

Um Protótipo de Sistema Especialista para VANT.

Cap. Av. Eduardo Barrios, edubarrios@bol.com.br, Prof. Dr. Adilson Marques da Cunha, cunha@ita.br
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA – SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

Resumo — Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) vêm desempenhando um papel cada vez mais importante no cenário do combate moderno, pelo fato de evitar riscos desnecessários de vidas humanas. Para que esses artefatos possam cumprir adequadamente as tarefas operacionais a eles atribuídas é necessário que tenham como contrapartida da autonomia na missão o acerto nas decisões tomadas. Nesse contexto, a Inteligência Artificial fornece as ferramentas necessárias para que seja possível a automatização de tarefas intelectuais. O Sistema Especialista em Veículos Aéreos Não Tripulados para identificação de emergências e realização adequada de procedimentos tem como objetivo dotar o VANT da capacidade de identificar situações de risco e tomar decisões, em tempo real, como um piloto faria numa aeronave (figura do especialista), de forma a minimizar prejuízos. Foi utilizada como máquina de conhecimento e inferência, a versão 1.1 do Expert SINTA, desenvolvida no Ceará pelo grupo SINTA (Sistemas Inteligentes Aplicados), atuando junto ao laboratório de Inteligência Artificial (LIA) da Universidade Federal do Ceará. Por tratar-se de um protótipo com fins conceituais e acadêmicos, o escopo foi restrito aos sistemas de motor, combustível, comunicação e comandos de voo. A Carta Hierárquica de Atributos (CHA) foi concebida com três níveis de inferência, sendo que a Tabela de Decisão (TD) foi condensada em quatro regras específicas (código fonte), relacionadas com as possíveis decisões: prosseguir o voo, enviar aviso de emergência à estação, cortar o motor e acionar o pára-quedas e executar procedimento de regresso à base. Os testes realizados indicam que a utilização de Sistemas Especialistas para Auxiliar nos Procedimentos de Segurança e Emergência em “VANTS” torna-se a cada dia mais viável. Como continuidade deste trabalho de pesquisa, recomenda-se a continuação do desenvolvimento e adaptação do protótipo apresentado ao Projeto do VANT que vem sendo desenvolvido no CTA, visando à implementação de suas particularidades e a completeza de seus sistemas.

Palavras-chaves — UAV, VANT, Inteligência Artificial, Sistemas Especialistas.

I. INTRODUÇÃO

A concepção desse artigo teve origem num estudo de caso da disciplina EE-09, INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, do CEAAE (Curso de Especialização em Análise de Ambiente Eletromagnético), realizado no segundo semestre de 2005 no ITA, no qual foi desenvolvido um protótipo de sistema especialista para situações de emergência em Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT). A principal motivação foi o interesse brasileiro no domínio de tal tecnologia, seu uso crescente e decisivo nos combates modernos e a consolidação da Inteligência Artificial na criação de artefatos com autonomia de decisões, amparada pelo acerto das mesmas. É relatado o cenário atual de emprego, bem como o panorama e

direção do projeto brasileiro. Dentro do campo da Inteligência Artificial, são apresentados os Sistemas Especialistas e discutido como podem ser aplicados para a tomada de decisões, tendo como base as ações que seriam realizadas por um piloto numa aeronave tripulada em situações de emergência. A concepção do protótipo, sua Carta Hierárquica de Atributos e Tabela de Decisões são discutidas, tendo como base um sistema simplificado onde são considerados apenas os sistemas de motor, combustível, comunicação e comandos de voo.

É apresentado o código fonte do programa e realizada a análise de um cenário para testes e validação do sistema, onde num determinado perfil de voo, com acontecimentos diferentes, em cada momento do voo exigia-se do protótipo reavaliações e tomada de decisões diferentes.

Apesar do trabalho realizado ser apenas um protótipo com fins acadêmicos, tudo indica que a utilização de Sistemas Especialistas para Auxiliar nos Procedimentos de Segurança e Emergência em “VANTS” torna-se a cada dia mais viável, podendo trazer inúmeros benefícios aos Projetos para as Forças Armadas.

Como prosseguimento deste trabalho de pesquisa, recomenda-se a continuação do desenvolvimento e adaptação do protótipo de Sistema Especialista produzido até então, ao Projeto do VANT que vem sendo desenvolvido no CTA, visando à implementação de suas particularidades e a completeza de seus sistemas.

II. VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (VANT)

Conhecidos mundialmente pela sigla UAV (*Unmanned Aerial Vehicles*) os Veículos Aéreos Não Tripulados podem ser controlados de forma remota ou possuir controle autônomo. Geralmente, são dotados de diferentes sistemas como câmeras, sensores, equipamentos de comunicação, dentre outros. Eles podem ser utilizados tanto no meio civil, realizando funções de mapeamento, prevenção de queimadas, monitoramento ambiental, auxílio à agricultura; ou no meio militar, em operações de reconhecimento, apoio ao combate, ataque e treinamento como alvo aéreo.

Militarmente, eles são utilizados desde 1950, em funções de reconhecimento e suporte à área de inteligência [1]. Porém, o grande impulso foi dado com a utilização do modelo *Predator* da Força Aérea Americana em combate. Ele mostrou que era possível realizar missões consideradas perigosas com sucesso, sem colocar em risco vidas humanas. Participou ativamente do conflito na Bósnia em 1995, como suporte a *NATO* (*North Atlantic Treaty Organisation*), Nações Unidas e em Operações dos Estados Unidos da

América, nos conflitos com o Afeganistão e Iraque, tendo voado cerca de 100.000 horas [2].



Fig. 1. VANT *Predator* equipado com míssil *Hellfire*.

No Brasil, sob coordenação do Ministério da Defesa, no período de 21 a 22 de junho de 2005, foi realizado o Iº Seminário Internacional de VANT, com o objetivo principal de realizar prospecção tecnológica visando o desenvolvimento de conceitos da aplicação de VANT. Nesse evento, foi apresentado o “Projeto VANT” com a participação da FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), Fundação Casimiro Montenegro Filho, CTA (Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial), CTEX (Centro Tecnológico do Exército), IPqM (Instituto de Pesquisas da Marinha) e da empresa AVIBRAS. O objetivo do projeto é o domínio de tecnologias sensíveis utilizadas em VANTs, através do desenvolvimento do Sistema de Navegação e Controle (SNC), permitindo a sua utilização, com pequenos ajustes, em diferentes plataformas. Há uma ênfase no emprego do VANT em missões de reconhecimento tanto militar quanto civil [3].



Fig. 2. Logotipo do Seminário ocorrido em São José dos Campos

Porém, para que seja eficiente e eficaz em suas missões, ele deve ser dotado de sistemas inteligentes que possibilitem certa autonomia na condução das operações, onde situações sejam analisadas e decisões corretas aplicadas.

III. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E SISTEMAS ESPECIALISTAS

A Inteligência Artificial (IA) é um campo recente da Ciência da Computação, com suas pesquisas iniciadas logo após a

Segunda Guerra Mundial. A IA sistematiza e automatiza tarefas intelectuais e, portanto, é potencialmente relevante para qualquer esfera da atividade intelectual humana [4]. Historicamente, existem quatro abordagens diferentes seguidas pela IA:

- processos de pensamento e raciocínio;
- comportamento;
- fidelidade ao comportamento humano; ou
- conceito ideal de inteligência (racionalidade).

Seguindo a linha dos processos de pensamento e raciocínio, a Inteligência Artificial pode ser entendida como a “automatização de atividades associadas ao pensamento humano, como a tomada de decisões, a resolução de problemas, a aprendizagem ...” (Bellman, 1978).

Nesse contexto surgem os Sistemas Especialistas (SE), que se propõem a reproduzir o comportamento de especialistas de uma determinada área no ciclo do processo decisório de problemas reais, podendo assim, ser utilizados em diferentes áreas como a medicina, agricultura, química, etc.

A estrutura básica de um SE é composta basicamente de uma base de conhecimento (informações necessárias para a resolução do problema no nível de um especialista), uma máquina de inferências (processo computacional de “raciocínio”) e uma interface gráfica com o usuário[5].

No caso específico dos Veículos Aéreos Não Tripulados, um sistema especialista pode ser utilizado para desempenhar o papel do piloto (figura do especialista) para, com base nas informações disponíveis nos instrumentos de voo, identificar corretamente uma situação de emergência e realizar os procedimentos adequados para cada situação.

III. CONCEPÇÃO E PROJETO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA PARA O VANT

Um Sistema Especialista para identificação de emergências e realização adequada de procedimentos tem como objetivo dotar o VANT da capacidade de identificar situações de risco e tomar decisões, em tempo real igual ou menor do que um segundo, como um piloto faria numa aeronave, de forma a minimizar prejuízos. Para esse projeto acadêmico, foi utilizada a experiência do autor, como piloto da Força Aérea Brasileira com cerca de 2.000 horas de voo, para a formação de uma base de conhecimento.

Por tratar-se de um protótipo para análise de viabilidade conceitual, o escopo foi restrito aos sistemas de motor, combustível, comunicação e comandos de voo. Assumiu-se inicialmente que o VANT pode se encontrar em duas situações distintas: comando autônomo ou manual. Assim, fixou-se que não haveria sobrepujamento de ações quando em modo manual, sendo emitido apenas um sinal de aviso ao operador para falhas de motor ou combustível. Isso foi definido com o objetivo de propiciar a fase de treinamento, na qual o aluno pode colocar o VANT em situações de “descontrole” e ser corrigido pelo instrutor sem a intervenção do artefato.

Foram definidas quatro ações possíveis de serem tomadas: prosseguir o voo, enviar aviso de emergência à estação, cortar o motor e acionar o pára-quedas e executar procedimento de regresso à base. Assim, quando não há condições de voo para retorno à base, é definida uma altura de segurança (para que não haja colisão com obstáculos), onde o VANT tentará se aproximar o máximo possível da estação de comando e só acionará o pára-quedas e desligará seu motor, quando essa

altura pré-definida for atingida. Para a realização do procedimento de pouso, foi considerado que o mesmo sempre será realizado no modo manual. Assim, mesmo que ele retorne à base de forma autônoma, numa falha de comunicação, por exemplo, ele irá descer até a altura de segurança na vertical, cortar o motor e acionar o pára-quadras. Para efeito de simplificação, foram consideradas as tradicionais faixas de operação dos instrumentos: verde-operação segura, amarela-cautela e vermelha-perigo. Nas verificações de atitude (velocidade, razão de descida e giro), foram considerados os limites normais e críticos, ou seja, há limites que quando ultrapassados indicam uma operação insegura.

Para a especificação de requisitos não funcionais foram definidas e consideradas duas características básicas: economia e simplicidade. Quanto à economia, ele deverá ser capaz de ser recuperado com o menor dano possível e a identificação rápida e correta dos problemas. Com relação à simplicidade, deve existir perfeita interação entre operador e máquina.

Como máquina de conhecimento e inferência foi utilizada a versão 1.1 do Expert SINTA, desenvolvida no Ceará pelo grupo SINTA (Sistemas Inteligentes Aplicados), atuando junto ao laboratório de Inteligência Artificial (LIA) da Universidade Federal do Ceará.

O Expert SINTA é um conjunto de ferramentas computacionais fundamentadas em técnicas de Inteligência Artificial para geração automática de sistemas especialistas. Utilizando um modelo de representação do conhecimento baseado em regras de produção e fatores de confiança, ele apresenta como objetivo principal simplificar o trabalho de implementação de sistemas especialistas através do uso de uma máquina de inferência compartilhada, da construção automática de telas e menus, do tratamento de incerteza nas regras de produção e da utilização de explicações sensíveis ao contexto da base de conhecimento modelada [6].

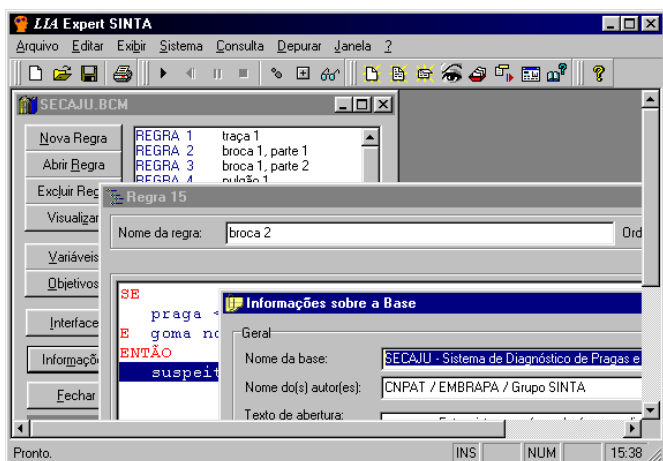


Fig. 3. Interface gráfica do Expert SINTA.

IV. CARTA HIERÁRQUICA DE ATRIBUTOS (CHA) E TABELA DE DECISÃO (TD)

Uma Carta Hierárquica de Atributos (CHA) foi concebida em apenas três níveis de inferência, e uma Tabela de Decisão (TD) condensada em quatro regras específicas (uma para cada ação a ser tomada) no Expert SINTA.

O primeiro nível de inferência propicia a avaliação dos seguintes aspectos:

- OPERAÇÃO;
- RISCO DE COLISÃO;
- MODO DE COMANDO; e
- ATITUDE.

A OPERAÇÃO reflete a condição propiciada pelos instrumentos de voo. Ela pode ser classificada em NORMAL (faixa verde de operação em todos os instrumentos), CAUTELA (faixa amarela em pelo menos um instrumento, não tendo nenhum operando em vermelho) e CRÍTICA (faixa vermelha em pelo menos um instrumento). O RISCO DE COLISÃO está ligado à altura de segurança e a execução de procedimento para pouso, assim, estar abaixo da altura de segurança e não estar em procedimento para pouso indica um risco de colisão ALTO. As demais combinações indicam um risco NORMAL. O aspecto COMANDO é obtido pela Seleção de Comando (manual ou automático) e Comunicação (normal ou com falha). Existem três possibilidades de operação do aspecto COMANDO: Manual, Automático e Automático com Falha. Caso haja falha de comunicação, estando a Seleção de Comando em manual ou automático, o Comando passará a Automático com Falha. No aspecto ATITUDE há duas classificações: Normal ou Anormal. Quando um limite de velocidade, razão de descida ou de giro é ultrapassado, a Atitude passa a ser considerada como Anormal.

O segundo nível de inferência propicia a definição dos seguintes aspectos:

- NÍVEL DE PERIGO; e
- CONTROLABILIDADE.

O NÍVEL DE PERIGO pode ser normal, médio ou alto, resultando da avaliação da Operação e do Risco de Colisão. Nele, serão verificadas as condições de voo em conjunto com o parâmetro da altura de segurança. Essa verificação é importante porque o VANT buscará resolver o problema enfrentado, enquanto estiver acima da altura de segurança, porém à medida que o risco de colisão aumentar, ele irá optar por cortar os motores e acionar o pára-quadras. Tal situação pode ser comparada à de um piloto de caça, que buscará o controle de seu avião ou a solução de um determinado problema até uma determinada altura segura para sua ejeção. A atitude da aeronave e o comando definirão o aspecto CONTROLABILIDADE, que propiciará saber: se as condições de voo, em termos de comandos, se encontram adequadas, na condição manual ou automática; se controlado, porém com falha de comunicação com a base; e, num último caso, se descontrolado. Aqui, segue-se uma consideração importante com relação ao treinamento, porque mesmo que o VANT esteja numa condição de voo anormal, em comando manual, ele não irá interferir nos comandos de voo, aceitando a situação como segura.

O terceiro nível de inferência propicia a definição de qual ação será executada, de acordo com as várias condições do voo. Assim, analisando-se a sua controlabilidade e o nível de perigo do voo, ele poderá optar por prosseguir em condições normais de voo, emitir alerta à estação, executar procedimentos para regresso seguro à base, ou ainda, optar por desligar o motor e acionar o pára-quadras. Todas essas ações têm como objetivo, quando em situações de emergência, trazer o VANT o mais próximo possível à base com o menor dano possível.

V. CÓDIGO FONTE

Regra 1

SE motor = normal
E autonomia = normal
E altura de segurança = acima
E velocidade = normal
E razão de descida = normal
E giro = normal
E comunicação = normal
OU motor = normal
E autonomia = normal
E seleção de comando = manual
E comunicação = normal
E velocidade = crítica
OU motor = normal
E autonomia = normal
E seleção de comando = manual
E comunicação = normal
E razão de descida = crítica
OU motor = normal
E autonomia = normal
E seleção de comando = manual
E comunicação = normal
E giro = crítica
ENTÃO resolve = prosseguir CNF 100%

Regra 2

SE seleção de comando = manual
E comunicação = normal
E motor = cuidado
OU seleção de comando = manual
E comunicação = normal
E motor = perigo
OU seleção de comando = manual
E comunicação = normal
E autonomia = restrita
OU seleção de comando = manual
E comunicação = normal
E autonomia = insuficiente
OU seleção de comando = manual
E comunicação = normal
E altura de segurança = abaixo
E procedimento para pouso = não
ENTÃO resolve = Enviar aviso de emergência à estação CNF 100%

Regra 3

SE altura de segurança = abaixo
E procedimento para pouso = não
E seleção de comando = automática
OU altura de segurança = abaixo
E procedimento para pouso = não
E seleção de comando = manual
E comunicação = falha
ENTÃO resolve = Cortar o motor e acionar o pára-quadras CNF 100%

Regra 4

SE altura de segurança = acima
E seleção de comando = automática
E motor = perigo
OU motor = cuidado

OU comunicação = falha
OU autonomia = insuficiente
OU autonomia = restrita
OU velocidade = crítica
OU razão de descida = crítica
OU giro = crítica
OU altura de segurança = abaixo
OU seleção de comando = automática
E procedimento para pouso = sim
E motor = perigo
OU motor = cuidado
OU comunicação = falha
OU autonomia = restrita
OU autonomia = insuficiente
OU velocidade = crítica
OU razão de descida = crítica
OU giro = crítica
OU altura de segurança = acima
OU seleção de comando = manual
E comunicação = falha
ENTÃO resolve = Executar procedimento de regresso à base CNF 100%

V. TESTES E RESULTADOS

Várias situações de emergência, apresentando falhas simples ou combinadas, foram testadas no protótipo e as decisões apresentadas sempre se mostraram coerentes. A título de ilustração, foi montado um cenário de vôo, com acontecimentos diferentes, onde em cada momento do vôo exigia-se do protótipo reavaliações e tomada de decisões diferentes [7].

CENÁRIO – Vôo de instrução, onde o aluno realiza manualmente a decolagem, executa algumas manobras básicas sobre a vertical da pista de pouso, muda o comando para automático para o início do reconhecimento de uma determinada área programada. O VANT realiza o perfil de vôo e, após finalizá-lo, executa o regresso. Quando na vertical da base, o aluno retorna o comando para manual e executa o pouso. Na missão foram pré-determinados o perfil de vôo a ser executado automaticamente pelo VANT e a altura de segurança para situações de emergência.

Durante a execução do cenário descrito, várias situações de emergência foram simuladas no protótipo para observação das decisões definidas pelo mesmo e verificação de sua coerência, tomando-se como base a avaliação de um especialista (um piloto).

SITUAÇÃO 1 – O aluno realiza com sucesso a decolagem e inicia o treinamento das manobras básicas assistido pelo seu instrutor. Durante os exercícios, acidentalmente, o VANT perde sustentação e começa a cair, de forma descontrolada, com elevadas razões de giro e descida.

Informações para o VANT:

Motor / Autonomia – Normal;
Altura de Segurança – Acima;
Velocidade - Normal;
Razão de Descida / Giro – Crítica;
Seleção de Comando – Manual; e
Comunicação – Normal.

Resolve:

PROSSEGUIR O VÔO

Análise:

O protótipo tem a informação de que está descontrolado, porém como a comunicação está normal e o comando é manual ele sabe que não deve intervir nos comandos de vôo. Em situação parecida, o máximo que ele faria seria avisar o controlador caso houvesse problemas relacionados ao motor ou autonomia, porque talvez, preocupado com a condução do vôo do VANT, ele pode não estar observando.

SITUAÇÃO 2 – Durante o perfil de reconhecimento há uma perda de potência no motor e indicação de pressão do motor na faixa amarela.

Informações para o VANT:

Motor – Cuidado;

Seleção de Comando – Automática; e

Altura de segurança = Acima.

Resolve:

EXECUTAR PROCEDIMENTO DE REGRESSO À BASE

Análise:

O protótipo tem a informação de que está com falha no sistema do motor e que o vôo saiu de uma situação normal para com cautela. Assim, ele decide regressar, o mais rápido possível, cancelando a missão, antes que o quadro piore.

SITUAÇÃO 3 – Durante o regresso à base, estando ainda acima da altura de segurança, a pressão no motor diminui consideravelmente e passa para a faixa vermelha (perigo).

Informações para o VANT:

Motor – Perigo;

Seleção de Comando – Automática; e

Altura de Segurança – Acima;

Resolve:

EXECUTAR PROCEDIMENTO DE REGRESSO À BASE

Análise:

O protótipo tem a informação de que está com uma falha grave no sistema do motor e que as condições básicas para a continuidade do vôo serão interrompidas a qualquer momento. Porém, ele avalia que o risco de colisão com obstáculos é baixo, por estar acima da altura de segurança, e continua o regresso à base para ser resgatado o mais próximo possível da mesma.

SITUAÇÃO 4 – O VANT perde mais altura porque a potência é insuficiente para manter o vôo reto e nivelado e fica abaixo da altura de segurança.

Informações para o VANT:

Motor – Perigo;

Seleção de Comando – Automática;

Altura de Segurança – Abaixo; e

Procedimento para pouso – Não;

Resolve:

CORTAR O MOTOR E ACIONAR O PÁRA-QUEDAS

Análise:

Como agora o risco de colisão é alto, ele opta por descer amparado pelo pára-quedas para que os danos de impacto com o terreno sejam os menores possíveis.

V. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Hoje em dia, no meio militar, o domínio de tecnologias que possibilitam a utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados em combate surge como assimetria. A Inteligência Artificial já está incorporada no nosso dia-a-dia e, com o surgimento de processadores mais velozes, desempenhará um papel cada vez mais destacado nas futuras invenções. Assim, a união dessas duas tecnologias pode ampliar o poder de combate e representar um diferencial para o desenrolar e a conclusão de batalhas.

Apesar do trabalho exposto ser apenas um protótipo com fins acadêmicos, tudo indica que a utilização de Sistemas Especialistas para Auxiliar nos Procedimentos de Segurança e Emergência em “VANTS” torna-se a cada dia mais viável, podendo trazer inúmeros benefícios aos Projetos para as Forças Armadas.

Como prosseguimento deste trabalho de pesquisa, recomenda-se a continuação do desenvolvimento e adaptação do protótipo de Sistema Especialista produzido até então, ao Projeto do VANT que vem sendo desenvolvido no CTA, visando à implementação de suas particularidades e a completeza de seus sistemas.

REFERÊNCIAS

- [1] PIKE, J. *Unmanned Aerial Vehicles(UAVs)*. 2005. Disponível em: < <http://www.fas.org/irp/program/collect/uav.htm>>. Acesso em: set 2006.
- [2] *Airforce-technology.com Predator RQ-1/MQ-1/MQ-9 Unmanned Aerial Vehicle (UAV), USA*. Disponível em: < <http://www.airforce-technology.com/projects/predator/>>. Acesso em: set 2006.
- [3] 1º Seminário Internacional de VANT – Veículos Aéreos Não Tripulados. Disponível em: < <http://www.aviacao-civil.ifi.cta.br/svant/vant.asp>>. Acesso em: set 2006.
- [4] RUSSELL, S.J.; NORVIG, P. *Inteligência Artificial: tradução da segunda edição*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004 - 4ª reimpressão. p.3.
- [5] Notas de Aula da Disciplina EE-09 Inteligência Artificial, do Curso de Especialização em Análise de Ambientes Eletromagnéticos – CEAAE, 2º Semestre de 2005, Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA.
- [6] *Sistemas Inteligentes Aplicados – EXPERT SINTA*. Disponível em: < <http://www.lia.ufc.br/~bezerra/exsinta/>>. Acesso em: set 2006.
- [7] Um Protótipo de um Sistema Especialista para Identificação e Realização de Procedimentos de Emergência de VANTS Utilizando o Expert SINTA, Relatório Final da Disciplina EE-09 Inteligência Artificial, do Curso de Especialização em Análise de Ambientes Eletromagnéticos – CEAAE, 2º Semestre de 2005, Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA.