da busca eletrônica, as referências bibliográficas dos estudos considerados relevantes foram analisadas, a fim de localizar artigos não encontrados na referida pesquisa.

c.**Critérios de inclusão**

- Estudos publicados em português ou inglês.

- Estudos publicados de 1999 a 2009.

- Estudos qualitativos que descrevem a análise de GE.

- Estudos qualitativos que descrevem a Inteligência Artificial, particularmente no tocante aos sistemas especialistas.

- Estudos qualitativos que descrevem a integração entre análise de GE e Inteligência Artificial.

Não foi realizada pesquisa com questionário nem pré-teste do mesmo, pois este trabalho limitou-se a comprovar a viabilidade técnica do emprego de um sistema especialista na análise de GE, e mesmo sendo direcionada aos analistas de GE do Exército Brasileiro, ficariam restritas aos militares com conhecimento teórico/técnico em inteligência artificial, não contribuindo para o escopo desta pesquisa, nem mesmo reafirmando seus resultados.

O delineamento da pesquisa contemplou as fases de levantamento e seleção da bibliografia, coleta dos dados, crítica dos resultados, leitura analítica e fichamento das fontes, argumentação e discussão dos resultados [11].

Na seção Resultados foram abordadas as seguintes subseções: Análise de GE, onde se pretendeu apresentar a estrutura empregada no Exército Brasileiro; seguido da subseção Inteligência Artificial, onde foram apresentados conceitos gerais e os aplicáveis à análise de GE; Na seção Discussão e Conclusões, foi abordado a Integração entre a Análise de GE e a Inteligência Artificial, mostrando a viabilidade e as potencialidades desta integração.

Portanto, trata-se de uma pesquisa qualitativa, pois durante a pesquisa bibliográfica e documental, ocorreu a interpretação de fenômenos de forma descritiva (qualitativa).

Por fim, foi realizada uma integração entre a análise de GE e a Inteligência Artificial, verificando a viabilidade e a adequabilidade do emprego de um sistema

especialista na análise de GE, a fim de acelerar os trabalhos de análise de maneira prática e eficiente, com embasamento científico.

3 **RESULTADOS**

A seguir, serão abordados os principais conceitos relativos à análise de GE e à Inteligência Artificial aplicado nas Operações Militares, a fim de comprovar a viabilidade do emprego de um Sistema Especialista na análise de Guerra Eletrônica, visando aperfeiçoar o processo de análise, dando maior rapidez e confiabilidade na elaboração do conhecimento produzido pelo analista.

3.1 A ANÁLISE DE GUERRA ELETRÔNICA

3.1.1 **Generalidades**

A grande demanda e necessidade de informações, a fim de proporcionar consciência situacional ao comandante da operação têm caracterizado os conflitos modernos. Os comandantes necessitam de dados confiáveis sobre suas próprias forças e sobre o oponente. Os exércitos do século XXI vêm desenvolvendo e implementando complexos sistemas de Comando e Controle, capazes de lidar com um grande volume de dados em um espaço de tempo cada vez menor, a fim de agilizar o ciclo de tomada de decisão [6].

Sistemas de C^2 se utilizam de sistemas de comunicações para viabilizar a transmissão da informação. E, à medida que evoluem os sistemas de C^2, assim como a quantidade e nível de detalhes das informações que por ele trafegam, mais complexos e sofisticados tornam-se os Sistemas de Comunicações, exigindo características como mobilidade, confiabilidade, segurança, elevada capacidade de transmissão de dados, etc.

A GE insere-se nesse cenário como instrumento de apoio ao combate capaz de produzir conhecimentos sobre o oponente, tendo como fonte as irradiações eletromagnéticas geradas pelos seus Sistemas de Comunicações e por seus sensores. Neste contexto, a aplicação eficiente das Medidas de Apoio de Guerra Eletrônica contribuirá para a produção e utilização de conhecimentos precisos e

oportunos sobre o oponente, tornando mais ágil o ciclo de tomada de decisão dos comandantes em operações.

A aplicação das Medidas de Ataque Eletrônico visa impedir ou dificultar o uso eficiente e seguro do espectro eletromagnético por parte do oponente nas vertentes: C^2 (com ênfase para as comunicações) e sensores, competindo ainda, à GE, a aplicação das Medidas de Proteção Eletrônica (MPE), que objetivam assegurar a utilização eficiente do espectro eletromagnético, a despeito do emprego das MAGE e das MAE pelo oponente [2, 4].

O sinal eletromagnético adquirido, até se tornar um conhecimento claro, ou seja, após ser analisado, percorre algumas etapas: interceptação, momento em que ele passa a ser recebido; reconhecimento, a partir de dados técnicos básicos, como sendo um sinal de interesse; classificação, qualificando-o, conforme grupos de critérios, tipo de transmissão, rede, sistema, unidade e escalão de comando em que ele possivelmente se enquadra; e, por fim, identificação, individualizando o seu emissor operacional e taticamente [6].

Os dados obtidos pelas ações de aquisição e localização eletrônica apresentam os mais diversos parâmetros técnicos dos sinais, os procedimentos operacionais do oponente, conteúdo e localização no terreno de emissores eletromagnéticos. A ação de análise trabalha esses dados com o objetivo de transformá-los em conhecimentos úteis à tomada de decisões às ações em curso, fornecendo a informações táticas e técnicas para a força apoiada. A partir da análise, pode ainda ocorrer o redirecionamento das ações de GE apresentadas no planejamento inicial [2].

A análise em proveito da GE é realizada em curto prazo, respondendo de forma imediata às necessidades das operações. Sinais de interesse que carecem de um tratamento especial - mais técnico ou em maior prazo - devem ser encaminhados para a Inteligência do Sinal para uma análise mais profunda e detalhada [6].

3.1.2 **Conceito de análise de Guerra Eletrônica**

A análise GE é o processo de exame dos resultados obtidos pela aquisição e localização eletrônica com o objetivo de fornecer conhecimentos sobre alvos eletrônicos, necessários ao desenvolvimento imediato das operações de combate. O processo de Análise, eventualmente, pode ser realizado em proveito da Inteligência

do Sinal, atuando, portanto, no nível de comando estratégico-operacional para o Sistema Estratégico de Guerra Eletrônica (SEGE) [2].

A análise GE é uma das ações realizadas pelas MAGE. É uma metodologia que procura investigar, correlacionar e interpretar os resultados obtidos pela Aquisição (busca de interceptação, monitoração e registro) e pela Localização Eletrônica, cujo objetivo é a produção de conhecimento sobre os alvos eletrônicos [6].

O resultado final da aplicação dessa metodologia será um conhecimento de inteligência, produzido a partir da fonte de sinais, pelo analista de GE e dependerá do tempo disponível. Nesse contexto, verifica-se que o informe é o caso preponderante, particularmente no Sistema Tático de Guerra Eletrônica, que apóia o nível de comando tático [2, 4, 6].

3.1.3 **Fontes de dados para auxiliar a análise de GE**

O analista de GE pode ter como fonte de dados para realizar a análise de GE: um Banco de Dados do Sinal (BD Sin), Banco de Dados de Referência (BD Ref), a Diretriz de MAGE, o Relatório de MAGE, o Plano de MAE, o Relatório de MAE, o Histograma (ferramenta disponibilizada por equipamentos de GE), o Relatório do Sinal (Anl Tec), além do estudo na carta [6].

As emissões eletromagnéticas do oponente interceptadas pelas ações de Aquisição das Medidas de Apoio de Guerra Eletrônica são a principal fonte para o Analista de GE. Os recursos acima descritos são algumas ferramentas que dispõe o analista, a fim de auxiliá-lo na Análise [2, 6].

3.1.4 **Classificação da análise de GE quanto ao tempo disponível**

Em uma operação militar, o tempo disponível é um dos fatores que influenciam as decisões tomadas em campanha. Embora o fator tempo tenha estado sempre presente nos estudos de situação e nas considerações para a tomada de decisão, o advento de meios cada vez mais modernos de combate, com melhora sensível na mobilidade, rapidez e na aquisição das informações, potencializou a importância da oportunidade, com a finalidade de explorar ao máximo qualquer vulnerabilidade apresentada pelo oponente ou para garantir uma vantagem obtida.

Assim, é conveniente classificar a análise de GE quanto ao tempo disponível, em virtude do conhecimento decorrente da análise somente ser válido se tiver sido produzido em tempo útil. Para atender ao princípio da oportunidade, a análise de GE classifica-se em: Análise imediata, Análise corrente e Análise de longo prazo [6]. Pode-se entender esta classificação pela destinação do produto da análise de GE, seja para o nível de comando tático ou para o nível de comando estratégico.

3.1.4.1 Análise imediata

Realizada pelo operador, no primeiro contato com o sinal, avaliando-o no que se refere aos aspectos técnicos e de conteúdo. Deve fornecer uma resposta em curto espaço de tempo e apresentar suas conclusões imediatas sobre os dados verificados. É mais adequada para a seleção dos sinais interceptados que sejam de interesse. Tem a finalidade de agilizar a Análise corrente.

3.1.4.2 Análise corrente

Realizada pelos analistas de GE, visa à produção de conhecimento a fim de responder aos Pedidos de Busca (PB) oportunamente, de modo que o conhecimento produzido seja empregado em tempo hábil na tomada de decisões nas operações táticas correntes.

3.1.4.3 Análise de longo prazo

Realizada sem pressão do tempo, visa à produção de conhecimentos de interesse do Sistema de Inteligência do Exército e do Sistema de Guerra Eletrônica do Exército. Produz conhecimentos relativos ao *modus operandi* da força oponente.

3.1.5 **Ramos da Análise de GE**

O trabalho de análise de GE divide-se nos seguintes ramos: análise de mensagem (Anl Msg); análise de tráfego (Anl Trf); análise de localização eletrônica (Anl Loc Elt); análise técnica (Anl Tec); e análise final [6]. Estes 05 (cinco) ramos de

são interdependentes, uma vez que os resultados obtidos em um determinado ramo poderão auxiliar os trabalhos dos demais. É importante salientar que esta divisão visa facilitar o entendimento, ou seja, é apenas didática. Logo, um único analista pode executar mais de um ramo de análise.

3.1.5.1 Análise de Mensagem

É o método de investigação, voltado para o processamento das mensagens em claro ou criptografadas, com a finalidade de produzir conhecimentos sobre os alvos eletrônicos, a partir do conteúdo das mensagens transmitidas por esses alvos, sendo realizada pelo Analista de Mensagem. Uma vez que na Anl Msg, seu teor é a principal fonte de dados, naturalmente este ramo de análise de GE não se aplica ao campo das não-comunicações.

Para atingir seus objetivos, o analista de mensagem vale-se de alguns conhecimentos e habilidades. Dentre eles, os mais relevantes são: o idioma falado pelo alvo e as características de emprego (doutrina) de seus Sistemas de Comunicações. O analista, também, deve fazer um estudo criterioso das características dos alvos de GE, tais como nomes de localidades, de pessoas, identificação de comandantes, acidentes capitais, unidades inimigas, rios, entre outros que possam auxiliar o processo de investigação.

O domínio do idioma do alvo nas operações de GE ou de Inteligência do Sinal não é uma tarefa fácil. Requer a formação de pessoal especializado e um eficiente programa de manutenção de padrões [6].

Com desenvolvimento de soluções de criptografia mais seguras, constata-se que, dificilmente, será viável a obtenção do teor de mensagens criptografadas pelo Sistema Tático de GE. A criptoanálise, nessas situações, além de muito complexa, contrapõe-se ao princípio da oportunidade.

3.1.5.2 Análise de Tráfego

A análise de tráfego é o método de investigação realizado com a finalidade de produzir conhecimentos sobre os alvos eletrônicos, a partir do tráfego das mensagens transmitidas pelos diversos postos de comunicações.

No estudo do tráfego das redes oponentes busca-se: reconhecer as relações existentes entre os postos-rádio, tais como a seqüência de chamada, a seqüência de resposta; identificar o número de postos-rádio que compõem as redes estabelecidas; identificar os postos mais atuantes em uma rede-rádio, já que normalmente esses postos servem ao elemento mais importante da rede e, na maioria dos casos, atuam como Estação Controladora de Rede (ECR); além de identificar alterações no volume, direção e fluxo das mensagens que possam indicar uma mudança de atitude do oponente.

3.1.5.3 Análise de Localização Eletrônica

A análise de localização eletrônica é o método de investigação realizado com a finalidade de obter conhecimentos sobre os alvos eletrônicos, a partir do estudo dos resultados da Loc Elt. É realizada pelo analista de localização eletrônica na carta, levando-se em consideração a situação tática da operação do oponente, de acordo com o conhecimento obtido tanto pela fonte de sinais, quanto humanas.

3.1.5.4 Análise Técnica

Análise Técnica é o método de investigação realizado com a finalidade de produzir conhecimentos sobre os alvos eletrônicos, a partir do estudo dos parâmetros técnicos das emissões eletromagnéticas provenientes dos emissores oponentes, sejam eles de Comunicações ou de Não-Comunicações. Procura identificar os parâmetros técnicos das emissões de interesse e identificar equipamentos e sistemas eletrônicos em uso na região. A análise de emissões eletromagnéticas sob o ponto de vista de seus parâmetros técnicos emprega metodologias, equipamentos, tipos de conhecimentos e habilidades distintas para os campos das comunicações e das não-comunicações.

3.1.5.5 Análise Final

É o método de investigação que procura correlacionar e interpretar os resultados provenientes dos demais ramos de análise, dados pré-existentes no

Banco de Dados de Referência e de outros dados disponíveis, com a finalidade de produzir conhecimentos sobre os alvos eletrônicos. Visa reconstituir, quando for o caso, todo o sistema eletromagnético do oponente, a fim de determinar sua sistemática de uso.

O analista final deve ser o mais experiente dentre os analistas de GE. Portanto, deve ter passado por um período de treinamento mais longo. Para executar a análise final, é desejável que o analista tenha adquirido uma boa experiência nos demais ramos de análise.

Além dos conhecimentos específicos de GE, exige-se que o analista final seja possuidor de elevado nível de conhecimento sobre as Operações e sobre a doutrina de emprego do oponente. Além disso, uma vez que a análise final exige a formação de um juízo elaborado acerca do assunto que está sendo investigado, cabe ao analista final o estudo criterioso da situação tática, das características da área de operações e da situação dos alvos eletrônicos. Deverá ter pleno conhecimento a respeito dos serviços rádio fixos e móveis, radioamador, broadcast, televisão, etc., tais como serviços utilizados pelo oponente. Por fim, seu trabalho requer paciência, persistência, tempo disponível, experiência e criatividade.

A análise final pode estar voltada para a investigação de aspectos como: regras para formação dos indicativos de chamada; número de redes e postos de comunicações que são estabelecidos; localização de Postos de Comando e Instalações Logísticas; organização dos sistemas de C^2; processos criptográficos utilizados; equipamentos utilizados; e sistemas de armas, entre outros.

3.1.6 **Formalização e Difusão**

A Formalização e a Difusão consistem na divulgação dos resultados obtidos em tempo oportuno por meio de documentos apropriados (relatórios) e com grau de sigilo adequado. O modelo de Informe ou Informações utilizado pelo analista de Guerra Eletrônica são os constantes da IP 30-1: A Atividade de Inteligência Militar [12].

3.1.7 **Metodologia de Análise de GE**

A nossa metodologia de análise de GE ainda é empírica, necessitando, pois, de maiores estudos para validá-la cientificamente, a fim de torná-la efetiva, dando-

lhe maior credibilidade, ou seja, falta um *framework* de análise de GE, a fim de orientar os trabalhos a serem desenvolvidos pelo analista, tais como o que existe para os fatores da decisão, para os fatores de análise do inimigo e para o Estudo de Situação do Comandante Tático em Operações.

3.1.8 **O produto da análise de GE**

O produto final da análise de GE é a produção do conhecimento, a fim de auxiliar a tomada de decisão por parte do comandante tático. Conforme a IP 30-1 A Atividade de Inteligência Militar, o tipo de conhecimento produzido pelo analista de GE pode ser classificado como Informe ou Informação [12].

As informações desta fonte são analisadas para prover uma visão global do dispositivo e da estrutura de Comando e Controle da Força Oponente. As conclusões, usualmente, emitidas são sobre as atividades, as intenções futuras, as prováveis localizações dos Postos de Comando, os tipos de unidades, entre outras. Em alguns casos, é possível inferir a intenção do comandante oponente, mesmo sem saber o teor das transmissões [13].

3.2 A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

3.2.1 **Conceito**

A Inteligência Artificial (IA) é um conjunto de técnicas de computador que o faz comportar-se com um grau semelhante ao da inteligência humana. Além da maneira processual de programação, está calcada em inferências e em regras [14].

A inteligência artificial é uma área de pesquisa da ciência da computação dedicada a buscar métodos ou dispositivos computacionais que possuam ou simulem a capacidade humana de resolver problemas, pensar ou, de forma ampla, ser inteligente [10].

3.2.2 **Generalidades**

O desenvolvimento da área começou logo após a Segunda Guerra Mundial, com o artigo Computing *Machinery and Intelligence* do matemático inglês Alan

Turing, tendo o próprio nome sido cunhado em 1956. Seus principais idealizadores foram os cientistas Marvin Minsky, Herbert Simon, Allen Newell, John McCarthy, Warren MuCulloch e Walter Pitts, entre outros [15, 16].

As construções de máquinas inteligentes interessam a humanidade há muito tempo, havendo na história um registro significante de autômatos mecânicos, que demonstram um sentimento ambíguo do homem, composto de fascínio e de medo, em relação à IA. Apenas recentemente, com o surgimento do computador moderno, a IA ganhou meios e massa crítica para se estabelecer como ciência integral, com problemáticas e metodologias próprias. Desde então, seu desenvolvimento tem extrapolado os clássicos programas de xadrez e envolvido áreas como análise e síntese da voz, lógica difusa, redes neurais artificiais e muitas outras [10, 17].

Inicialmente, a IA visava reproduzir o pensamento humano e abraçou a idéia de reproduzir faculdades humanas como criatividade, auto-aperfeiçoamento e uso da linguagem. Porém, o conceito de inteligência artificial é bastante difícil de definir. Por essa razão, Inteligência Artificial foi, e continua sendo, uma noção que dispõe de múltiplas interpretações, não raro conflitantes ou circulares. A questão sobre o que é "inteligência artificial", pode ser separada em duas partes: "qual a natureza do artificial" e "o que é inteligência". A primeira questão é de resolução relativamente fácil, apontando, no entanto para a questão de o que poderá o homem construir. A segunda questão é mais difícil, levantando a questão da consciência, identidade e mente (incluindo a mente inconsciente), juntamente com a questão de que componentes estão envolvidos no único tipo de inteligência, que, universalmente, aceita-se como estando ao alcance do nosso estudo: a inteligência do ser humano. Os estudos de animais e de sistemas artificiais, que não são modelos triviais, começam a ser considerados como matéria de estudo na área da inteligência [10].

3.2.3 **Lógica Fuzzy**

Aristóteles, filósofo grego (384 - 322 a.C.), foi o fundador da ciência da lógica, e estabeleceu um conjunto de regras rígidas para que conclusões pudessem ser aceitas logicamente válidas. O emprego da lógica de Aristóteles levava a uma linha de raciocínio lógico baseado em premissas e conclusões. Como por exemplo: "Todo ser vivo é mortal" (premissa 1), a seguir é constatado "Sarah é um ser vivo" (premissa 2), como conclusão temos que "Sarah é mortal". Desde então, a lógica

Ocidental, assim chamada, tem sido binária, isto é, uma declaração é falsa ou verdadeira, não podendo ser ao mesmo tempo parcialmente verdadeira e parcialmente falsa. Esta suposição e a lei da não contradição formam a base do pensamento Lógico Ocidental.

A Lógica Fuzzy ou Difusa viola estas suposições. O conceito de dualidade, estabelecendo que algo pode e deve coexistir com o seu oposto, faz a lógica difusa parecer natural, até mesmo inevitável. A lógica de Aristóteles trata com valores "verdade" das afirmações, classificando-as como verdadeiras ou falsas. Não obstante, muitas das experiências humanas não podem ser classificadas simplesmente como verdadeiras ou falsas, sim ou não. Por exemplo, aquele homem é alto ou baixo? A taxa de risco para aquele empreendimento é grande ou pequena? Um sim ou um não como resposta a estas questões é, na maioria das vezes, incompleta. Na verdade, entre a certeza de ser e a certeza de não ser, existem infinitos graus de incerteza. Esta imperfeição intrínseca à informação representada numa linguagem natural tem sido tratada matematicamente no passado com o uso da teoria das probabilidades.

Contudo, a lógica Difusa, com base na teoria dos Conjuntos Fuzzy, tem se mostrado mais adequada para tratar imperfeições da informação do que a teoria das probabilidades. De forma mais objetiva e preliminar, podemos definir lógica Difusa como sendo uma ferramenta capaz de capturar informações vagas, em geral descritas em uma linguagem natural e convertê-las para um formato numérico, de fácil manipulação pelos computadores de hoje em dia. Os Conjuntos Fuzzy constituem uma "ponte" no caminho de aproximar o raciocínio humano ao da lógica executada pela máquina. Novas tecnologias são inventadas devido às necessidades específicas. O advento da lógica Fuzzy foi causado pela necessidade de um método capaz de expressar de uma maneira sistemática quantidades imprecisas, vagas e mal-definidas [18].

Considere a seguinte afirmativa: Se o tempo de um investimento é longo e o sistema financeiro tem sido não muito estável, então a taxa de risco do investimento é muito alta. Estes termos ("longo", "não muito estável" e "muito alta") trazem consigo informações vagas. A extração (representação) destas informações vagas se dá através do uso de Conjuntos Fuzzy.

A lógica Fuzzy é uma técnica que incorpora a forma humana de pensar em um sistema de controle. Um Controlador Fuzzy típico pode ser projetado para

comportar-se conforme o raciocínio dedutivo, isto é, o processo que as pessoas utilizam para inferir conclusões baseadas em informações que elas já conhecem [18].

Devido a esta propriedade e a capacidade de realizar inferências, a lógica Difusa tem encontrado grandes aplicações nas seguintes áreas: Sistemas Especialistas; Computação com Palavras; Raciocínio Aproximado; Linguagem Natural; Controle de Processos; Robótica; Modelagem de Sistemas Parcialmente Abertos; Reconhecimento de Padrões; e Processos de Tomada de Decisão (Decision Making) [7,9].

3.2.4 **O emprego da IA no processo de Tomada de Decisão**

Até o presente momento, existe um grande descompasso entre a capacidade criativa dos seres humanos e a possibilidade de solução que as máquinas computacionais proporcionam, devido ao fato de que as pessoas raciocinam de forma incerta, imprecisa, difusa ou nebulosa, enquanto que as máquinas e computadores são movidos por raciocínio preciso e binário. A eliminação de tal restrição faria com que as máquinas fossem inteligentes, isto é, pudessem raciocinar da mesma maneira imprecisa, como os seres humanos. Tal forma de raciocínio é chamada em inglês por “Fuzzy” e será aqui utilizada como sinônimo de incerto, impreciso, difuso ou nebuloso [18].

Cada vez mais, os analistas de Guerra Eletrônica, buscam respostas para tomada de decisões através da tecnologia da informação, ou seja, utilizando as máquinas. Porém, estas só podem fornecer respostas precisas (sim ou não), o que está longe das respostas dos seres humanos, pois estes são imprecisos, incertos. A lógica Fuzzy torna-se, então, como uma ferramenta que auxilia na tomada de decisões, representando uma forma inovadora no manuseio de informações imprecisas, provendo um método capaz de traduzir expressões verbais, vagas, imprecisas e qualitativas, comuns na comunicação humana em valores numéricos, de forma que isto possibilita converter a experiência humana em uma forma compreensível pelos computadores [18].

A aplicação da lógica Fuzzy no processo de tomada de decisões apresenta-se como um caminho viável, pois apesar de não apresentar respostas precisas, é capaz de apresentar um conjunto de respostas aceitáveis. Como resultado, pode-se evidenciar o destaque desta lógica na tomada de decisão e a consistência do estudo

de soluções de problemas apoiada por máquinas, isto é, pelo uso da inteligência artificial (lógica Fuzzy) que faz a máquina raciocinar da mesma maneira imprecisa, como os seres humanos [2,8,9].

3.2.5 **Aplicações práticas de técnicas de Inteligência Artificial**

Muitos sistemas úteis têm sido construídos usando tecnologias que, ao menos uma vez, eram áreas ativas em pesquisa de IA. Alguns exemplos incluem:

Reconhecimento de linguagem e resolução de problemas: o PROVERB é um programa computador que resolve quebra-cabeças de palavras cruzadas melhor que a maioria dos seres humanos, utilizando restrições sobre possíveis preenchimentos de palavras, um grande banco de dados de quebra-cabeças anteriores e uma varieda fonte de informações que incluem dicionários e bancos de dados on-line, como uma lista de filmes e dos atores que participam deles. Por exemplo, ele descobre que a pista *Nice Story* pode ser resolvida por “ETAGE”, porque seu banco de dados inclui o par pista/solução *Story in France*/ETAGE e porque reconhece que os padrões “*Nice* X” e “X in *France*” com freqüência tem mesma solução. O programa não sabe que *Nice* é uma cidade da França, mas consegue resolver o quebra-cabeça [10].

Planejamento logístico: durante a crise do Golfo Pérsico em 1991, as Forças Armadas dos Estados Unidos distribuíram uma ferramenta denominada *Dynamic Analysis and Replanning Tool* (*DART*), a fim de realizar o planejamento logístico automatizado e a programação de execução do transporte. Isso envolveu até 50.000 veículos, transporte de carga aérea e de pessoal ao mesmo tempo, e teve de levar em conta os pontos de partida, destinos, rotas e resolução de conflitos entre todos os parâmetros. As técnicas de planejamento da IA permitiram a geração em algumas horas de um plano que exigiria semanas com outros métodos. A *Defense Advanced Research Project Agency* (*DARPA*) declarou que essa única aplicação compensou com folga os 30 anos de investimentos da DARPA em IA.

Planejamento automatizado e escalonamento: a uma centena de milhões de quilômetros da Terra, o programa *Remote Agent* da NASA se tornou o primeiro programa de planejamento automatizado (autônomo) de bordo a controlar o escalonamento de operações de uma nave espacial. O *Remote Agent* gerou planos de metas de alto nível especificadas a partir do solo e monitorou a operação da nave

espacial à medida que os planos eram executados – efetuando a detecção, o diagnóstico e a recuperação de problemas conforme eles ocorriam.

Controle autônomo: o sistema de visão de computador ALVINN foi treinado para dirigir um automóvel, mantendo-o na pista. Ele foi colocado na minivan controlada por computador NAVLAB da CMU e foi utilizado para percorrer os Estados Unidos – ao longo de quase 4.600 km. O ALVINN manteve o controle da direção do veículo durante 98% do tempo. Um ser humano assumiu o comando nos outros 2%, principalmente na saída de declives. A NAVLAB tem câmeras e vídeo que transmitem imagens da estrada para ALVINN, que então calcula a melhor forma de guiar, baseado na experiência obtida em sessões de treinamento anteriores.

Sistemas Especialistas, Jogos, Diagnóstico Médico, Robótica, Lógica difusa (técnica para raciocinar dentro de incertezas) e Reconhecimento de escrita a mão têm sido amplamente usados em sistemas de controles industriais. Sistemas tradutores, tais como SYSTRAN, têm sido largamente usados (no entanto, os resultados não são ainda comparáveis com tradutores humanos). Redes Neurais vêm sendo usadas em uma larga variedade de tarefas de sistemas de detecção de intrusos a jogos de computadores. Sistemas de reconhecimento óptico de caracteres (OCR) podem traduzir letra escrita de forma arbitrária em texto. Reconhecimento de voz está disponível comercialmente e é amplamente usado.

A visão da Inteligência Artificial substituindo julgamento humano profissional tem surgido, muitas vezes, nas histórias de Ficção Científica e, hoje em dia, em algumas áreas especializadas, onde "Sistemas Especialistas" são usados para melhorar ou para substituir julgamento profissional em engenharia e medicina, por exemplo, portanto não há motivos para não aplicá-los na análise de GE.

3.2.6 **Sistema Especialista**

Um Sistema especialista é uma classe de programa de computador desenvolvido por pesquisadores de Inteligência artificial. Em síntese, são programas constituídos por uma série de regras (às vezes, também heurísticas) que analisam informações, normalmente fornecidas pelo usuário do sistema, sobre uma classe específica de problema [8, 21].

Um termo relacionado é *wizard*. Como um sistema especialista, um *wizard* também é um programa de computador interativo que auxilia o usuário a resolver um

problema. Normalmente, o termo *wizard* é empregado para designar programas que pesquisam uma base de dados, procurando por critérios informados pelo usuário. Infelizmente, a distinção entre essas duas definições não é universal, e alguns programas baseados em regras são também chamados de *wizards*.

3.2.6.1 Tipos de problemas solucionados por sistemas especialistas

Tipicamente, os problemas que podem ser solucionados por um sistema especialista são do tipo que seria atendido por um especialista humano, no caso, um analista de Guerra Eletrônica. Especialistas reais no domínio do problema (que normalmente é bem específico, como por exemplo, determinar qual escalão representa a localização da fonte de um determinado emissor eletromagnético) fornecem regras gerais, indicando como analisariam o problema, tanto explicitamente com a ajuda de um analista de sistema experiente, como implicitamente, fazendo com que estes especialistas analisem casos de teste e usando programas de computador para analisar os dados de teste e, de forma limitada, derivar regras dessa análise.

Sistemas simples ou *wizard* utilizam a lógica Ocidental (verdadeiro/falso) para analisar os dados. Por outro lado, sistemas mais sofisticados ou sistemas especialistas são capazes de realizar pelo menos alguma avaliação levando em consideração incertezas do mundo real, utilizando-se de métodos como lógica Fuzzy.

3.2.6.2 Sistemas especialistas versus sistemas de solução de problemas

A principal diferença entre um sistema especialista e um *wizard* está na maneira como o conhecimento sobre o domínio do problema é codificado. Em aplicações tradicionais, o conhecimento sobre o domínio do problema é codificado tanto nas instruções propriamente ditas, quanto nas estruturas de dados.

Já na abordagem de sistema especialista, todo o conhecimento relativo ao domínio do problema é codificado, exclusivamente, nas estruturas de dados. Nenhum conhecimento é armazenado nas instruções ou nos programas propriamente ditos. Vários benefícios surgem imediatamente dessa estratégia.

Um exemplo pode ajudar a destacar a diferença entre a abordagem do processo tradicional e a abordagem de sistemas especialistas, como por exemplo, o problema da declaração de imposto de renda. Na abordagem tradicional, as estruturas de dados armazenam as informações do contribuinte e das alíquotas de imposto e um programa representa o conhecimento necessário para a declaração de imposto de renda, contendo os comandos que relacionam as informações do contribuinte com as alíquotas e os cálculos necessários para realizar a declaração. Esta representação do conhecimento é difícil para um especialista em impostos compreender ou modificar. Já na abordagem de sistema especialista, a informação sobre o contribuinte e as alíquotas, bem como os cálculos necessários, está novamente armazenada em estruturas de dados, mas o conhecimento que descreve o relacionamento entre elas também é armazenado nas estruturas de dados. O programa de um sistema especialista é independente do conhecimento do domínio do problema (no nosso exemplo, do conhecimento das alíquotas e rendas do contribuinte e do relacionamento entre elas e os cálculos) e serve para processar estruturas de dados independentes da natureza do problema destas estruturas descrevem [21].

Por exemplo, há programas interativos específicos para capturar descrição de dados, programas para capturar e organizar as descrições, programas para processar as declarações que representam relacionamentos semânticos dentro do domínio do problema e um algoritmo para controlar a seqüência de processamento e o foco.

A arquitetura geral de um sistema especialista compreende dois componentes principais: um conjunto de declarações totalmente dependentes do domínio do problema e que é chamado de base de conhecimento ou base de regras, e um programa independente do domínio do problema (apesar de altamente dependente das estruturas de dados) chamado de motor de inferência.

3.2.7 **Heurísticas**

A heurística é um conjunto de regras, simplificação, ou aproximação que reduz ou limita a busca por soluções em domínios que são difíceis e pouco compreendidos. Deste modo, para um problema que não se conhece, qual é o

melhor caminho para busca de uma solução, define-se uma função heurística que se acredita levar a esta solução, ou seja, que conduz á resolução de problemas [7].

As pesquisas por heurísticas são realizadas por meio de aproximações a um determinado objetivo. Uma boa (ou alta) heurística representa que o objeto de avaliação está muito próximo do objetivo; uma má (ou baixa) heurística que o objeto avaliado está longe do objetivo.

Um algoritmo de aproximação é heurístico, ou seja, utiliza informação e intuição a respeito da instância do problema e da sua estrutura para resolvê-lo de forma rápida. Por algoritmo entende-se processo de cálculo.

Entretanto, nem todo algoritmo heurístico é um algoritmo de aproximação, ou seja, nem toda heurística tem uma razão de qualidade comprovada matematicamente ou prova formal de convergência. Por este motivo, em várias referências bibliográficas distinguem-se os termos algoritmo de aproximação e heurística: o primeiro refere-se a denominação do algoritmo que fornece soluções dentro de um limite de qualidade absoluto, assim como um limite assintótico polinomial de complexidade (pior caso) comprovado matematicamente; já heurística e método heurístico, referem-se a denominações para o algoritmo que fornece soluções sem um limite formal de qualidade, tipicamente avaliado, empiricamente, em termos de complexidade (média) e qualidade das soluções.

4 **DISCUSSÃO**

4.1 A INTEGRAÇÃO ENTRE A ANÁLISE DE GE E A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

A seguir serão abordados conceitos de Inteligência Artificial aplicável à análise de Guerra Eletrônica, visando a buscar ferramentas para auxiliar o analista de GE, no intuito de aperfeiçoar o processo de análise, cujo produto final é gerar conhecimento sobre alvos eletrônicos do oponente.

4.1.1 **A contribuição da IA nos trabalhos do analista de GE**

A decisão pode ser dividida em duas categorias, a decisão intuitiva e a decisão lógica. A decisão intuitiva vem com cada um, sem precisar explicar o porquê. É nato das pessoas. Não há quantidade de análise que jamais possa

substituir uma mente humana perfeitamente treinada para acessar e processar a intuição. A decisão intuitiva desenvolve as alternativas criativas. Virar as costas para a velha intuição faz com se perca uma grande oportunidade de desenvolver novas e empolgantes soluções para os problemas. A decisão lógica vem em conjunto com o raciocínio, com o pensamento e em algumas decisões não se pode simplesmente ser tomadas com a intuição, por mais que se entenda sobre o assunto, precisa-se da lógica [19].

A lógica é a disciplina que estuda as inferências, o raciocínio ou os argumentos. Uma inferência ou um raciocínio é o processo de concluir uma determinada frase a partir de um conjunto de outras frases. Há muitas formas de raciocínio: dedutivo, indutivo, analógico, por exemplo. O tipo raciocínio dedutivo é o mais conhecido e a palavra “lógica” usa-se, por vezes, como sinônimo de estudo ou de resultado do estudo, do raciocínio dedutivo [20].

Entretanto, a maior armadilha que temos a probabilidade de cair hoje em dia é achar que todas as decisões podem ser tomadas apenas com base na lógica. Isso também não dá certo. O que é preciso para se tornar um agente de decisões seguro é saber quando utilizar à lógica e a intuição. A combinação da exatidão da lógica com a mágica da intuição é o que trará o melhor resultado possível, principalmente no tocante a análise de um cenário [19].

Podemos, portanto, nos aperceber que o analista de GE deve ser muito habilidoso no tocante a lógica, seja ela dedutiva ou intuitiva, pois nem sempre terá todas as informações e evidências que necessita a fim de realizar a Análise de GE.

Neste cenário, muitas vezes complexo e incompleto de dados, a IA, por intermédio de um sistema especialista, vem constituir-se numa ferramenta a fim de auxiliar o analista, no sentido de aperfeiçoar a análise, proporcionando maior velocidade no tratamento das variáveis existente no cenário de GE do campo de batalha, visando dar melhores condições para o analista tomar suas decisões. Jamais se deve pensar em substituir o analista pelo sistema especialista, haja vista a máquina não lidar com a lógica intuitiva à maneira do ser humano.

O sistema especialista a ser empregado na análise de GE deve ser baseado nos seguintes blocos de entrada: Situação Atual, Situação Provável, Doutrina Oponente e Grau de Pertinência das heurísticas de GE, as quais seriam processadas pelo motor de inferência para elaborar o conhecimento resultante desta análise.

A Figura 1 exemplifica os relacionamentos entre os blocos de entrada de dados e o resultado da análise realizada pelo sistema especialista.

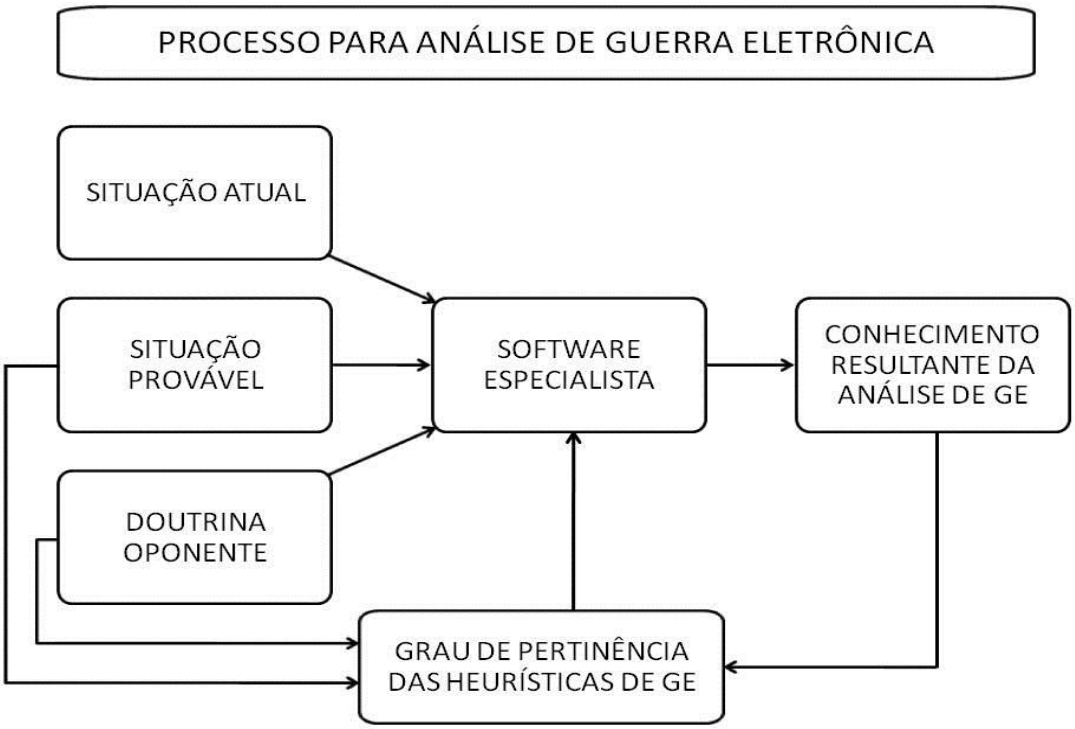

Figura 1 - Processo de análise de GE realizada por um sistema especialista
Fonte: O Autor

4.1.2 **Usuários envolvidos com sistemas especialistas**

Há, geralmente, três tipos de usuário envolvidos com sistemas especialistas. Primeiramente, entre esses tipos há o usuário final, aquele indivíduo que utiliza o sistema para auxiliá-lo na resolução de problemas, que no caso será o analista de GE. Envolvidos com a construção e manutenção do sistema estão os outros dois grupos: especialista no domínio do problema (o analista de GE também), que constrói a base de conhecimento, e um engenheiro de conhecimento, que auxilia o especialista a representar o conhecimento e que determina a técnica de inferência necessária para se conseguir solucionar um problema.

4.1.3 **Heurísticas básicas da análise de GE de Comunicações**

Muitas vezes, a resposta para um determinado problema envolve a pesquisa

em um espaço de soluções muito grande. Neste caso, é interessante utilizar a experiência na solução de problemas de modo a oferecer regras práticas para resolvê-los. Ainda que antigas e pouco eficientes sobre os sistemas de comunicações modernos, as técnicas básicas de análise de GE de Comunicações servem como ponto de partida para a elaboração de ferramentas capazes de realizar análise, ou seja, um sistema especialista, pois elas representam o raciocínio do analista de GE na busca da identificação das redes-rádio e PC inimigos. Deve-se, pois elaborar heurísticas relativas ao Teor da mensagem, Faixa de freqüência, Tabela de indicativos e freqüências, Redes-rádio típicas de um Posto de Comando, Modo de operação, Hierarquia embutida no teor da mensagem, Concentração de postos rádio e Distância dos Postos de Comando inimigos à LP/LC ou ao LAADA.

4.1.4 **Tendências**

Nos últimos anos verifica-se uma tendência de que a análise de GE seja realizada com apoio de ferramentas inteligentes, que procuram integrar conhecimentos de especialistas. Tais ferramentas já são amplamente utilizadas com fins a prever tendências de mercados, como o mercado de ações, tendências de consumo etc. Tais ferramentas se utilizam de conceitos de Inteligência Artificial.

Para que possamos aperfeiçoar o uso da Inteligência Artificial na análise de GE, é necessário, além do desenvolvimento e/ou compra de um software para este fim, ou seja, de um sistema especialista, a compilação de heurísticas de GE devem, preferencialmente, ser elaboradas pelos analistas de GE mais experientes, pois elas se constituem na base de conhecimento do sistema especialista.

4.1.5 **Outras aplicações da Lógica Difusa nas Operações Militares**

É possível empregar a inteligência artificial em qualquer sistema operacional, como no Sistema Estratégico de Comando e Controle do Exército (SEC^{2}Ex); Ensino; Logístico, caso exemplificado pela ferramenta DART – Dynamic Analisys and Replanning Tool, criada pela DARPA (Agência Americana de Projetos de Pesquisas em Defesa Avançada); Mobilização; Pessoal; Ciência e Tecnologia; e Operacional. Também é possível empregá-la em seus subsistemas, tais como o subsistema Operacional: Manobra; Inteligência; Apoio de Fogo; Defesa Antiaérea; Mobilidade,

Contramobilidade e Proteção; Logística e o Sistema de Comando e Controle da Força Terrestre, que integra estes subsistemas [2, 9, 10].

A seguir será exemplificado o uso da inteligência artificial por alguns destes sistemas operacionais [23, 24].

4.1.5.1 Grau de destruição de um objetivo, em função do propósito

Os objetivos podem ser estratégicos ou táticos, o grau de dano pode variar entre avarias leves e a destruição total, conforme a classificação do alvo e suas características intrínsecas. Um exemplo é uma hidrelétrica: pode-se paralisá-la por algumas horas ou impedi-la de funcionar por meses, dependendo do que se pretende. Daí a possibilidade de aplicar a lógica difusa, pois inúmeros valores podem ser estabelecidos entre “destruído” e “levemente avariados”.

4.1.5.2 Determinação do poder de fogo inimigo

A capacidade de retaliação do inimigo depende de uma série de fatores e não pode ser classificada em termos absolutos. Existe uma gradação entre “alto” e “baixo”, o que permite a elaboração de sistemas capazes de inferir um ponto intermediário a partir de uma quantidade de informação fornecida.

4.1.5.3 Análise do sistema de defesa aérea inimigo

A quantidade de radares não diz, por si só, quais as condições do oponente no que tange à defesa aérea, mas o cruzamento de várias informações pode gerar um dado que forneça uma visão de sua capacidade. Sistemas especialistas podem inferir o tempo de resposta inimigo e a possibilidade de ataques simultâneos pelas forças amigas.

4.1.5.4 Cálculo do alcance e da aplicação dos radares inimigos

A partir de um conjunto de informações, um sistema especialista baseado em lógica Fuzzy pode inferir o tipo de radar utilizado, sua aplicação, o armamento associado além da distância e da altura de segurança a serem mantidas.

4.1.5.5 Análise de tráfego de comunicações

O monitoramento do trâmite das redes de dados e de voz do oponente pode revelar suas posições, os graus hierárquicos, os códigos utilizados, etc. Um sistema especialista poderia executar certas tarefas repetitivas de análise, como o acompanhamento da freqüência do fluxo de informações, a determinação de horários prováveis de contato, o teor dos dados e as freqüências mais utilizadas.

5 **CONCLUSÕES**

A utilização da Inteligência Artificial permite obter não somente ganhos significativos de performance, mas também possibilita o desenvolvimento de aplicações inovadoras, capazes de expandir de forma extraordinária nossos sentidos e habilidades intelectuais. Cada vez mais presente, a Inteligência Artificial simula o pensamento humano e se alastra por nosso cotidiano.

A grande e real necessidade da utilização dos princípios de Guerra Eletrônica nas Operações Militares, particularmente para as ações análise de GE integrante do Ramo das MAGE, juntamente com a necessidade de auxiliar o analista acelerando seu tempo de resposta e ao mesmo tempo qualificar o conhecimento produzido, motivou este trabalho, que apresentou como a Inteligência Artificial tem sido largamente utilizada em inúmeras aplicações militares em desenvolvimento e outras tantas aplicações já em plena utilização.

A presente investigação teve por finalidade verificar a viabilidade do emprego de sistema especialista na análise de Guerra Eletrônica, no intuito de aperfeiçoar o conhecimento produzido pelo analista, visando a otimizar o processo de análise de um determinado cenário de GE.

A fim de viabilizar a consecução do objetivo geral de estudo, foi realizada uma pesquisa bibliográfica para levantar e elucidar os principais conceitos relativos à análise de Guerra Eletrônica e à Inteligência Artificial. O presente estudo pretendeu integrar os conceitos da área de Inteligência Artificial à análise de GE, concluindo sobre sua aplicabilidade e operacionalização para melhorar o tempo de resposta do analista de GE e qualificar o conhecimento produzido, acelerando o processamento de dados oriundos dos sensores de GE. Não se pretendeu, jamais, substituir o analista de GE pelo sistema especialista na realização da análise de GE, porque o

sistema especialista é baseado, somente, na lógica dedutiva, mas sim de elaborar uma ferramenta para auxiliá-lo em seu árduo trabalho, uma vez que o seu assessoramento, certamente, irá influenciar a tomada de decisão de seu comandante operacional.

Conforme a seção Resultados e Discussão, concluiu-se que uma maneira viável de integrar a análise de Guerra Eletrônica e a Inteligência Artificial é por intermédio de um sistema especialista, constatado pelos exemplos de empregos de sucesso, como, por exemplo, a ferramenta DART, capaz de realizar planejamentos logísticos. O emprego da lógica Fuzzy, para o qual o cenário de GE deve ser modelado, apresenta-se de forma promissora no tratamento das heurísticas de GE, tanto no campo das Comunicações quanto no campo das Não-Comunicações, a fim de elaborar a base de conhecimento do sistema especialista, que proporciona a inteligência do sistema, sendo capaz de gerar resultados satisfatórios.

Uma vez constatado a viabilidade de emprego de um sistema especialista na análise de GE, torna-se evidente que, somente Oficiais Analistas de GE poderão elaborar a base de conhecimento deste sistema (ou seja, as heurísticas de GE), pois são os únicos que detém o conhecimento para elaborar o cerne do sistema especialista, ou seja, o núcleo pensante. E que qualquer profissional de criação de software de Inteligência Artificial tem capacidade para elaborar o motor de inferência.

Recomendo, pois, que sejam realizados estudos no Centro de Comunicações e Guerra Eletrônica (CComGEx), através de sua OMDS, o Centro de Instrução de Guerra Eletrônica (CIGE) a fim de mapear o processo de análise de GE, com o objetivo de elaborar um *framework* para a análise de GE com uma abordagem de cenário calcada na metodologia científica para possibilitar a geração da base de conhecimento de análise, ponto de partida para a elaboração e definição de grau de pertinência de heurísticas de GE.

Recomendo também, que sejam realizados estudos a fim de desenvolver a base de conhecimento no CComGEx e no CIGE, sob coordenação do DCT, a fim de desenvolver a base de conhecimento do sistema especialista, pois é evidente que somente o analista de GE tem capacidade de elaborá-lo, uma vez que é o especialista neste ramo do conhecimento. E ainda, que, seja designada uma equipe com efetivo suficiente a fim de manter esta base de conhecimento atualizada.

Sugiro que sejam realizados estudos para o desenvolvimento do motor de inferência do sistema especialista para análise de GE. Para tanto, também deve ser elaborado os requisitos técnicos básicos e os requisitos operacionais para a criação do sistema especialista, tanto para a base de conhecimentos, quanto para o motor de inferência. E ainda, que a base de conhecimento seja gerida por uma organização de nível superior ao CComGEx, cabendo ao Departamento de Ciência e Tecnologia, sob supervisão do Estado-Maior do Exército.

Na era da tecnologia da informação, os recursos disponíveis giram em torno dos computadores, onde estes são capazes de raciocinar ou pensar somente de forma binária. Contudo, as pessoas não raciocinam dessa forma e entre o sim e o não, existem inúmeras possibilidades de outras respostas, pois o ser humano é impreciso. A consistência do estudo da lógica justifica-se quando a capacidade criativa das pessoas possibilita a solução de problemas apoiados por máquinas auxiliadas por computadores, isto é, pelo uso da Inteligência Artificial (lógica Fuzzy) que faz a máquina raciocinar de maneira imprecisa, como os seres humanos. Desse modo, verifica-se que a lógica Fuzzy se apresenta como uma ferramenta que oferece condições de controle de variáveis imprecisas, que uma vez modelado o cenário de GE, pode contribuir na análise de GE.

Uma vez que os estudos recomendados sejam alcançados, o Exército Brasileiro terá em suas mãos uma poderosa ferramenta de análise que pode ser estendida e aplicada em qualquer sistema operacional.

AUTOR

Cap Com Leonardo Fernando Canelossi Rosa. Possui os cursos de formação de Oficiais de Comunicações e Bacharel em Ciências Militares (Academia Militar das Agulhas Negras, 2000); curso Básico de Guerra Eletrônica para Oficiais - Categoria B (CIGE, 2006) e Intermediário de Guerra Eletrônica para Oficiais - Categoria B (CIGE, 2007); curso de pós-graduação em Política, Estratégia e Planejamento (ADESG/Faculdades Integradas “Espírita”, 2004); curso de pós-graduação em Psicopedagogia e Orientação Educacional (UFRRJ, 2006); Atualmente serve na Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais.

REFERÊNCIAS

1. Brasil. Exército. Estado-Maior. **C 11-1: Emprego das Comunicações.** 2. ed. Brasília, DF, 1997.

2. _____. Estado-Maior. **C 34-1: Emprego da Guerra Eletrônica.** 2, ed. Brasília, DF, 2009.

3. BRASIL. Ministério da Defesa. MD31-D-03: **Doutrina Militar de Comando e Controle (Documento em Caráter Experimental).** Brasília, DF, 2006.

4. _____. Ministério da Defesa. Estado-Maior. **Minuta versando sobre a Guerra Eletrônica no âmbito das Forças Armadas**. Brasília, DF, 2006.

5. KOHL, Andersonn. **Tecnologias de Comando e Controle**. In: XXIX Encontro de Guerra Eletrônica (EGE), 2008, Brasília, DF. Anais ... Brasília, DF: Centro Integrado de Guerra Eletrônica – CIGE, Brasília-DF, 2008. 1 CD-ROM.

6. Brasil. Exército. Centro Integrado de Guerra Eletrônica. **ME: Módulo – Análise de Guerra Eletrônica.** 2. ed. Brasília, DF, 2007.

7. Brasil. Exército. Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais. **Pub 30-1-1: A Inteligência nas Operações Militares.** Rio de Janeiro, RJ, 2007.

8. RUSSEL, S; NORVIG, P. **Inteligência Artificial.** Editora: Campus, 2ª Ed, Rio de janeiro, 2004.

9. SHAW, I. S; SIMÕES, M. G. **Controle e Modelagem Fuzzy**. Editora: Edgar Blucher. 1. ed. São Paulo, SP, 2007.

10 . SILVA, C. A. V. **PSICODINÂMICA: Inteligência.** Disponível em <http://www. livroseletronicos.blogspot.com/>. Acesso em: 16 de maio de 2009, 20:12:20.

11. RODRIGUES, M. G. V.; MADEIRA, J. F. C.; SANTOS, L. E. P.; DOMINGUES, C. A. **Metodologia da pesquisa: elaboração de projetos, trabalhos acadêmicos e dissertações em ciências militares.** 3. ed. Rio de Janeiro: EsAO, 2006.

12. Brasil. Exército. Estado-Maior. **IP 30-1: A Atividade de Inteligência Militar.** 1. ed. Brasília, DF, 1995.

13. FRATER, Michael R.; RYAN, Michael. ***Eletronic Warfare for the Digitized Battlefield*.** 1. ed. Boston: Artech House, 2001. p. 262.

14. Estados Unidos. Centro de Armas Combinadas do Exército norte-americano. **Dicionário on-line** (inglês). Disponível em <http://usacac.army.mil/cac2/bcks/ KMGlossary.htm>. Acesso em: 15 de maio de 2009, 21:46:30.

15. TURING, Alan. ***Computing Machinery and Intelligence*** (inglês). Disponível em <http://www.loebner.net/Prizef/TuringArticle.html>. Acesso em: 21 maio 2009, 23:08:21.

16. BERKELEY, István S. N. ***What is Artificial Intelligence?*** (inglês). Disponível em <http://www.ucs.louisiana.edu/~isb9112/dept/phil341/wisai/WhatisAI.html>. Acesso em: 22 de maio de 2009, 23:08:15.

17. MAZLISH, BRUCE. ***The man-machine and artificial intelligence*** (inglês). Disponível em <http://www.stanford.edu/group/SHR/4-2/text/mazlish.html>. Acesso em: 25 de maio de 2009, 19:25:30.

18. SHAW, I. S. & SIMÕES, M. G. **Controle e modelagem Fuzzy**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1999.

19. DAWSON, R. **Decisões certas e seguras sempre!: Como tomar as melhores decisões no âmbito profissional e pessoal.** São Paulo: Campus, 1994.

20. MURCHO, D. **Lógica, filosofia e cognição.** Disponível em <www.criticanarede.com/lfc.html>. Acessado em: 25 de maio de 2009, 16:09:45.

21. FASSINA, Paulo Henrique. **Análise do endividamento e liquidez de empresas por meio de um sistema especialista difuso.** Disponível em <http://proxy.furb.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=342>. Acesso em: 02 de junho de 2009, 18:12:20.

22. TZU, Sun. **A Arte da Guerra: Por uma Estratégia Perfeita.** Tradução de Heloisa Sarzana Pugliesi; Márcio Pugliesi. São Paulo: Madras, 2005. 123 p.

23. SANTOS, Agnaldo. **Sistema especialista de auxilio a decisão quando a aeronave esta sendo imageada por um radar, em área amiga ou inimiga, em tempo de paz ou de guerra.** 2004. Disponível em <br.geocities.com/agnaldoav2004/projetofinale.doc>. Acesso em: 15 de julho de 2009, 22:36:20.

24. MENNA, L. M.; SANTOS, O. J. S. **Lógica Nebulosa**. Disponível em <http://www.ele.ita.br/~omarmai/fuzzy.htm>. Acesso em: 15 de julho de 2009, 22:36:20.