



# INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL: CONCEITOS BÁSICOS E APLICAÇÕES MILITARES

Aléssio Ribeiro Souto

O artigo apresenta alguns conceitos fundamentais relacionados com a Inteligência Artificial, campo importante da Informática, e com os Sistemas Especialistas, uma de suas aplicações mais bem sucedidas, ao mesmo tempo que examina os principais desses sistemas com finalidade tipicamente militar desenvolvidos nos Estados Unidos, cujos domínios, de alguma forma, se relacionam a atividades desenvolvidas pelo Exército Brasileiro.

Ele é resultado de pesquisa bibliográfica realizada, pelo autor, ao iniciar a tese de mestrado: "Um Sistema Especialista para Diagnóstico de Avaria de Carro-de-Combate."

"... Não deve vacilar então e, sim, lançar-se sempre para o futuro, pelas abertas de sua época."

(Mal Humberto de Alencar Castelo Branco)

**A** Inteligência Artificial é um campo da Informática que tem atraído de maneira crescente a atenção dos pesquisadores, a tal ponto que já se encontra na literatura – sobretudo norte-americana – referências a centenas de projetos desenvolvidos nas mais diversas áreas de atividades humanas, tais como: Agricultura, Ciência Espacial, Ciência Militar, Direi-

to, Eletrônica, Física, Geologia, Matemática, Medicina, Meteorologia e Química.

A grande maioria dos sistemas desenvolvidos alcançou o estágio de protótipo de demonstração e de pesquisa e alguns poucos encontram-se em operação corrente. O progresso atingido no último decênio possibilita antever – talvez a médio prazo e certamente a longo prazo –

a utilização intensiva de técnicas variantes da *Inteligência Artificial* nos sistemas computacionais. Decorre daí que o conhecimento do que se faz alhures deve ser absorvido e difundido para que, nas pesquisas em nosso País e, particularmente, em atividades militares do Exército Brasileiro, se desenvolvam projetos que incluam essa tecnologia de ponta.

O presente ensaio tem, como objetivos:

- apresentar alguns conceitos fundamentais relacionados com a *Inteligência Artificial* e com uma de suas aplicações mais bem sucedidas: os *sistemas especialistas*;

- apresentar alguns dentre os principais *sistemas especialistas com finalidade tipicamente militar* desenvolvidos nos Estados Unidos e cujos domínios, de alguma forma, se relacionam a atividades desenvolvidas pelo Exército Brasileiro.

## INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

*Inteligência Artificial*, segundo Winston,<sup>1</sup> é o campo da ciência da computação que trata do projeto de sistemas de computadores inteligentes, isto é, de sistemas que exibem características que são associadas com a maneira do ser humano pensar. Um objetivo da *Inteligência Artificial* é tornar os computadores mais úteis; outro objetivo é entender os princípios que tornam a inteligência possível.

Uma caracterização da *Inteligência Artificial*, conforme Passos,<sup>2</sup> pode ser feita através de suas áreas de aplicação, ou seja, processamento de linguagem natural, entendimento de imagens, resolução de problemas e geração de planos, e sistemas especialistas.

O processamento de linguagem natural é a área que trata do desenvolvimento de programas que permitem o diálogo homem-máquina em linguagem natural. Além disso, uma parcela significativa das pesquisas do entendimento de linguagem natural tem objetivos adicionais relacionados com a ciência cognitiva, tais como identificação dos princípios do aprendizado, raciocínio, julgamento e a arquitetura da mente humana.

O entendimento de imagens trata da possibilidade do sistema "ver", identificar ou entender o que ele "vê", para localizar o que procura e, também, realizar ações.

A resolução de problemas através da geração de planos trata do estudo do desenvolvimento de processos para selecionar e colocar em seqüência as ações individuais para se chegar aos objetivos desejados (solução do problema). A seqüência de ações é chamada *plano*.

Os *sistemas especialistas* são programas que simulam o raciocínio de elementos humanos na solução de problemas complexos do mundo real. Por constituírem uma das áreas mais promissoras do campo da

*Inteligência Artificial*, são apresentados, a seguir, os principais aspectos envolvidos em seu desenvolvimento.

## SISTEMAS ESPECIALISTAS

Os *sistemas especialistas* se destinam à solução de problemas que englobam vasto domínio de conhecimento e que requerem, do elemento humano, alto grau de especialização. O conhecimento especialista é obtido ao longo de vários anos de experiência e não provém somente da literatura disponível mas, também, da prática profissional exaustiva. A transferência de conhecimento do ser humano para o sistema especialista é um processo difícil, na medida em que este conhecimento é, via de regra, impreciso e incerto, embora o ser humano o utilize para chegar a conclusões corretas e utilizáveis.

### Estrutura de um Sistema Especialista Ideal

A Figura 1 mostra a representação de um *sistema especialista* ideal, de acordo com Hayes-Roth<sup>3</sup>. Nenhum *sistema especialista* contém todos os componentes apresentados, mas alguns componentes ocorrem em todos os sistemas especialistas.

O *processador de linguagem* destina-se à interface entre o usuário e o *sistema especialista*.

A comunicação entre o usuário e o *sistema especialista* é feita em linguagem natural e em alguns casos através de gráficos ou estrutura de editor. Ele analisa e interpreta as perguntas, comandos e informações do usuário; em sentido inverso, procede à colocação das informações geradas pelo sistema em formato conveniente, incluindo respostas a questões, justificativas para seu comportamento e requisição de dados.

O *quadro de registro* (ou "blackboard") tem a finalidade de registrar hipóteses intermediárias e decisões que o *sistema especialista* manipula, fazendo uma espécie de filtragem nas estratégias para a solução do problema. Três tipos de decisões são registradas: *plano*, *agenda* e *solução*. O *plano* mostra o enfoque geral com que o sistema aborda o problema, isto é, os objetivos, os estados do problema e o contexto. A *agenda* registra as ações potenciais aguardando execução. A *solução* representa as decisões e hipóteses possíveis para o problema.

O *seqüenciador* presta-se a manter o controle da *agenda* e determinar que próximas ações devem ser executadas.

O *interpretador* destina-se a executar os itens da agenda escolhida pela aplicação das regras da base de conhecimento correspondente; ele valida as condições de aplicabilidade da regra, associa variáveis nestas condições à solução particular indicada pelo quadro de regis-

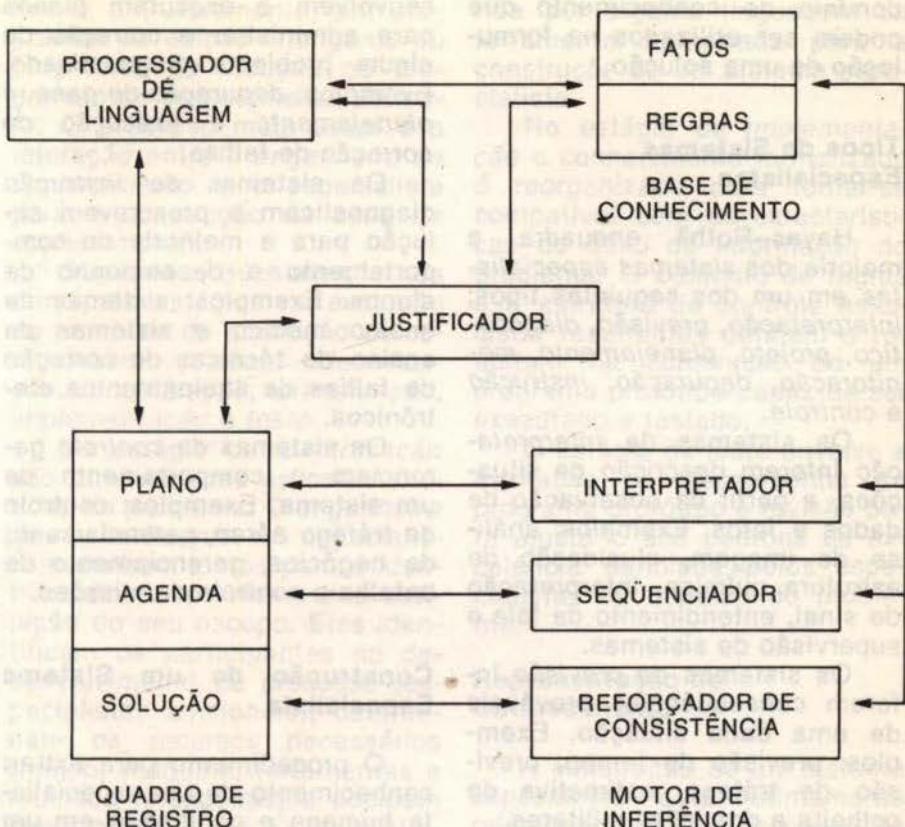


Figura 1 – Estrutura de um sistema especialista ideal.

tro, e então faz as mudanças que as regras prescrevem no quadro de registro.

O *reforçador de consistência* tem a finalidade de manter a consistência da solução emergente, o que significa revisões na probabilidade quando as soluções representam diagnósticos hipotéticos e novos dados são introduzidos; significa, ainda, a execução de procedimentos que dizem respeito à representação

lógica quando as soluções representam deduções lógicas e suas relações de valor verdade.

O *justificador* presta-se a explicar as ações do sistema ao usuário. Em geral, ele responde porque algumas conclusões foram alcançadas ou porque algumas alternativas foram rejeitadas.

A *base de conhecimento* tem o objetivo de registrar regras, fatos e informações acerca do

*Inteligência Artificial*, são apresentados, a seguir, os principais aspectos envolvidos em seu desenvolvimento.

## SISTEMAS ESPECIALISTAS

Os *sistemas especialistas* se destinam à solução de problemas que englobam vasto domínio de conhecimento e que requerem, do elemento humano, alto grau de especialização. O conhecimento especialista é obtido ao longo de vários anos de experiência e não provém somente da literatura disponível mas, também, da prática profissional exaustiva. A transferência de conhecimento do ser humano para o sistema especialista é um processo difícil, na medida em que este conhecimento é, via de regra, impreciso e incerto, embora o ser humano o utilize para chegar a conclusões corretas e utilizáveis.

### Estrutura de um Sistema Especialista Ideal

A Figura 1 mostra a representação de um *sistema especialista* ideal, de acordo com Hayes-Roth<sup>3</sup>. Nenhum *sistema especialista* contém todos os componentes apresentados, mas alguns componentes ocorrem em todos os sistemas especialistas.

O *processador de linguagem* destina-se à interface entre o usuário e o *sistema especialista*.

A comunicação entre o usuário e o *sistema especialista* é feita em linguagem natural e em alguns casos através de gráficos ou estrutura de editor. Ele analisa e interpreta as perguntas, comandos e informações do usuário; em sentido inverso, procede à colocação das informações geradas pelo sistema em formato conveniente, incluindo respostas a questões, justificativas para seu comportamento e requisição de dados.

O *quadro de registro* (ou "blackboard") tem a finalidade de registrar hipóteses intermidiárias e decisões que o *sistema especialista* manipula, fazendo uma espécie de filtragem nas estratégias para a solução do problema. Três tipos de decisões são registradas: *plano*, *agenda* e *solução*. O *plano* mostra o enfoque geral com que o sistema aborda o problema, isto é, os objetivos, os estados do problema e o contexto. A *agenda* registra as ações potenciais aguardando execução. A *solução* representa as decisões e hipóteses possíveis para o problema.

O *seqüenciador* presta-se a manter o controle da *agenda* e determinar que próximas ações devem ser executadas.

O *interpretador* destina-se a executar os itens da agenda escolhida pela aplicação das regras da base de conhecimento correspondente; ele valida as condições de aplicabilidade da regra, associa variáveis nestas condições à solução particular indicada pelo quadro de regis-

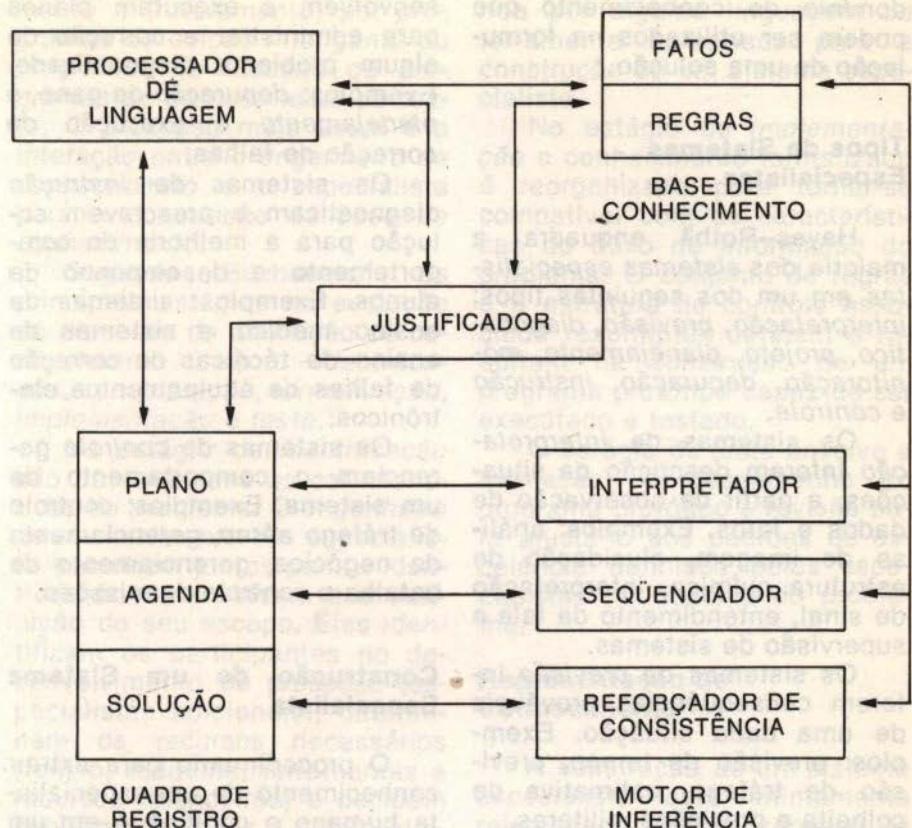


Figura 1 – Estrutura de um sistema especialista ideal.

tro, e então faz as mudanças que as regras prescrevem no quadro de registro.

O reforçador de consistência tem a finalidade de manter a consistência da solução emergente, o que significa revisões na probabilidade quando as soluções representam diagnósticos hipotéticos e novos dados são introduzidos; significa, ainda, a execução de procedimentos que dizem respeito à representação

lógica quando as soluções representam deduções lógicas e suas relações de valor verdade.

O justificador presta-se a explicar as ações do sistema ao usuário. Em geral, ele responde porque algumas conclusões foram alcançadas ou porque algumas alternativas foram rejeitadas.

A base de conhecimento tem o objetivo de registrar regras, fatos e informações acerca do

domínio de conhecimento que podem ser utilizados na formulação de uma solução.

### Tipos de Sistemas Especialistas

Hayes-Roth<sup>3</sup> enquadra a maioria dos *sistemas especialistas* em um dos seguintes tipos: *interpretação, previsão, diagnóstico, projeto, planejamento, monitoração, depuração, instrução e controle*.

Os sistemas de *interpretação* inferem descrição de situações, a partir da observação de dados e fatos. Exemplos: análise de imagem, elucidação de estrutura química, interpretação de sinal, entendimento da fala e supervisão de sistemas.

Os sistemas de *previsão* inferem consequências prováveis de uma dada situação. Exemplos: previsão de tempo, previsão de tráfego, estimativa de colheita e previsões militares.

Os sistemas de *diagnóstico* inferem as causas de falhas de sistemas a partir da observação ou mensuração de dados e fatos. Exemplos: diagnóstico médico, diagnóstico de avarias de equipamentos mecânicos e eletrônicos e diagnóstico de falhas de *software*.

Os sistemas de *projeto* desenvolvem configurações de objetivos que satisfazem às restrições do problema em projeto. Exemplos: "lay-out" de circuitos, projetos de construção e orçamentação.

Os sistemas de reparo de-

envolvem e executam planos para administrar a correção de algum problema diagnosticado. Exemplos: *depuração de pane, e planejamento e execução de correção de falhas*.

Os sistemas de *instrução* diagnosticam e prescrevem solução para a melhoria do comportamento e desempenho de alunos. Exemplos: sistemas de ensino médico e sistemas de ensino de técnicas de correção de falhas de equipamentos eletrônicos.

Os sistemas de *controle* gerenciam o comportamento de um sistema. Exemplos: controle de tráfego aéreo, gerenciamento de negócios, gerenciamento de batalha e controle de missões.

### Construção de um Sistema Especialista

O procedimento para extrair conhecimento de um especialista humano e codificá-lo em um programa é chamado *aquisição de conhecimento*. Essa transferência e transformação de perfeição em solução de problemas – de uma fonte de conhecimento em um programa – é a parte crucial do processo de desenvolvimento de um sistema especialista.

O processo de transferência do conhecimento da fonte (especialista humano, dados empíricos, estudo de casos ou outras fontes das quais o conhecimento pode ser adquirido) para o programa deve ser executado por um *engenheiro de conhecimento*.

mento e (futuramente) por *programas de edição inteligente* ou *programas de indução* ou *programas de entendimento de texto*. O processo mais usual é a interação entre o *engenheiro de conhecimento* e o especialista para a construção da *base de conhecimento*.

Segundo Buchanan,<sup>4</sup> os principais estágios na evolução do processo de aquisição de conhecimento são: *identificação, conceituação, formalização, implementação e teste*.

No estágio de *identificação* são determinadas as características do problema. O *engenheiro de conhecimento* e o especialista trabalham juntos para a identificação do problema e a definição do seu escopo. Eles identificam os participantes no desenvolvimento do processo (especialistas adicionais), determinam os recursos necessários (tempo, máquina, ferramentas e recursos financeiros) e decidem sobre os objetivos a serem atingidos ao longo da construção do sistema especialista.

No estágio de *conceituação* são especificados os conceitos básicos, as relações e as características do fluxo de informações necessárias para descrever o processo de solução do problema no domínio dado. São especificadas também as subtarefas, as estratégias e as restrições relacionadas com a atividade de solução do problema.

O estágio de *formalização* envolve a associação dos conceitos básicos e relações com uma representação formal suge-

rida por alguma linguagem ou ferramenta apropriada para a construção de um sistema especialista.

No estágio de *implementação* o conhecimento formalizado é reorganizado para tornar-se compatível com as características do fluxo de informação do problema. O conjunto de regras e a estrutura de controle associada resultantes definem e resultam na construção de um programa protótipo capaz de ser executado e testado.

O estágio de *teste* envolve a avaliação do desempenho do programa protótipo e revisão para ajustá-lo aos padrões de excelência definidos pelos especialistas no domínio do problema.

## Representação do Conhecimento

A construção de um *sistema especialista* está intimamente relacionada com o processo de representação do conhecimento necessário para solução de um dado problema. O conhecimento do especialista humano é formalizado em uma representação adequada para ser embutido na base de conhecimento.

Os métodos para representação do conhecimento encontrados na maioria dos *sistemas especialistas* atuais, conforme aponta Waterman<sup>5</sup>, são: *regras, frames e redes semânticas*.

A representação baseada em *regras* fornece uma maneira de formalizar recomendações, dire-

trizes, ou estratégias. Elas são apropriadas quando o domínio de conhecimento resulta de associações empíricas desenvolvidas através de anos de experiência resolvendo problemas em uma determinada área. As regras são expressas como declarações SE-ENTÃO, onde a parte SE contém uma ou mais condições (ou premissas) e a parte ENTÃO contém uma ou mais conclusões. A seguir são apresentados dois exemplos de regras aplicáveis à caixa de transmissão múltipla CD-500.

#### REGRA x

*SE* a viatura não faz curva e a pressão de óleo na linha de óleo da embreagem da direção é normal

*ENTÃO* há avaria no sistema de embreagem de direção.

#### REGRA y

*SE* há avaria no sistema de embreagem de direção e o ruído de acionamento das embreagens é normal

*ENTÃO* há avaria nos discos de embreagens da direção.

Há dois modos pelos quais as regras podem ser usadas em um sistema baseado em *regras*: um é chamado *encadeamento*

*para frente* (ou dirigido para o dado) e o outro é chamado *encadeamento para trás* (ou dirigido para o objetivo). O *encadeamento para frente* é um método de inferência que começa com conhecimento inicial e aplica as regras para gerar novo conhecimento, até que tenha chegado a uma solução para o problema ou nenhuma inferência adicional possa ser feita. Nesse método, aplicar uma *regra* significa comparar os fatos conhecidos com as condições especificadas em sua parte SE; se as condições são verificadas verdadeiras então pode ter sido gerado um fato novo constante da conclusão. O *encadeamento para trás* é um método de inferência que começa com um objetivo que se quer provar e que é decomposto em subobjetivos mais simples, até que uma solução seja encontrada ou todos os objetivos sejam decompostos em seus componentes mais simples. Nesse método, a aplicação de uma *regra* consiste em comparar sua conclusão (que contém o que se quer provar) com os fatos conhecidos; se não é fato conhecido, repete-se o procedimento com outras regras que contenham, na conclusão (parte ENTÃO), as condições (parte SE) da regra anterior, cuja conclusão não pode ser verificada.

A representação baseada em *frames* modela o conhecimento em uma rede de *nós* e relações organizadas hierarquicamente para descrever objetivos, atos ou eventos estereotipados. Os *nós* mais elevados representam

conceitos mais gerais e os inferiores representam instâncias específicas desses conceitos. Os conceitos são definidos por uma coleção de atributos e respectivos valores. Os atributos são chamados *campos* (ou "slots"). Cada *campo* tem procedimentos associados que são executados quando a informação do *campo* (isto é, o valor do atributo) é mudada.

Cada *campo* pode ter qualquer número de procedimentos associados a ele. Os procedimentos mais usuais são:

– Procedimento SE-ACR (ou se-acrescentado ou "ifadded"). Este procedimento executa alguma ação quando uma informação nova é acrescentada ao *campo*.

– Procedimento SE-REM (ou se-removido ou "ifremoved"). Este procedimento executa alguma ação quando informação é removida do *campo*.

– Procedimento SE-NEC (ou se-necessitado ou "ifneeded"). Este procedimento executa alguma tarefa com a finalidade de buscar informação quando informação é necessária no *campo*, mas o *campo* está vazio.

Para ilustrar o modo de operação de um sistema de *frames*, suponha que foi implementada, em um programa computacional, uma representação de conhecimento para o conceito reconhecimento, que é realizado pela Companhia *C*, e cuja descrição de caso – que não contém nenhuma preocupação de veracidade

em relação aos aspectos operacionais ou táticos ou outros aspectos militares de quaisquer natureza – é apresentada a seguir:

(1) A Companhia *C* possui quatro Pelotões: P1, P2, P3 e P4.

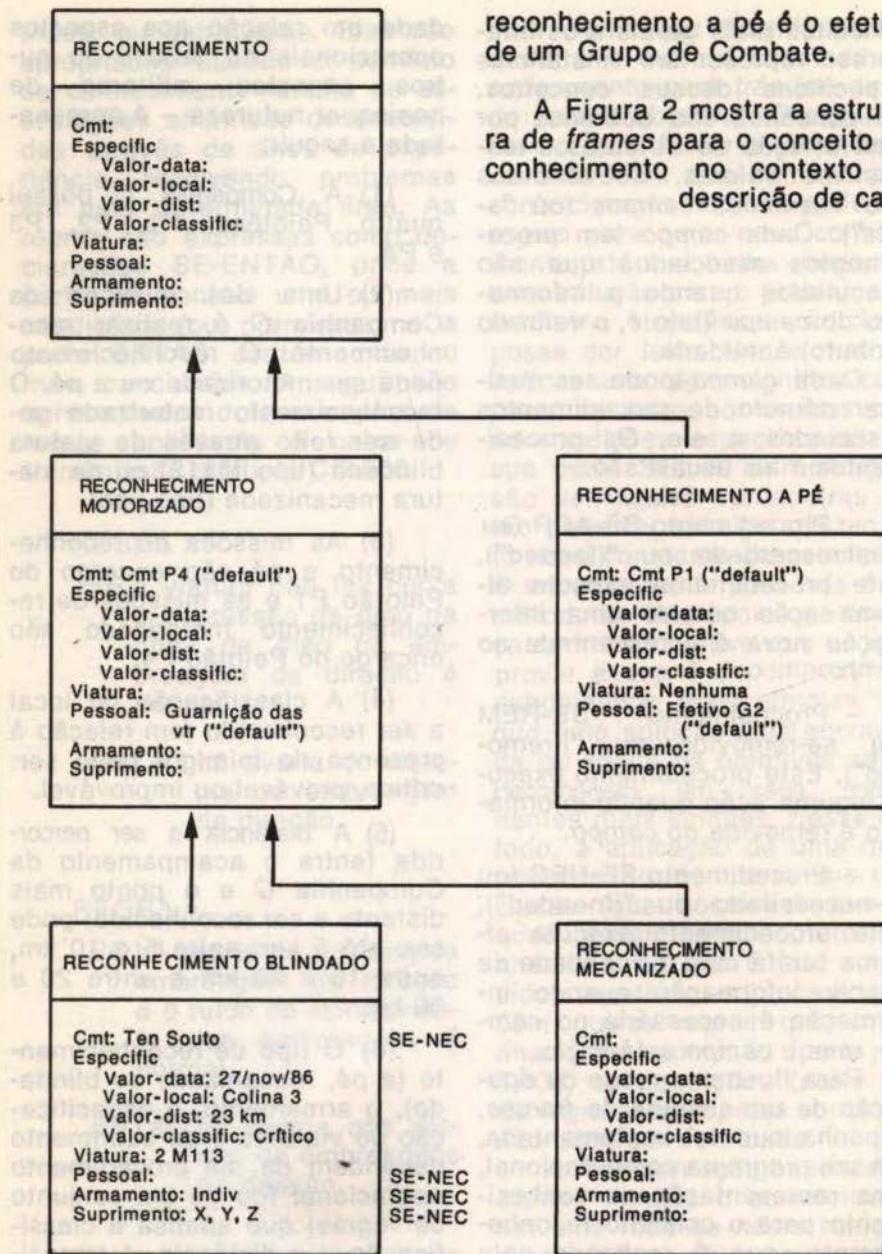
(2) Uma das missões da Companhia *C* é realizar reconhecimento. O reconhecimento pode ser motorizado ou a pé. O reconhecimento motorizado pode ser feito através de viatura blindada (tipo M113) ou de viatura mecanizada (tipo jipe).

(3) As missões de reconhecimento a pé são encargo do Pelotão P1 e as missões de reconhecimento motorizado são encargo do Pelotão P4.

(4) A classificação do local a ser reconhecido (em relação à presença do inimigo) pode ser: crítico, provável ou improvável.

(5) A distância a ser percorrida (entre o acampamento da Companhia *C* e o ponto mais distante a ser reconhecido) pode ser: até 5 km, entre 5 e 10 km, entre 10 e 20 km e entre 20 e 30 km.

(6) O tipo de reconhecimento (a pé, mecanizado ou blindado), o armamento, a especificação de viaturas e de suprimento dependem de um procedimento operacional (ou de um conjunto de regras) que analisa a classificação e a distância. A especificação de pessoal no reconhecimento motorizado é o efetivo da guarnição das viaturas, e no



reconhecimento a pé é o efetivo de um Grupo de Combate.

A Figura 2 mostra a estrutura de frames para o conceito reconhecimento no contexto da descrição de caso

**Figura 2 – Representação de conhecimento baseada em "frames" para o conceito RECONHECIMENTO em um contexto predefinido.**

apresentada. Suponha agora que o comandante da Companhia expediu a seguinte ordem através do sistema implementando: "Realizar reconhecimento hoje, na coluna 3, distância aproximada 23 km, classificação crítica". A mensagem é analisada pelo programa de interação com o usuário, à luz das diretrizes do procedimento operacional, e é inserida no campo *Especific* do *frame RECONHECIMENTO BLINDADO*. As seguintes ações são realizadas pelo programa de inferência:

– O procedimento SE-ACR associado ao campo *Especific* executa a ação prevista, porque um valor foi inserido. O procedimento busca na base de dados o nome do comandante do Pelotão P4 e o insere no campo *Cmt* do *frame RECONHECIMENTO BLINDADO*.

– O procedimento SE-ACR associado ao campo *Cmt* executa a ação prevista porque um valor foi inserido, e verifica que faltam os valores dos campos *Viatura*, *Pessoal*, *Armamento* e *Suprimento*.

– O procedimento SE-ACR ativa então os procedimentos SE-NEC associados aos campos vazios, exceto o campo *Pessoal* que não tem procedimento associado. Os procedimentos SE-NEC obtêm os valores necessários para os campos vazios, exceto para o campo *Pessoal*.

– O procedimento SE-ACR verifica que continua faltando o valor do campo *Pessoal*, mas

verifica, também, que no *frame* de nível superior existe valor *default* para este campo; herda-o, compõe e imprime a seguinte mensagem:

"TEN SOUTO, realizar reconhecimento, em 27/nov/86, na Colina 3, distância 23 km, classificação crítica. Utilizar 2 M113 com guarnição de pessoal das viaturas, armamento individual e suprimento X, Y e Z."

Na representação apresentada na Figura 2, os seguintes procedimentos estão associados aos campos do *frame RECONHECIMENTO BLINDADO*:

– SE-ACR – Expedir mensagem para realização de reconhecimento pelo militar do campo *Cmt*, no local com as especificações do campo *Especific*, utilizando o seguinte pessoal e material: viaturas do campo *Viatura*, pessoal do campo *Pessoal*, armamento do campo *Armamento* e suprimento do campo *Suprimento*.

– SE-NEC – Insira no campo *Viatura* (ou *Armamento*, ou *Suprimento*) as viaturas (ou armamento, ou suprimento) necessárias segundo o procedimento operacional.

## SISTEMAS ESPECIALISTAS PARA APLICAÇÕES MILITARES

A observação de várias fontes da literatura mostra que os

altos escalões militares americanos têm financiado várias pesquisas em *Inteligência Artificial*. Alguns dentre os principais resultados redundaram em protótipos de sistemas especialistas voltados para os seguintes domínios: cartografia, comunicações, assessoramento na análise do campo de batalha, planejamento de fogos, guerra eletrônica e planejamento de missão. Os sistemas coletados são sumariados a seguir.

### Aces-1

Destina-se a executar uma parcela do trabalho do cartógrafo na execução de cartas. O sistema ACES-1 (citado por Waterman<sup>5</sup>) recebe como entrada uma carta não preenchida, dados descrevendo pontos onde objetivos estão localizados, e tipos de símbolos e textos para serem dispostos em cada ponto. O sistema seleciona a localização e o tamanho do símbolo, o padrão tipográfico, e o nível de descrição que melhor se adapta à carta em questão.

### Aces-2

Tem o objetivo de automatizar a análise especialista de imagem cartográfica aérea complexa, através da utilização de algoritmos de classificação estatística. O objetivo do sistema ACES-2 (construído por Doerty<sup>6</sup>) é atingido através da utilização de quatro programas especialistas: um programa de segmentação baseado em re-

gião, um programa de extração de característica, um programa classificador estatístico *top-down* e um sistema de conhecimento global baseado em regras.

### Aces-3

Presta-se a auxiliar o operador militar de comunicações aéreas – inclusive via satélite – através da otimização das junções de operação em função das condições existentes. O sistema ACES-3 (desenvolvido por Miller-Jacobs<sup>7</sup>) utiliza a abordagem da estratégia *geração e teste*, na qual uma hipótese é gerada e subseqüentemente verificada ou modificada por um sistema de regras. O processo de seleção e verificação da hipótese é repetido em quatro módulos – seleção da via, compatibilidade de recurso, disponibilidade de recurso, e fatores ambientais – até atingir o objetivo que deve satisfazer um conjunto de restrições. Cada um desses módulos possui uma máquina de inferência específica e base de conhecimento estruturada em regras.

### Adept

Destina-se a fornecer assessoramento militar em estudo de situação do campo de batalha, através do fornecimento de interpretações táticas de relatórios da cadeia de informações. O sistema ADEPT (citado por Waterman<sup>5</sup>) utiliza estes relató-

rios para gerar um mapa de posições de combate no campo de batalha. O conhecimento e a pericia militares são codificados em regras que inferem como e porque as forças inimigas operam e o significado tático da situação atual.

### Amuid

Tem o objetivo de fornecer assessoramento militar na análise do terreno do campo de batalha. O sistema AMUID (citado por Waterman<sup>5</sup>) recebe dados dos relatórios de informação, de sensores de imagens visual e infravermelha e de radares indicadores de alvo em níveis hierárquicos (por exemplo: Companhias, Batalhões etc.). O sistema fornece análise em tempo real e atualiza a situação continuamente à medida que os dados chegam. A pericia do AMUID é codificada em regras que operam no conhecimento do domínio (por exemplo: tipos de equipamentos militares, padrões de disposição de tropas em formação de combate, e outros padrões táticos) modelado em uma semântica.

### Analyst

Presta-se a fornecer assessoramento militar em estudo de situação do campo de batalha. O sistema ANALYST (desenvolvido por Zymelman<sup>6</sup>) apresenta graficamente a disposição da unidade de combate inimiga e partes de dados sensoriados de

múltiplas fontes. O sistema ANALYST junta informações diversas com a finalidade de: (i) localizar e classificar unidades inimigas por escalão, função geral, e localização relativa; (ii) detetar movimentos das forças inimigas. O sistema contém pericia obtida de analistas de informações, incluindo como interpretar e integrar dados sensoriados.

### Battle

Destina-se a fornecer recomendações para o planejamento de fogos em situação de combate, dados um conjunto de armas e um conjunto de alvos. Para formular a solução desejada o sistema BATTLE (construído por Slagle<sup>7</sup>) obtém informações acerca da situação no campo de batalha, fornecidas pelo usuário a partir dos centros de decisão ou de observador avançado. Quando informações suficientes tiverem dado entrada, o usuário chama o algoritmo de alocação, que tem duas fases (ambas utilizam técnicas variantes de *Inteligência Artificial*). Na primeira fase é feita a análise da eficiência de cada arma contra cada alvo, através de uma rede computacional (onde o valor de cada nó é calculado por funções preestabelecidas, cujos argumentos são os valores dos nós antecedentes) construída originalmente por um militar especialista no domínio. Cada nó da rede corresponde a fatores, que se relacionam com a obtenção

da eficiência desejada, tais como: posição do alvo e da arma, limite do campo de tiro, prontidão da guarnição de pessoal, habilidade de contrafogo, *status* de munição, possibilidade de ressuprimento, aspectos de tempo etc. Na segunda fase são construídas árvores de alocação para determinar um plano de alocação otimizado, isto é, que permita máxima destruição com mínimo dispêndio. Os valores de eficiência individual – calculados na primeira fase – são usados para conduzir o atravessamento e a redução de possibilidade na árvore de alocação. Um plano com as possibilidades de bombardeio caracteriza uma árvore que em circunstâncias típicas tem uma dimensão grande em demasia para ser construída e examinada exaustivamente. Dessa forma, algoritmos de redução são empregados no processo de busca. O sistema BATTLE representa o conhecimento através de regras associadas com fatores de certeza.

### Dart

Tem o objetivo de auxiliar o analista de contra-medidas de Comando, Controle e Comunicações (C3) no processamento de informações. O sistema DART (citado por Waterman<sup>5</sup>) fornece recomendações ao analista na identificação de nós críticos da rede C3 inimiga e no processamento de mensagens relacionadas com a situação no campo de operações.

### Hannibal

Presta-se a executar avaliação da situação na área de comunicação de informações. O sistema HANNIBAL (citado por Waterman<sup>5</sup>) identifica as unidades organizacionais inimigas e suas comunicações acerca das operações pela interpretação de dados de sensores que monitoram as comunicações via rádio. Estes dados incluem informações acerca do posicionamento e sinais característicos (por exemplo: freqüência, modulação, classe de canais etc.) da comunicação detectada.

### I & W

Destina-se a assessorar o analista de informações na previsão de onde e quando um conflito armado ocorrerá. O sistema I & W (citado por Waterman<sup>5</sup>) analisa relatórios de informações; por exemplo: relatórios de localização de tropas e de atividades e movimentos, usando conhecimento acerca de indicadores comuns de atividade de tropa. O conhecimento é representado em uma arquitetura *black-board* que usa *frames* e tratamento de regras através da estratégia de encadeamento para frente.

### MPB

Tem o objetivo de planejar a missão de uma viatura autônoma, o que significa a geração de uma seqüência de ações para

satisfazer objetivos e restrições colocados por um comandante militar. O sistema MPB (desenvolvido por Pearson<sup>10</sup>) utiliza a arquitetura *blackboard*, onde uma estrutura de dados hierárquica global é particionada para representar o domínio do problema como uma hierarquia de níveis de análise. Esta estrutura codifica conhecimento de diversas fontes (tais como informações do terreno, propriedades físicas do veículo, doutrina militar, estratégias de planejamento e limitações de recursos) em fontes de conhecimento que cooperam para executar o planejamento da missão. Exemplos típicos de planejamento de missão pelo sistema MPB são: reconhecimento motorizado, transporte de tropa e transporte de suprimento.

## RICA

Presta-se a classificação de áreas, que exibem certas propriedades, em sua imagem de radar. O sistema RICA (construído por Franks<sup>11</sup>) divide uma imagem de radar de 512 x 512 pixel em áreas de 32 x 32 pixel chamadas janelas e, dependendo dos seus conteúdos, classifica-as em classes características, tais como: campo, floresta, água, cidade, e fronteira (área com pelo menos duas características entre as anteriores). O sistema está estruturado em três níveis: nível de processamento de imagem, nível de coleta de informações e de inferên-

cia e nível de sistemas especialistas específicos de vários subdomínios.

## Scenario-Agent

Destina-se a auxiliar participantes em jogos de guerra através do fornecimento de um modelo de comportamento de países que não são superpotências, em situações de conflitos estratégicos. O sistema SCENARIO-AGENT (citado por Waterman<sup>5</sup>) indica ao usuário e ao sistema de jogos de guerra se esses países darão apoio às superpotências, isto é, se entre outras medidas permitirão o uso de suas bases militares e colocarão suas Forças Armadas à disposição para emprego no conflito.

## Sentinel

Tem o objetivo de auxiliar a tomada de decisões pelo oficial encarregado do lançamento de mísseis estratégicos. O sistema SENTINEL (desenvolvido por Tobat<sup>12</sup>) utiliza simulação de uma rede de Comando, Controle e Comunicações, que envolve lançamento de mísseis múltiplos baseados em vinte países.

## Tacfic

Presta-se a auxiliar militares de grupo de obuses a tomar decisões de controle de fogo tático. O sistema TACFIC (desenvolvido por Kaste<sup>13</sup>) sugere prioridades para a missão da

unidade de fogo, bem como aspectos específicos, tais como: munição exequível, volume de fogo baseado no efeito desejado e na munição disponível e planos de fogos. O sistema utiliza uma abordagem de *frames* e regras.

### Tempoical

Destina-se a avaliar as decisões tomadas pelos participantes do jogo de guerra TEMPO e a dirigir instrução sobre planejamento de forças militares e gerenciamento de recursos. O objetivo do jogo de guerra TEMPO é planejar operações militares de forma a maximizar a eficácia (entendida neste caso como a relação custo-benefício) das armas ofensivas amigas e minimizar a eficácia das armas ofensivas inimigas. No início de cada jogo os participantes (em realidade cada oponente em geral é constituído por uma equipe de 20 militares) recebem um orçamento; uma lista de armas ofensivas e defensivas, com os respectivos orçamentos de aquisição e operação; uma lista de projetos de pesquisa e desenvolvimento, com a avaliação de custos; e um relatório de informações. Operando sobre todos os fatores do contexto e tomando decisões em um dado período de tempo, os participantes obtêm a análise final em termos de eficácia contra dado similar obtido pelos participantes oponentes. Ao final da sessão, o líder de cada equipe orienta os

participantes em uma discussão acerca das etapas do jogo, dos acertos e erros cometidos. O sistema TEMPOICAL (desenvolvido por White<sup>14</sup>) substitui o líder e orienta a crítica e aprendizado em relação a planejamento de forças militares e gerenciamento de recursos.

### TWIRL

Tem o objetivo de auxiliar especialistas em tática através do fornecimento de simulações interativas de combate terrestre entre duas forças militares opostas, e de um ambiente de operações no qual se pode desenvolver e depurar táticas militares. O sistema TWIRL (citado por Waterman<sup>5</sup>) usa uma simulação de travessia de rio acelerada como teste para explorar contramedidas de Controle, Comando e Comunicações, guerra eletrônica e combate eletrônico. Sua perfeita inclui simulação de tática de combate ofensivo e defensivo. O sistema usa um esquema de representação de conhecimento orientado para o objeto, com regras definindo o comportamento dos objetos. O sistema inclui exposição gráfica colorida que apresenta na tela a simulação dos movimentos de tropas.

### CONCLUSÃO

No presente ensaio, apresentou-se, inicialmente, os conceitos fundamentais relacionados com a *Inteligência Artificial* e

com o desenvolvimento dos sistemas especialistas e, a seguir, apresentou-se um sumário de sistemas especialistas destinados à solução de problemas do domínio militar.

Dado que os sistemas construídos alcançaram o estágio de protótipo de demonstração ou de pesquisa, é seguro afirmar que, em alguma fase do desenvolvimento futuro, a *Inteligência Artificial* terá contribuição decisiva nos pacotes de *software* destinados à solução dos mais diversos problemas militares.

É sumamente importante ressaltar que investimentos em pesquisa em *Inteligência Artificial* não trazem retorno imediato no sentido de se obter produto pronto e acabado para utilização imediata. Por esta razão, um dos objetivos de curto prazo das pesquisas nesse campo deve ser a formação de massa crítica capaz de criar tecnologia e também de acompanhar e absorver o desenvolvimento alienígena, de tal sorte que na oportunidade em que o emprego da *Inteligência Artificial* em problemas reais esteja disseminado, não haja atraso de parte dos técnicos do Exército Brasileiro e nem a necessidade de aquisição de "caixas-pretas".

Entretanto, a formação de Mestres de Ciência e sobretudo Doutores – com o desenvolvimento de teses vinculadas a domínios tais como: guerra eletrônica, manutenção, cartografia, planejamento de fogos e assessoramento na análise do

campo de batalha – deve ser encarada como prioritária.

## BIBLIOGRAFIA

1. WINSTON, P. H., *Artificial Intelligence*, Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1984.
2. PASSOS, E. P. L., *Notas de Aula*, Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro, 1983.
3. HAYES-ROTH, F., WATERMAN, D. A. e LENAT, D. B., *An Overview of Expert Systems*, em *Building Expert Systems*, Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1984.
4. BUCHANAN, G. B. et al, *Constructing an Expert System*, em *Building Expert Systems*, Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1984.
5. WATERMAN, D. A., *A guide to Expert Systems*, Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1986.
6. DOHERTY, M. F., et al, *Improved Cartographic Classification via Expert Systems*, Proceedings of SPIE, Orlando, Florida, 1986.
7. MILLER-JACOBS, H. H., *ACES: Airborne Communications Expert Systems for Managing Airborne Military Communications*, Expert Systems in Government Symposium, McLean, Virginia, 1985.
8. ZYMELMAN, A. S., *An AI Technology Insertion Experiment with Analyst*, Expert Systems in Government Symposium, McLean, Virginia, 1985.
9. SLAGLE, J. S., e HAMBURGER, H., *An Expert System for a Resource Allocation Problem*, Communications of the ACM, 1985.
10. PEARSON, G., *Mission Planning within the Framework of the Blackboard Model*, Expert Systems in Government Symposium, McLean, Virginia, 1985.
11. FRANKS, D. T., e MUSSELMAN, J. A., *RICA: An Expert System for Radar Image Classification*, Expert Systems in Government Symposium, McLean, Virginia, 1985.

12. TOBAT, D. L., ROGERS, S. K., e CROSS, S. E., *SENTINEL: An Expert System Decision Aid for a Command, Control and Communications Operator*, Proceedings of SPIE, Orlando, Florida, 1986.
13. KASTE, R. C., *Concepts for a Tactical Fire Control Decision Aid*, Expert Systems in Gover-
- nment Symposium, McLean, Virginia, 1985.
14. WHITE, G. B., *Artificial Intelligence Concepts and the War Gaming Environment: a Case Study Using the TEMPO War Game*, Tese de Mestrado, Air Force Institute of Technology, WPAFB, Ohio, 1986.



**Maj QEM ALÉSSIO RIBEIRO SOUTO** – É Aspirante de Material Bélico (AMAN, 1972). Possui os cursos de Pára-Quedismo (1975), graduação em Engenharia Elétrica (IME, 1980) e pós-graduação em Engenharia de Sistemas (IME, 1987). Serve, atualmente, na Diretoria de Obras Militares (Brasília, DF).

# TRANQUILIDADE

## É O QUE VOCÊ CONQUISTA QUANDO SE ASSOCIA AO GBOEX.



**GRÊMIO  
BENEFICENTE**