

Dissertação de Mestrado em Geomática

*Simulação do Controle de Área Marítima através de Sistemas Multi-Agentes e
Sistema de Informações Geográficas*

Autor: Luciano Teixeira Leite

Orientador: Prof. D.Sc. Oscar Luiz Monteiro de Farias

Programa de Pós – Graduação em Engenharia da Computação
Área de concentração: Geomática

2007



Faculdade de Engenharia

***Simulação do Controle de Área Marítima através de Sistemas Multi-Agentes e
Sistemas de Informações Geográficas***

Luciano Teixeira Leite

Dissertação submetida ao corpo docente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia da Computação.

Orientador: Prof. D.Sc. Oscar Luiz Monteiro de Farias

Programa de Pós – Graduação em Engenharia da Computação
Área de concentração Geomática

Rio de Janeiro

2007

LEITE, LUCIANO TEIXEIRA

Simulação do Controle de Área Marítima
Através de Sistemas Multi-Agentes e
Sistemas de Informações Geográficas
[Rio de Janeiro] 2007.

xii, 83 p. 29,7cm (FEN/UERJ, M.Sc.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
da Computação – Área de Concentração
Geomática, 2007)
Dissertação – Universidade do Estado do
Rio de Janeiro – UERJ

1. Sistemas Multi-Agentes
 2. Simulação
 3. Agentes
 4. Sistemas de informações geográficas.
- I.FEN/UERJ II. Título (série)

FOLHA DE JULGAMENTO

Título: *Simulação do Controle de Área Marítima através de Sistemas Multi-Agentes e Sistemas de Informações Geográficas*

Candidato: Luciano Teixeira Leite

Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Computação

Área de Concentração: Geomática

Data da Defesa: 18 de dezembro de 2007

Aprovada por:

Orientador: Prof. Oscar Luiz Monteiro de Farias – D.Sc./UERJ

Profa. Neide do Santos – D.Sc./UERJ

Prof. Ricardo Choren Noya – D.Sc./IME

Dedicatórias

Dedico este trabalho aos meus pais, Jorge Teixeira Leite e Maria de Lourdes Siqueira Teixeira Leite, à minha esposa Eliane Velloso de Araújo Teixeira Leite e aos meus filhos Clara Velloso Teixeira Leite e Lucas Velloso Teixeira Leite.

Agradecimentos

A realização deste trabalho não seria possível sem ajuda e compreensão de pessoas que foram fundamentais. A elas meus sinceros agradecimentos.

Aos meus pais Jorge e Maria de Lourdes, pessoas que sempre foram exemplos de coragem, amor, determinação, retidão e perseverança.

À minha esposa, Eliane e aos meus filhos Clara e Lucas, a essência da magia que é a razão da minha energia, persistência e luta.

Ao orientador, Prof. Oscar Luiz Monteiro de Farias.

Ao colega Jamil Coimbra Diuna pela força e motivação.

Ao Cel. Menezes, do Centro de Análises de Sistemas Navais, pela amizade e apoio nas revisões.

Aos professores do curso pelo empenho e dedicação dados neste período.

À DEUS por tudo que tem feito por mim.

Resumo da Dissertação apresentada à FEN/UERJ como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre (M.E.) em Engenharia de Computação - Área de Concentração Geomática

***Simulação do Controle de Área Marítima através de Sistemas Multi-Agentes e
Sistemas de Informações Geográficas***

Autor: Luciano Teixeira Leite

2007

Orientador: Prof. D.Sc. Oscar Luiz Monteiro de Farias

Programa de Pós – Graduação em Engenharia da Computação
área de concentração Geomática

Uma ferramenta de simulação genérica voltada para exploração da dinâmica em sistemas espaço-temporais ainda não existe. Os primeiros passos na direção de se desenvolver ferramentas de simulação baseadas em agentes foram dados com o projeto de *Swarm* [1], [2], *Starlogo* [3], [4] e *NetLogo*[53]. Porém essas ferramentas não provêm uma representação apropriada para a dimensão espacial. Nessa dissertação abordaremos a integração entre Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) e Sistemas Baseados em Agentes (SBA's) como uma metáfora adequada para representar o universo espaço-temporal e exemplificaremos com um Sistema Baseado em Agentes que funciona utilizando dados providos por um Sistema de Informações Geográficas que simula um tipo de operação naval conhecida como Controle de Área Marítima.

Palavras-Chaves: Simulação, Modelagem de Sistemas Baseada em Agentes, Sistemas Multi-Agentes, Controle de Área Marítima e Sistemas de Informações Geográficas.

Abstract of Dissertation presented to FEN/UERJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Engineering (M.E.)

Simulating the Control of Maritime Area through Multi-Agent Systems and Geographical Information Systems

Author: Luciano Teixeira Leite

2007

Advisors: Prof. D.Sc Oscar Luiz Monteiro de Farias

Post-Graduation Program in Computer Engineering, Field of Geomatics

A generic simulation tool aimed to explore the dynamics of spatio-temporal systems doesn't exist yet. First steps in the direction of generic agent-based simulation tools were given with the Swarm project [1],[2], Starlogo [3], [4]. and NetLogo[53] Software. However, these tools don't provide an appropriate representation for space. Here, we argue for the need of integration among Geographical Information Systems (GIS) and Agent Based System (ABS) as a good metaphor for our spatio-temporal world and give an example of an agent-based system that operates on data provided by Geographical Information Systems, and aims to simulate naval operations known as Control of Maritime Area.

Keywords: Simulation, Agent-Based Modeling, Multiagent Systems, Control of Maritime Area and Geographical Information System.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	12
CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTOS TEÓRICOS	14
2.1 Sistema de Informação Geográfica	14
2.2 Modelos Baseados em Agentes (MBA's).....	15
2.2.1 Agentes	15
2.2.2 O ambiente	17
2.2.3 Agentes e Objetos.....	18
2.2.4 Categoria de Agentes	19
2.2.5 Agentes Inteligentes	20
2.2.6 Arquitetura Abstrata para Agentes Inteligentes	20
2.2.7 Sistemas Multi-Agentes	22
2.2.8 Comunicação.....	24
2.2.9 A metáfora do Quadro-Negro (Blackboard).....	25
2.2.10 O Uso de Sistemas Multi-Agentes em Sistemas de Simulação Militar.....	26
2.3 Modelos Baseados em Agentes Aplicados a Sistemas de Informações Geográficas (SIG's).....	26
CAPÍTULO 3 – CONTROLE DE ÁREA MARÍTIMA (CAM)	28
3.1 Introdução.....	28
3.2 Análise de Operações	29
3.3 Medida de Efetividade.....	29
3.4 Detecção	30
3.5 Operações de Esclarecimento	31
3.6 Busca e Detecção	32
3.7 Controle de Área Marítima (CAM).....	33
CAPÍTULO 4 – SIMULAÇÃO E MODELAGEM.....	35
4.1 Introdução.....	35
4.2 Definição de modelo	35
4.3 Definição formal de modelo ambiental.....	36
4.4 A estrutura comum aos modelos ambientais	36
4.5 O processo de modelagem espacial dinâmica.....	38
4.6 Definição de Simulação.....	39
4.7 Classificação da Simulação	40
4.8 Razões para Usar Simulação.....	41
4.9 Vantagens do Uso da Simulação.....	41
CAPÍTULO 5 – TRABALHOS RELACIONADOS.....	43
5.1 GAIA	43
5.2 JADE – Java Agent Development Framework.....	43
5.3 MAS Framework.....	44
5.4 Conclusão	44
CAPÍTULO 6 – FUNDAMENTOS DO MODELO DE SIMULAÇÃO BASEADO EM SISTEMAS MULTI-AGENTES.....	45
6.1 Propósito do Simulador.	45
6.2 Alguns Aspectos Vinculados à Implementação do Simulador.	45
6.3 Modelagem dos Agentes.	46
6.4 Agentes Patrulhadores.	46
6.4.1 Diagrama do Agente Patrulhador.	49
6.5 Agentes Interceptadores.	49
6.5.1 Diagrama do Agente Interceptador.	51
6.6 Agentes Intrusos.....	51

6.6.1 Diagrama do Agente Intruso.....	53
6.7 Agente Relógio.	53
6.7.1 Diagrama do Agente Relógio.....	55
6.8 Interface.	55
6.8.1 Diagrama da Interface.	57
6.9 Comunicação entre os Agentes.	57
6.10 Medida de Efetividade da Simulação.....	58
6.11 Arquitetura do Simulador.	58
6.12 Executando uma simulação.....	60
6.13 Estudo de Caso.....	66
CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES	77
7.1 Desenvolvimentos Futuros	77
REFERÊNCIAS	78
Anexo 1 – CD-ROM.....	83

ÍNDICE DAS FIGURAS

Figura 1 - Linha Limite de Interceptação e Linha Limite de Patrulha.....	34
Figura 2 - Estrutura comum aos modelos espaciais dinâmicos	37
Figura 3 - Exemplo de um Agente Patrulhador	46
Figura 4 - Diagrama de classe do Agente Patrulhador	49
Figura 5 - Exemplo de um Agente Interceptador.	50
Figura 6 - Diagrama de classe do Agente Interceptador.	51
Figura 7 - Exemplo de um Agente Intruso	52
Figura 8 - Diagrama de classe do Agente Intruso.....	53
Figura 9 - Exemplo do Agente Relógio	54
Figura 10 - Diagrama de classe do Agente Relógio.	55
Figura 11 - Interface do simulador	56
Figura 12 - Diagrama de classe da Interface	57
Figura 13 - Componentes básicos do modelo Quadro-Negro	59
Figura 14 - Tela inicial do simulador.....	60
Figura 15 - Tela de selecionar carta náutica.	61
Figura 16 - Tela com a carta náutica selecionada.	62
Figura 17 - Tela de configuração dos navios amigos.	62
Figura 18 - Tela de configuração dos navios inimigos.	63
Figura 19 - Tela de seleção de estudo.	64
Figura 20 - Tela de inserção dos dados da área.	65
Figura 21 - Distribuição dos Navios.	68
Figura 22 - Primeira simulação.....	70
Figura 23 - Segunda simulação	71
Figura 24 - Terceira simulação.	72
Figura 25 - Quarta simulação.	73
Figura 26 - Quinta simulação.	74
Figura 27 - Variação das velocidades dos patrulhadores.	75

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Vasta tem sido a contribuição da ciência da computação em vários segmentos da sociedade. Cada vez mais o computador tem se tornado essencial para a solução de problemas, os quais vêm se tornando mais complexos com o passar do tempo, sendo suas soluções, muitas vezes, somente viáveis com o auxílio de ferramentas computacionais. Sistemas Multi-Agentes é uma tecnologia relativamente recente da área da ciência da computação que se tem demonstrado apropriada na implementação de sistemas complexos.

Modelos computacionais têm sido construídos para estudar complexos sistemas sociais; biológicos; físicos etc. A simulação computacional destes modelos tem ajudado a estudar o comportamento de fenômenos, com a vantagem de alcançar o seu objetivo através da repetição de experiências (simulações) não destrutivas.

Na simulação computacional estudam-se os sistemas executando e analisando o seu modelo, principalmente quando se trata de sistemas complexos, com comportamento caótico, em que se torna incompatível aplicar métodos analíticos. Estes fenômenos evoluem no tempo e no espaço.

O estudo de fenômeno envolvendo o conceito de espaço levou ao surgimento de sistemas computacionais específicos para modelagem e análise do espaço geográfico – Sistema de Informações Geográficas (SIG's). Porém, os SIG's não são indicados para estudar fenômenos dinâmicos no espaço e no tempo, por não tratar a dimensão temporal.

O objetivo desse trabalho é simular a dinâmica de um sistema espaço-temporal, através da integração entre Agentes de *Software* e Sistemas de Informações Geográficas. A representação espacial do SIG será o ambiente onde os Agentes do nosso modelo baseado em Agentes irão operar. Modelos baseados em Agentes podem dessa forma serem vistos como uma ferramenta de análise espacial, ou uma ferramenta para análise da dinâmica em um sistema espaço-temporal, tirando vantagem de todos os dados já coletados, organizados e armazenados em um SIG.

Este trabalho foi dividido em 6 capítulos: o capítulo 1 apresenta o propósito do trabalho e a sua estrutura organizacional; o capítulo 2 apresenta os fundamentos teóricos necessários para a compreensão do trabalho; o capítulo 3 descreve como funciona uma Operação Naval de Controle de Área Marítima (CAM); o capítulo 4 discorre sobre modelagem e simulação; o capítulo 5 trata de Agentes de *Software*; o capítulo 6 descreve os fundamentos do modelo de simulação baseado em sistemas multi-agentes e apresenta maiores

detalhes do protótipo desenvolvido neste projeto; por fim, o capítulo 7 apresenta as conclusões, contribuições do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Processos e fenômenos investigados por cientistas estão inseridos em um contínuo espaço-temporal. Assim, para estudar, analisar e eventualmente simular alguns destes fenômenos ou processos, precisamos, em primeiro lugar, de uma boa metáfora para representar o mundo, de forma que expresse o espaço e o tempo. Um primeiro candidato natural para esta metáfora seria Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) [5], [6].

2.1 Sistema de Informação Geográfica

Um Sistema de Informação Geográfica (SIG ou *GIS - Geographic Information System*, do acrônimo inglês) é um sistema de *hardware*, *software*, informação espacial e procedimentos computacionais, que permite e facilita a análise, gestão ou representação do espaço e dos fenômenos que nele ocorrem. O Sistema de Informação Geográfica separa a informação em diferentes camadas temáticas e armazena-as independentemente, permitindo trabalhar com elas de modo rápido e simples, permitindo ao operador ou utilizador a possibilidade de relacionar a informação existente através da posição e topologia dos objetos, com o fim de gerar uma nova informação.

Os dados geográficos (ou de espaço) representam um fenômeno do mundo real em termos de:

- i) Sua posição com respeito a um sistema de coordenadas conhecidas;
- ii) Atributos que não estão relacionados à posição (como cor, custo, ph, incidência de doença, etc.)
- iii) Inter-relações espaciais que descrevem como os dados espaciais situam-se relativamente uns aos outros (topologia).

Os SIG's desempenham o papel de verdadeiros repositórios de dados, agregando e organizando informações espaciais e temáticas relacionadas a um determinado contexto. Estes sistemas têm sido usados como uma poderosa ferramenta de análise em várias áreas, tal como: planejamento urbano e regional [8], monitoramento ambiental [9], saúde pública [10], agricultura [11], serviços de utilidades [12], transporte [13], etc. Porém, apesar da grande disseminação e utilização em várias áreas de conhecimento, os SIG's apresentam algumas limitações por serem sistemas basicamente estáticos e bidimensionais. A falta da dimensão temporal tem impedido seu emprego em modelos espaço-temporais complexos, como modelos atmosféricos, e também, dificultado o desenvolvimento de modelos dinâmicos,

especialmente modelos de micro-simulação [14]. Como a maioria dos fenômenos de interesse para seres humanos acontece de forma contínua no espaço e no tempo; é evidente a limitação atual dos SIG para representá-los adequadamente. O “como” acrescentar a dimensão temporal em um SIG é um desafio e uma questão aberta [15]. Porém, neste trabalho nós não tentaremos acrescentar a dimensão temporal explicitamente a um SIG. Em vez disso, usaremos a representação de espaço dada por um SIG para simular fenômenos e processos que acontecem no mundo. Isto será conseguido empregando-se o SIG para representar o espaço como o ambiente ou lugar onde os agentes irão operar no nosso Modelo Baseado em Agentes.

2.2 Modelos Baseados em Agentes (MBA's).

2.2.1 Agentes

A definição de agentes não é uma tarefa fácil, pois não existe um consenso geral. Vários autores diferem em suas conceituações, cada um dando um grau de importância diferente a determinados aspectos. Nesta dissertação serão abordadas três definições que parecem bem apropriadas:

Um agente é tudo o que pode ser considerado capaz de perceber seu ambiente por meio de sensores e de agir sobre esse ambiente por intermédio de atuadores [43].

Um agente é um sistema computacional que está situado em um determinado ambiente, e que é capaz de realizar ações autônomas nesse ambiente, a fim de alcançar um determinado objetivo [44].

Um agente é uma entidade real ou virtual, capaz de agir num ambiente, de se comunicar com outros agentes, que é movida por um conjunto de inclinações (sejam objetivos individuais a atingir ou uma função de satisfação a otimizar); que possui recursos próprios; que é capaz de perceber seu ambiente (de modo limitado); que dispõe (eventualmente) de uma representação parcial deste ambiente, que possui competência e oferece serviços; que pode eventualmente se reproduzir e cujo comportamento tende a atingir seus objetivos utilizando as competências e os recursos de que dispõe e levando em conta os resultados de suas funções de percepção e comunicação, bem como suas representações [45].

No geral, agentes seriam entidades autônomas que atuam em determinado ambiente de forma a interagir com outros agentes. Além de produzir percepções e ações sem requerer intervenções humanas constantes, numa abordagem mais aplicada à Inteligência Artificial um agente ideal teria que ser capaz de funcionar continuamente e adquirir experiências e conhecimento acerca do ambiente com que está interagindo. Ou seja, ser capaz de “aprender” e tomar decisões a partir de situações diferentes. Segundo Wooldridge [44], o problema chave de um agente é decidir qual ação deverá ser tomada, afim de melhor satisfazer seu objetivo.

Autonomia é uma propriedade essencial que um agente deve ter. Todo agente deve ser capaz de tomar decisões e realizar ações importantes, a fim de atingir o seu objetivo sem a necessidade de uma interferência externa. Além disso, um agente deve ser proativo, que nada mais é do que ter a capacidade de tomar iniciativas. Eles não respondem simplesmente de acordo com o meio. Têm a capacidade de exibir comportamentos baseados em objetivo.

O termo **percepção**, segundo Russel e Norvig[43], faz referência às entradas perceptivas do agente em qualquer momento dado. A **seqüência de percepções** do agente é a história completa de tudo que o agente já percebeu. A escolha da ação a ser realizada pelo agente pode ser baseada em toda a seqüência de percepções que o agente pode ter tido até aquele momento. A **função de agente** é a função matemática que associa uma seqüência de percepções do agente a uma ação a ser realizada. A função de agente, para um agente artificial, será implementada por um **programa de agente**. Uma forma de mensurar o sucesso do comportamento de um agente é adotar uma **medida de desempenho**. Se um agente, inserido em um ambiente, realiza uma seqüência de ações em função dos estados do ambiente e essa seqüência é desejável, isso significa que o agente funcionou bem. A medida de desempenho deve ser imposta pelo projetista ao construir o agente.

Agentes podem ser classificados de acordo com a amplitude de sua percepção e da capacidade de ação e efetividade da mesma. No extremo mais baixo e mais alto desta escala de classificação, encontram-se, respectivamente, os Agentes Reativos e os Agentes Cognitivos. Os Agentes Reativos meramente reagem, de um modo oportuno, as mudanças que eles percebem no ambiente, de acordo com um comportamento padrão muito simples. Os Agentes Cognitivos são mais elaborados. Eles não só interagem com o ambiente, mas também são capazes de aprender com experiências vividas por eles, comunicar com outros agentes, e seguir uma meta planejada, estratégia ou plano.

Sistemas Multi-agente são compostos de vários Agentes que, adicionalmente ao que já foi previamente comentado, podem interagir uns com outros através de mecanismos de comunicação. Os agentes quando inseridos no mesmo ambiente podem se comportar de forma competitiva ou colaborativa, de acordo com a situação específica [16].

Sistemas de simulação multi-agentes provêem uma plataforma computacional onde a dinâmica dos sistemas espaço-temporais pode ser estudada. Para isso, nós podemos usar Agentes Reativos (mais simples) ou Agentes Cognitivos (mais elaborados).

2.2.2 O ambiente

Todo agente deve estar contido em um ambiente. Segundo Russel e Norvig[43], a variedade de ambientes é, sem dúvida, vasta. Entretanto, pode-se identificar um número bastante reduzido de dimensões. Em grande parte, essas dimensões determinam o projeto apropriado de agentes e a aplicabilidade de cada uma das principais famílias de técnicas de implementação de agentes. Russel e Norvig[43] propõem as seguintes propriedades de ambientes:

Completamente observável versus parcialmente observável.

O ambiente é dito completamente observável quando os sensores de um agente permitem acesso ao estado completo do ambiente em cada instante. Um ambiente de tarefa é de fato completamente observável se os sensores detectam todos os aspectos que são relevantes para a escolha da ação. Um ambiente poderia ser parcialmente observável devido ao ruído e a sensores imprecisos ou porque partes do estado estão simplesmente ausentes nos dados do sensor.

Determinístico versus estocástico.

O ambiente é dito determinístico se o próximo estado do ambiente é completamente determinado pelo estado atual e pela ação executada pelo agente; caso contrário, ele é estocástico. Em princípio, um agente não precisa se preocupar com a incerteza em um ambiente completamente observável e determinístico. Porém, se o ambiente for parcialmente observável, ele poderá parecer estocástico.

Episódico versus seqüencial

Em um ambiente episódico, a experiência do agente é dividida em episódios atômicos. Cada episódio consiste na percepção do agente, e depois na execução de uma única ação. É crucial que o episódio seguinte não dependa das ações executadas em episódios anteriores. Os autores exemplificam, descrevendo um agente que tem como função localizar peças defeituosas em uma linha de montagem, que baseia cada decisão na peça atual, independente das decisões anteriores; além disso, a decisão atual não afeta o fato de a próxima peça estar ou não com defeito. Por outro lado, em ambientes seqüenciais, a decisão atual poderia afetar decisões futuras. Ambientes episódicos são muito mais simples que ambientes seqüenciais, porque o agente não precisa pensar à frente.

Estático versus dinâmico.

O ambiente é dito dinâmico quando ele sofre alteração enquanto o agente está deliberando sobre a ação a executar; caso contrário ele é dito estático. Ambientes estáticos são fáceis de manipular, porque o agente não precisa continuar a observar o mundo enquanto está decidindo sobre a realização de uma ação, nem precisa se preocupar com a passagem do tempo. Por outro lado, em ambientes dinâmicos uma ação que seria considerada ótima no instante t – calculada a partir do seu conjunto de percepções e do estado do ambiente naquele instante t – eventualmente já não seria a ação ótima no instante $t + \Delta t$, pois o estado do ambiente poderia ter se alterado no intervalo de tempo Δt .

Discreto versus contínuo

A distinção entre discreto e contínuo pode se aplicar ao estado do ambiente, ao modo como o tempo é tratado, e ainda às percepções e ações do agente. Por exemplo, um ambiente de estados discretos como o jogo de xadrez tem um número finito de estados distintos. Dirigir um carro é um problema de estado contínuo e tempo contínuo: a velocidade e a posição do carro e dos outros veículos passam por um intervalo de valores contínuos e fazem isso suavemente ao longo do tempo.

2.2.3 Agentes e Objetos

Objetos são definidos como entidades computacionais que encapsulam alguns estados, são capazes de realizar ações, ou métodos, alterando esses estados e comunicar-se através de troca de mensagens. Agentes podem ser distinguidos de objetos (no sentido de *software*

orientado a objeto) pelo fato deles serem entidades autônomas com a capacidade de escolher suas ações e interações. Agentes não podem, portanto, ser invocados diretamente como objetos, porém, eles podem ser construídos usando a tecnologia da orientação a objetos. Os objetos não possuem controle sobre o seu comportamento ao contrário dos agentes. Uma outra importante distinção entre agentes e objeto é que cada agente deve possuir seu próprio *thread* de controle, ao contrário do objeto, que normalmente está vinculado, juntamente com outros objetos que compõem o sistema, a um único *thread* de controle.

2.2.4 Categoria de Agentes

Os agentes podem ser categorizados baseando-se na sua aplicabilidade.

- **Agentes Móveis**
São agentes que são capazes de movimentarem-se através dos nodos em uma rede interna (intranet) ou externa (internet). Eles são capazes de mudar de localização levando consigo dados e códigos;
- **Agentes Estacionários**
São agentes que são fixos em um mesmo ambiente. Eles são o oposto dos móveis;
- **Agentes Competitivos**
São agentes que competem entre si, cada qual buscando realizar a sua tarefa;
- **Agentes Colaborativos**
São agentes que colaboram entre si, um completando a tarefa do outro, com o intuito de realizar um objetivo maior;
- **Agentes Reativos**
São agentes que decidem o que fazer sem considerar o seu histórico. Eles, ao tomarem uma decisão, baseiam-se somente no estado atual do ambiente; e
- **Agentes Cognitivos**
São agentes que se baseiam nas ações tomadas no passado, para inferir qual a ação a ser tomada. Esse tipo de agente é capaz de resolver problemas por ele mesmo.

2.2.5 Agentes Inteligentes

Em ciência da Computação, um agente inteligente é um programa de agente que demonstra alguma forma de inteligência artificial. Wooldridge[46] lista os tipos de capacidades que se espera encontrar em um agente inteligente.

- Reatividade – Agentes inteligentes são capazes de perceber seus ambientes, e responder em tempo, às mudanças que ocorreram a fim de atingir o objetivo para os quais foram projetados.
- Proativo – Agentes inteligentes se comportam de forma direcionada ao seu objetivo, tomando iniciativas, a fim de atingir o objetivo para os quais foram projetados.
- Habilidade Social – Agentes inteligentes devem ser capazes de interagir com outros agentes com a intenção de atingir o objetivo para os quais foram projetados.

2.2.6 Arquitetura Abstrata para Agentes Inteligentes

Wooldridge[46] formaliza uma visão abstrata de agentes. Ele assume que o ambiente pode estar em um grupo finito E de estados discretos:

$$E = \{ e, e', \dots \}.$$

Presume-se que agentes possuam um repertório de possíveis ações disponíveis para eles, as quais transformam o estado do ambiente.

$$Ac = \{ \alpha, \alpha', \dots \}$$

O modelo básico de agentes interagindo com seus ambientes é o seguinte: O ambiente começa em algum estado, e o agente então escolhe uma ação para executar, baseado naquele estado. Como resultado dessa ação, o ambiente pode responder com um número finito de estados. Entretanto, somente um estado realmente resultará e o agente não conhece antecipadamente qual será. Baseado no segundo estado, o agente escolhe de novo uma ação a

executar, agora baseada no novo estado. Como consequência o ambiente responde com um dos possíveis estados contidos em E ; o agente então escolhe outra ação, contida em Ac , e assim sucessivamente.

A execução de uma agente em um ambiente é uma seqüência intercalada entre os estados do ambiente e ações:

$$r: e_0 \xrightarrow{\alpha_0} e_1 \xrightarrow{\alpha_1} e_2 \xrightarrow{\alpha_2} e_3 \xrightarrow{\alpha_3} \cdots \xrightarrow{\alpha_{u-1}} e_u$$

R é o grupo de todas as possíveis seqüências finitas (sobre E a Ac);

R^{Ac} é um subgrupo de R que termina com uma ação; e

R^E é um subgrupo de R que termina com um estado do ambiente.

A função transformadora representa o efeito que a ação de um agente tem em um ambiente;

$$\delta: R^{Ac} \rightarrow p(E)$$

Assim, a função transformadora mapeia a execução de um agente para um grupo de possíveis estados do ambiente.

Wooldridge[46] alerta para dois importantes aspectos dessa definição. O primeiro, o ambiente é dependente do histórico, isto é, o próximo estado do ambiente não é somente determinado pela ação realizada pelo agente e o estado corrente do ambiente; as ações realizadas anteriormente também contribuem para determinar o estado corrente. Segundo, essa definição se aplica em um ambiente não-determinístico. Existe, assim, a incerteza sobre o resultado de uma ação em algum estado.

Se $\delta(r) = \emptyset$ (r é assumido terminar com uma ação), não há possíveis estados sucessores para r . Nesse caso, diz-se que o sistema terminou sua execução.

Wooldridge[46] complementa afirmando que um ambiente Env pode ser representado pela tripla $Env=(E, e_0, \delta)$, onde E é um grupo de estados do ambiente, e_0 pertence a E , e é um estado inicial e δ é uma função transformadora.

Introduzindo um modelo de agente em sistemas. Nós modelamos agentes como funções na qual mapeiam execuções em ações.

$$Ag: R^E \rightarrow Ac$$

Assim, um agente decide qual ação será realizada, baseado no histórico do sistema.

2.2.7 Sistemas Multi-Agentes

Até agora, só focamos em um agente simples, atuando isoladamente em um ambiente objetivando a solução de um problema, mas existem situações em que devido à sua complexidade, fica difícil a realização do objetivo por um único agente. Nesses casos, surge a necessidade da existência de mais de um agente, dando origem aos Sistemas Multi-Agentes (SMA's).

Os SMA's formam uma sub-área da Inteligência Artificial Distribuída e concentram-se no estudo de agentes autônomos em universos multi-agentes. Um SMA caracteriza-se por conter, em um mesmo ambiente, um grupamento organizado de agentes autônomos que interagem uns com os outros, buscando realizar os seus objetivos. Eles podem organizar-se em grupos de agentes competitivos ou colaborativos, dependendo do problema em questão. Uma das características de um SMA é que os agentes não possuem todas as informações e nem as capacidades necessárias para resolver o problema por si só, exigindo, assim, a existência de interações entre eles, com o propósito de, somando esforços, eles consigam alcançar a solução do problema.

Segundo Jomi[47], duas propriedades, aparentemente contraditórias, são fundamentais para os SMA: a autonomia dos agentes e sua organização. A autonomia significa o fato de que um agente tem sua existência independente dos demais e mesmo do problema a ser solucionado. No caso, trata-se de uma autonomia de existência. Para funcionar, um agente não precisa de outros agentes, mesmo que para alcançar seus objetivos ele eventualmente precise da ajuda dos outros. Por outro lado, a organização estabelece restrições aos comportamentos dos agentes procurando estabelecer um comportamento grupal coeso. Muitas das propriedades desejadas nos SMA advêm do equilíbrio destes dois opostos, portanto, compreender como estas duas propriedades interagem é uma questão importante.

Os SMA podem ser caracterizados didaticamente em duas classes [48]. A primeira denomina-se Sistemas Multi-agentes Reativos e trabalha com o desenvolvimento de sistemas que utilizam um grande número de agentes simples para a resolução de um determinado problema. A segunda abordagem, denominada Sistemas Multi-agentes Cognitivos trabalha com poucos agentes que realizam tarefas mais complexas que os primeiros.

Os agentes reativos são baseados em modelos de organização biológica ou etológica (formigas, cupins, abelhas, etc.)[48]. O modelo de funcionamento de um agente reativo é formado pelo par Estímulo-Resposta(Ação-Reação). Os agentes reativos são muito simples e não possuem representação do seu ambiente. Suas reações dependem unicamente de sua percepção deste ambiente. Suas principais características são:

- Não há representação explícita do conhecimento: o conhecimento dos agentes é implícito (as suas regras de comportamento) e sua manifestação se externa através do seu comportamento e dos demais agentes;
- O comportamento (resposta) de cada agente é baseado no que ele recebe (estímulo) a cada instante. Não há uma representação interna explícita do ambiente;
- Não há memória das ações: os agentes reativos não mantêm nenhum tipo de histórico de suas ações, ou seja, o resultado de uma determinada ação passada não influencia diretamente na decisão de uma ação futura;
- Organização etológica: a forma de organização dos SMA reativos é similar à observada por animais que vivem em grandes comunidades; e
- Grande número de membros: em geral, os SMA reativos possuem um grande número de agentes.

Os agentes cognitivos são baseados em organizações sociais humanas como grupos, hierarquias e mercados [48]. Este tipo de agente é composto por mecanismos de percepção e recepção de mensagens (entrada de dados), ação e emissão de mensagens (saída de dados), raciocínio e decisão (estados internos) e revisão (revisão das crenças do agente). O agente raciocina socialmente sobre os demais agentes. Tal mecanismo utiliza as informações que o agente tem sobre os demais, armazenadas numa estrutura denominada descrição externa. O agente também possui diversos estados internos, como o estado de raciocínio, de decisão e de engajamento. Tais estados são modificados através da execução dos diversos mecanismos internos. Algumas características desse tipo de agente são:

- Representação explícita do ambiente e dos outros agentes da sociedade;
- Podem manter um histórico das interações e ações passadas e são capazes de planejar suas ações futuras;
- Seu sistema de percepção, que permite examinar o ambiente, e o de comunicação, que permite a troca de mensagens entre agentes, são distintos. A comunicação entre agentes é realizada de modo direto, através do envio e recebimento de mensagens;
- Os modelos de organização dos SMA cognitivos são modelos sociológicos, como as organizações humanas; e
- Um SMA cognitivo contém, usualmente, poucos agentes.

2.2.8 Comunicação

Quando se fala em interação entre agentes, um problema vem à tona, a comunicação[49]. A comunicação é fundamental para permitir que haja colaboração, negociação e cooperação entre os agentes. Os agentes têm que falar a mesma linguagem e conseqüentemente usar os mesmos símbolos. Eles têm que conhecer todos os símbolos usados na linguagem, e devem ser capazes de trocar comunicações através dessa linguagem.

Agentes podem trocar mensagens por quatro maneiras distintas. A primeira é a *comunicação direta*, o agente comunica-se diretamente com outro agente, sem a necessidade de um intermediário; isso é uma vantagem. A desvantagem dessa abordagem fica caracterizada quando se tem um grande número de agentes atuando, pois o custo de comunicação se torna alto, e a outra desvantagem é que a implementação se torna muito complexa em relação às demais. A segunda forma de comunicação é *assistida*, onde os agentes são organizados dentro de uma estrutura hierárquica e a troca de mensagens é realizada através do uso de um facilitador. Um agente específico pode fazer a vez do facilitador. Essa abordagem facilita bastante a implementação e diminui o custo de comunicação. A terceira forma de comunicação é conhecida como *difusão* ou *broadcast*, ela é própria quando o agente não possui a localização do destinatário da mensagem a ser enviada. Nesse caso a mensagem é enviada para todos os agentes. Uma desvantagem dessa abordagem

é o grande tráfico que ocorre na rede. A quarta, e última forma de comunicação é conhecida como *quadro-negro* ou *blackboard*. Por ser essa a abordagem utilizada nesse trabalho, ela será descrita de forma mais detalhada na próxima seção.

2.2.9 A metáfora do Quadro-Negro (Blackboard)

Uma das primeiras iniciativas para contornar o problema de comunicação entre agentes, foi a adoção da metáfora do quadro-negro [49] . Corkil [50] exemplifica a metáfora com a seguinte descrição:

Imagine um grupo de especialistas humanos sentados em frente a um quadro-negro. Os especialistas estão trabalhando cooperativamente para resolver um problema, usando o quadro-negro como espaço para desenvolver a solução.

A solução do problema começa quando o problema e os dados iniciais são escritos no quadro-negro. Os especialistas olham para o quadro-negro, procurando uma oportunidade para aplicar o seu conhecimento, a fim de contribuir para o desenvolvimento da solução. Quando um especialista encontra informações suficientes para fazer uma contribuição, ele registra a contribuição no quadro-negro, confiando que outros especialistas apliquem os seus conhecimentos. Este processo de adicionar contribuições no quadro-negro continua até que o problema seja resolvido.

Trazendo para o contexto de SMA, cada agente trabalha para resolver parte do problema. Os agentes consultam o quadro-negro para obter informações, colocadas por outros agentes, que possam ajudá-los na sua tarefa, e também escrevem informações para que outros agentes possam utilizar. Um controlador é responsável por coordenar todas as atividades na arquitetura.[49] Um modelo de evento é usado para sinalizar quando uma mudança ocorre no quadro-negro e notifica os agentes que algo mudou. Um evento poderia disparar a ativação de um grupo de agentes ou de um controlador que poderia, dinamicamente, determinar quais agentes deverão ser acionados. O controlador tem, também, a função de limitar o acesso ao quadro-negro para que dois agentes não tentem escrever no mesmo local e na mesma hora. Assim, concluímos que: a arquitetura quadro-negro é uma estrutura de dados que é usada como um mecanismo de comunicação para múltiplas fontes de conhecimentos.

2.2.10 O Uso de Sistemas Multi-Agentes em Sistemas de Simulação Militar

Uma das áreas de aplicação de sistemas multi-agentes é a simulação militar. Uma simulação é uma representação manipulável de aspectos selecionados de acontecimentos e processos do mundo real. Desenvolve-se, aproximadamente, de acordo com fatores reais, assumidos ou conhecidos, e com auxílio de métodos e equipamentos, desde os mais simples aos mais complicados, e do simbólico à replica. A simulação provê os meios para adquirir experiência e para corrigir erros, sem se estar sujeito às penalidades da vida real.

A simulação militar possibilita o treinamento e o aprimoramento de pessoas que necessitam tomar decisões em um cenário complexo de uma operação militar. A utilização de simulação possibilita a execução de exercícios que se realizados em cenários reais seriam bastante dispendiosos, e talvez, dependendo dos custos e riscos, inexequíveis.

Sistemas multi-agentes fornecem uma base natural para treinamento de pessoas que necessitam tomar decisões em domínios complexos encaixando-se perfeitamente no problema militar. Sistemas militares baseados em multi-agentes podem contribuir com os planejadores militares, tanto no nível estratégico como tático, com o ganho de experiência de operações militares complexas através de simulação e jogos de guerra.

2.3 Modelos Baseados em Agentes Aplicados a Sistemas de Informações Geográficas (SIG's).

Um SIG, normalmente, utiliza uma estrutura matricial (“*raster*”) ou vetorial para representar o espaço em modelos bidimensionais. Em alguns casos uma terceira dimensão é representada por meio de um modelo de elevação digital de terreno (*digital elevation model* - DEM). Dado uma representação espacial (um “*shape file*”, por exemplo) em um SIG, nós acrescentaremos agentes de *software* juntamente a uma estrutura de modelo de espaço dinâmico para simular a dinâmica em sistemas espaço-temporais. A representação espacial do SIG será o ambiente ou lugar onde os agentes, do nosso modelo baseado em agentes, operarão. Modelos Baseados em Agentes poderiam, dentro dessa abordagem, serem vistos como uma ferramenta de ajuda na análise espacial, ou uma forma de visualizar/analisar a dinâmica de sistemas espaço-temporais, tirando vantagem de todos os dados já coletados, organizados e armazenados dentro do SIG.

Para cada fenômeno específico, estamos interessados somente em determinadas informações sobre o ambiente. Assim, considerando-se o espaço geográfico onde o fenômeno

se desenvolve, precisamos filtrar somente os aspectos do ambiente que nos interessam, isto é, as características que compõem o ambiente onde os agentes estão inseridos, e onde todo o processo é simulado. Esta não é uma tarefa difícil, pois, os dados, em um SIG, são organizados em diferentes camadas, tal como: utilidades, rio e lagos, estradas, mapas de solo, etc. Precisamos, somente, selecionar as camadas que nos interessam.

Há várias vantagens nesta abordagem de desenvolvimento de modelos baseados em Agentes e SIG's. Mencionaremos duas delas:

- i) Às vezes torna-se inviável a simulação de alguns fenômenos devido às dificuldades (inclusive custos) associadas à coleta de dados reais sobre ele; assim, o uso de dados já armazenados e organizados em um SIG contornaria este obstáculo; e
- ii) Em certas situações, experimentos com situações reais requerem altos custos e riscos. Este é o caso típico do treinamento de operações militares. Por outro lado, simulações podem ser repetidas “*ad nauseam*”, elas não são destrutivas e não interferem em sistemas reais, sendo também uma ferramenta ideal para treinamento.

CAPÍTULO 3 – CONTROLE DE ÁREA MARÍTIMA (CAM)

3.1 Introdução

O Oficial da Marinha é um líder. Sua missão primária é conduzir com sucesso operações navais tanto em tempo de guerra quanto em tempo de paz. Entre as suas funções destacam-se as de organizar, planejar e supervisionar tarefas necessárias para realização de uma missão. Seu único e necessário atributo é a habilidade de tomar decisões certas que sejam essenciais para determinar o sucesso de uma operação[17].

Hoje em dia, o executivo que efetivamente está preparado em todos os aspectos para tomar decisões é alvo de cobiça das grandes organizações. Mas quais são estes aspectos, e o quais deles podem ser aprendidos pelos demais? Certamente, experiência é um elemento essencial, e talvez o mais efetivo utilizado em tomada de decisão. Ainda assim, nenhum oficial naval ou executivo espera alcançar um ponto onde ele já tenha experimentado todas as situações possíveis nas quais poderá ter que tomar uma decisão. Por exemplo, na obtenção de um novo sistema de armas, a decisão sobre qual é o melhor para uma determinada situação, é diferente de qualquer outra já encontrada antes.

Na proteção de uma força-tarefa contra submarinos inimigos, a decisão sobre qual é a melhor formatura a ser usada pode ser baseada em estimativas, considerando as capacidades de submarinos nunca deparados antes. Além disso, em alguns casos, é impossível determinar, mesmo depois que a decisão tenha sido tomada e a ação realizada, se a escolha foi a melhor, ou se outra melhor poderia ter sido escolhida. Em tais casos, pouca experiência é ganha, de forma que não ajudará muito em uma tomada de decisão futura, mesmo se a situação for idêntica.

Uma decisão então, raramente pode ser tomada meramente recorrendo-se a experiências passadas. O elemento crucial na tomada de decisão resume-se em como aplicar a experiência e conhecimentos conseguidos no passado, ao problema atual, a fim de maximizar os resultados. Isto requer um raciocínio rápido e preciso, pensamento claro e uma lógica boa. Requer também conhecimento suficiente sobre campos relacionados ao problema, para permitir à pessoa fazer suposições razoáveis e separar os detalhes dos elementos essenciais no problema.

Muitos métodos foram inventados com a finalidade de guiar as pessoas à solução correta de um problema. Na marinha americana, por exemplo, o processo de planejamento estabelecido inclui uma *estimativa da situação* que guia um Oficial na tomada de decisão de como melhor executar a sua missão. Este é um guia eficiente e eficaz. O objetivo é estudado, as linhas de ação são desenvolvidas, as capacidades dos inimigos são consideradas e é decidida qual a melhor linha de ação a ser tomada. Em muitos casos o julgamento combinado e a experiência do chefe e do seu pessoal são suficientes para prever, com precisão, o efeito de cada linha de ação e pesar seus méritos relativos. Em outras situações os fatores envolvidos são tão numerosos e complexos que são requeridas técnicas adicionais que vão além da capacidade da maioria dos oficiais. Neste contexto surge a Análise de Operações, que tem o objetivo de prover as técnicas para medir a efetividade de diferentes linhas de ação para facilitar o tomador de decisão na escolha mais inteligente.

3.2 Análise de Operações

Nos últimos anos, vários campos relacionados têm emergido com o intuito de auxiliar as pessoas na tomada de decisão. Dentre eles destacam-se Análise de Operações e a Pesquisa Operacional. A distinção entre Pesquisa Operacional (PO) e Análise de Operações (AO) é que a AO deve ser entendida como uma especialização da PO voltada para operações militares.[17]. O termo Análise de Operações Navais – AON é usada em [17]. para denominar a divisão da AO em que as operações militares estejam restritas ao âmbito da marinha de guerra.

3.3 Medida de Efetividade

Uma base para decisão consiste essencialmente em prever e descrever os possíveis resultados que cada curso de ação possa ter [17]. A escolha do tomador de decisão pode estar então baseada em uma comparação entre esses resultados. Se os resultados esperados são descritos em condições qualitativas, pode ser possível ordenar os resultados de forma que satisfaça um determinado critério de qualidade desejado. Mas, o quanto um curso de ação é melhor que outro? Para responder a isto, uma abordagem quantitativa é necessária com os resultados esperados expressos em termos quantitativos, i.e., numéricos.

Normalmente não é fácil prever o resultado de uma operação. Às vezes, mesmo quando se consegue, é difícil achar um modo quantitativo para o expressar. A medida

quantitativa usada para comparar a efetividade das alternativas com o propósito de atingir o objetivo é chamada “medida de efetividade (ME)”.

Em um problema onde o objetivo é detectar um alvo, uma possível ME seria a probabilidade de detecção ou o tempo gasto para a detecção. Em uma operação envolvendo a distribuição de produtos usando caminhões, em uma determinada região, uma boa ME seria a quantidade de toneladas entregue, por caminhão, ao dia.

A ME deve estar diretamente ligada ao objetivo da operação. O número de submarinos afundados por mês deve ser uma ME satisfatória caso o objetivo seja destruir submarinos.

Outro requisito de uma ME é que ela deve ser mensurável. Deve haver a possibilidade de agregar dados suficientes e realizar os cálculos necessários para determinar seu valor para cada curso de ação. Além disso, como o objetivo é fornecer uma base para decisão de qual é o melhor curso de ação a se seguir, esses cálculos devem ser completados antes da decisão ser tomada ou a operação conduzida.

Segundo ASSUMPCÃO [18], uma ME deve possuir a seguintes propriedades:

- Ser mensurável ou estimável a partir de dados de outra informação disponível;
- Ser quantitativa;
- Para cada aumento/redução na ME deve corresponder uma significativa melhora/piora na consecução dos objetivos do decisor; e
- A ME deve refletir tanto os benefícios quanto os custos de um dado curso de ação.

Normalmente a ME é expressa em forma de razão, expressando a quantidade de saída esperada (sucesso) contra a quantidade de entradas, predizendo a eficiência da operação.

3.4 Detecção

No estado atual da guerra naval, a detecção do inimigo não somente se tornou uma das funções mais importantes de qualquer operação naval, mas adquiriu a estatura de uma ciência. Qualquer ação contra um inimigo deve ser precedida pelo conhecimento de sua presença e sua posição. O problema de detecção é dependente em três aspectos principais:

- As características físicas do instrumento de detecção e do alvo.
- A derrota e a posição da unidade de busca (também chamado de observador) em relação à posição e movimento do alvo (o objeto da busca).

- O emprego das forças navais, conforme exigências para encontrar a ameaça efetivamente, i.e., alcançar o maior efeito com as forças disponíveis.

A ciência da detecção, como um ramo da tática naval, procura soluções para o problema de detectar e acompanhar as forças hostis ou forças presumidamente não amigáveis. Este ramo da tática alcança seu fim com a aplicação da engenharia, da física, da matemática e da estatística. Suas conclusões são declaradas em termos de probabilidade – A probabilidade de detecção.

3.5 Operações de Esclarecimento

Na Marinha do Brasil [18], esclarecimentos são operações realizadas por meios navais (aeronaves, navios e submarinos) com o propósito de:

- Obter informações táticas a respeito de um inimigo atual ou potencial com o fito de atacá-lo, evitá-lo, defender-se ou apenas garantir-se contra surpresas.
- Obter informações de caráter geográfico, hidrográfico, meteorológico, etc. sobre a área provável de operações ou atualizar essas informações.

Esclarecedor é a denominação dada aos meios empregados como buscadores nas operações de esclarecimento.

Há 4 tipos de operações de esclarecimento: Busca, Patrulha, Acompanhamento e Reconhecimento.

A *busca* é uma investigação sistemática de determinada área com o propósito de localizar um objeto que se supõe ou que se sabe estar naquela área, ou de confirmar sua ausência.

A *patrulha* é a procura sistemática e contínua ao longo de uma linha, chamada linha de barragem, com o propósito de impedir que um objeto a cruze sem ser localizado.

A diferença principal entre Busca e Patrulha é que na Busca o esclarecedor vai ao encontro do objeto procurado e na Patrulha o esclarecedor espera pela aproximação do objeto. Unidades de superfície, submarinos e aeronaves executando uma Busca têm, normalmente, capacidade para atacar o provável inimigo, o que nem sempre ocorre quando empenhados em Patrulha.

O *Acompanhamento* é a observação de um objeto móvel com o propósito de informar periodicamente a sua composição, localização, movimento e quaisquer outras informações importantes.

O *Reconhecimento* é a operação cujo propósito é obter informações referentes às atividades e meios inimigos ou coletar informações de caráter geográfico, hidrográfico, meteorológico e eletrônico referentes à área provável de operações.

3.6 Busca e Detecção

Em um ataque militar, o alvo a ser atacado deve ser, primeiro, localizado. Com o aumento do poder de fogo e da precisão das armas modernas, ser descoberto pelo inimigo é algo muito perigoso. Forças terrestres evitam chamar a atenção camuflando os soldados e os seus equipamentos mecanizados, como também se escondendo e realizando operações à noite. Aeronaves dependem cada vez mais de sua velocidade, de manobras evasivas, do uso de nuvens e de vôos baixos para evitar serem detectadas. Forças navais têm acrescentado métodos que, de tão radicais; alteraram a natureza da guerra no mar: encobrimento através de imersão total - o submarino. Assim, operações de Busca têm-se tornado essenciais na guerra moderna [7].

O objetivo principal da busca e detecção é evitar que unidades hostis gerem uma ameaça. A existência de uma ameaça em áreas especificadas pode ou não ser conhecida; por conseguinte devem ser avaliados todos os meios de busca com este objetivo em mente. Enquanto a incerteza da presença de uma ameaça pode ser imaginada, a incerteza da detecção em termos de probabilidade de sucesso não deverá nunca ser negligenciada [17].

O sucesso da busca depende de um ou mais dos seguintes fatores:

- Natureza do alvo;
- Condições ambientais;
- Disponibilidade de sensores; e
- Táticas empregadas.

O alvo deve ser algum tipo de unidade naval que de um modo ou de outro possa constituir uma ameaça. Submarinos, minas, navios de superfície ou aeronaves são tipos comuns de potenciais ameaças. Em tempo de paz a busca conduz à detecção; em tempo de guerra a ameaça deve ser detectada e neutralizada.

As condições ambientais devem ser cuidadosamente consideradas nesse tipo de operação naval. Elas são representadas não somente pelas condições oceanográficas – estado do mar; condições da água em termos de pressão, temperatura, salinidade, e assim por diante, – mas também clima, iluminação acima d'água, formação das nuvens etc.

Os tipos e as características de desempenho dos equipamentos sensores constituem uma parte importante na busca e detenção. O mais poderoso e sensível equipamento será o que terá a maior probabilidade de realizar a missão.

Em uma operação de busca, a natureza do alvo é normalmente conhecida e sua posição e intenções de movimento devem ser mais ou menos conhecidas. Porém, a menos que uma estimativa bastante definitiva de seu movimento possa ser feita, o plano de busca terá que ser projetado para ser efetivo contra qualquer um dos muitos tipos diferentes de movimento.

3.7 Controle de Área Marítima (CAM)

O CAM é um tipo de operação naval que visa proteger uma determinada área de uma ameaça. Essa área pode ser uma entrada de porto, uma área de plataformas, um comboio de navios ou qualquer coisa que tenha interesse estratégico e que possa ser alvo de uma ameaça no mar. O problema do CAM consiste em, uma vez conhecidos: os dados táticos dos meios disponíveis, a área a ser protegida, a velocidade e o alcance do armamento da ameaça, obter uma distribuição dos meios que maximize a probabilidade de detecção da ameaça. O planejador é a pessoa responsável pela elaboração do planejamento da solução. O primeiro passo para a solução do problema é escolher quais meios serão interceptadores (meios que têm a função de neutralizar o inimigo) e quais serão os patrulhadores (meios que têm a função de detectar e disseminar a posição do inimigo), considerando as características táticas de cada um. A segunda coisa a se fazer é, baseando-se nas características do armamento da ameaça (velocidade e alcance), calcular uma envoltória chamada Linha Limite de Interceptação (LLI). Essa linha envolverá a área a ser protegida e distanciará dela o valor correspondente ao alcance do armamento da ameaça. Caso a ameaça consiga atingir o limite da LLI, o seu armamento será capaz de atingir um alvo dentro da área a ser protegida, o que, obviamente, não é o desejado. Assim, é necessário que a neutralização ou interceptação da ameaça se faça antes dela atingir esta linha. Nas proximidades dessa linha serão posicionados os meios destinados à interceptação da ameaça. Uma vez escolhidos os meios que serão interceptadores, os meios restantes serão alocados como patrulhadores.

Os patrulhadores devem ser munidos de sensores capazes de detectar, com certa probabilidade, toda ameaça que atravessar a região por eles coberta. A cobertura de uma região por um patrulhador é feita deslocando-se o mesmo com uma velocidade fixa entre dois pontos fixos. A porção varrida pelo esclarecedor é denominada Segmento de Barragem e o conjunto de Segmentos de Barragem de cada patrulhador dispostos um ao lado do outro, de forma a formar uma envoltória à área protegida, denomina-se Linha Limite de Patrulha (LLP)

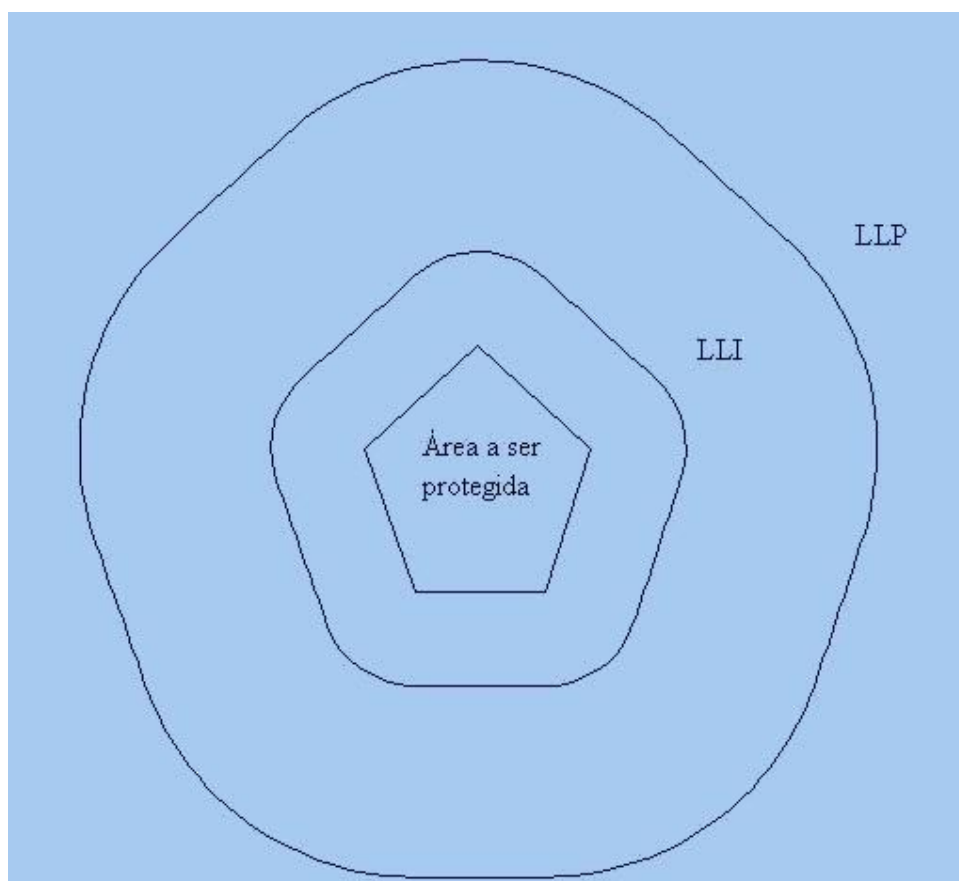


Figura 1 - Linha Limite de Interceptação e Linha Limite de Patrulha

A Marinha do Brasil, através do Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV), desenvolveu um sistema de apoio à decisão informatizado para auxiliar o planejador no desenvolvimento de um CAM. Esse sistema recebe um conjunto de parâmetros de entrada, tais como os meios disponíveis e o tipo de ameaça, e gera como saída uma sugestão de distribuição dos meios. Uma vez criado o planejamento, não existe uma forma de validá-lo a não ser colocando-o em prática no mar, em forma de exercício. A complexidade para efetuar um exercício desse porte é grande. Prontificar navios, preparar tripulações, prover combustível, abastecer com suprimentos (alimentos, água, etc.), envolve um alto custo e demanda bastante tempo. Na tentativa de buscar uma solução para esse problema, é que surgiu a idéia dessa dissertação.

CAPÍTULO 4 – SIMULAÇÃO E MODELAGEM

4.1 Introdução

Com a finalidade de entender a complexidade de determinados sistemas sociais, biológicos e físicos que caracterizam a relação dos seres humanos com o ambiente, pesquisadores e cientistas buscaram o auxílio de técnicas computacionais avançadas para o desenvolvimento de modelos integrados e para a simulação de sistemas [19]. Aplicações deste tipo têm sido intensa e extensivamente utilizadas no estudo de sistemas hidrológicos [20], modelagem da evolução de populações animais [21], propagação de fogo em florestas [22], [23] tráfego de veículos [24], movimento de pedestres em centros urbanos [25], [26], [27], [28], modelos de evacuação [29] e planejamento e desenvolvimento urbano e regional [30], [31].

Modelos computacionais e simulações são desenvolvidas para facilitar a predição do comportamento de sistemas reais sob condições as mais variadas e para fornecer uma compreensão mais aprofundada da estrutura dos sistemas reais. Várias são as vantagens de se trabalhar com modelos e simulações, ao invés de se trabalhar diretamente com os sistemas reais. Experimentos com os sistemas reais podem ter custos elevados e serem muito onerosos, ou mesmo, em alguns casos, impossíveis de serem realizados [32]. As simulações podem, por sua vez, serem repetidas *ad nauseam* e são não destrutivas, não interferindo no sistema real. Frequentemente os dados produzidos por simulações são mais fáceis de serem interpretados do que os dados oriundos dos sistemas reais [32].

4.2 Definição de modelo

Um modelo é uma representação conceitual de algo presente no mundo real. De acordo com [33], modelos matemáticos ou computacionais representam propriedades físicas que caracterizam partes do mundo real por variáveis quantitativas, e possuem quatro componentes:

- (a) Um conjunto de nomes para os objetos e agentes que interagem;
- (b) Um conjunto de variáveis descritivas que representam propriedades dos objetos;
- (c) Equações do modelo que descrevem sua estrutura e evolução no tempo e no espaço;

(d) Interpretação que relaciona as variáveis descritivas a propriedades do mundo real que o modelo representa.

4.3 Definição formal de modelo ambiental

Segundo [34], um modelo ambiental pode ser pensado como um micro-mundo definido por uma ontologia que consiste de um conjunto de entidades que o habitam, uma estrutura temporal, uma estrutura espacial, regras de comportamento e uma lógica. As entidades caracterizam a paisagem do micro-mundo. A escolha das entidades que farão parte de um modelo depende, principalmente, do intuito com o qual o modelo será construído e do domínio ao qual ele se aplicará. As regras de comportamento definem como as diversas entidades do micro-mundo poderiam evoluir e interagir, isto é, elas definem os possíveis comportamentos de um modelo. A lógica de um modelo, também chamada regras de inferência, define que fatos podem ser deduzidos a partir de uma dada configuração do micro-mundo e como estas fatos podem ser deduzidos.

De acordo com esta concepção, a construção de um modelo ambiental pode ser separada em quatro etapas:

- (a) Definição de uma representação computacional para o espaço;
- (b) Escolha das entidades que farão parte do modelo e a conversão de dados sobre essas entidades para um formato adequado ao modelo espacial definido no item anterior;
- (c) Escolha de uma representação para o tempo; e
- (d) Construção de modelos que simulem o comportamento de sistemas reais que alteram os atributos das entidades em localizações específicas conforme o tempo evolui.

4.4 A estrutura comum aos modelos ambientais

Muitos modelos espaciais dinâmicos, entre eles os apresentados por [35], [36], [37] e [38], modelam o espaço como um reticulado de células e possuem uma estrutura funcional similar (figura 2). Diversos modelos têm sido desenvolvidos baseados em autômatos celulares [39], [42]. Na figura 2, o vértice denotado por duas circunferências concêntricas indica o estado inicial. No momento em que o modelador coloca o modelo em funcionamento, o instante inicial t_0 é atribuído à variável que registra o tempo t da simulação e então, os

atributos das células referentes ao momento t_0 são carregados. Após a carga dos dados, tem início a fase de simulação propriamente dita.

De modo geral um modelo inicia sua simulação no estado “parado”, quando o modelador o coloca em funcionamento, os dados descritivos do fenômeno sob estudo são carregados a partir de uma base de dados e o valor inicial t_0 é atribuído à variável que registra o tempo t da simulação. Após a carga dos dados, tem início a fase de simulação propriamente dita.

Os modelos espacialmente explícitos devem fazer uma clara distinção entre projeções da quantidade de mudança e projeções da localização das mudanças. Desta maneira, alguns modelos possuem um primeiro estágio, onde é determinada a quantidade de células a ter seus atributos alterados para satisfazer as exigências de uma determinada configuração do espaço. Em um segundo estágio, os modelos precisam determinar onde as mudanças previstas deverão ocorrer, isto é, é preciso escolher quais células terão seus atributos alterados para atender a demanda determinada no estágio anterior. O terceiro estágio da simulação consiste na aplicação das regras de comportamento do modelo sobre a estrutura celular para efetivamente realizar as mudanças. No quarto estágio da simulação, incrementa-se a variável t - tempo - e, se ela for menor que o momento final da simulação, a simulação retorna ao primeiro estágio e o ciclo se repete. Caso contrário, a simulação é terminada.

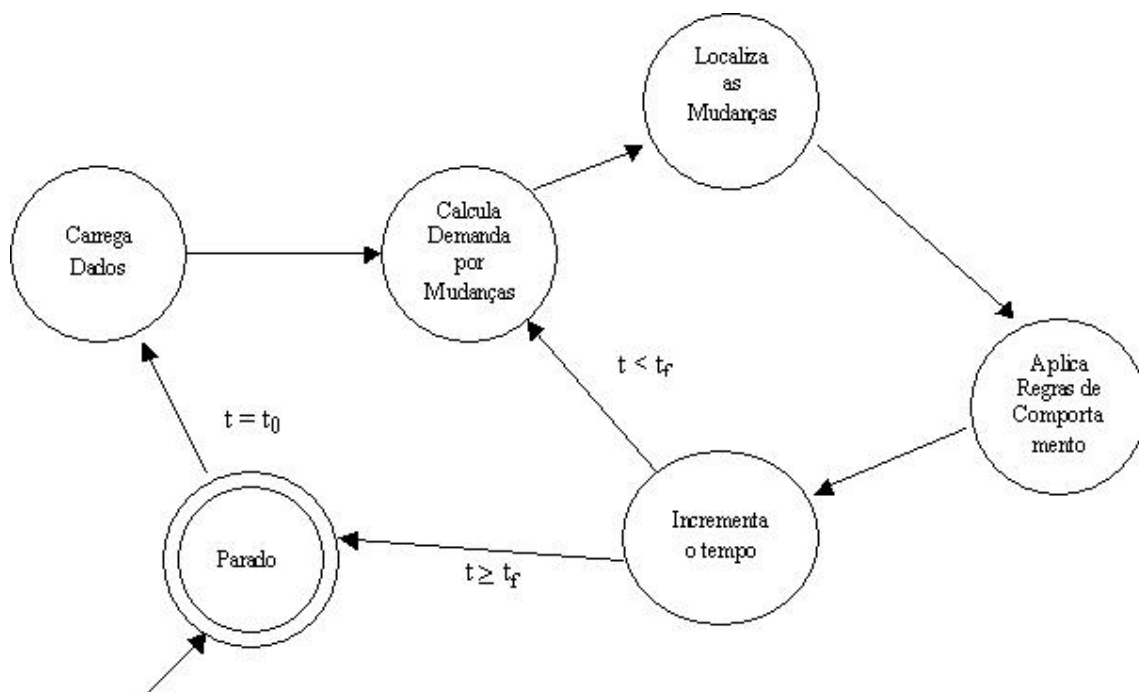


Figura 2 - Estrutura comum aos modelos espaciais dinâmicos

4.5 O processo de modelagem espacial dinâmica

O processo de modelagem de fenômenos espaciais dinâmicos envolve as fases descritas abaixo, que não precisam acontecer na ordem em que são apresentadas, podendo uma fase ser realizada de forma concorrente com outra. Cada uma das fases de modelagem impõe demandas diferentes é assim descrita em [33]:

a) **Construção da base de dados:** implica na aquisição e conversão de uma série temporal de dados espaciais para o estabelecimento de uma base de dados onde dados que permitam validar o modelo e dados que explicam o processo de mudança são armazenados em escalas e formatos adequados. Um SIG seria a ferramenta adequada para armazenamento e tratamento desses dados.

b) **Construção do Modelo:** é nesta etapa que as abordagens teórica e metodológica que influenciarão o modelo são selecionadas e utilizadas na definição das entidades que participarão do modelo e das regras que regem a sua dinâmica. Esta fase é severamente restringida pela teoria escolhida para ser aplicada: a teoria especifica que tipos de objetos e propriedades podem ser modelados. O principal resultado desta fase é um conjunto completo de nomes e variáveis descritivas para o modelo, com uma interpretação associada a cada variável. Não importando se o modelo é empírico ou não, para os modelos espaciais dinâmicos existe sempre a necessidade da escolha de uma representação adequada para o tempo e para o espaço.

c) **Parametrização do Modelo:** consiste, essencialmente, na definição do estado inicial para a execução do modelo que é determinado pela escolha do tempo “ t ” a partir do qual seus estados deverão evoluir, na definição da resolução espacial a ser utilizada ou de várias resoluções e na extensão da área de estudo a ser considerada ou das várias extensões. Uma vez definida a resolução espacial e a extensão da área de estudo, tem início o processo de agregação e alocação de dados espaciais e temporais a partir da base de dados. O termo agregação refere-se à conversão de dados a partir de subconjuntos espaciais que possuem alta resolução espacial para subconjuntos espaciais de menor resolução. O termo alocação refere-se ao processo inverso.

d) **Calibração, Verificação e Validação do Modelo:** nesta fase devem ser determinadas às variáveis que realmente possuem uma relação causa/efeito com o processo de mudança. O modelo também precisa ser verificado para assegurar que sua programação e seu funcionamento estão corretos. Também é necessário que o modelo seja submetido a uma validação estrutural e uma validação do seu resultado. Isto é, uma verificação de quão perfeitamente o modelo implementado em *software* representa o modelo conceitual e uma verificação da qualidade com que o resultado do modelo caracteriza o fenômeno em estudo.

e) **Execução e Visualização do Modelo e Análise de Relatórios:** nesta fase, os modelos dos processos são colocados em execução sobre o espaço de células de maneira iterativa, gerando relatórios e dados espaço-temporais que registram a dinâmica do modelo para uma posterior análise.

f) **Projeção de Cenários:** nesta etapa são construídos cenários que permitem ao modelador verificar o impacto de algumas hipóteses por ele formuladas sobre o fenômeno modelado. Nos autômatos celulares, estas hipóteses são representadas na forma *de restrições, isto é, regras definidas sobre os estados das células que têm o poder de impedir ou forçar uma determinada regra de transição.*

4.6 Definição de Simulação

A simulação é uma abordagem de estudo que vem sendo cada vez mais utilizada na mais variadas áreas de conhecimento. Dois fatores contribuem para isso: a crescente complexidade dos problemas com que nos deparamos e a maior disponibilidade de recursos computacionais [41].

Em termos mais práticos, a simulação consiste na construção de um modelo de um sistema real (ou ainda por existir) e, através do uso do computador, possibilitar a realização de experimentos com vários cenários projetados a partir do modelo.

No processo de simulação podemos destacar as seguintes etapas[54]:

- **Construção do Modelo da situação atual.** Nessa etapa tenta-se reproduzir em um modelo as situações existentes no sistema atual. Trata-se de contruir um modelo, fornecer alguns dados e obter outros que sejam idênticos ao sistema atual em estudo. É importante ter uma boa compreensão do problema que se quer estudar, para se construir um modelo que melhor se aproxime do sistema real;

- Inclusão de alterações no modelo da situação atual para refletir a situação futura desejada. Nessa etapa efetuamos alterações no modelo da etapa anterior. Por exemplo, Darci Prado[54] cita o caso de um estudo de mineração na qual devemos aumentar a produção. Para atingir o objetivo podemos incluir novas máquinas de escavação e verificar qual será a necessidade de outros equipamentos.

4.7 Classificação da Simulação

Segundo [41] uma simulação pode ser classificada em:

1. Determinística ou probabilística;
2. Estática ou dinâmica; e
3. Discreta ou contínua.

Uma simulação é determinística quando todas as variáveis presentes são também determinísticas. Dentre as principais aplicações da simulação determinística, podemos citar o planejamento financeiro e a simulação de sistemas macroeconômicos.

Ao contrário da situação determinística uma simulação probabilística baseia-se geralmente, numa descrição mais próxima, e também mais complexa da realidade. Neste caso os modelos contêm uma ou mais variáveis aleatórias cujo papel, numa simulação, será representado através de amostras.

Quando, em uma simulação, a dimensão tempo não é relevante denominamo-la uma simulação estática. Mas, na maioria das aplicações as simulações referem-se ao estudo de um sistema ao longo do tempo, caracterizando assim, uma simulação dinâmica. Esse tipo de simulação caracteriza-se por haver uma variável denominada relógio da simulação, cuja função é controlar o avanço do tempo. O avanço do tempo poderá ser feito de duas formas: incrementos constantes ou variáveis.

Quando a passagem do tempo é feita em intervalos, entre um evento e outro, classifica-se como uma simulação discreta. Neste caso, supõe-se que o estado do sistema não se altera ao longo do intervalo compreendido entre dois eventos consecutivos. Na simulação contínua a passagem do tempo é vista como se fosse realmente contínua, muito embora ela seja feita a pequenos intervalos de tempo, por imposição do método empregado e do próprio computador (máquina discreta).

4.8 Razões para Usar Simulação

Muitas razões podem ser enumeradas para justificar o uso da simulação[42]:

- Pode ser impossível ou muito oneroso observar diretamente certos processos no mundo real. Por exemplo, o estudo de sincronização de sinais de trânsito de certa via poderia ser realizado experimentalmente, ajustando sucessivamente os semáforos e verificando as conseqüências em termos de congestionamento, acidentes etc.
- O sistema observado pode ser tão complexo a ponto de tornar-se impossível descrevê-lo em termos de um conjunto de equações matemáticas de solução analítica viável. Como exemplo, tem-se os sistemas de estoques em série e em paralelo que devem ser estudados de forma a se ter uma política de operação com mínimo custo.
- Mesmo sendo possível desenvolver um modelo matemático do sistema em foco, a sua solução pode ser muito trabalhosa e pouco flexível.

4.9 Vantagens do Uso da Simulação

Pode-se enumerar as seguintes vantagens do uso da simulação[42]:

- A simulação permite estudar e experimentar complexas interações internas de um dado sistema;
- Através da simulação, podem ser estudadas algumas variações no meio ambiente e verificados seus efeitos no sistema total;
- A experiência adquirida em construir os modelos e realizar a simulação pode conduzir a uma melhor compreensão do sistema, com possibilidade de melhorá-lo.
- A simulação de sistemas complexos pode fornecer valiosa contribuição, no sentido de descobrir as variáveis mais importantes do sistema e a forma como elas interagem;
- A simulação pode ser usada para experiências com novas situações, sobre as quais se tem pouca ou mesmo nenhuma informação, com o intuito de preparar a administração para o que possa acontecer;

- A simulação pode servir como um primeiro teste para delinear novas políticas e regras de decisão para a operação de um sistema, antes de experimentar no sistema real

CAPÍTULO 5 – TRABALHOS RELACIONADOS

5.1 GAIA

Gaia é uma metodologia para análise e projeto orientados a agentes que se baseia na visão de um sistema multi-agentes como sendo uma organização computacional onde vários papéis interagem. Gaia possui duas fases distintas: fase de análise e fase de projeto. [55].

A fase de análise consiste na decomposição do sistema em papéis que serão desempenhados na organização e na definição da maneira como eles interagem, de acordo com protocolos específicos.

A fase de projeto utiliza os modelos definidos na fase de análise, para gerar novos modelos com níveis de abstração mais baixos, obtendo uma definição do sistema multi-agentes mais próxima da implementação. A fase de projeto precisa definir os agentes que irão desempenhar os papéis identificados durante a fase de análise, bem como a cardinalidade destes agentes. Os serviços oferecidos pelos agentes para desempenhar seus papéis precisam ser especificados nesta fase.

5.2 JADE – Java Agent Development Framework

JADE é um ambiente para desenvolvimento de sistemas multi-agentes. JADE simplifica o desenvolvimento fornecendo um *framework* completo que trata da comunicação, do ciclo de vida do agente, do monitoramento da execução, entre outras atividades. Ele foi desenvolvido pela TILAB (*Telecon Itália Lab* – Universidade de Parma na Itália). Seu desenvolvimento segue as especificações da FIPA (*Foundation For Intelligent Physical Agents*), que é uma fundação sem fins lucrativos direcionada à produção de padrões para interoperabilidade de agentes heterogêneos e interativo e sistemas baseados em agentes.

JADE é totalmente desenvolvido em Java e é baseado nos seguintes princípios:

- Interoperabilidade - JADE está em consonância com as especificações da FIPA. Conseqüentemente, um agente em JADE pode operar com outros agentes que seguem o mesmo padrão.
- Uniformidade e portabilidade – Jade fornece um conjunto homogêneo de *Application Program Interface* (API) independentes do tipo de rede e da versão Java.
- Fácil de Usar – Toda a complexidade é encapsulada em um simples e intuitivo grupo de APIs.

5.3 MAS Framework

MAS é um *framework* para desenvolvimento de sistemas multi-agentes. Segundo Ribeiro [55], ele possibilita o reuso e facilita a modelagem no desenvolvimento de sistemas multi-agentes. MAS modela os agentes numa única classe que representa as propriedades dos agentes. Além disso, o *framework* oferece uma infra-estrutura para a comunicação entre os agentes que permite o envio de mensagens diretas entre os agentes e o envio de mensagem através de *blackboard*.

5.4 Conclusão

As etapas de análise e projeto desta dissertação poderiam ter sido realizadas utilizando a metodologia GAIA. Os agentes poderiam ter sido implementados utilizando-se JADE ou MAS. Todavia, a descrição do mini-mundo ou universo de discurso, em termos de agentes, suas características, funções e relacionamentos foi realizada a contento, sem a necessidade do concurso de uma metodologia. Neste caso em particular, uma camada adicional referente a uma metodologia nas etapas de análise poderia eventualmente dificultar o entendimento do problema para aqueles sem o conhecimento da metodologia. Além disso, com o intuito de alcançar um maior conhecimento das técnicas de programação envolvidas, optou-se por não utilizar *frameworks* de desenvolvimento de sistemas multi-agentes (JADE, p.ex). O resultado é que há um domínio completo de todo o código computacional envolvido no desenvolvimento da aplicação.

CAPÍTULO 6 – FUNDAMENTOS DO MODELO DE SIMULAÇÃO BASEADO EM SISTEMAS MULTI-AGENTES.

O presente trabalho pretende analisar e explorar as vantagens de integrar Sistemas de Informações Geográficas e Sistemas Multi-Agentes no contexto da modelagem e simulação de sistemas dinâmicos complexo, enfocando o Controle de Área Marítima como estudo de caso. Para tanto foi desenvolvido um simulador de Controle de Área Marítima. O simulador utiliza a mesma organização de arquivos de um SIG e é construído sobre uma arquitetura baseada em agentes. Para tal, foi adotado como ambiente de atuação dos agentes um mapa do tipo vetorial (“*shape file*”), no qual o elemento base de representação é o ponto definido pelas coordenadas no sistema georreferenciado.

6.1 Propósito do Simulador.

O propósito do simulador é ajudar o Oficial planejador a analisar e validar um planejamento de uma operação de Controle de Área Marítima. Com a ajuda do simulador, o planejador poderá detectar possíveis falhas na distribuição dos meios navais, possibilitando a correção do planejamento antes de pô-lo em prática, contribuindo assim, para uma melhor eficiência e uma obtenção de economia de recursos.

6.2 Alguns Aspectos Vinculados à Implementação do Simulador.

A situação de uma operação de Controle de Área Marítima pode ser razoavelmente modelada através de um sistema multi-agentes, usando um esquema de *quadro-negro*. Um aspecto crucial do sistema é a representação do ambiente. O local onde os navios, nossos agentes, patrulharão, navegarão e eventualmente interceptarão um outro navio. Este ambiente será uma representação SIG do mundo em duas dimensões: a carta náutica codificada em um arquivo no formato “*shape file*”; e, dessa forma, a representação estará também georreferenciada. Cada navio será representado por um agente com seu próprio processo de execução.

O simulador foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação *Delphi* da *Borland* e a biblioteca *Ecological Software Solutions* [51].

6.3 Modelagem dos Agentes.

Cada Agente foi desenvolvido de forma independente. Os Agentes foram divididos em quatro grupos: Patrulhadores, Interceptadores, Intrusos e Relógio, conforme descritos abaixo.

6.4 Agentes Patrulhadores.

Esses Agentes simulam os navios patrulhadores que fazem parte da força amiga. Eles ficarão posicionados sobre a Linha Limite de Patrulha (LLP) com o propósito de patrulhar e detectar qualquer elemento que tente transpassá-la.

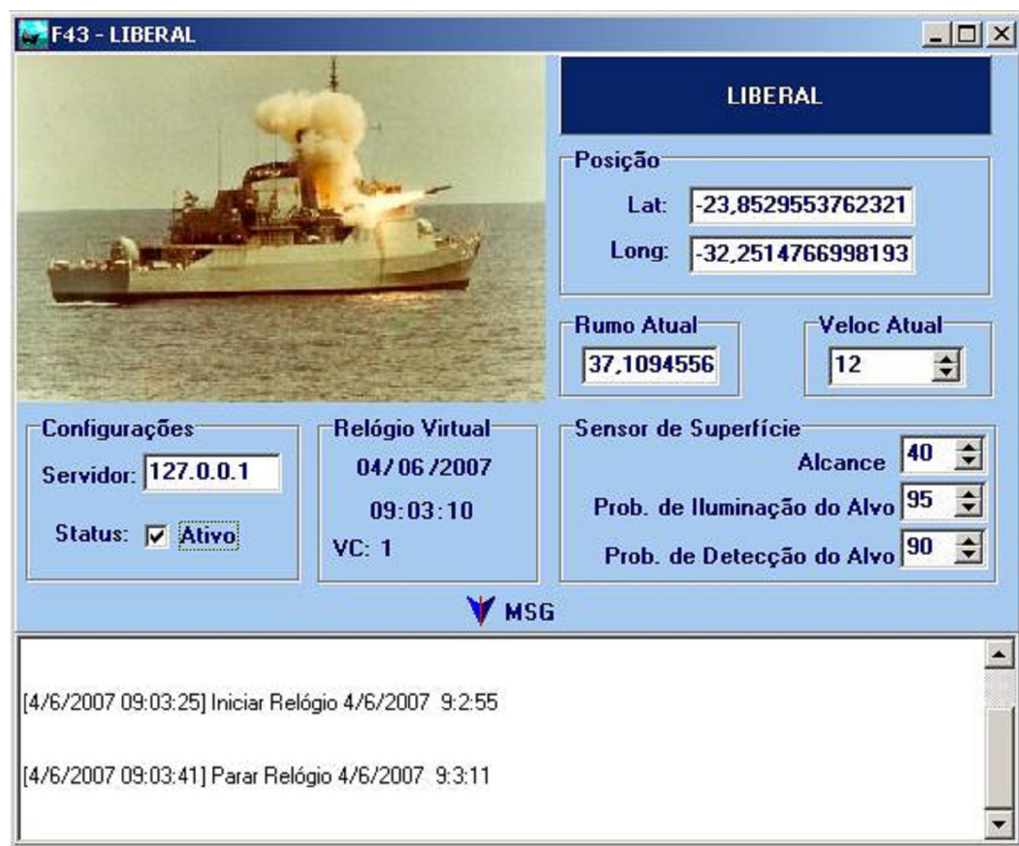


Figura 3 - Exemplo de um Agente Patrulhador

Para dar realismo à simulação, esses Agentes Patrulhadores possuem alguns parâmetros, que estão divididos em grupos e que podem ser alterados antes ou durante a simulação. Abaixo seguem suas descrições.

No grupo Configurações, temos dois parâmetros: o primeiro, é o endereço IP da máquina que está executando o servidor. Cada agente pode executar em uma máquina distinta, bastando apenas, para isso, configurar o endereço IP do servidor; o segundo parâmetro é uma opção de *status*. Ele permite habilitar ou não, o agente para a simulação. Esses parâmetros devem ser configurados antes de iniciar a simulação.

O grupo Relógio Virtual exibe informações referentes ao relógio que controla o tempo na simulação. Nele aparecem a data e hora corrente da simulação. Esses parâmetros não podem ser alterados diretamente no agente; eles são puramente informativos.

O grupo Posição exibe a posição corrente em que o navio se encontra. A posição é dada em latitude e longitude, ambas em graus decimais. A posição inicial do navio é extraída na carga inicial do sistema. As posições consecutivas são calculadas a cada rodada da simulação, considerando-se a velocidade, o rumo, e os limites dos setores de patrulha do navio. A posição do navio não pode ser alterada manualmente.

O grupo Rumo Atual informa o rumo no qual o navio se encontra. Esse parâmetro pode ser alterado durante a simulação. Vale lembrar que o rumo adotado pelo navio visa cobrir um percurso preestabelecido para patrulhar a área sob sua responsabilidade.

O grupo Velocidade Atual exibe a velocidade, em nós, do navio. Esse parâmetro pode ser alterado durante a simulação, possibilitando, assim, simular uma possível restrição na propulsão do navio.

O grupo Sensor de Superfície exibe dados referentes aos sensores de superfície que o navio possui. Segundo Assunção[18], um sensor é um sistema de órgãos ou equipamentos que permite sentir as perturbações (ou variações) do ambiente.

Sensores podem ser classificados em ativos, quando emitem um sinal e captam as interferências deste sinal produzidas pelo alvo, ou passivos, quando apenas recebem o sinal oriundo diretamente do alvo, sem emití-lo. Para a simulação nós consideramos o sensor de melhor atuação do navio.

Três parâmetros são considerados nesse grupo: o primeiro é o alcance do sensor. Ele expressa a distância máxima possível de contato para o sensor empregado, segundo uma dada direção; essa distância é dada em milhas náuticas. O segundo é a Probabilidade de Iluminação do Alvo, que expressa, em porcentagem, a possibilidade do sensor cobrir com ondas

eletromagnéticas um alvo. Para melhor entendimento, considere um sistema radar ativo que, para “ver” um dado objeto buscado, tenha que primeiro banhá-lo, ou iluminá-lo, com ondas eletromagnéticas por ele emitidas que, depois de refletidas (eco radar) e captadas pela antena receptora do radar, venham a ser decodificadas, formando a imagem radar do objeto na tela do equipamento[18]. O terceiro parâmetro é a Probabilidade de Detecção do Alvo que exprime, em termos percentuais, a capacidade de determinado sensor detectar um objeto específico, a uma dada distância e dentro de condições preestabelecidas, uma vez que esse alvo foi iluminado pelo sensor. Esses três parâmetros podem ser alterados durante a simulação.

E por último, temos uma área chamada “MSG” que exhibe a comunicação trocada entre os agentes (amigos e relógio).

Os Agentes Patrulhadores têm como comportamento se posicionarem sobre um trecho preestabelecido na Linha Limite de Patrulha, conhecido como Setor de Patrulha. Eles realizam um movimento de vai-e-vem percorrendo todo o setor. Quando, através dos seus sensores, detectam algum possível navio intruso eles disseminam esta informação para os outros navios amigos.

6.4.1 Diagrama do Agente Patrulhador.

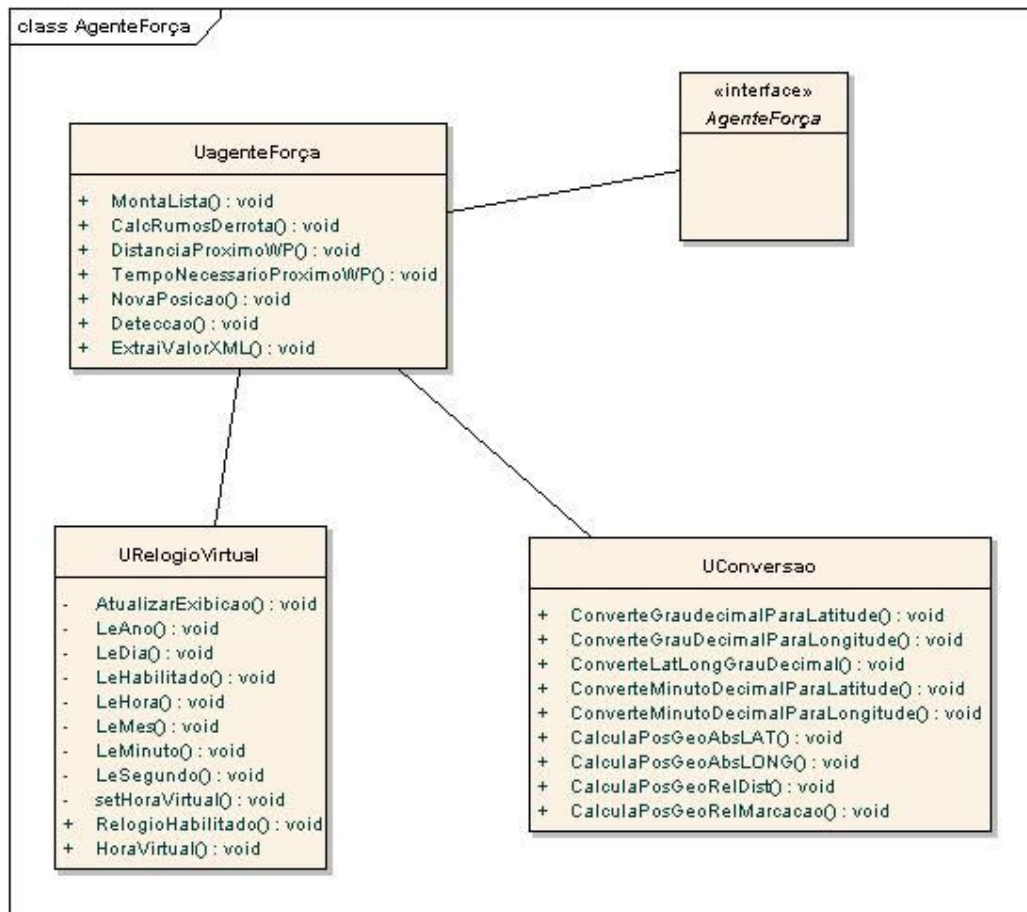


Figura 4 - Diagrama de classe do Agente Patrulhador

6.5 Agentes Interceptadores.

São Agentes que representam navios pertencentes à força amiga, os quais diferentemente dos acima citados, que têm a função de patrulhar, têm a função de interceptar um possível intruso e ficam posicionados próximos da área a ser controlada. Uma vez que um intruso é detectado por um navio patrulha, esse dissemina o ocorrido aos outros navios, e os navios interceptadores se encarregam de interceptá-lo.

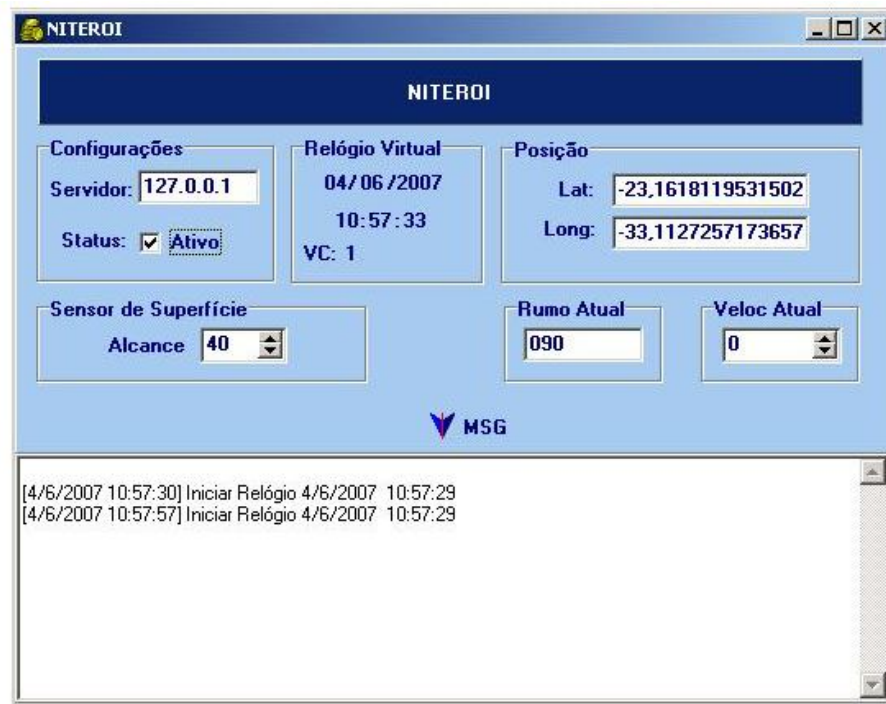


Figura 5 - Exemplo de um Agente Interceptador.

A descrição dos parâmetros desses agentes é muito semelhante às dos Agentes Patrulhadores. Para evitar repetições cansativas cita-se a única diferença existente: o grupo Sensor de Superfície, que só possui um parâmetro, uma vez que seu objetivo é apenas interceptar e não detectar.

Os Agentes Interceptadores têm como comportamento se posicionarem próximos da área a ser controlada. Ao receberem a comunicação que um navio intruso ultrapassou a Linha

Limite de Patrulha, encaminham-se para próximo da área a ser controlada e efetuam os procedimentos necessários para a interceptação.

6.5.1 Diagrama do Agente Interceptador.

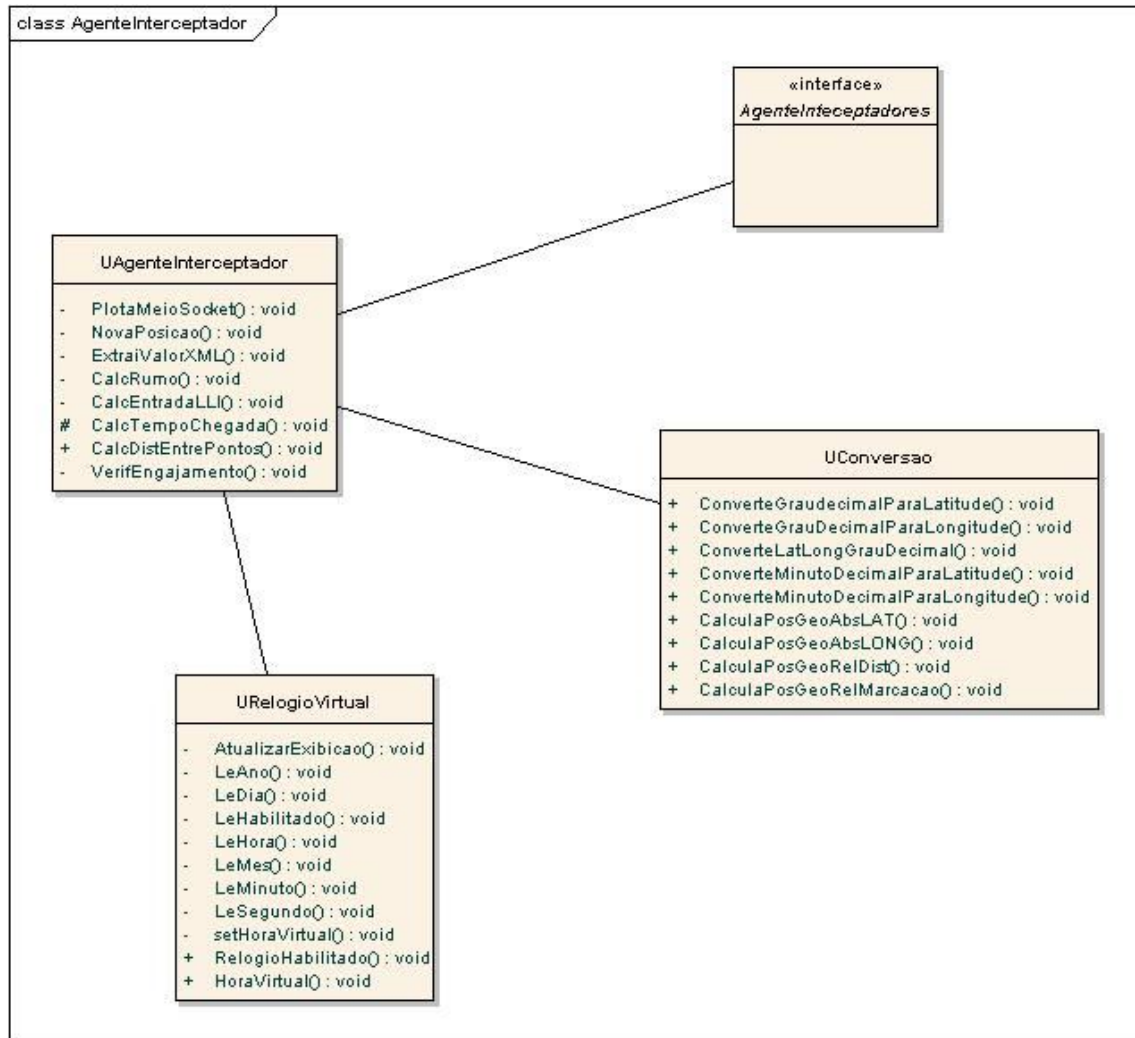


Figura 6 - Diagrama de classe do Agente Interceptador.

6.6 Agentes Intrusos.

Esses agentes representam os navios que tentarão se aproximar da área controlada, com o intuito de atacar um alvo no seu interior. Podem vir de qualquer direção e em qualquer quantidade. Como o propósito da operação de Controle de Área Marítima é proteger algo nela contida, a detecção e a interceptação dos navios intrusos são primordiais para o seu sucesso.

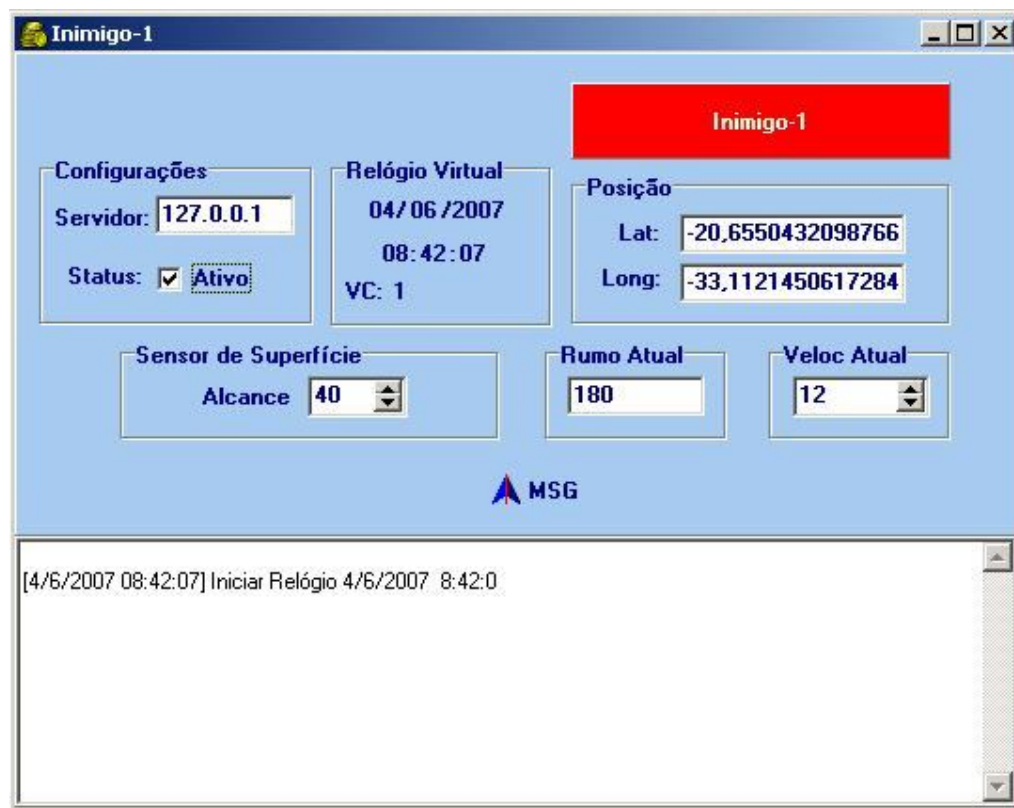


Figura 7 - Exemplo de um Agente Intruso

A descrição dos seus parâmetros é idêntica à dos agentes interceptadores.

Os Agentes Intrusos têm como comportamento a tentativa de aproximação da área que se quer controlar. Essa aproximação tem que ser suficientemente próxima para que eles possam efetuar um ataque ao alvo. Para isso, eles têm que estar posicionados a uma distância do alvo inferior ao alcance do seu armamento.

Na simulação, enquanto o Agente Intruso não é detectado ou identificado como inimigo, a sua cor de apresentação é amarela. Ao ser detectado e classificado como inimigo, a sua cor é alterada para vermelha.

6.6.1 Diagrama do Agente Intruso.

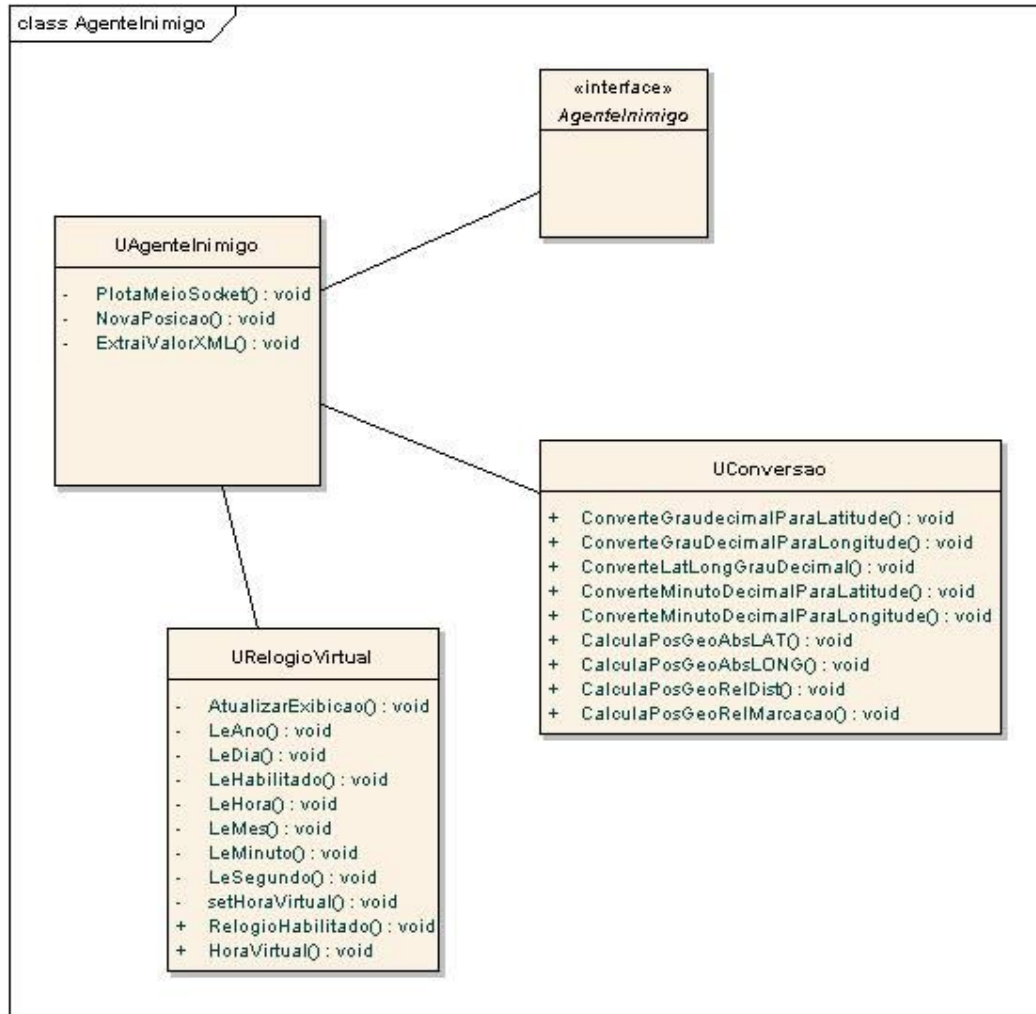


Figura 8 - Diagrama de classe do Agente Intruso

6.7 Agente Relógio.

O Agente Relógio tem como função o controle do tempo durante a simulação. É ele que sincroniza todas as tarefas realizadas pelos demais agentes. Antes de iniciar a simulação, o Agente Relógio envia uma mensagem de sincronismo para os demais agentes passando a data/hora do início da mesma. A contagem do tempo pode ser incrementada e/ou parada, possibilitando a diminuição do tempo total da simulação.



Figura 9 - Exemplo do Agente Relógio

Esse Agente possui dois grupos de parâmetros para configurar: O primeiro é o Ajuste Relógio. Através dele, pode-se configurar a data e a hora que estará marcando o relógio quando a simulação começar. O segundo é o Intervalo, o único parâmetro desse grupo que expressa o salto no tempo, em segundos, que o tempo virtual terá. Por exemplo, no caso da figura 4, a cada um segundo do tempo real, passar-se-ão 120 segundos do tempo virtual da simulação.

O Agente relógio periodicamente envia aos demais Agentes, mensagens de sincronização do tempo. Parando o Agente relógio, toda a simulação é parada.

6.7.1 Diagrama do Agente Relógio.

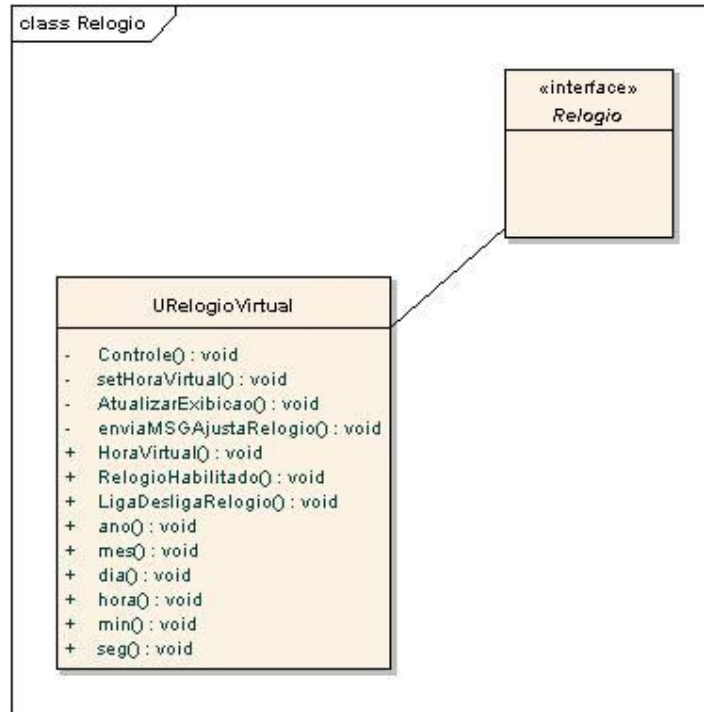


Figura 10 - Diagrama de classe do Agente Relógio.

6.8 Interface.

A interface é o programa principal no qual reside a camada SIG do simulador. Nela pode-se incluir um mapa georreferenciado que servirá de ambiente para atuação dos agentes envolvidos na simulação. Na interface foi implementado o mecanismo quadro-negro que controla a troca de informações entre os agentes. O conceito de quadro-negro já foi anteriormente descrito neste trabalho e será um pouco mais aprofundado na seção Arquitetura do Simulador.

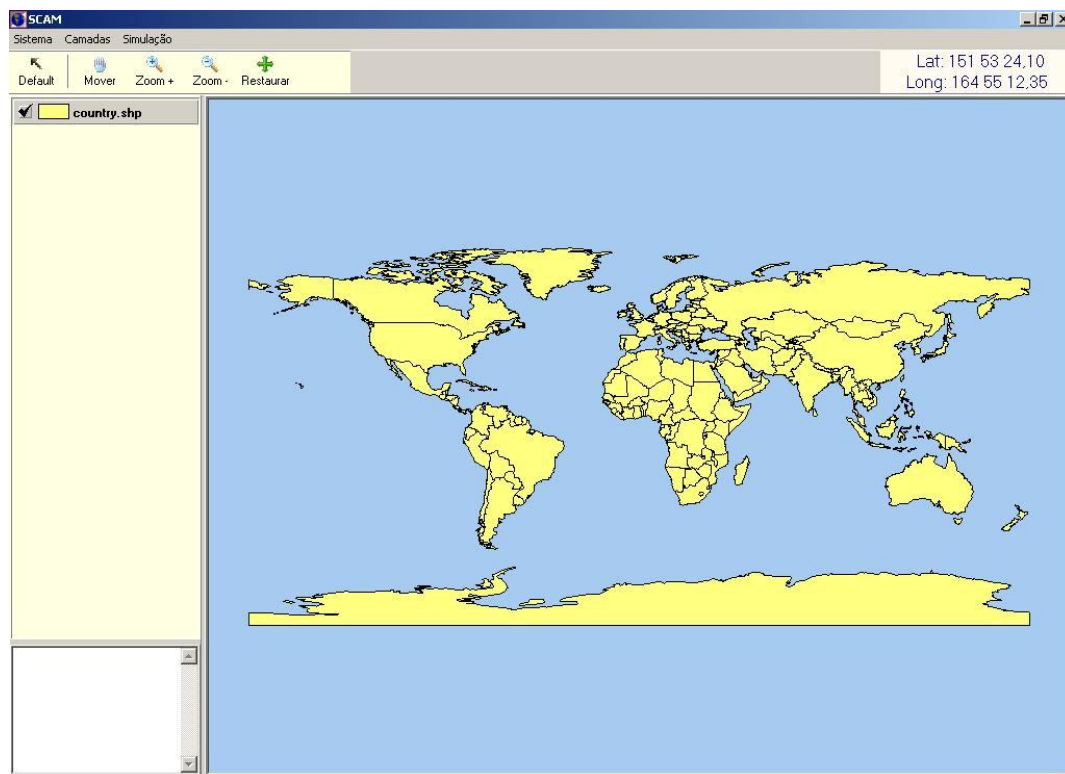


Figura 11 - Interface do simulador

6.8.1 Diagrama da Interface.

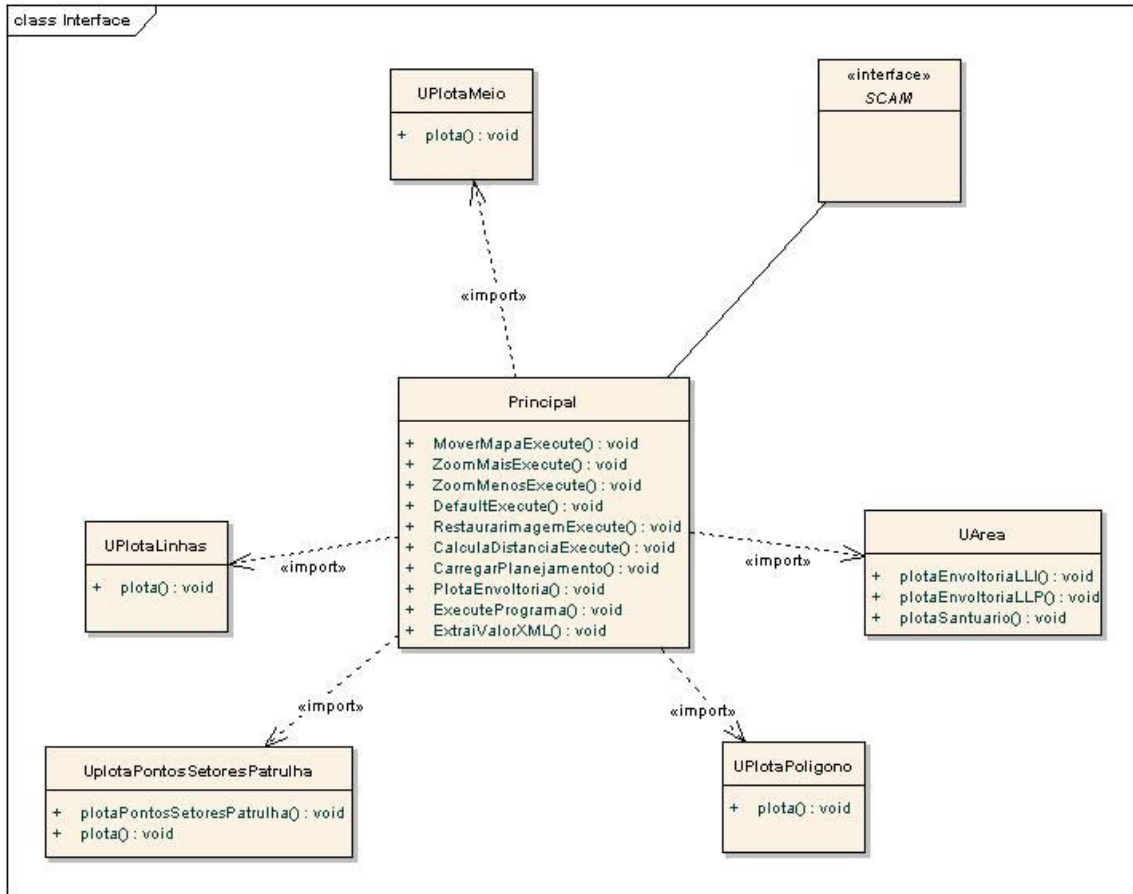


Figura 12 - Diagrama de classe da Interface

6.9 Comunicação entre os Agentes.

A comunicação entre os agentes foi implementada através do uso de *sockets*. Especificamente em **computação**, um *socket* [48] pode ser usado em ligações de **redes de computadores** para um fim de um elo bidirecional de comunicação entre dois programas. A interface padronizada de soquetes surgiu originalmente no sistema operacional Unix BSD (Berkeley Software Distribution); portanto, eles são muitas vezes chamados de *Berkeley Sockets*. É também uma abstração computacional que mapeia diretamente a uma porta de transporte (TCP ou UDP) e mais um endereço de rede. Com esse conceito é possível identificar unicamente um aplicativo ou servidor na rede de comunicação IP.

Com esse mecanismo, quando um programa precisa criar uma conexão com uma determinada porta para se comunicar com uma outra aplicação, ele tem que criar um *socket* conectado a ela. *Sockets* são representações da conexão de um aplicativo com uma porta. Com eles, podemos ter vários aplicativos conectados com a mesma porta, cada um possuindo um

socket próprio. Os aplicativos em sua grande maioria abrem geralmente dois *sockets*, um Ativo e um Passivo. O ativo é usado para o envio de dados, o passivo é usado para o recebimento de dados. Geralmente, os *sockets* são identificados pelo endereço IP da estação remota e o número da porta utilizada. Nesta dissertação, todas as trocas de mensagens entre os agentes passam pela interface.

6.10 Medida de Efetividade da Simulação.

Foram estabelecidas duas métricas para avaliar qual é a melhor configuração defensiva para um Controle de Área Marítima.

A primeira métrica consiste em comparar diversas configurações defensivas. Para cada configuração é criado um navio inimigo S_I que tenta deliberadamente ultrapassar a Linha Limite de Interceptação – LLI, a fim de atingir um alvo dentro da área.

A primeira tentativa de S_I é feita usando o rumo p_I . Então, o rumo do navio inimigo é alterado no sentido anti-horário e é realizada uma nova tentativa, e assim sucessivamente. Isto pode ser feito utilizando qualquer precisão na variação do rumo. Após computar o número de tentativas bem sucedidas, a configuração defensiva que permitir o menor número de tentativas bem sucedidas será a melhor.

A segunda métrica é feita realizando o estresse de uma configuração defensiva. Dada uma configuração defensiva são realizadas várias simulações. A cada nova simulação é aumentada a quantidade de navios inimigos. Dessa forma, após algumas simulações aparecerão setores mais vulneráveis à penetração inimiga. Em algum ponto um navio inimigo irá atingir o seu objetivo. Se não for possível corrigir o problema com os recursos disponíveis concluímos que: com os recursos disponíveis não é possível, adequadamente, proteger a área que se quer, para um determinado poder de força do inimigo.

6.11 Arquitetura do Simulador.

O modelo de comunicação entre agentes define a forma pela qual os agentes se comunicam. As características dos modelos estabelecem o sincronismo da troca de informações e o esquema de inter-relacionamento entre os agentes de um sistema[52].

Na construção do simulador foi adotada a arquitetura do *quadro-negro* (*blackboard*), onde os agentes se comunicam entre si de maneira indireta através de um *quadro-negro*. O *quadro-negro* é uma estrutura de dados persistente onde existe uma divisão em regiões ou

níveis, visando facilitar a busca de informações. Ele é um meio de interação entre os agentes, que funciona como uma espécie de repositório de mensagens.

Pode-se se dizer que um *quadro-negro* é uma memória de compartilhamento global onde existe uma quantidade de informações e conhecimento, usados para leitura e escrita pelos agentes. Em sistemas multi-agentes, os *quadros-negros* são utilizados como um repositório de perguntas e respostas. Os Agentes que necessitam de alguma informação escrevem seu pedido no quadro, à espera que outros agentes respondam à medida que acessem o mesmo [52].

Um sistema *quadro-negro* consiste de três componentes principais: i) fontes de conhecimento (*Knowledge Sources* - KS). São módulos computacionais independentes que, juntos contêm o conhecimento necessário para resolver um determinado problema; ii) um *quadro-negro*, isto é, um repositório de dados global que contém dados de entrada, soluções parciais, e outros dados que estão em vários estados na solução do problema. Todas as interações entre os KS são realizadas via quadro-negro; iii) um componente de controle que toma decisões, em tempo de execução, sobre o curso da solução do problema. O componente de controle é implementado separado dos KS.

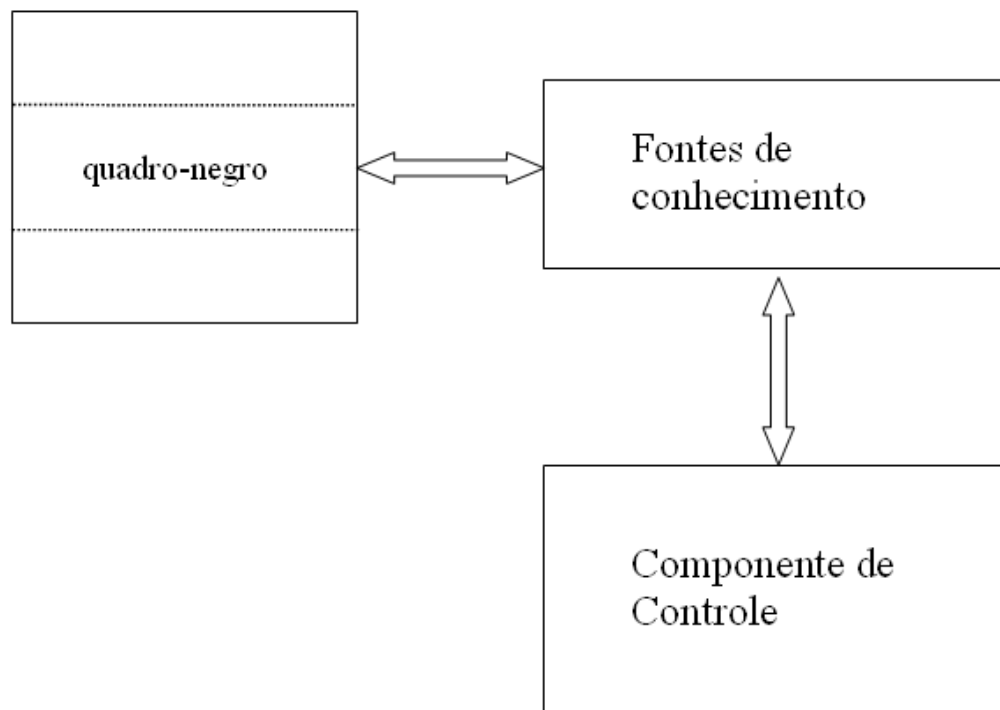


Figura 13 - Componentes básicos do modelo Quadro-Negro

Nessa simulação o *quadro-negro* é uma carta náutica, que está representada por um arquivo do tipo vetorial no módulo da interface. Nela são plotados todos os navios. Os agentes, que representam os navios, são os KS. Eles são computacionalmente independentes. E, por último, o componente de controle que está implementado no módulo de interface.

6.12 Executando uma simulação.

Essa seção descreve os passos necessários para a execução de uma simulação.

Ao iniciar o simulador a seguinte tela é exibida:

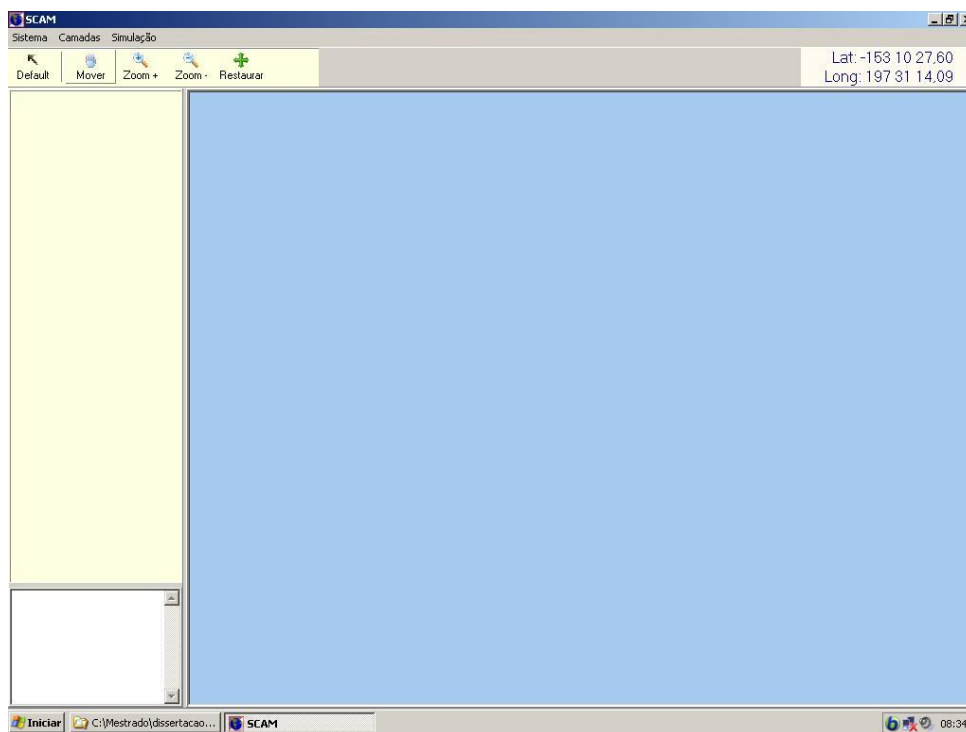


Figura 14 - Tela inicial do simulador.

A tela inicial está dividida em cinco partes a considerar:

- Área Principal (cor azul) – é uma área gráfica na qual os navios participantes da simulação serão exibidos;
- Área informativa (cor branca) – é uma área que disponibiliza algumas informações do estudo que se quer avaliar com o simulador;

- Área Descritiva dos Elementos Gráficos (cor amarela) – nela são exibidos os elementos que compõem o gráfico. Nela pode-se selecionar os elementos que serão visualizados na área gráfica;
- Menus e Botões (canto superior esquerdo) – O menu e os botões são acionadores de algumas funcionalidades como: aumentar ou diminuir a escala de apresentação, mover a carta náutica e entrada de alguns parâmetros; e
- Área de Posição (canto superior direito) – essa área informa a posição (georreferenciado – em latitude e longitude) em que o *mouse* se encontra.

Antes do início de uma simulação, deve-se selecionar uma carta náutica; para isso, aciona-se a opção Camadas/Inserir. A seguinte tela aparecerá.

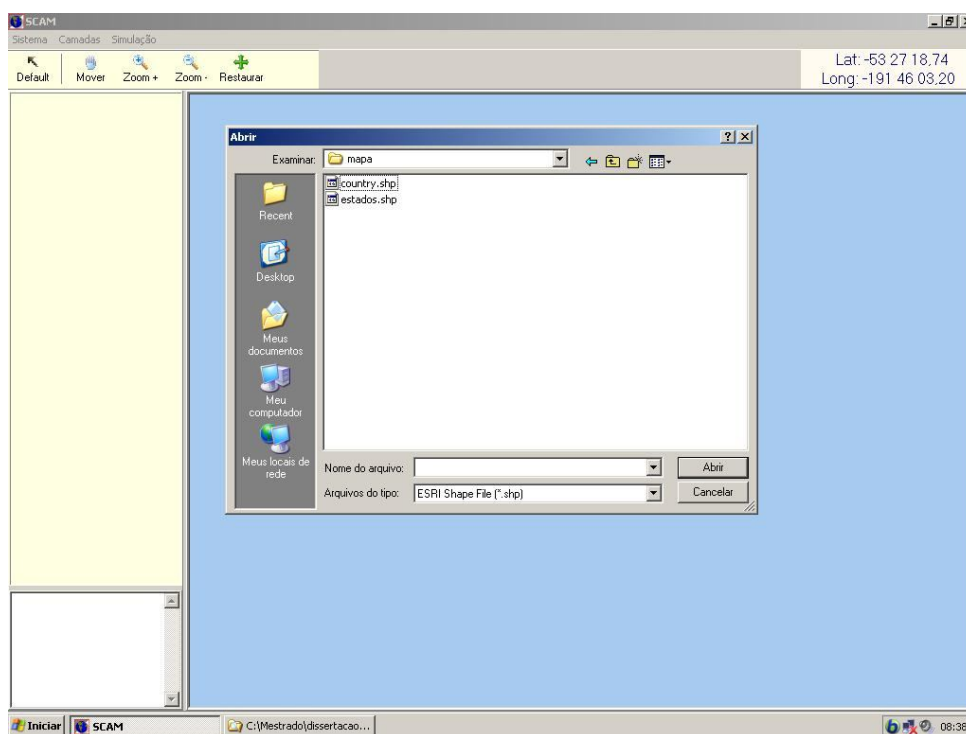


Figura 15 - Tela de selecionar carta náutica.

Após a seleção a tela deverá se parecer com a figura seguinte;

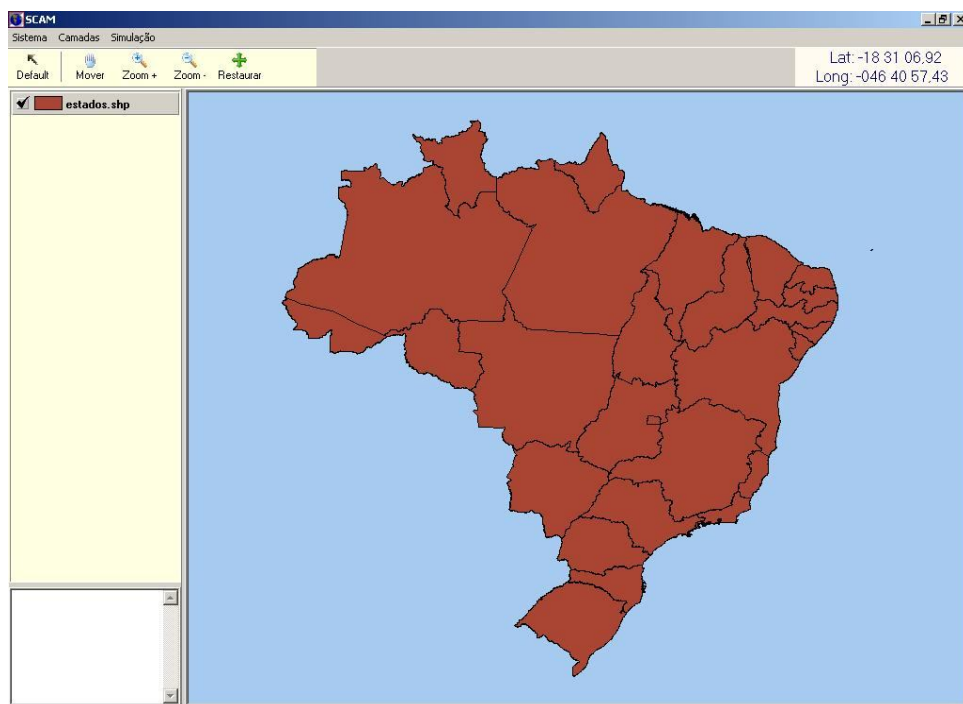


Figura 16 - Tela com a carta náutica selecionada.

O próximo passo é configurar alguns parâmetros para os navios amigos e inimigos.

Navios Amigos - Selecionando a opção Simulação/Amigos a seguinte tela deverá ser exibida:

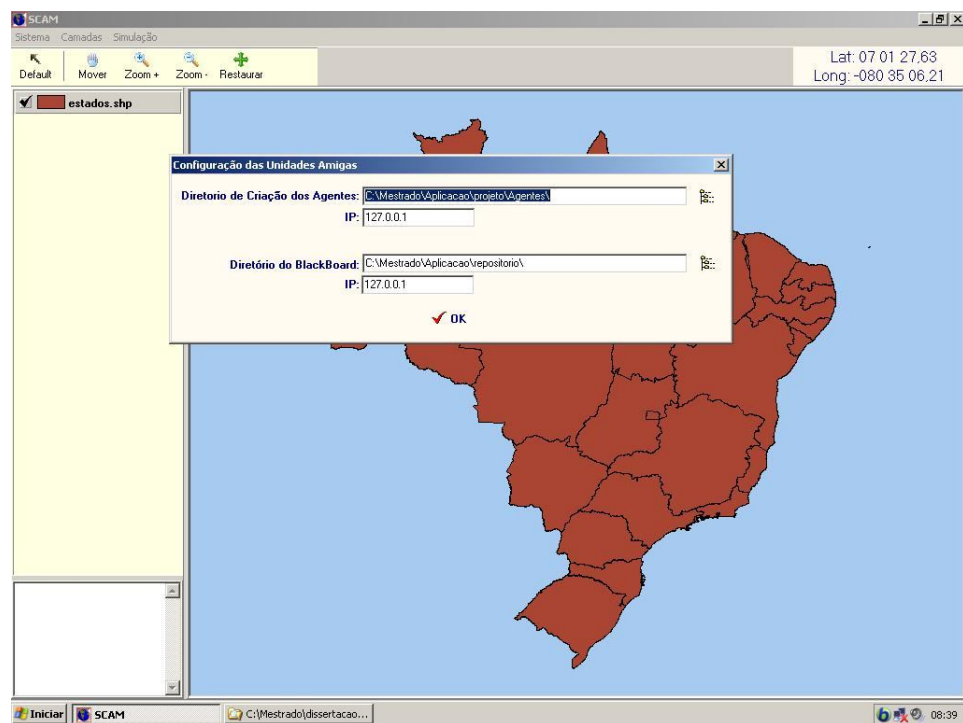


Figura 17 - Tela de configuração dos navios amigos.

O primeiro parâmetro informa ao sistema a localização, no computador, dos processos correspondentes aos Agentes e o endereço deles na rede. O segundo é a localização do componente quadro-negro e o seu endereço de rede.

Navios Inimigos - Selecionando a opção Simulação/Amigos a seguinte tela deverá ser exibida:

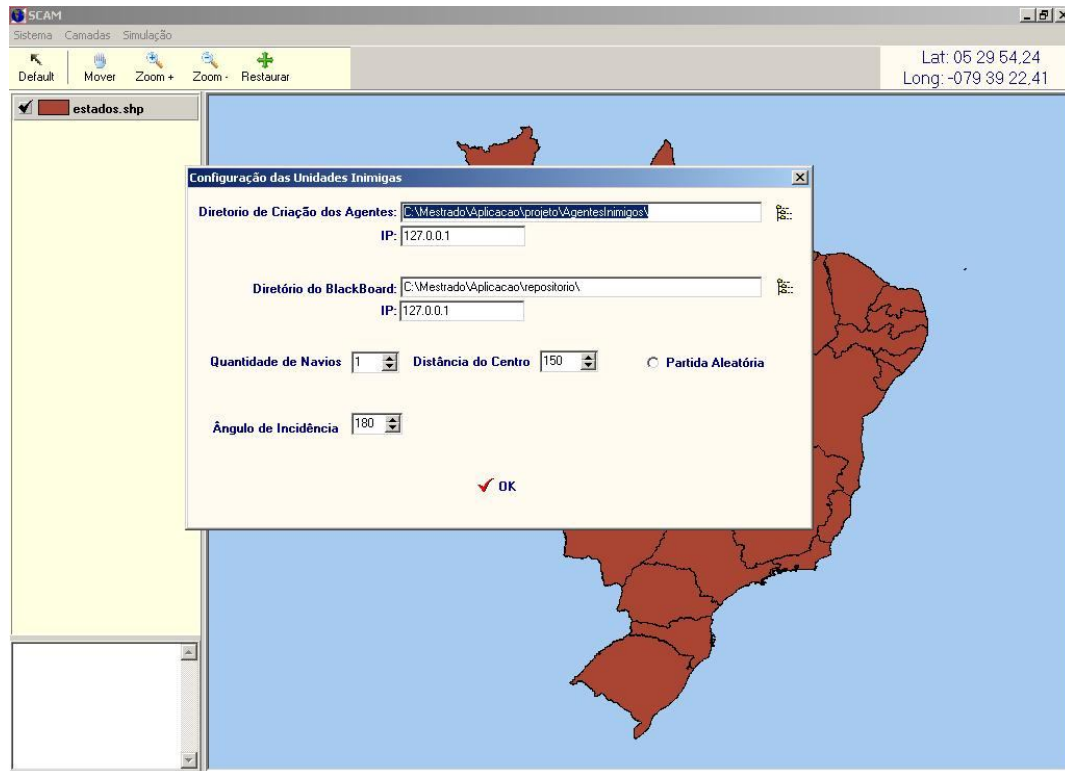


Figura 18 - Tela de configuração dos navios inimigos.

Os dois primeiros parâmetros são idênticos aos citados acima na configuração dos navios amigos.

O parâmetro Quantidade de Navios indica a quantidade de navios inimigos que serão usados na simulação.

O parâmetro Distância do Centro indica a distância inicial dos navios inimigos em relação ao centro da área que se quer proteger.

O parâmetro Partida Aleatória informa se os navios inimigos irão iniciar a aproximação à área que se quer proteger, ao mesmo tempo, ou defasados.

O parâmetro Ângulo de Incidência só é considerado se a quantidade de navios for igual a um. Nesse caso, ele informa qual rumo (ângulo) o navio intruso terá.

A etapa seguinte consiste em carregar o simulador com o estudo de Controle da Área Marítima que se quer analisar. Lembrando que o estudo foi elaborado com a ajuda de um aplicativo existente na Marinha do Brasil. Os dados do Estudo estão em um arquivo no formato XML.

Para importar o estudo deve-se selecionar a opção Planejamento/Abrir do menu principal, e logo após, a seguinte tela será exibida para selecionar o estudo.

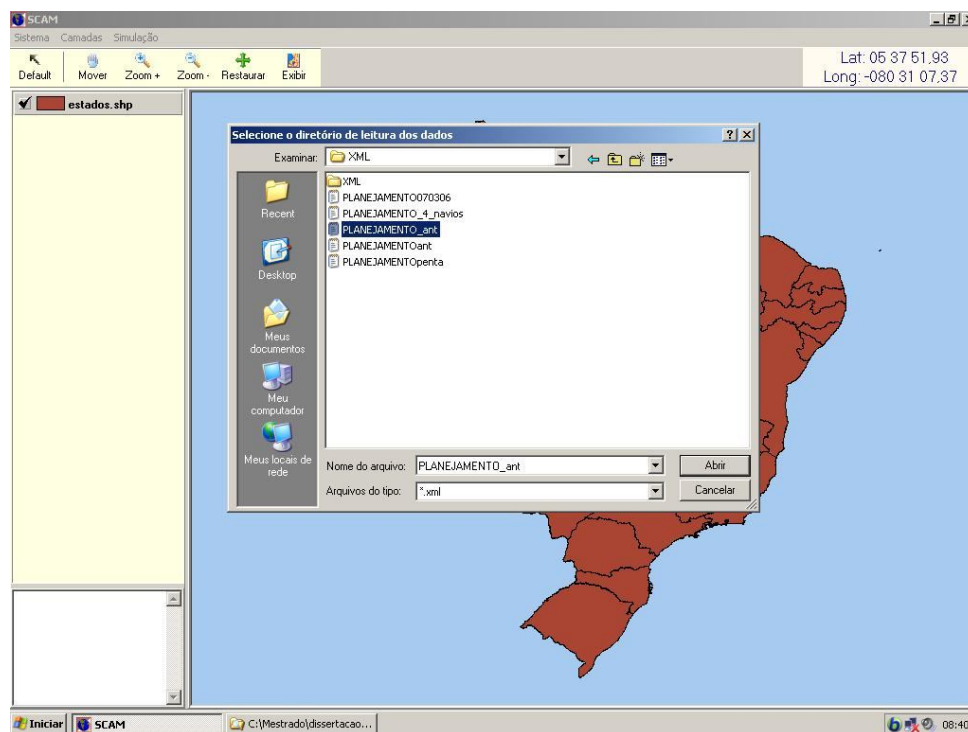


Figura 19 - Tela de seleção de estudo.

Após a seleção do estudo, uma nova tela surgirá solicitando as marcações, em latitude e longitude, que delimitam a área que se quer controlar e a distância da Linha Limite de Patrulha (LLP) em relação ao centro da área.

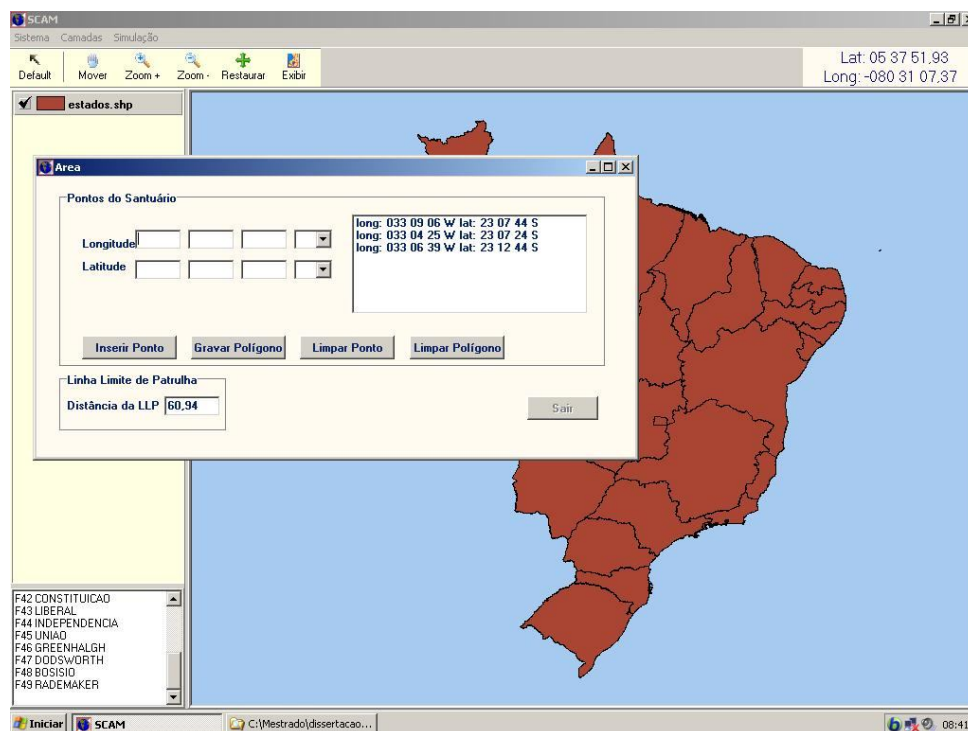


Figura 20 - Tela de inserção dos dados da área.

Concluídos esses passos iniciais, o simulador irá instanciar todos os agentes envolvidos e no módulo Interface será plotado todo o cenário da simulação.

Para começar a simulação, faltam apenas definir, no Agente Relógio, os seus parâmetros e iniciar a contagem do tempo.

6.13 Estudo de Caso

Hipóteses adotadas na elaboração da Simulação.

Esse estudo de caso descreve uma operação de Controle de Área Marítima com o propósito de proteger uma área de plataformas petrolíferas nas proximidades do litoral do Estado do Rio de Janeiro.

A área que se quer controlar é fechada e limitada pelas seguintes marcações:

Pontos da Área (Latitude e Longitude)

Latitude	Longitude
23°28'10"S	039°22'40"W
24°06'06"S	040°04'35"W
24°59'20"S	039°45'58"W
24°59'20"S	038°58'03"W
24°06'06"S	038°40'46"W

O Planejador tem à sua disposição os seguintes navios como recursos para a operação:

Unidade	Nome	Veloc.Patrolha	Alcance Sensor
Superfície	Fragata Niterói	12 nós	40 mn
Superfície	Fragata Defensora	12 nós	40 mn
Superfície	Fragata Constituição	12 nós	40 mn
Superfície	Fragata Liberal	12 nós	40 mn
Superfície	Contra-Torpedeiro Pernambuco	12 nós	40 mn
Superfície	Corveta Inhaúma	12 nós	35 mn
Superfície	Corveta Jaceguai	12 nós	35 mn
Superfície	Corveta Júlio de Noronha	12 nós	35 mn
Superfície	Corveta Frontin	12 nós	35 mn

A ameaça contra qual se quer proteger tem as seguintes características:

Tipo de Unidade	Superfície
Alcance do Armamento	35 mn
Distância de Detecção	40 mn
Velocidade de Aproximação	28 nós

Após o estudo do problema o Oficial responsável pelo planejamento apresentou a seguinte solução:

Dados Táticos:

Perímetro Protegido	262,68 mn
Afastamento da LLP	105,85 mn
Perímetro Controlado	482,59 mn

Navio Interceptador:

Nome	Fragata Niterói
Posição Lat.	24°16'23''S
Posição Long.	039°22'11''W
Setor Início Lat.	23°03'19''S
Setor Início Long.	038°55'44''W
Setor Fim Lat.	23°05'09''S
Setor Fim Long.	038°53'43''W

Navios Patrulhadores:

Nome	Seg. de Barragem	Posição 1 Lat.	Posição 1 Long.	Posição 2 Lat.	Posição 2 Long.
Defensora	123,68	21°51'40''S	038°35'20''W	21°49'26''S	040°04'09''W
Constituição	123,68	22°09'03''S	040°39'12''W	23°09'51''S	041°42'24''W
Liberal	123,68	23°47'30''S	041°58'39''W	25°39'14''S	041°44'52''W
Pernambuco	123,68	23°16'46''S	036°58'31''W	22°14'33''S	037°59'48''W
Inhaúma	108,22	25°44'59''S	041°31'26''W	26°35'20''S	040°35'28''W
Jaceguai	108,22	25°44'38''S	039°58'05''W	26°43'32''S	038°37'14''W
Julio de Norinha	108,22	25°04'07''S	036°58'03''W	23°52'42''S	036°45'56''W
Frontin	108,22	26°31'45''S	038°00'45''W	25°37'44''S	037°09'10''W

Configuração do Planejamento:

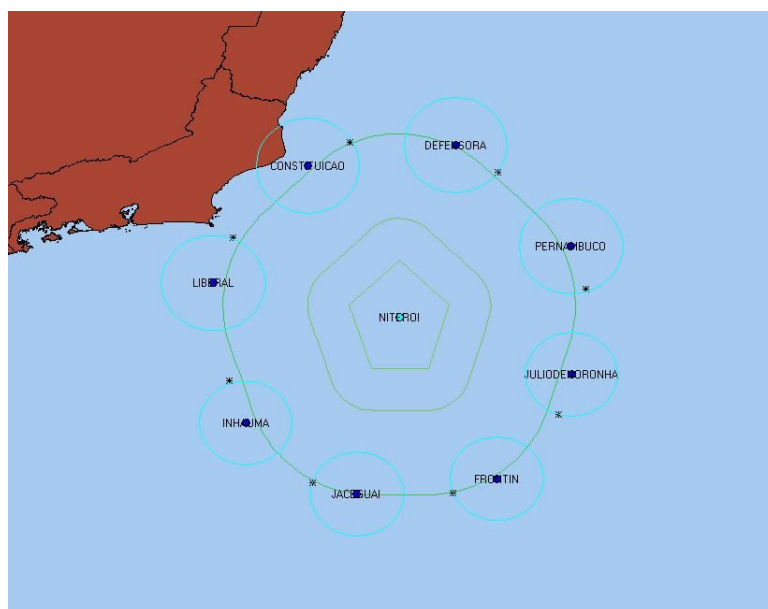


Figura 21 - Distribuição dos Navios.

Parâmetros das Simulações:

Os seguintes parâmetros foram adotados para as simulações:

Navios Patrulhadores:

Nome	Veloc. Patrulha	Alcance Sensor	Prob. De Iluminação do Alvo	Prob. de Detecção do Alvo
Fragata Defensora	12 nós	40 mn	95%	90%
Fragata Constituição	12 nós	40 mn	95%	90%
Fragata Liberal	12 nós	40 mn	95%	90%
Contra-Torpedeiro Pernambuco	12 nós	40 mn	95%	90%
Corveta Inhaúma	12 nós	35 mn	95%	90%
Corveta Jaceguai	12 nós	35 mn	95%	90%
Corveta Júlio de Noronha	12 nós	35 mn	95%	90%
Corveta Frontin	12 nós	35 mn	95%	90%

Navio Interceptador:

Nome	Veloc. Patrulha	Alcance Sensor
Fragata Niterói	12 nós	35 mn

Navios Intrusos:

Nome	Veloc.	Alcance Sensor
Inimigo	28 nós	40 mn

Métrica Considerada:

Para esse estudo foi considerada a segunda métrica descrita na seção “Medida de Efetividade da Simulação”.

Execução

Foram realizadas cinco simulações com respectivamente 5, 15, 20, 25 e 30 navios inimigos.

Resultados Obtidos:

Número da Simulação	1
Qtd. de Navios inimigos	5
Distância inicial dos navios inimigos em relação ao centro da área	200 mn
Qtd. de incursões inimigas bem sucedidas	1
Navios inimigos com sucesso e seus rumos	2 (252)
Tempo decorrido para atingir a LLI	4 h e 36 min

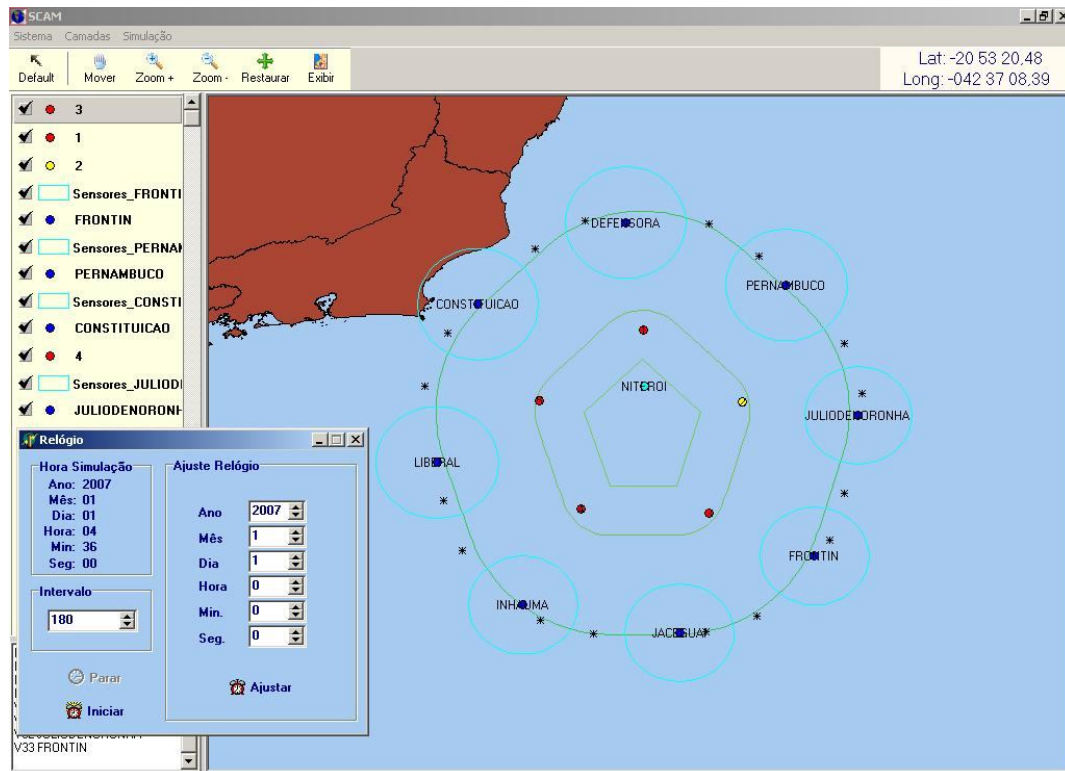


Figura 22 - Primeira simulação.

Número da Simulação	2
Qtd. de Navios inimigos	15
Distância inicial dos navios inimigos em relação ao centro da área	200 mn
Qtd. de incursões inimigas bem sucedidas	2
Navios inimigos com sucesso e seus rumos	3 (252) e 8 (72)
Tempo decorrido para atingir a LLI	4 h e 48 min

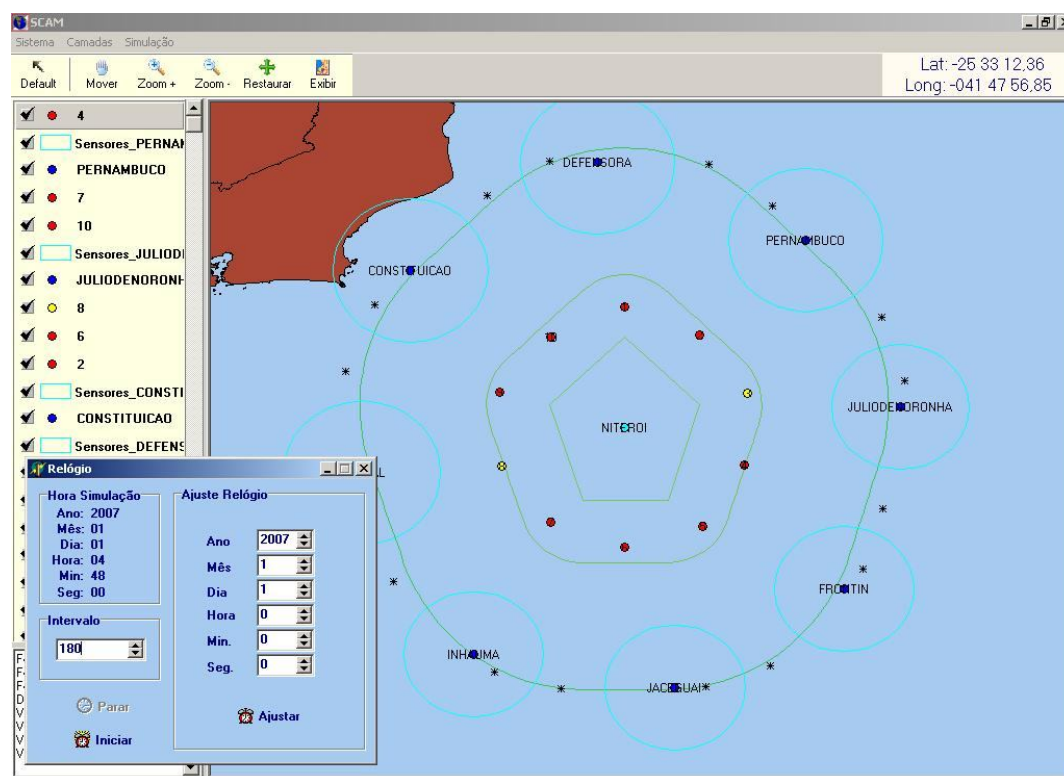


Figura 23 - Segunda simulação

Número da Simulação	3
Qtd. de Navios inimigos	20
Distância inicial dos navios inimigos em relação ao centro da área	200 mn
Qtd. de incursões inimigas bem sucedidas	4
Navios inimigos com sucesso e seus rumos	5 (252), 10 (342) , 12(18) e 20(162)
Tempo decorrido para atingir a LLI	4 h e 45 min

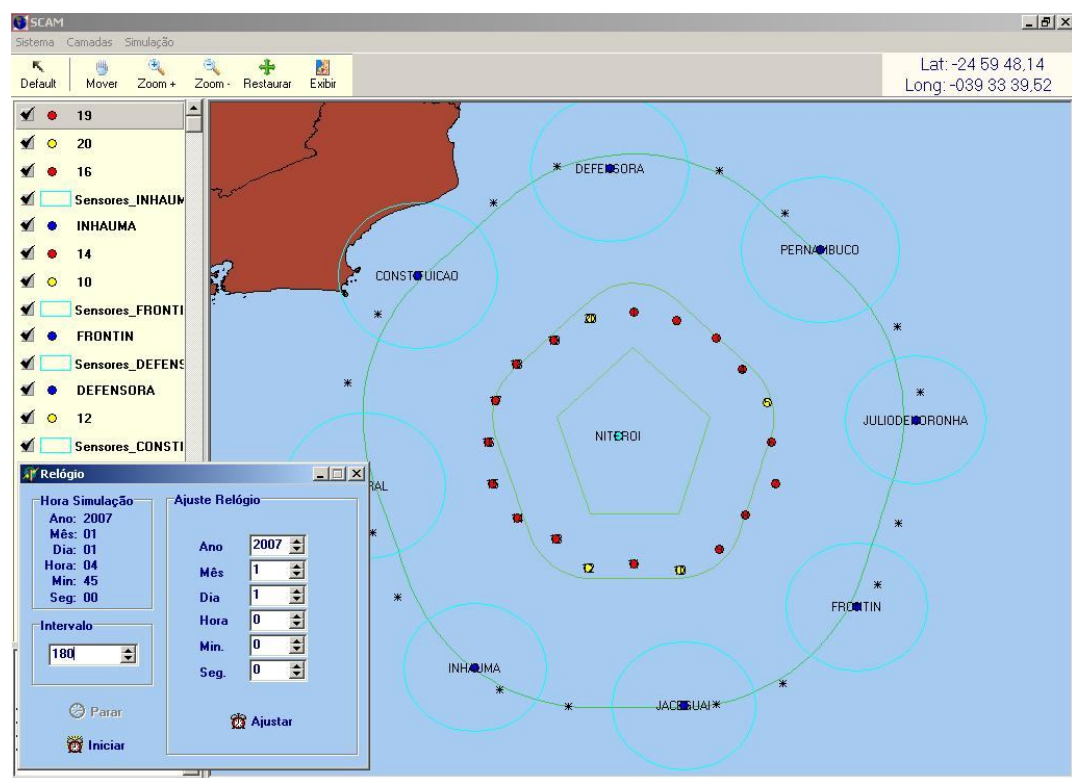


Figura 24 - Terceira simulação.

Número da Simulação	4
Qtd. de Navios inimigos	25
Distância inicial dos navios inimigos em relação ao centro da área	200 mn
Qtd. de incursões inimigas bem sucedidas	13
Navios inimigos com sucesso e seus rumos	3 (208), 4 (222), 6(250), 7(264), 9(292), 12(334), 13(348), 15(16), 18(58), 19(72), 22(114), 23(128) e 25(156)
Tempo decorrido para atingir a LLI	5 h e 9 min

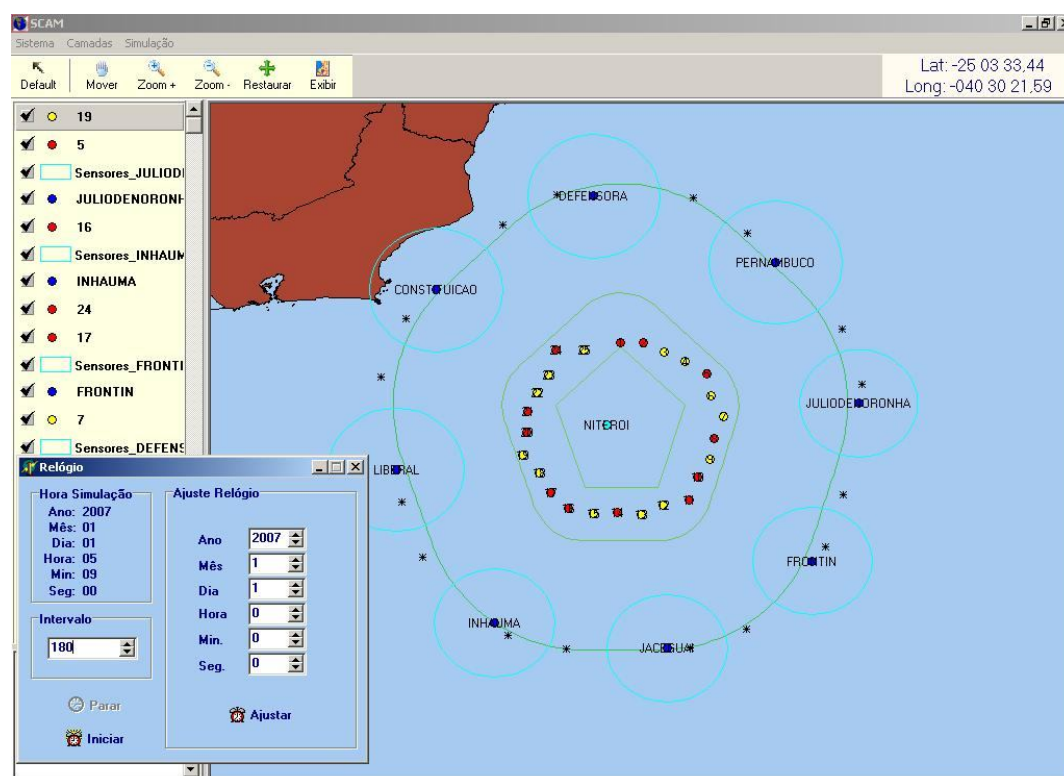


Figura 25 - Quarta simulação.

Número da Simulação	5
Qtd. de Navios inimigos	30
Distância inicial dos navios inimigos em relação ao centro da área	200 mn
Qtd. de incursões inimigas bem sucedidas	15
Navios inimigos com sucesso e seus rumos	1 (180), 3 (204), 7(252), 11(300), 12(312), 14(336), 15(348), 18(24), 19(36), 21(60), 22(72), 23(84), 25(108), 26(120), e 30(168)
Tempo decorrido para atingir a LLI	5 h e 9 min

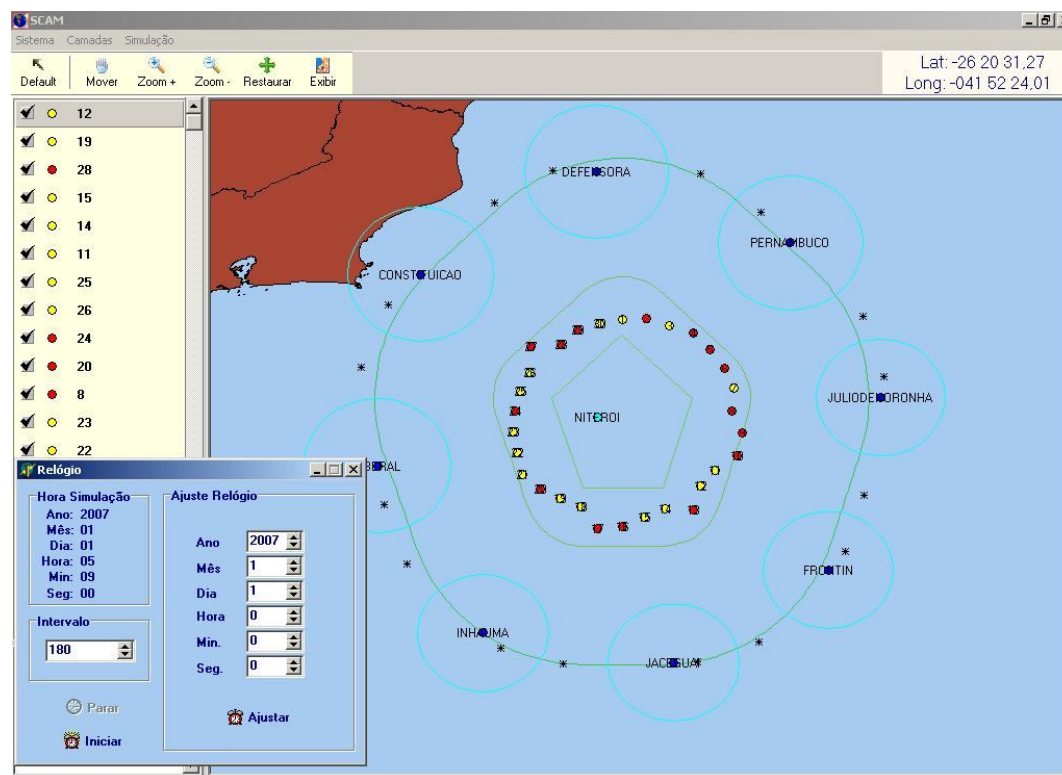


Figura 26 - Quinta simulação.

Análise:

Após, analisar os resultados das simulações realizadas, conclui-se que o planejamento não é eficaz para a solução do problema.

Numa tentativa de melhorar o planejamento, aumentou-se a velocidade dos navios patrulhadores de 12 para 22 nós. O limite máximo da velocidade não foi fixado no simulador. O usuário deve considerar as características aplicáveis a cada tipo de navio. O resultado é demonstrado abaixo.

Número da Simulação	6
Qtd. de Navios inimigos	30
Distância inicial dos navios inimigos em relação ao centro da área	200 mn
Qtd. de incursões inimigas bem sucedidas	8
Navios inimigos com sucesso e seus rumos	3 (204), 7(252), 10(288), 14(336), 17(12), 21(60), 25(108), e 29(156)
Tempo decorrido para atingir a LLI	4 h e 19 min

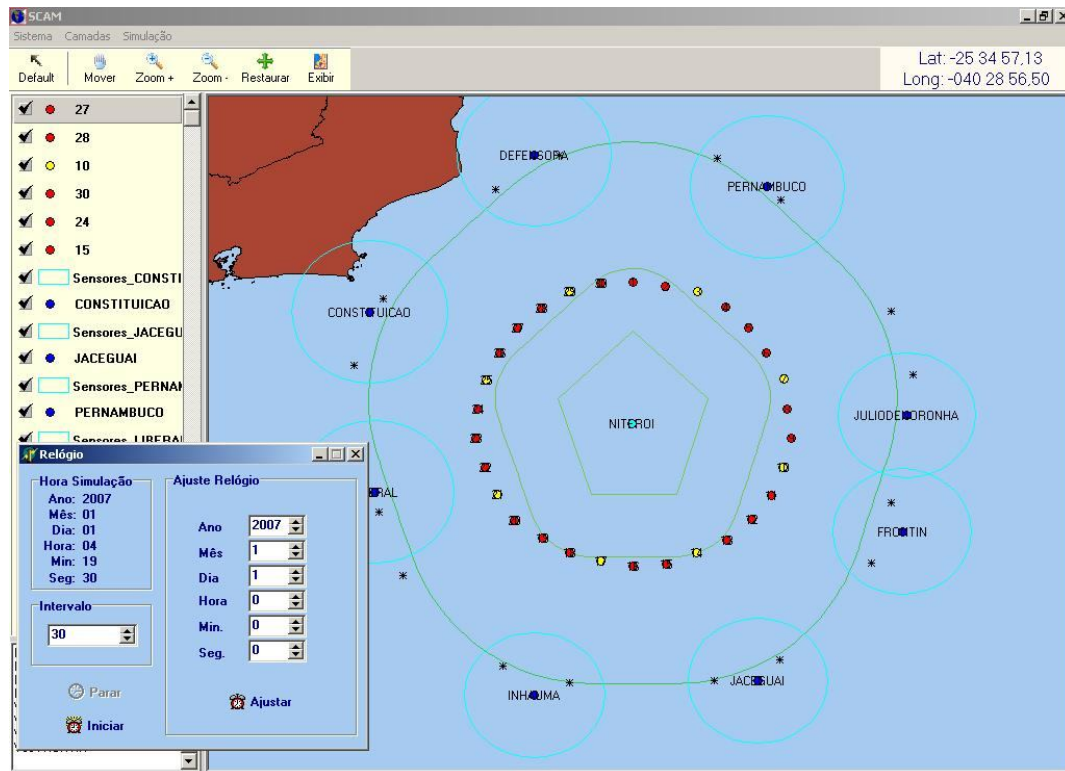


Figura 27 - Variação das velocidades dos patrulhadores.

A conclusão que se chegou foi que os recursos disponíveis não são suficientes para se ter um controle total da área. Porém, uma forma de melhorar a performance do planejamento é aumentar as velocidades dos patrulhadores de 12 para 22 nós. Contudo, deve-se considerar o problema da autonomia. Entretanto, adotando essa medida, o consumo de combustível aumentará consideravelmente. A decisão final fica por conta do oficial responsável pelo planejamento.

CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES

A modelagem baseada em agentes demonstrou ser uma abordagem interessante para simular a dinâmica em um sistema espaço-temporal.

No modelo SMA-SIG, tal como foi apresentado, integrou-se dois tipos de modelos de naturezas diferentes – multiagentes para modelar sistemas de natureza dinâmica e modelos geográficos para modelar sistemas de natureza não dinâmica.

O sistema modelado revelou um comportamento complexo quando se aumentou as interações entre os agentes. Estes mecanismos de interações não seriam fáceis de modelar utilizando outros tipos de modelos. Por exemplo, autômatos celulares. Com a abordagem usada foi possível captar a complexidade do sistema e estudar a sua dinâmica temporal e espacial. Pois, construir modelos a partir de um agente permite às pessoas assistirem o comportamento de vários agentes que, seguindo regras simples, interagem entre si e com seu ambiente.

Pode-se concluir que, a simulação com o auxílio de agentes permitiu lidar com a complexidade intrínseca a este tipo de sistemas, pela definição de regras simples para os componentes dinâmicos: os agentes. O método foi a decomposição do sistema real e do seu comportamento global em componentes com comportamento mais simples de identificar.

O simulador demonstrou ser eficaz na validação de um planejamento de Controle de Área Marítima. Além disso, ele poderá ser utilizado para identificar limitações quanto aos meios que a Marinha dispõe para cumprir determinadas missões, podendo assim ser utilizado como ferramenta para justificar um maior investimento nessa área.

7.1 Desenvolvimentos Futuros

Neste trabalho, foi abordada a integração entre dados espaciais e agentes de *Software*. Porém, no ambiente de atuação dos agentes (um mapa no formato “*shape file*”), somente foram consideradas duas dimensões. Como uma forma de estender o uso do simulador em operações que envolvam submarinos e aeronaves pode-se pensar em acrescentar uma terceira dimensão ao modelo.

REFERÊNCIAS

- [1] MINAR, N.; et al. **The Swarm Simulation System: A Toolkit for Building Multi-Agent Simulations**, Working paper 96-06-042, Santa Fe Institute, Santa Fe, NM, USA, 1996. Disponível em <<http://www.santafe.edu/projects/swarm/overview.ps>>.
- [2] <<http://www.swarm.org>>, acessado em: 5 ago. 2005.
- [3] STARLOGO ON THE WEB. Disponível em <<http://education.mit.edu/starlogo/>>, acessado em: 3 ago. 2005.
- [4] V. Colella. Et al. **Adventures in Modeling: Exploring Complex Dynamic Systems with StarLogo**. Teachers College Press, 2001, Nova York.
- [5] BURROUGH, A; McDONNELL, R. A. **Principles of Geographical Information Systems**. Oxford University Press, 1998.
- [6] MAGUIRE, M.; GOODCHILD, F.; RHIND, D. W. **Geographical Information Systems: Principles and Applications**, vol. 2: Applications. Longman Scientific & Technical, 1991.
- [7] KOOPMAN, B. O. **Search and Screening – General Principles with Historical Applications**. Ed. Pergamon Press, 2 ed., 1980.
- [8] LANDIS, J. D.; ZHANG, M. **Using gis to improve urban activity and forecasting models: three Examples**. In **Spatial Models and GIS – New Potential and New Models.**: Ed. A. S. Fotheringham, and M. Wegener, GISDATA Series, Taylor & Francis, 2000, p. 63-81.
- [9] WILSON, J. P.; LORANG, M. S. **Spatial models of soil erosion and gis**. In **Spatial Models and GIS – New Potential and New Models**. Ed. A. S. Fotheringham, and M. Wegener, série GISDATA , Taylor & Francis, 2000, p. 83-108
- [10] CROMLEY, Ellen K. ; McLAFFERTY, Sara L. **GIS and Public Health**. Ed. The Guilford Press, Nova York, 2002.
- [11] GOLD, Mary V. **Geographic Information Systems (GIS) and Agriculture: Environmental Applications**. Alternative Farming Systems Information Center, National Agricultural Library, Agricultural Research Service, USDA, 1999.
- [12] GODIN, Lisa **Gis in Telecommunications Management**. Ed. Esri Press, 2001
- [13] LANG, Laura **Transportation GIS**. Environmental Systems Research Instituto. Redlands, California, 1999.
- [14] HOLM, E.; LINDGREN, U.; MALMBERG, G. **Dynamic microsimulation; In Spatial Models and GIS – New Potential and New Models**. Ed. A. S. Fotheringham, and M. Wegener, série GISDATA , Taylor & Francis, 2000, p.143-165.

- [15] EGENHOFER, Max J.; GOLLEDGE, Reginald G. **Spatial and Temporal Reasoning in Geographic Information Systems**. Ed. Oxford University Press, Nova York/Oxford, 1998.
- [16] WOOLLDRIIDGE, M. J., JENNINGS, R. N.; **Agents theories, Architectures and Languages: A SURVEY**. Ed. Springer, 1995
- [17] NAVAL OPERATIONS ANALYSIS, Ed. 2, Ed. Naval Institute Press, Anapolis, Maryland.
- [18] ASSUMPÇÃO, Fernando José da Silva, **O Problema da Patrulha Linear: Uma Solução por Simulação**, dissertação de mestrado COPPE/UFRJ – 2002 .
- [19] GIMBLETT, H. R. **Integrating Geographic Information Systems and Agent-based Modeling Techniques for Simulating Social and Ecological Processes**. Ed. Randy Gimblett, Oxford University Press, 2002.
- [20] ZHANG, X.; LOPES, V.; BALL, G. **Integrating Hydrology Models and GIS: A Preliminary System Design**. SRNR Report 94-1, School Renewable Natural Resources, Universidade do Arizona, 1994.
- [21] STONE, N. D. **An Object-Oriented Approach to Modeling Arthropod Predator-Prey Interactions**. Proceedings of Resource Technology '90, Nov.1990.
- [22] CLARKE, K. C.; BRASS, J. A.; RIGGAN, P. J. **A Cellular Automaton Model of Wildfire Propagation and Extinction**. Photogram. Eng. & Remote Sensing. 1994, p.1355-1367.
- [23] VASCONCELOS, M. J.; ZEIGLER, B. P. **Simulation of Forest Landscape Response to Fire Disturbances**. Ecol. Model, 1993, p.177-198.
- [24] SABRA, Z.; and STOCKFISCH, C. **Advanced Traffic Models:State of the Art**, ITE Journal, Sep. 1995.
- [25] SILVA, C. A.; SEIXAS, R. B.; FARIAS, O. L. M. **Geographical Information Systems and Dynamic Modeling via Agent Based Systems**. Paper submetido no ACM-GIS'05, 13th ACM International Symposium on Advances in Geographical Information Systems, Nov. 2005, Bremen, Alemanha.
- [26] JIANG; BIN; GIMBLETT, H. R. **An Agent-Based Approach to Environmental and Urban Systems within Geographic Information Systems**. Integrating Geographic Information Systems and Agent-based Modeling Techniques for Simulating Social and Ecological Processes, Ed. H. Randy Gimblett, Oxford University Press, 2002, 1-15.

- [27] SCHELHORN, T.; O’SULLIVAN, D. **An agent-based pedestrian model**, In **Computers in Urban Planning and Urban Management**, Sep. 1999.
- [28] THERAKOMEN, P. **The Experiment for Exploring Dynamic Behaviors in Urban Places**. Tese de doutorado, Universidade de Washington, Washington, USA, 2001.
- [29] FAHY, R. F. **An Evacuation Model for High-Rise Buildings – Model Description and Example Applications**. Proceedings do The Fourth International Symposium on Fire Safety Science, Jun 1994, Ottawa, Ontario, Canadá.
- [30] BATTY, Michael. **Visualizing Urban Dynamics**, in: **Spatial Analysis: Modelling in a GIS Environment**. Ed. John Wiley & Sons, Inc. 1996.
- [31] WADDELL, Paul ; ULFARSSON, Gudmundur F. **Introduction to Urban Simulation: Design and Development of Operational Models**. Forthcoming in Handbook in Transport, Volume 5: Transport Geography and Spatial Systems, Stopher, Button, Kingsley, Hensher eds. Pergamon Press.
- [32] ZEIGLER, B. P. **Theory of Modeling and Simulation**. Nova York, John Wiley, 1976.
- [33] CARNEIRO, T. G. S. **“Uma Arquitetura para Modelagem Ambiental Empírica e Baseada nas Teorias dos Autômatos Celulares, Híbridos e Situados”**. Proposta de tese. Programa de Pós-graduação em Computação Aplicada. INPE/MCT. 55 pp, 2004. In http://www.dpi.inpe.br/gilberto/teses/proposta_tiago
- [34] COUCLELIS, H. **Model Frameworks, paradigms, and approaches**. In Geographic information systems and environmental modeling, eds. K.C. Clarke, B.E. Parks and M.P. Crane. Nova York. Ed.: Prentice Hall, 2001, 34-48.
- [35] VELDKAMP, A., FRESCO, L. O. **“CLUE: a conceptual model to study the Conversion of Land Use and its Effects.”** Ecological Modelling 85, p. 253-270.
- [36] VERBURG, P. H.; SOEPBOER, W.; VELDKAMP, A.; LIMPIADA, R.; ESPALDON, V.; MASTURA, S. S. A. **“Modeling the Spatial Dynamics of Regional Land Use: The CLUE-S Model”**. In Environmental Management, Vol. 30, No. 3, 2002, p. 391-405.
- [37] SOARES FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C., et al. **“DINAMICA: A New Model to Simulate and Study Landscape Dynamics.”** Ecological Modelling, 2002.
- [38] LIM, K.; DEADMAN, P. J.; MORAN, E.; BRONDÍZIO, E.; MCCracken, S. **“Agent-Based Simulations of Household Decision Making and Land Use Change**

- near Altamira, Brazil**". In Integrating Geographic Information Systems and Agent-Based Modeling: Techniques for Simulating Social and Ecological Processes, ed. R. Gimblett, p. 277–310. Nova York: ed. Oxford University Press, 2002.
- [39] ITAMI, R. M. **Simulating Spatial Dynamics: Cellular Automata Theory**. In Landscape and urban Planning Journal, vol. 30, 1994, 22-47
- [40] CLARKE, K. C.; BRASS, J. A.; RIGGAN, P. J. **A Cellular Automaton Model of Wildfire Propagation and Extinction**. In Photogram. Eng. & Remote Sensing. 60 (11), 1994, 1355-1367.
- [41] SALIBY, Eduardo. **Repensando a Simulação: A Amostragem Descritiva** São Paulo – 1989 , Ed. Atlas.
- [42] ANDRADE, Eduardo Leopoldino de, **Introdução à pesquisa Operacional: Métodos e Modelos para Análise de Decisões**, 3. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.
- [43] RUSSEL, S. ; NORVIG, P. **Inteligência Artificial; Agentes Inteligentes**, Ed 2..
- [44] WOOLDRIDGE, M. J.; JENNINGS, N. R. **Agents Theories, Architectures, and Languages: A Survey**. In Proceedings of ECAI'94 Workshop on Agent Theories, Architectures and Languages, 1995, 1-22.
- [45] ERBER, J.; GASSER, L. **Intelligence artificielle distribuée**. In: International Workshop On Expert Systems & Their Applications, 10., 1991, Avignon. Cours n. 9. France: [s.n], 1991.
- [46] WOOLDRIDGE, Michael. **An introduction to MultiAgent Systems** 2002 – ed. Wiley
- [47] JOMI Fred Hubner; Sichman, JAIME Simão **Organizacao de Sistemas Multiagentes**
- [48] Wikipedia < http://wikipedia.org/wiki/sistema_multiagente> acessado em 10 ago. 2007
- [49] BIGUS, Joseph P. **Constructing Intelligent Agents with Java**
- [50] CORKIL, Daniel D. **Blackboard System** . Blackboard Technology Group, Inc.
- [51] Ecological Software Solutions <<http://www.ecostats.com/index.htm>.>
- [52] LUCENA, Percival, **SemanticAgent, uma plataforma para Desenvolvimento de Agentes Inteligentes**. dissertação no ICMC-USP – São Carlos Maio/2003.
- [53] MENEZES, C. S., Pontarolo, E., Azevedo, L. L., Magdalena B. C. **Exploração do ambiente orientado a agente Netlogo**.

- [54] PRADO, Darci, **Teoria das Filas e da Simulação. Série Pesquisa Operacional** . vol. 2 ed. INDG.
- [55] RIBEIRO, Paula Clark, **Modelagem e Implementação OO de Sistemas Multi-Agentes**, dissertação de mestrado PUC – Rio de Janeiro/2001 .

Anexo 1 – CD-ROM