

ROGER ISRAEL VALENCIA REYES

**MODELAGEM DE SISTEMA C³I
PARA NAVIOS DE GUERRA ATRAVÉS
DE REDES DE PETRI**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para a obtenção do título de
Mestre em Engenharia

São Paulo

2004

CONSULTA
FD-3824

ON

ROGER ISRAEL VALENCIA REYES

**MODELAGEM DE SISTEMA C³I
PARA NAVIOS DE GUERRA ATRAVÉS
DE REDES DE PETRI**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para a obtenção do título de
Mestre em Engenharia

Programa: Engenharia Mecânica

Área de concentração: Engenharia de
Controle e Automação Mecânica

Orientador: Prof. Dr. Paulo Eigi
Miyagi

São Paulo

2004

A minha esposa Lorena e a meus
filhos Ricardo e Micaela pelo seu
amor, carinho, apoio, ajuda,
compreensão e sacrifício em tudo
momento.

AGRADECIMENTOS

Expresso minha gratidão que não conhece limites:

A Deus e a Nossa Senhora.

A meu orientador Prof. Dr. Paulo E.Miyagi, pelas diretrizes seguras, orientação, supervisão, confiança, paciência e oportunidade que me concedeu para o desenvolvimento desta pesquisa e por todo o apoio prestado durante estes anos.

Ao meu pai, minha mãe e meus sogros pela constante orientação e conselhos.

Aos Profs. Drs. José Reinaldo Silva, Diolino José Dos Santos Filho e Reginaldo Arakaki pelas suas colaborações, sugestões e discussões levantadas ao longo do período de pesquisa as quais foram fundamentais na elaboração e consolidação da dissertação.

A meu amigo Pedro Angel pela sua amizade, seu apoio incondicional e seus conhecimentos de grande valor

A Gladys Bastidas pela sua grande amizade e orientação constante.

A meus amigos da sala MC-01, que com sua ajuda e sugestões tornaram possível este trabalho, muito em especial a Fabrício Junqueira pela sua paciência, dedicação e sugestões.

A Marinha de Guerra del Peru e aos Serviços Industriais da Marinha pela oportunidade.

A todos meus amigos

A todos que direta o indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho

Ref. Dissertação “Modelagem de sistema C3I para navios de guerra através de Redes de Petri”

Nome do candidato: Roger Israel Valencia Reyes

Título da dissertação: Modelagem de sistema C3I para navios de guerra através de Redes de Petri

Nome do Orientador: Prof. Dr. Paulo Eigi Miyagi

Curso: Mestrado - Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica/Mecatrônica

Data da defesa: 12 de Novembro 2004

ERRATA

Pagina 27:

Linha 21, onde se lê “Figura 3.1” leia-se “Figura 3.3”.

Pagina 79

Figura 6.2, onde se lê “Tomar desições” leia-se “Tomar decisões”.

Pagina 91

Figura 6.9, onde se lê “Acões” leia-se “Ações”.

Figura 6.9, onde se lê “Acões de emêrgencia” leia-se “Ações de emergência”.

SUMÁRIO

Lista de Figuras	
Lista de Tabelas	
Lista de Abreviaturas	
Resumo	
Abstract	

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO	1
1.1 Justificativa e motivações	1
1.2 Objetivo	6
1.3 Organização do texto	7

CAPÍTULO 2

CONCEITOS PRINCIPAIS ASSOCIADOS AOS NAVIOS DE GUERRA	9
2.1 A importância do mar	9
2.2 O conceito estratégico	9
2.3 Tarefas do poder naval	10
2.4 As forças navais	12
2.5 A força de superfície	12
2.6 Navios de guerra	13
2.7 Área de operações	16
2.8 Comentários sobre este capítulo	17

CAPÍTULO 3

SISTEMAS C³I	18
3.1 Definições gerais	18
3.2 Comando	19
3.3 Controle	20
3.4 Comando e controle	20

3.5	Teoria de comando e controle	22
3.6	Sistema de comando e controle	26
3.7	Sistemas de comando e controle para navios de guerra	26
3.8	Sistema de comando e controle e sistema a eventos discretos	29
3.8.1	Objeto de controle	31
3.8.2	Dispositivos utilizados em um navio de guerra	33
3.9	Sistemas C ³ I para navios de guerra	34
3.10	Comentários sobre este capítulo	37

CAPÍTULO 4

METODOLOGIA IDEF0 E REDES DE PETRI	39
4.1 Metodologia IDEF0	39
4.2 Redes de Petri	42
4.2.1 Modelagem de Sistemas a Eventos Discretos (SED)	42
4.2.2 Fundamentos das Redes de Petri	43
4.2.3 Elementos das Redes de Petri	44
4.3 IDEF0 e Redes de Petri	48
4.4 Production Flow Schema (PFS)	49
4.5 Mark Flow Graph (MFG)	51
4.6 Mark Flow Graph Estendido (E-MFG)	53
4.6.1 Elementos estruturais do E-MFG	53
4.6.2 Dinâmica de disparo	57
4.7 Metodologia PFS/MFG	58
4.8 Utilização do IDEF0 na geração de modelos PFS e MFG	61
4.9 Comentários sobre este capítulo	62

CAPÍTULO 5

METODOLOGIA PARA A MODELAGEM E ANÁLISE DE SISTEMAS C³I	63
5.1 Redes de Petri e requisitos dos sistemas	63
5.1.1 Projeto de sistemas e Redes de Petri	63
5.1.2 Análise de requisitos	64

5.2	Desenvolvimento de modelos	66
5.3	Comentários sobre este capítulo	75

CAPÍTULO 6

EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA	77	
6.1	Etapa 1: definição do problema	77
6.2	Etapa 2: análise do sistema e definição dos requisitos	81
6.2.1	Requisitos necessários	81
6.2.2	Dispositivos necessários	82
6.2.3	Diagrama de blocos dos elementos físicos do sistema C ³ I	82
6.3	Etapa 3: identificação dos processos	89
6.3.1	Diagramas IDEF0	89
6.4	Etapa 4: modelagem conceitual e funcional do sistema	119
6.4.1	Função de inteligência	120
6.4.2	Função de comunicações	134
6.4.3	Função de controle	138
6.4.4	Função de comando	149
6.5	Etapa 5: análise, validação e verificação do modelo do sistema	152
6.6	Comentários sobre este capítulo	153

CAPÍTULO 7

COMENTÁRIOS FINAIS E CONCLUSÕES	155
--	------------

LISTA DE REFERÊNCIAS	157
-----------------------------------	------------

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Informações à processar na área de operações de um navio de guerra	3
Figura 3.1	Processo de comando e controle	23
Figura 3.2	Modelo SHOR de Wohl	25
Figura 3.3	Modelo do processo de comando e controle da atividade militar naval	28
Figura 3.4	Diagrama conceitual básico dos sistemas de controle SED	29
Figura 3.5	Diagrama conceitual básico da estrutura do sistema de controle SED	30
Figura 3.6	Processo de comando e controle naval e SED	31
Figura 3.7(a)	Modelo de objeto de controle no controle de SED	32
Figura 3.7(b)	Modelo do comportamento do objeto de controle do controle SED	32
Figura 3.8	Subsistemas do Sistema C ³ I	36
Figura 3.9	Processo de comando e controle no Sistema C ³ I	37
Figura 4.1	Bloco funcional do diagrama IDEF0	39
Figura 4.2	Decomposição hierárquica dos diagramas IDEF0	40
Figura 4.3(a)	Rede de Petri com seus elementos básicos	46
Figura 4.3(b)	Míssil designado e sistema de míssil operando	46
Figura 4.3(c)	Míssil em espera de dados	46
Figura 4.3(d)	Processando dados do alvo	47
Figura 4.3(e)	Míssil pronto	47
Figura 4.3(f)	Míssil disparado	47
Figura 4.4	Elementos do PFS	50
Figura 4.5	Elementos do MFG	51
Figura 4.6	Exemplo da estrutura de uma marca composta	54
Figura 4.7	Regra de controle associada a uma transição	55
Figura 4.8	Regra de filtragem seletiva associada aos arcos	56
Figura 4.9	Gate com inscrições fixas	56
Figura 4.10	Exemplo de Box controlador	58

Figura 4.11	Estrutura hierárquica do PFS/MFG	60
Figura 4.12	Conversão do IDEF0 ao PFS	61
Figura 5.1	Utilização das Redes de Petri para a modelagem, análise e controle de sistemas	64
Figura 5.2	Entradas e saídas do processo de engenharia de requisitos	66
Figura 5.3	Metodologia para a modelagem de sistemas C ³ I para navios de guerra	68
Figura 5.4	Etapa 1: Definição do problema	69
Figura 5.5	Etapa 2: Análise do sistema e definição de requisitos	70
Figura 5.6	Etapa 3: Identificação dos processos	71
Figura 5.7	Etapa 4: Modelagem conceitual e funcional do sistema	73
Figura 5.8	Etapa 5: Análise, validação e verificação do modelo do sistema	75
Figura 6.1	Domínio do problema no IDEF0	78
Figura 6.2	Refinamento do domínio do problema	79
Figura 6.3	Diagrama de dispositivos do sistema de controle SED para o sistema C ³ I	83
Figura 6.4	Diagrama de blocos dos elementos físicos do sistema C ³ I	84
Figura 6.5	Diagrama de blocos dos sensores do sistema C ³ I e as informações que fornecem	85
Figura 6.6	Diagrama de blocos dos sensores do estado no navio do sistema C ³ I e as informações que fornecem	86
Figura 6.7	Diagrama de blocos dos atuadores internos do sistema C ³ I e as informações que fornecem	87
Figura 6.8	Diagrama de blocos dos atuadores externos do sistema C ³ I e as informações que fornecem	88
Figura 6.9	Diagrama A-0, Sistema C ³ I	91
Figura 6.10	Diagrama A0, subsistemas do Sistema C ³ I	93
Figura 6.11	Diagrama A1, subsistema Inteligência	97
Figura 6.12	Diagrama A2, subsistema Comunicações	100
Figura 6.13	Diagrama A3, subsistema Controle	102
Figura 6.14	Diagrama A3, subsistema Comando	104

Figura 6.15	Diagrama A11, função Captar	107
Figura 6.16	Diagrama A111, função Monitoração externa	109
Figura 6.17	Diagrama A112, função Monitoração interna	112
Figura 6.18	Diagrama A12, função Analisar	114
Figura 6.19	Diagrama A31, função Interatuar	116
Figura 6.20	Diagrama correspondente aos dois primeiros níveis das funções do Sistema C ³ I	119
Figura 6.21	Modelo PFS do Sistema C ³ I	120
Figura 6.22	Diagrama correspondente à função de inteligência e sua decomposição	120
Figura 6.23	Diagrama correspondente à função captar e sua decomposição	121
Figura 6.24	Diagrama correspondente à função analisar e sua decomposição	122
Figura 6.25	Modelo PFS da função de inteligência	122
Figura 6.26	Modelo PFS da função de captar	123
Figura 6.27	Modelo PFS da função de monitoração externa	123
Figura 6.28	Modelo PFS da função de monitoração aérea	124
Figura 6.29	Modelo MFG da função de transmissão (TX)	124
Figura 6.30	Modelo MFG da função Duplexer	125
Figura 6.31	Modelo MFG da função de recepção (RX)	125
Figura 6.32	Modelo PFS da função de monitoração submarina	126
Figura 6.33	Modelo MFG da função de sonar passivo	126
Figura 6.34	Modelo MFG da função de sonar ativo	127
Figura 6.35	Modelo MFG da função de monitoração de emissões eletromagnéticas	128
Figura 6.36	Modelo PFS da função de monitoração interna	129
Figura 6.37	Modelo MFG da função de calcular direção	129
Figura 6.38	Modelo MFG da função de calcular velocidade do vento	130
Figura 6.39	Modelo MFG da função de calcular velocidade do navio	130
Figura 6.40	Modelo PFS da função de analisar	131
Figura 6.41	Modelo MFG da função de rastreamento de contatos	131

Figura 6.42	Modelo MFG da função de análise de onda eletromagnética	132
Figura 6.43	Modelo MFG da função de classificar	133
Figura 6.44	Modelo MFG da função de disseminar	134
Figura 6.45	Diagrama correspondente à função comunicações e sua decomposição	135
Figura 6.46	Modelo PFS da função de comunicações	135
Figura 6.47	Modelo MFG da função de classificar sinal	136
Figura 6.48	Modelo MFG da função de verificar disponibilidade	137
Figura 6.49	Modelo MFG da função de enviar sinal	137
Figura 6.50	Diagrama correspondente à função de controle e sua decomposição	138
Figura 6.51	Diagrama correspondente à função de interatuar e sua decomposição	138
Figura 6.52	Modelo PFS da função de controle	139
Figura 6.53	Modelo MFG da função de acionar emergência	140
Figura 6.54	Modelo MFG da função de analisar ambiente	141
Figura 6.55	Modelo PFS da função de interatuar	141
Figura 6.56	Modelo MFG da função de seguir contato	142
Figura 6.57	Modelo MFG da função de nomear contato	143
Figura 6.58	Modelo MFG da função de designar arma	143
Figura 6.59	Modelo PFS da função de disparar	144
Figura 6.60	Modelo PFS da função de míssil	144
Figura 6.61	Modelo MFG da função de míssil antiaéreo	145
Figura 6.62	Modelo PFS da função de artilharia	145
Figura 6.63	Modelo MFG da função de artilharia antiaérea	146
Figura 6.64	Modelo MFG da função de torpedos	146
Figura 6.65	Modelo MFG da função de guerra eletrônica ativa	147
Figura 6.66	Modelo PFS da função de manobrar	147
Figura 6.67	Modelo MFG da função de velocidade	148
Figura 6.68	Modelo MFG da função de rumo	148
Figura 6.69	Diagrama correspondente à função de comando e sua decomposição	149

Figura 6.70	Modelo PFS da função de comando	149
Figura 6.71	Modelo MFG da função de avaliar ambiente	150
Figura 6.72	Modelo MFG da função de analisar	150
Figura 6.73	Modelo MFG da função de comparar	151
Figura 6.74	Modelo MFG da função de tomada de decisões	152

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Classificação dos dispositivos e exemplo em sistemas de comando e controle	30
Tabela 4.1	Comparação do IDEF0 e Redes de Petri de acordo com o critério de uso	48
Tabela 4.2	Comparação dos elementos do IDEF0 e Redes de Petri	49
Tabela 4.3	Características dos tipos de Box no MFG	52
Tabela 5.1	Resumo da metodologia proposta	76
Tabela 6.1	Processo Controlar uma área de operações	78
Tabela 6.2	Processo Detecção de sinais	79
Tabela 6.3	Processo Processamento de sinais	80
Tabela 6.4	Processo Comparação de estados	80
Tabela 6.5	Processo Tomar decisões	80
Tabela 6.6	Processo Ação	81
Tabela 6.7	Processo C ³ I	92
Tabela 6.8	Processo de Inteligência	94
Tabela 6.9	Processo de Comunicações	94
Tabela 6.10	Processo de Controle	95
Tabela 6.11	Processo de Comando	96
Tabela 6.12	Processo Captar	98
Tabela 6.13	Processo Analisar	98
Tabela 6.14	Processo Classificar	99
Tabela 6.15	Processo Disseminar	99
Tabela 6.16	Processo Classificar sinal	101
Tabela 6.17	Processo Verificar disponibilidade	101
Tabela 6.18	Processo Enviar sinal	101
Tabela 6.19	Processo Acionar emergência	103
Tabela 6.20	Processo Analisar ambiente	103
Tabela 6.21	Processo Interatuar	103
Tabela 6.22	Processo Avaliar ambiente	105
Tabela 6.23	Processo Analisar	105

Tabela 6.24	Processo Comparar	106
Tabela 6.25	Processo Tomada de decisões	106
Tabela 6.26	Processo Monitoração externa	108
Tabela 6.27	Processo Monitoração interna	108
Tabela 6.28	Processo Monitoração antiaérea	110
Tabela 6.29	Processo Monitoração antissuperfície	110
Tabela 6.30	Processo Monitoração de navegação	110
Tabela 6.31	Processo Monitoração antissubmarina	111
Tabela 6.32	Processo Monitoração de emissões eletromagnéticas	111
Tabela 6.33	Processo Calcular direção	113
Tabela 6.34	Processo Calcular dados do vento	113
Tabela 6.35	Processo Calcular velocidade do navio	113
Tabela 6.36	Processo Rastreamento de contatos	115
Tabela 6.37	Processo Análise de onda eletromagnética	115
Tabela 6.38	Processo Rastreamento de contato	117
Tabela 6.39	Processo Nomear contato	117
Tabela 6.40	Processo Designar arma	117
Tabela 6.41	Processo Terminar rastreamento	118
Tabela 6.42	Processo Disparar	118
Tabela 6.43	Processo Manobrar	118

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

C ²	Comando e Controle
C ³	Comando, Controle e Comunicações
C ³ I	Comando, Controle, Comunicações e Inteligência
C ³ I ²	Comando, Controle, Comunicações, Inteligência e Interoperabilidade
C ⁴	Comando, Controle, Comunicações e Computadores
DoD	Department of Defense
E-MFG	Mark Flow Graph Estendido
F-MFG	Mark Flow Graph Funcional
GE	Guerra Eletrônica
GRAFCET	Gráfico Funcional de Comandos Etapa-Transição
HF	High Frequency
IDEF0	Integration Definition for Function Modeling
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
MFG	Mark Flow Graph
PFS	Production Flow Schema
RCT	Radar de Controle de Tiro
REN	Regras de Enfrentamento
RX	Recepção
SED	Sistemas a Eventos Discretos
SFC	Sequential Flow Chart
SHOR	Stimulus Hypothesis Option Response
TWT	Traveling Wave Tube
TX	Transmissão
UHF	Ultra High Frequency
VHF	Very High Frequency

RESUMO

Sistemas C³I (Comando, Controle, Comunicação e Inteligência) são fundamentais para o auxílio na tomada de decisões, especialmente na área militar, onde existe necessidade de um processamento contínuo de grande quantidade de diferentes tipos de informações. Isto é evidente nos navios de guerra, onde o comandante tem acesso a uma grande quantidade de dados e necessita fazer uma seleção e processamento das informações, de maneira a tomar decisões e reagir frente às situações que se apresentam. Da teoria de sistemas, os sistemas C³I podem ser considerados como Sistemas a Eventos Discretos (SED). Assim, com base nos resultados positivos, principalmente na área de sistemas de manufatura, este trabalho introduz uma metodologia de modelagem de Sistemas C³I como SED e com base em técnicas como o IDEF0 e as Redes de Petri.

Palavras chave: Sistemas C³I, Sistemas à Eventos Discretos, Redes de Petri, Modelagem

ABSTRACT

C³I (Command, Control, Communication and Intelligence) systems are fundamental support in decision making, especially in the military area where there is a need to continuously process great quantity of different types of information. This is evident in warships where the ship commandant accesses a large amount of data and needs to select and process information in order to make decisions and to react properly in accordance with each situation. From the systems theory approach, C³I systems can be considered as Discrete Event Systems (DES). Therefore, based on the positive results, mainly in the area of manufacturing systems, this work introduces a methodology for modeling C³I systems through DES approach, i.e., using techniques such as IDEF0 and Petri Nets.

Keywords: C³I Systems, Discrete Event Systems, Petri Nets, Modeling

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÕES

Em geral, os sistemas de comando e controle são caracterizados pela multiplicidade e transitoriedade das informações que os alimentam. O seu universo de aplicação é muito amplo numa moderna organização civil ou militar, onde se tem o emprego extensivo e intensivo de novos recursos tecnológicos e que sofre a influência de novos paradigmas políticos, sociais e econômicos (Van der Voort, 2000). As organizações civis ou militares modernas são por outro lado, geridas por princípios políticos, econômicos e estratégicos que, de uma forma direta ou indireta devem assegurar o progresso e a estabilidade dessas entidades (Viegas, 1996).

A crescente complexidade dos modernos recursos tecnológicos, as suas novas funcionalidades, a variedade e capacidade de novos sistemas de informação, a grande quantidade de dados que estes utilizam e disponibilizam, a necessidade de tomar decisões de modo mais eficiente e efetivo, e que estas decisões possam ser executadas de forma rápida e adequada, fazem com que os sistemas de comando e controle sejam uma entidade essencial a ser dominada pelas organizações militares ou civis num ambiente altamente competitivo (Alves, 1991 *apud* Viegas, 1996).

Os modernos sistemas de comando e controle permitem uma redução substancial do trabalho de coleta e organização de dados, facilitando a tomada de decisões, tornando mais eficazes os procedimentos de controle e assegurando um emprego mais eficiente dos recursos.

É neste contexto que se inserem os sistemas C³I (Comando, Controle, Comunicações e Inteligência), essenciais para qualquer organização de grande porte. Os sistemas C³I têm origem nas organizações militares (Metzger et. al, 1996) e são as principais ferramentas que o encarregado de um sistema dentro de uma

organização tem para acessar e utilizar as informações num ambiente competitivo (Coakley, 1991).

Um sistema C³I envolve um conjunto de recursos humanos e materiais que, juntamente com procedimentos adequados, permitem comandar, controlar, comunicar, conhecer e identificar os concorrentes e parceiros organizacionais (Redi, 1999). Como se pode observar, em uma primeira análise, o conjunto de elementos que constituem um sistema C³I é nitidamente vasto e variado.

O acentuado progresso da tecnologia, verificado nos dias de hoje, em especial o desenvolvimento de sistemas de comunicação de dados (cada vez mais portáteis e de elevada capacidade), de dispositivos e sistemas mecatrônicos (isto é, dispositivos de comando, monitoração, detecção, atuação e de controle programável cada vez mais poderosos e precisos), e de estratégias de aplicação (que envolvem freqüentes mudanças de situação e uma variedade maior das tarefas envolvidas), obriga as organizações a realizarem esforços contínuos na tentativa de otimizar seus processos de comando e controle.

O mercado de produtos de comunicação, por exemplo, tem sofrido um desenvolvimento tecnológico bastante acentuado no decorrer dos últimos anos (Griffin & Skinner, 1999). A investigação e desenvolvimento de tecnologias como novos materiais e microeletrônica envolvem orçamentos relativamente grandes e inviáveis para muitas organizações. Portanto, a palavra chave é *sinergia*. A cooperação deve existir ao nível da concepção de sistemas, do seu desenvolvimento e de sua operação para que se adquira uma eficiência de investimentos e se mantenham os produtos atualizados face à tecnologia de ponta. Como se pode inferir, os requisitos de robustez mecânica e elétrica, segurança das informações e, qualidade dos serviços e produtos devem ainda ser definidos considerando a disponibilidade de matéria prima e outro ítems fundamentais à manutenção dos sistemas, assim como os sistemas concorrentes (Rothrock et al., 1991)

Dessa forma, no contexto específico da *marinha militar*, tem-se atualmente um ambiente no qual os *navios de guerra* devem enfrentar ameaças cada vez mais sofisticadas, com novas tecnologias, que os obrigam a possuir sistemas de comando e

controle que sejam capazes de reagir rapidamente e da maneira mais eficaz possível. Na área de operações navais, há grande variedade de informações derivadas de dados correspondentes ao ambiente entorno do *navio de guerra* para serem processadas (Choi & Kuo, 1988 ; Lingard, 1990) como ilustrado na Figura 1.1.

A concepção de um sistema C³I ideal tem, assim, uma importância capital para o desenvolvimento pleno, racional e eficiente das atividades correlacionadas ao processo de comando e controle das operações dos navios de guerra (Carreira, 1991 *apud* Viegas, 1996).

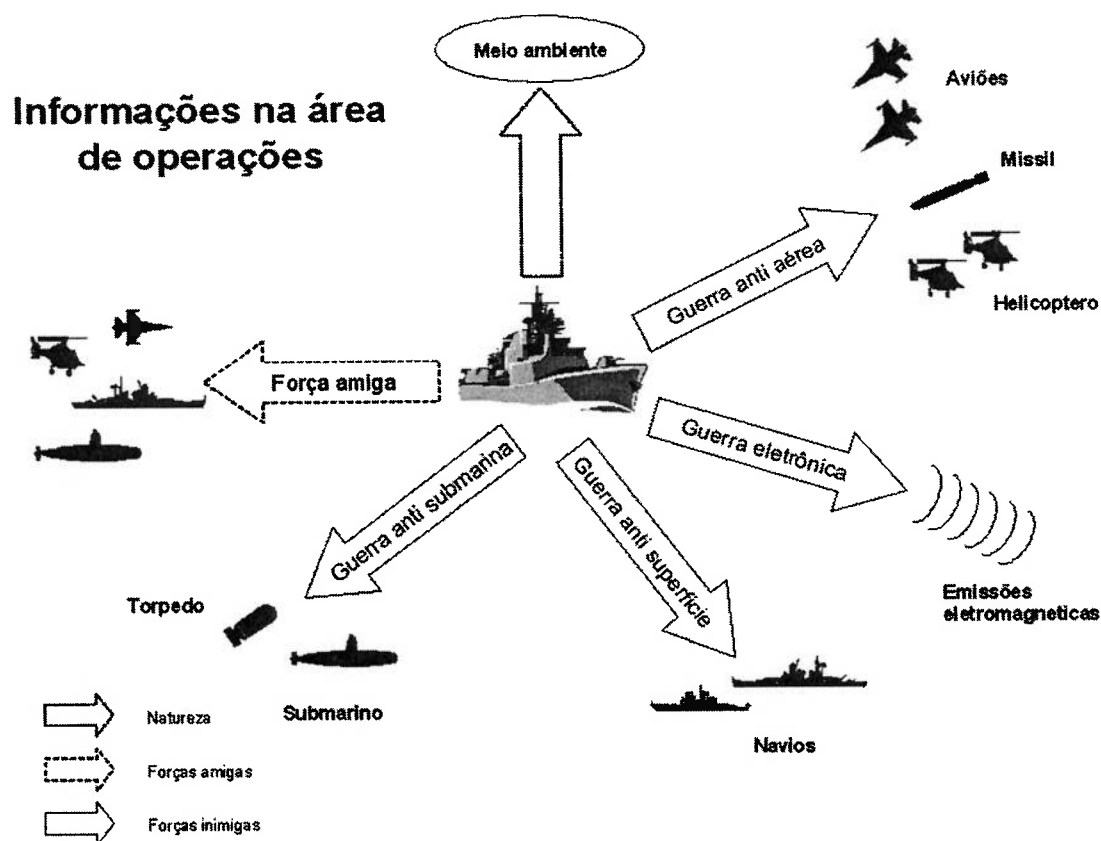


Figura 1.1: Informações à processar na área de operações de um navio de guerra (Choi & Kuo, 1988 ; Lingard, 1990).

O sistema C³I deve ser tratado como um conjunto de componentes ou entidades interagindo, isto é, como nas definições genéricas de sistemas, os componentes trabalham juntos para atingir algum objetivo (Seila, 1995). Desta forma, fica claro que para desenvolver um sistema C³I, além de conhecer

detalhadamente os dispositivos físicos envolvidos, é necessário compreender plenamente todas as interações que ocorrem neste sistema. Além disso, os procedimentos de comando e as estratégias de controle devem ser devidamente estabelecidas, considerando inclusive o treinamento das pessoas envolvidas. Em função da complexidade inerente dos sistemas C³I, o desenvolvimento do seu modelo tem um papel fundamental para a concepção, projeto, análise, implementação e manutenção destes sistemas (Hosinski, 1987).

Neste contexto, um modelo é entendido como uma abstração e representação simplificada do sistema. O modelo representa os componentes mais importantes do sistema e a forma como eles interagem, assim pode-se adotar o paradigma do *entity-attribute-set* (conjunto de atributos de entidade), no qual um sistema é considerado como sendo composto por entidades, as quais possuem atributos e informações, as quais são próprias a cada uma das entidades.

Uma vez obtido o modelo do sistema, pode-se empregar a simulação para a análise da dinâmica do sistema ou para a análise de novos procedimentos de comando e / ou estratégias de controle (Seila, 1995).

Toda simulação utiliza um modelo para descrever o comportamento do sistema que pode ou não existir. A idéia chave é que a simulação é uma realização alternativa que se aproxima ao sistema e, em muitos casos, o propósito da simulação é analisar e entender o comportamento deste em função de ações e decisões alternativas.

A simulação no presente caso, possui vantagens sobre outras alternativas como, por exemplo, a análise formal de propriedades que é limitada a um certo número de subsistemas cujo modelo matemático é conhecido. Como algumas das vantagens da simulação, pode-se citar: a capacidade de analisar modelos de complexidade arbitrária; a geração de resultados quantitativos e qualitativos para os responsáveis pela tomada de decisões; a flexibilidade do arranjo de métodos de simulação que pode ser usado, por exemplo, para analisar processos estocásticos.

Para efetuar a modelagem de sistemas C³I, deve-se primeiro organizar o conhecimento de como esses sistemas funcionam. Isto é, quais são as tarefas realizadas por seus componentes e como é a relação entre estas tarefas. Neste contexto, verifica-se que as partes que compõem os sistemas de comando e controle têm seus comportamentos dinâmicos definidos através de mudanças de estados discretos como consequência da ocorrência de eventos instantâneos (Griffin & Skinner, 1999 ; Zhou, 1994) e que caracterizam uma classe de sistemas chamada de SED (sistemas a eventos discretos) (Miyagi, 1996 ; Ramadge & Wonham, 1989)

De acordo com Silva (1985), as Redes de Petri constituem uma das mais potentes ferramentas gráficas utilizadas atualmente para a modelagem, análise e projeto de SED. Esta técnica permite a representação clara e condensada das funcionalidades e da evolução dos processos, facilitando a descrição e a modelagem da dinâmica do sistema, assim como sua posterior implementação. A Rede de Petri é conhecida também como uma poderosa ferramenta para a modelagem e análise de sistemas com processos concorrentes, assíncronos, distribuídos e paralelos (Cardoso & Vallete, 1997 ; Peterson, 1991 ; Reisig, 1985 ; Reisig, 1992).

As principais características das Redes de Petri (Inamasu, 1995), são:

- Permitir a representação de diferentes tipos de sistemas;
- Ser um modelo rigorosamente formal (tem consistência matemática);
- Ser um modelo gráfico de fácil aprendizado, funcionando como linguagem de comunicação entre especialistas de diversas áreas;
- Permitir a representação de paralelismo e sincronização;
- Representar aspectos estáticos e dinâmicos;
- Permitir a representação de estados parciais;
- Possuir métodos e ferramentas de análise.

Desta forma, diversos trabalhos confirmam a validade de se tratar os sistemas C³I como SED, principalmente para o estudo de fenômenos como assincronismo, concorrência e paralelismo de processos através das Redes de Petri (Berger &

Lamontagne, 1993 ; Bowden & Davies, 1997 ; Coe, 1991 ; Conner, 1990 ; Zhou & Wang, 1995).

Apesar disso, devido às características genéricas de sua definição formal e às limitações na visualização de sistemas complexos e de grande porte, as Redes de Petri apresentam algumas dificuldades para sua aplicação prática em SED (Arakaki et al., 1992 ; Miyagi, 1996). Visando sanar estas limitações, foram propostas novas técnicas derivadas das Redes de Petri tais como GRAFCET (David & Alla, 1992), MFG (Hasegawa et al., 1988), E-MFG (Santos, 1993), SFC (Miyagi, 1996), entre outras para facilitar a implementação de estratégias de controle. Redes de Petri Coloridas e de alto nível também foram propostas para sintetizar de modo consistente várias e diferentes informações num único grafo. Desta forma pode-se reduzir as dimensões da rede o que tem gerado novas abordagens para o problema de construção dos modelos. Técnicas como o PFS (Miyagi, 1988 ; Miyagi & Arata, 1997) propõem uma sistematização no procedimento de construção dos modelos segundo conceitos de hierarquia ou modularidade das atividades do sistema.

Assim, neste trabalho, utiliza-se o PFS/MFG que é uma metodologia apoiada em regras de interpretação dos elementos da Rede de Petri e que tem apresentado resultados concretos em SED. O PFS/MFG obedece às propriedades básicas das Redes de Petri do tipo condição–evento (rede segura também chamada de rede binária). Conseqüentemente, os grafos PFS/MFG são próprios para a análise do sistema através de simulação computacional do comportamento dinâmico do sistema e para a especificação de estratégias de controle.

Considerando ainda que mesmo com o PFS, a modelagem dos sistemas C^3I ainda não é trivial visto que antes é necessário identificar os processos de interesse, este trabalho utiliza ainda a metodologia IDEF0 que é própria para esta caracterização de processos (Whitman et. al, 1997).

1.2 OBJETIVO

Dentro do contexto citado no item anterior, o objetivo deste trabalho é estudar e desenvolver uma metodologia para a modelagem e análise de sistemas C^3I para

navios de guerra, podendo-se estender o uso desta técnica de modelagem a outras organizações similares.

A abordagem considerada para este propósito baseia-se, numa primeira etapa, na metodologia IDEF0 para a caracterização dos processos do sistema e depois na teoria dos sistemas a eventos discretos e na aplicação de técnicas derivadas das Redes de Petri, tais como PFS e MFG para a construção de modelos para análise e desenvolvimento dos sistemas C³I. O modelo gerado é validado de acordo com os requisitos do sistema C³I e é verificado de acordo com as propriedades das Redes de Petri.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

No capítulo 2 se faz uma introdução aos conceitos principais que envolvem aos navios de guerra para poder compreender o campo de aplicação da metodologia proposta.

O capítulo 3 apresenta as definições propostas para os conceitos de comando, controle e sistemas de comando e controle, assim como os seus objetivos, funções e características, dando ênfase no papel que eles desempenham no âmbito dos navios de guerra. Em seguida, são apresentados os conceitos relevantes e específicos para os sistemas C³I.

No capítulo 4 é feita uma breve descrição da metodologia de IDEF0 apresentando sua utilidade na caracterização de processos. Também é realizada uma breve recapitulação das Redes de Petri, considerando suas vantagens e características. Prossegue-se apresentando a metodologia PFS/MFG de acordo com a qual os modelos são desenvolvidos.

No capítulo 5, apresenta-se a metodologia para a modelagem e análise de sistemas C³I no contexto de navios de guerra.

No capítulo 6, apresenta-se um exemplo de aplicação da metodologia para

o projeto de um sistema C³I para um navio de guerra com múltiplas *capacidades operacionais*¹. As características gerais do sistema são definidas de acordo com os requisitos específicos do navio de guerra considerados para cumprir seus objetivos.

O capítulo 7 contém os comentários finais e as conclusões obtidas no desenvolvimento do trabalho, assim como sugestões de novos tópicos a serem pesquisados em futuros trabalhos.

¹ Capacidade de poder efetuar operações em diversas áreas além da marítima (aérea, submarina, etc.)

CAPÍTULO 2

CONCEITOS PRINCIPAIS ASSOCIADOS AOS NAVIOS DE GUERRA

2.1 A IMPORTÂNCIA DO MAR

Não há país que disponha de litoral e não identifique interesses no mar (Martinez, 1995). Estes, resultantes dos anseios, necessidades, possibilidades e cultura de um povo, materializam-se no que se convencionou chamar de *política marítima* do país. Seus objetivos, de ordem política, econômica e militar dependem, para serem alcançados, do adequado domínio do seu mar territorial e do emprego de meios apropriados para manter o seu controle, isto é, dependem de uma *estratégia marítima*, que prepare e empregue convenientemente o *poder marítimo*. De conceito extremamente abrangente, esse poder é constituído de tudo aquilo que, de alguma forma, se relaciona com a navegação, o transporte marítimo, a pesca, a extração do petróleo do subsolo marinho, o esporte náutico, as indústrias afins, a população que o integra, a política governamental que o rege e, acima de tudo, a vocação marítima do povo (Martinez, 1995). Finalmente, há por mencionar o *poder naval*, braço armado do poder marítimo, destinado a defender os interesses da nação no mar e, ali, garantir-lhe a integridade e soberania (Aranda & Hartung, 1999). Por seu intermédio, assegura-se ao país o direito ao uso econômico e estratégico do mar.

2.2 O CONCEITO ESTRATÉGICO

Desde a mais remota antigüidade, o choque de interesses tem sido a origem dos conflitos, tanto entre indivíduos como entre nações. A magnitude dos interesses no mar, dado o seu porte, recomenda profunda reflexão sobre a natureza desses conflitos ou crises.

Como os mares têm sido o caminho natural das *forças coercitivas*² durante as crises, torna-se fundamental dispor-se de um *poder naval* capaz de assegurar um *patamar de dissuasão*³ compatível com o vulto dos interesses em jogo (Aranda & Hartung, 1999 ; Justiniano, 1994). Vale registrar, que a *concepção estratégica* para países de recursos escassos é a de possuir meios capazes, não de derrotar o adversário, mas de impor um custo elevado à sua eventual opção militar, dissuadindo agressões e incentivando a solução pacífica das controvérsias.

A composição de uma moderna Esquadra reflete essa concepção estratégica. Ela deve dispor de navios de guerra modernos e atualizados, dotados de sistemas de comando e controle, de armamentos e sensores de última geração e tripuladas por guarnições adequadamente formadas e treinadas.

2.3 TAREFAS DO PODER NAVAL

Do ponto de vista de sua capacidade de utilização, uma marinha de guerra pode realizar qualquer das quatro tarefas básicas inerentes ao *Poder Naval* (Marinha do Brasil, 2003):

- Controlar uma área marítima,
- Negar o uso do mar,
- Projetar poder sobre terra,
- Contribuir para a dissuasão.

O *controle de área marítima* consiste no emprego da força para garantir, dentro de uma moldura limitada de tempo, a capacidade de uso do mar naquela área e, simultaneamente, impedir que o inimigo possa usá-lo. Ele inclui o controle do espaço aéreo da área marítima considerada e, normalmente, é uma tarefa típica dos meios de superfície e aeronavais embarcados. A razão de ser dessa tarefa está ligada, principalmente, à necessidade de se manter, em determinada região, a exploração dos recursos do mar e das linhas de comunicações, a despeito dos esforços contrários para interromper tais atividades. Significa, em essência, a garantia de utilização,

² Forças militares utilizadas na resolução de conflitos armados.

³ No sentido de dissuadir o inimigo de executar determinadas ações.

ainda que temporária, de áreas marítimas limitadas, estacionárias ou móveis, quando e onde necessário. Como o mar é um ambiente permeável que não admite frentes de combate precisas, a intensidade do controle dificilmente pode ser absoluta, embora possa aproximar-se dessa condição em áreas restritas e por tempo limitado.

Quando o controle não pode ser exercido por falta de capacidade, ou porque os esforços principais estão concentrados em outras áreas, a *negação do uso do mar*, consiste em impedir, ou dificultar, que o oponente consiga controlar ou usar determinada área marítima. O submarino é atualmente o meio capital para o cumprimento dessa tarefa e, quando dotado de propulsão nuclear, adquire uma inigualável capacidade de bem desempenhá-la. A simples existência do submarino impõe, *per se*, severas limitações ao planejamento de qualquer adversário e, quando presente na cena de ação, comanda os acontecimentos.

A *projeção do poder sobre terra* traduz-se em levar a guerra ao território ocupado pelo oponente. Dependendo do caso, os *vetores de projeção do poder*⁴ podem ser a aviação embarcada de ataque, os fuzileiros navais ou, ainda, os disparos realizados por navios de superfície, lançando mísseis ou granadas de artilharia contra objetivos em terra. Apenas como ilustração, o lançamento de mísseis balísticos a partir de submarinos estratégicos, ou de mísseis de cruzeiro a partir de submarinos de ataque, também enquadram-se neste caso.

A *contribuição para a dissuasão* é obtida, de um lado, pela credibilidade do *poder naval*, a qual resulta do padrão tecnológico, do aprestamento⁵ do material e preparo do pessoal e, de outro, pela *presença naval*, na realidade, um instrumento político reafirmador da vontade nacional nos momentos de crise, ou conforme a situação, de manifestação de interesse, bom relacionamento, pressão, demonstração de força, etc.

⁴ Recursos utilizados para aumentar o raio de ação do *poder naval*.

⁵ Termo militar que significa preparação.

2.4. AS FORÇAS NAVAIS

O *Poder Naval* está estruturado, fundamentalmente, na *Esquadra* (Diaz, 1996). Administrativamente, a *Esquadra* é subdivida em *forças*, as quais são organizadas de acordo com o meio ambiente em que suas unidades operam. Daí, tem-se:

- A Força de Superfície
- A Força de Submarinos
- A Força Aeronaval
- A Força de Fuzileiros Navais
- A Força de Operações Especiais
- A Força de Guarda-costas

Adicionalmente, tem-se as seguintes unidades de apoio da *Esquadra*:

- Aeroportos
- Bases Navais
- Estaleiros
- Estações de provisões e manutenção
- Quartéis Gerais

Existem também organismos cujas operações recaem parcialmente dentro do alcance da Marinha de Guerra e, então, estão relacionadas com ela. Esses organismos incluem entidades do governo que influenciam as decisões relacionadas com o *poder naval*.

2.5 A FORÇA DE SUPERFÍCIE

A força de superfície é composta por todos os navios ou plataformas (tipos de embarcações) que têm como meio de transporte o mar, e que possuem a capacidade necessária para efetuar as tarefas básicas do poder naval. Cada plataforma possui uma missão diferente de acordo com o tipo de estrutura, capacidade operacional e

recursos disponíveis. Algumas das plataformas que compõem a força de superfície são:

- Porta-aviões;
- Porta-helicópteros;
- Cruzadores;
- Destróiers;
- Fragatas;
- Corvetas;
- Lanchas lançadoras de mísseis;
- Lanchas canhoneiras;
- Lanchas de patrulha;
- Contra-torpedeiros;
- Navios varredores;
- Navios de apoio logístico;
- Navios de desembarque de tropas.

2.6 NAVIOS DE GUERRA

Segundo as Nações Unidas (1982), o navio de guerra é aquele navio que pertence as Forças Navais de um Estado, que leva os distintivos exteriores dos navios de guerra de sua nacionalidade e que é conduzido por um comandante militar designado pelo Estado.

O navio de guerra (como o conjunto de sistemas e pessoas) é a plataforma (item 2.5) que o comandante possui para a execução de ações e realização de objetivos baseados nas tarefas básicas do *Poder Naval*, entre as quais estão (Diaz, 1996):

- Defesa de costa contra ameaças navais;
- Proteção dos interesses econômicos do país, na área econômica exclusiva;
- Demonstração da soberania em águas territoriais e em alto mar;
- Proteção de linhas de comunicações marítimas;

- Controle do mar para evitar que os navios inimigos operem em áreas específicas em períodos de interesse do país;
- Garantia de uso exclusivo de áreas específicas do mar para forças amigas, em períodos de interesse do país;
- Projeção do *poder naval*, operação independente da marinha e/ou operações combinadas com Forças do Exército ou Forças do Ar, apoio em batalhas terrestres ou transporte de tropas.
- Dissuasão estratégica durante tempo de paz ou em situação de emergência.

Para a realização de seus objetivos, o comandante deverá utilizar todos os *recursos disponíveis*⁶ no navio de guerra de maneira eficaz.

O navio de guerra é uma plataforma muito complexa e assim, o comandante deve apoiar suas ações nos múltiplos sistemas de apoio que compõem o navio de guerra. Estes sistemas devem interoperar entre si para a utilização eficiente dos recursos disponíveis. Os principais sistemas do navio de guerra são:

- Sistema de sensores
- Sistemas de armas
- Sistema de manobra
- Sistema logístico
- Sistema de tomada de decisões

O sistema de sensores é aquele composto pelos diversos sensores do navio de guerra (radar, sonar, sistemas ópticos, *medidas de apoio à guerra eletrônica*⁷, etc), os quais detectam informações do ambiente em que se encontra, fornecendo ao comandante, através de um processo de tratamento de sinais, o estado da *área de operações*⁸

⁶ Radares, munições, água, combustível, alimentos, etc.

⁷ Equipamentos que captam ondas eletromagnéticas para efetuar a sua análise.

⁸ Pode-se tomar como área de operações, o espaço físico delimitado pela distância máxima na qual o navio de guerra pode operar.

O sistema de armas é composto por todas as armas disponíveis no navio (mísseis, artilharia, torpedos, *equipamentos de guerra eletrônica*⁹, etc.). A utilização das armas por parte do navio de guerra gera uma alteração no estado da área de operações.

O sistema de manobra é aquele que dá a capacidade de movimento do navio dentro da área de operações e envolve a energia disponível.

O sistema logístico é composto basicamente por todo o material consumível que se utiliza dentro do navio. Exemplos deste material envolvem a munição, os alimentos, a água, etc.

O sistema de tomada de decisões é formado por todo o pessoal militar que faz parte do *estado maior*¹⁰ do navio. O estado maior, apoiado nas diversas informações sobre o estado da área de operações e do navio de guerra, fornece ao comandante as recomendações para a execução de ações. O comandante é a pessoa que toma a decisão final.

Pode-se observar que os procedimentos e as informações utilizadas para cumprir os objetivos do navio de guerra são muitas e variadas. É então de vital importância que exista um sistema capaz de:

- Obter e reunir os dados provenientes de todos os sistemas do navio;
- Criar uma visão global do comportamento do ambiente;
- Fornecer as melhores ações para seguir;
- Executar as ordens do comandante.

Esse sistema é chamado de “sistema de comando e controle”. Ele deve interagir com todos os demais sistemas do navio, para assegurar a confiabilidade dos dados e a efetividade das ações do comandante e, neste sentido, a automação dos processos e procedimentos tem papel fundamental. Nos sistemas de comando e

⁹ Equipamentos que utilizam ondas eletromagnéticas para efetuar ações contra o inimigo.

¹⁰ Pessoal responsável pelos sistemas.

controle, a equipe de comando nem sempre tem assistência automatizada e isto tem limitado a efetividade destes sistemas (Lingard, 1990)

2.7 ÁREA DE OPERAÇÕES

O ambiente onde o navio de guerra realiza suas atividades é chamado de área de operações. Basicamente a área de operações compreende o espaço físico delimitado pelo máximo alcance de seus sensores ou armas.

As informações que podem ser obtidas por um navio numa área de operações qualquer, são classificadas de acordo ao tipo de meio nas quais elas desenvolvem-se (ver na Figura 1.1). Desta forma pode-se processar de forma separada as diversas ameaças de acordo com sua importância.

Tem-se então a seguinte classificação:

- Guerra antiaérea: compreende todas as informações de ameaças que encontram-se utilizando o espaço aéreo. Entre elas pode-se citar os aviões, os helicópteros e os mísseis. Estes tipos de informações devem ser processadas o mais rápido possível já que, pela natureza do ataque e a velocidade dele, representa uma séria ameaça para o navio.
- Guerra eletrônica: basicamente compreende as informações sobre emissões eletromagnéticas. O processamento destas informações leva ao conhecimento da fonte emissora e o tipo de emissão (quando são conhecidos os parâmetros da onda eletromagnética) . O conhecimento da fonte emissora é fundamental para identificar o tipo de navio que gera a emissão e o conhecimento do tipo de emissão é fundamental para caracterizar o tipo de radar emissor (por exemplo, no caso de ser identificado que os radares são de controle de tiro, um ataque é eminente)
- Guerra antisuperfície: compreende as informações de ameaças que encontram-se utilizando o espaço superficial do mar. Basicamente compreendem outros navios de guerra. O ataque por meio de artilharia também pode ser considerado neste tipo de guerra.

- Guerra antissubmarina: da mesma maneira que a guerra antissuperfície também compreende as ameaças que se encontram no mar, mas utilizando o espaço submarino. Entre estas ameaças encontram-se os submarinos e os torpedos.
- Força amiga: são considerados forças amigas todos os navios, submarinos, aviões e helicópteros que realizam operações em ajuda aos objetivos próprios.
- Meio ambiente: é considerado como meio ambiente as informações sobre o estado meteorológico, o estado do mar, as correntes marítimas, informações sobre perturbações eletromagnéticas (manchas solares), etc.

Embora esta classificação possa ajudar no processamento das informações numa área de operações, a manipulação dos dados é ainda muito complexa já que os diferentes tipos de guerra podem se complementar (um submarino pode utilizar sinais eletromagnéticos de um radar de controle de tiro e disparar mísseis). Esta é outra das razões para contar com um sistema de comando e controle eficaz.

2.8 COMENTÁRIOS SOBRE ESTE CAPÍTULO

A estratégia dissuasória tem significativa importância na capacidade de reação do Poder Naval das nações livres e soberanas. É nesse sentido que as Marinhas de Guerra procuram desenvolver uma Força Naval moderna, sem necessariamente se preocupar com pretensões de grande potência, mas que sejam compatíveis com as necessidades e as aspirações do País.

Uma das premissas básicas que orientam o *Plano Estratégico da Marinha* é a certeza de que nenhuma alteração geopolítica será capaz de modificar o papel fundamental do mar nem a sua importância crescente para a humanidade. Portanto, é de vital importância dispor de um Poder Naval adequado.

O navio de guerra como ferramenta fundamental do Poder Naval, deve possuir sistemas que possam assegurar uma capacidade de reação ante as múltiplas ameaças na área de operações. Isto só pode ser materializado com sistemas de comando e controle versáteis e modernos, capazes de maximizar o uso de recursos disponíveis.

CAPÍTULO 3

SISTEMAS C³I

3.1 DEFINIÇÕES GERAIS

Allard (1996), comentando sobre as definições de “comando”, “comando e controle” e “sistema de comando e controle” no dicionário de termos militares e associados do Departamento de Defesa dos Estados Unidos (Estados Unidos, 2001), adverte que: “uma das mais importantes características dessas definições é a amplitude pela qual evocam a natureza pessoal do comando, especialmente o fato de que o comando é concedido para um indivíduo que, sendo responsável pela direção, coordenação e controle de forças militares, é então legal e profissionalmente responsável por tudo o que as forças realizem, parem de realizar ou falhem em realizar”. As definições em questão são:

Comando: “é a autoridade¹¹ concedida a um indivíduo das forças armadas para a direção, coordenação e controle de forças militares”.

Comando e controle: “é a utilização da autoridade para a direção de acordo com a designação apropriada do comandante¹² sobre suas forças¹³ para a execução da missão. As funções de comando e controle são realizadas através do pessoal, equipamento, comunicações, instalações e procedimentos que são os empregados pelo comandante para dirigir, coordenar e controlar as forças e as operações para execução da missão”.

Sistema de Comando e Controle: “são as instalações, equipamentos, comunicações, procedimentos e pessoal essencial para o comandante planejar, dirigir, coordenar, executar e controlar as operações de suas forças para a missão designada”.

¹¹ Direito ou poder de ordenar, de decidir, de atuar, de se fazer obedecer.

¹² Em organizações civis pode-se considerar a pessoa responsável pela tomada de decisões.

¹³ Pessoal e equipamento disponível.

3.2 COMANDO

Em uma era de abundante e quase ilimitada capacidade de processamento de dados e de comunicação, a enorme quantidade de informações torna-se um problema à tomada de decisões. Numa sociedade orientada à informação, a capacidade de correlação e a fusão de informações é tão importante como a aquisição de dados ou até o seu próprio conteúdo (Builder et al., 1991). Compreender qual informação é a mais essencial para a tomada de decisões é atualmente o principal tema de interesse nos sistemas de comando e controle.

Como em outras organizações que envolvem vidas humanas, o problema da abundância de informações é tão crítico no comando e controle militar que os comandantes, humanamente, já não têm condições de assimilar ou entendê-las adequadamente. A estratégia predominante para resolver este problema é a aplicação de tecnologia de computadores e de softwares para a classificação, filtragem e apresentação das informações de modo a poder assistir o comandante na focalização de informações. Esta estratégia pressupõe que o papel do comandante, suas responsabilidades e suas decisões são plenamente entendidas e que se pode definir as necessidades de informação com antecedência. Também se pressupõe que as tarefas de comando e controle do comandante envolvem a interpretação de informações, a tomada de decisão, definição das ações e comandos a serem executados, e a manutenção da conexão com os subordinados de forma que eles possam ser adequadamente conduzidos.

A maioria das teorias de comando e controle atuais estabelecem uma estrutura hierárquica (representam a informação como um fluxo ascendente e também descendente através da cadeia de comando) dependente do hardware envolvido. O comandante usa o sistema de comando e controle para influenciar eventos indiretamente e à distância. O comandante transmite o comando através dos dispositivos de comando ou diretamente para os subordinados, envia sugestões para os comandantes de unidades adjacentes e elabora requerimentos e relatórios para unidades de apoio e superiores. Ele desenvolve e mantém um conhecimento da

situação da área de operações através de dispositivos de monitoração ou por relatórios apresentados por outras pessoas (Coakley, 1991).

3.3 CONTROLE

A primeira consideração a ser feita, é o que se entende por controle no âmbito militar. Existem diversas definições de controle na literatura e assim apresenta-se a seguir as mais representativas.

Segundo Ferreira (1994), controle pode ser a fiscalização exercida sobre as atividades de pessoas, órgãos, departamentos ou sobre produtos, etc., para que tais atividades, ou produtos não se desviem das normas pré-estabelecidas. No caso de sistemas de comando e controle, o controle pode ser exercido sobre uma área específica de operações.

Controle significa também a medição do valor de uma variável controlada dentro do sistema e a aplicação de uma variável manipulada, com a finalidade de corrigir ou limitar o desvio do valor medido de um valor desejado (Ogata, 1993)

Segundo Van der Voort (2000), o controle pode ser entendido, no contexto militar, como o conjunto de ações realizadas com determinados recursos disponibilizados ao comandante, para que este possa executar suas ordens. Essas ações são independentes do processo de tomada de decisões do comando.

Uma vez recebida uma determinada ordem do comando, o controle é o encarregado de cumprí-la utilizando todos os recursos disponíveis.

O controle associa-se com todos os mecanismos de ação que o sistema possui para o cumprimento das metas ou dos objetivos. Basicamente, o controle é a parte que pode ser mecanizada / automatizada do processo de comando e controle.

3.4 COMANDO E CONTROLE

A maioria das teorias de comando e controle envolve processos nos quais o projeto do sistema, o tipo das mensagens padrões e o posicionamento e capacidades

dos dispositivos de detecção e dos módulos de comunicação definem o tipo de informação disponível para o comandante (Liao, 1999). Tipicamente, com a ocorrência dos eventos na área de operações, a informação detectada pelos sensores flui através da estrutura hierárquica até o comandante e seu estado maior. Num ambiente real, com a evolução da situação na área de operações, o comandante reage de acordo com a avaliação desta situação, desenvolvendo novos planos e emitindo comandos e relatórios. Conforme esta visão, o papel do comandante é de tomar decisões de modo altamente interativo (Knapp, 1997). O papel do comando e controle é estabelecer os conceitos nos quais o comandante apóia suas decisões.

Colocando o comandante na posição de um processador de dados e um gerador de mensagens, os métodos tradicionais de modelagem de procedimentos de comando e controle criam um comandante ideal que é, de certa maneira, “prisioneiro dos eventos”: ele reage à evolução da situação do seu campo de operações em vez de antecipar-se aos fatos. O corolário prático é que a disponibilidade da informação em tempo real torna-se crítica para o comandante entender uma situação e decidir. Esta forma de entender o comando e controle, claramente considera o comandante como uma entidade que reage em tempo real. Isto vem do conceito de que o comandante não pode se antecipar à evolução dos eventos (Allard, 1996 ; Van Creveld, 1985). O comandante, seu estado maior e o sistema de comando e controle devem filtrar dados para identificar fatos e situações que justificam uma ação. Isto também presume que a maioria das informações transmitidas é descritiva e que a atividade cognitiva principal do comandante está na busca de padrões.

Do exposto, considera-se que o processo de comando e controle deve ser visto como um processo complexo (Lawson, 1980) e, pode ter um desempenho superior se o sistema de comando e controle for associado às técnicas de fusão de dados, empregando filtros adequados e procedimentos de classificação de dados, visando o apoio às decisões do comandante. Assim, o sistema alertaria o comandante com diferentes graus de importância sobre os fatos que estivessem acontecendo. Mais significativo é o fato de que a informação necessária para a devida reação do comandante necessita estar efetivamente disponível.

3.5 TEORIA DE COMANDO E CONTROLE

Uma teoria de comando e controle caracteriza os comportamentos e as propriedades observadas no sistema em termos de conceitos fundamentais associados à princípios e postulados baseados em analogias com outros sistemas ou ciências (teoria de controle, ciência cognitiva, teoria da organização, teoria neuropsicológica e teoria da informação). Desta maneira, considera-se que os processos de comando e controle podem ser descritos através da teoria de controle ou da teoria de telecomunicações (Levis & Athans, 1988).

Neste contexto, pode-se verificar esta analogia entre os processos de batalha naval (atividades coordenadas de múltiplas unidades independentes e adaptação para mudanças externas) e os processos industriais (Van Creveld, 1985 *apud* Van der Voort, 2000) e, desta maneira a teoria de controle adotada para este último pode ser adaptada para a especificação de sistemas de comando e controle.

Modelos do processo de comando e controle baseados na teoria de controle, podem ser vistos nos trabalhos de Lawson (1981), Lingard (1990) e Van Tress & Stewart (1991). Uma visão particular desses modelos é apresentada na Figura 3.1.

Nele, parte-se de um ambiente formado por diversos elementos (forças amigas¹⁴, inimigas¹⁵, neutras¹⁶ e a natureza), no qual acontecem situações que são percebidas por sensores, isto é, tem-se a função de percepção.

Logo após perceber algum acontecimento de importância, os sinais percebidos são processados para obter informações do ambiente, que são comparadas com algum estado desejado de acordo com os objetivos da missão¹⁷.

¹⁴ Todos os elementos integrantes de uma organização em parceria com a organização própria.

¹⁵ Todos os elementos integrantes de uma organização adversária com a organização própria.

¹⁶ Todos os elementos integrantes de uma organização que não pertencem às forças amigas nem às inimigas.

¹⁷ Dever asignado.

O produto desta comparação são as possíveis ações a serem realizadas. Depois, toma-se uma decisão, isto é, a escolha da ação que afeta ou altera o ambiente.

Processo de Comando e Controle

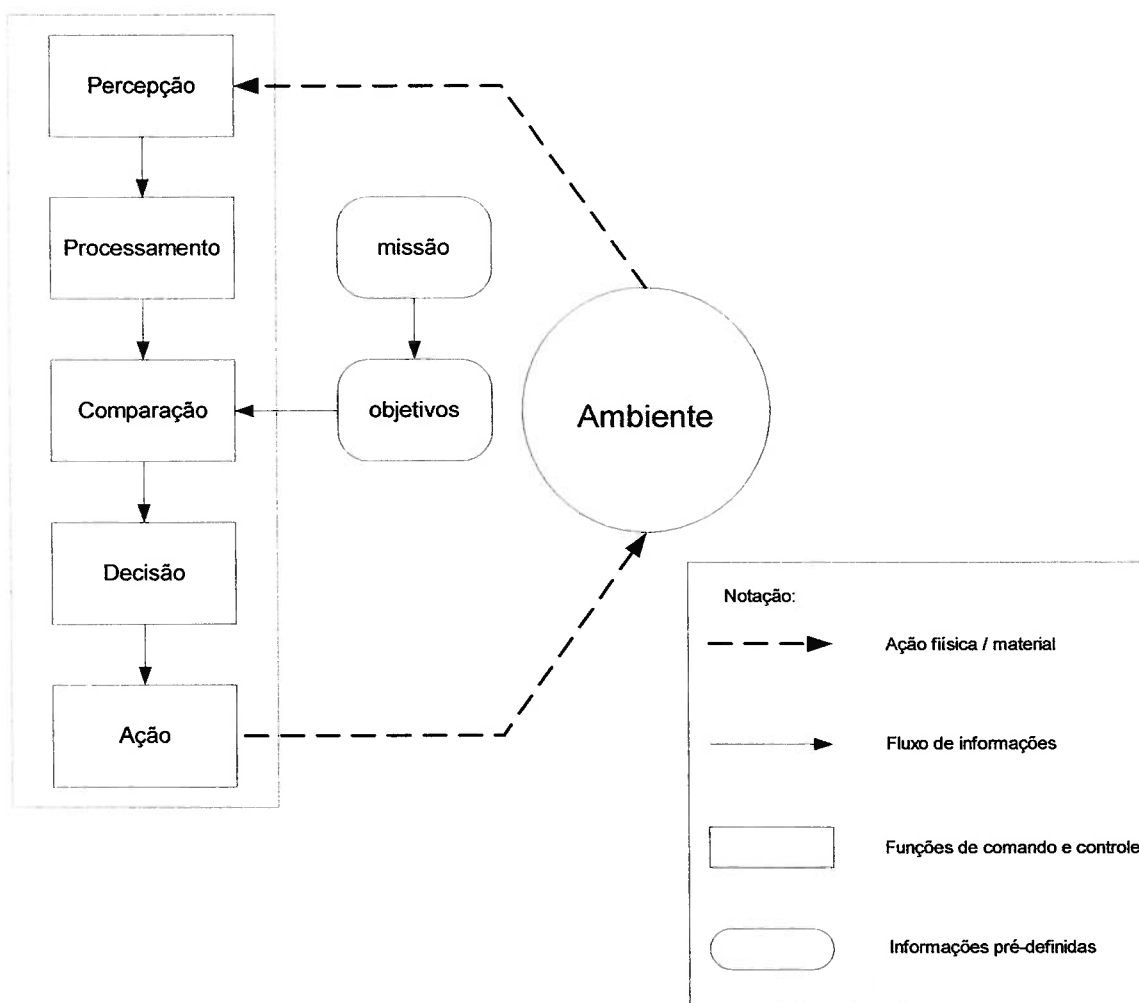


Figura 3.1: Processo de comando e controle.

Uma variedade de técnicas podem ser usadas para auxiliar a tomada de decisões do comando e em particular sistemas especialistas baseados em regras (Brown, 1989 ; Klein, 1988 ; Rouff et al., 1988) têm apresentado resultados práticos. Entretanto, os resultados ainda não consideram situações de alta complexidade e

assim existe interesse em investigar novas estruturas de tomada de decisões e o fluxo de dados correspondente, onde a Rede de Petri (Tabak & Levis, 1985) tem se mostrado útil.

O modelo resultante é similar a um sistema de controle industrial. O modelo representa a visão reativa previamente descrita na qual coleta-se informações do ambiente que devem ser “percebidos”, avaliados, e comparados com um estado desejado a fim de que alguma ação seja executada.

O processo de procura por um modelo do processo de comando e controle converge para uma abordagem comum: a identificação de fluxos de informação e suas transformações representadas por “caixas” e “setas” em que as caixas representam as atividades de processamento e as setas representam fluxo de informação.

Descrevendo deste modo o processo de comando e controle, tanto o conteúdo da informação que circula pelo sistema como as transformações daquela informação são secundários em relação à representação de onde e quando eles ocorrem. O paradigma de Wohl (1981), denominado SHOR (Estímulo-hipótese-opção-resposta) e mostrado na Figura 3.2, é um exemplo de uma visão alternativa para o processo de comando e controle. Este paradigma divide os processos de comando e controle em “caixas”.

Nesta abordagem, utiliza-se quatro tipos de processos que interagem entre si. Os “estímulos” são os acontecimentos importantes que ocorrem no ambiente, integrados pelas forças amigas e inimigas. Na “hipótese”, realizam-se os processos que transformam estes acontecimentos em informações relevantes.

Na “opção”, executam-se os processos de comparação e de decisão e, na “resposta”, é realizado o processo de ação o qual interage diretamente com o ambiente.

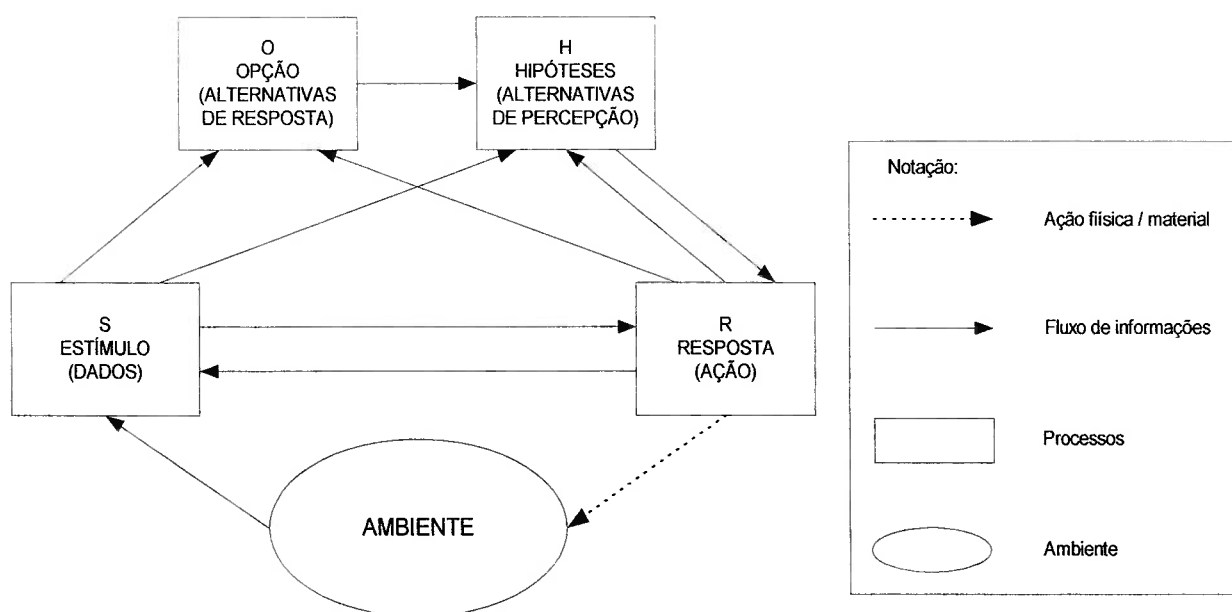


Figura 3.2: Modelo SHOR de Wohl (1981).

Apesar da coerência dos modelos citados, existe ainda o interesse numa teoria que esteja direcionada para aqueles fenômenos não explicitados nas atuais abordagens para a modelagem do processo de comando e controle. Esta teoria deve considerar as múltiplas escalas de tempo de uma operação militar (por exemplo, em batalha, desde a fase de preparação até a etapa de máxima intensidade de combate). Deve ser endereçada aos aspectos sociais e culturais do comando e controle, e não reduzir os comandantes a simples processadores de informação (Estados Unidos, 1995).

Embora os modelos atuais sejam incompletos para tratar todas as dimensões das funções de comando, eles provêm uma base para entender as funções de controle. Na descrição das funções de comando, o problema principal é que elementos humanos não são equivalentes a um programa de computação.

A motivação adicional à investigação desta nova teoria é a necessidade de separar o desempenho intelectual do comandante do desempenho técnico do sistema de comando e controle. Caracterizando esta diferença, pode-se afirmar que a

avaliação dos sistemas de comando e controle pode ser separada da avaliação das responsabilidades dos comandantes.

3.6 SISTEMA DE COMANDO E CONTROLE

O comando e controle estão presentes em todos os tipos de organizações, sejam civis ou militares. E, no contexto deste trabalho, sistemas de apoio são indispensáveis para facilitar as tarefas de comando e otimizar os recursos existentes, especialmente em situações que evoluem dinamicamente.

No contexto militar, o sistema de comando e controle é a estrutura tecnológica, administrativa e organizacional necessária para processar as informações dos sensores e para realizar as diferentes *tarefas operacionais*¹⁸ (Sparshatt & Justice, 2002). O sistema de comando e controle reúne, processa, compara dados, em tempo real, das próprias forças e outras informações de inteligência as quais são encaminhadas aos usuários nos diferentes níveis da organização (Brandt, 2001). O sistema transfere orientações e ordens dos comandantes nos diferentes níveis às diferentes unidades operacionais. O sistema deve também possuir subsistemas especiais para ajudar na tomada de decisões.

A importância do sistema de comando e controle tem aumentado em proporção direta com o crescimento dos recursos militares e das capacidades das equipes. O comando, o controle, as comunicações e a inteligência atualmente são parte integral do processo de tomada de decisões, tanto, para a transmissão das políticas em geral, orientações e ordens de comando como para sua execução.

3.7 SISTEMAS DE COMANDO E CONTROLE PARA NAVIOS DE GUERRA

O alcance e caráter da guerra no mar estão mudando radicalmente. Os mísseis de longo alcance, aviões e plataformas navais de tecnologia furtiva com sofisticados sistemas de propulsão, sistemas de comando e controle integrados com

¹⁸ Tarefas realizadas na área de operações para a realização da missão.

computadores e outros sistemas eletrônicos estão transformando as antigas e convencionais batalhas navais em confrontações complexas e de longo alcance (Diaz, 1996).

Em geral, as confrontações navais serão custosas, violentas¹⁹ e caracterizadas por um *alto grau de combate*²⁰. O pessoal de combate, particularmente os comandantes, encontram-se sob uma intensa pressão quando eles se deparam com ameaças aéreas, de superfície e submarina, e não raro, de forma simultânea.

Na maioria dos casos, não se pode contar com uma imagem local e em tempo real do combate sem os meios para interpretar e avaliar o conjunto de informações relativas ao combate. Assim, o desenvolvimento de um sistema eficiente, eficaz e seguro, que reúna toda a informação relativa ao combate, reconstruindo o ambiente real para que o nível de comando tome decisões, e que as suas decisões sejam efetivamente executadas é imprescindível (Sparshatt & Justice, 2002).

Assim, fica claro que um passo fundamental é a definição e construção de um modelo de processo de comando e controle de navios de guerra. Desta forma, neste trabalho, utiliza-se a visão conceitual do “processo de operações de combate” que foi apresentada anteriormente na Figura 3.1. Este modelo deve ser modificado para adaptar-se ao caso dos navios de guerra e, como resultado, a Figura 3.3 apresenta a nova visão do processo de comando e controle naval.

Na Figura 3.1 são indicadas cinco funções básicas:

- A função DETECÇÃO DE SINAIS corresponde a todas as atividades de coleta de dados (de radares, de postos de vigilância, de sistemas de reconhecimento fotográfico, etc.). Sua função é a extração de sinais do ambiente.

¹⁹ Empregando a força com grande intensidade.

²⁰ Grande interação entre forças amigas e inimigas.

- A função PROCESSAMENTO DE SINAIS atua sobre os dados coletados pela função de detecção de sinais para extrair o significado deles. Identifica os eventos ocorridos no ambiente e o estado geral do ambiente.

Processo de Comando e Controle Naval

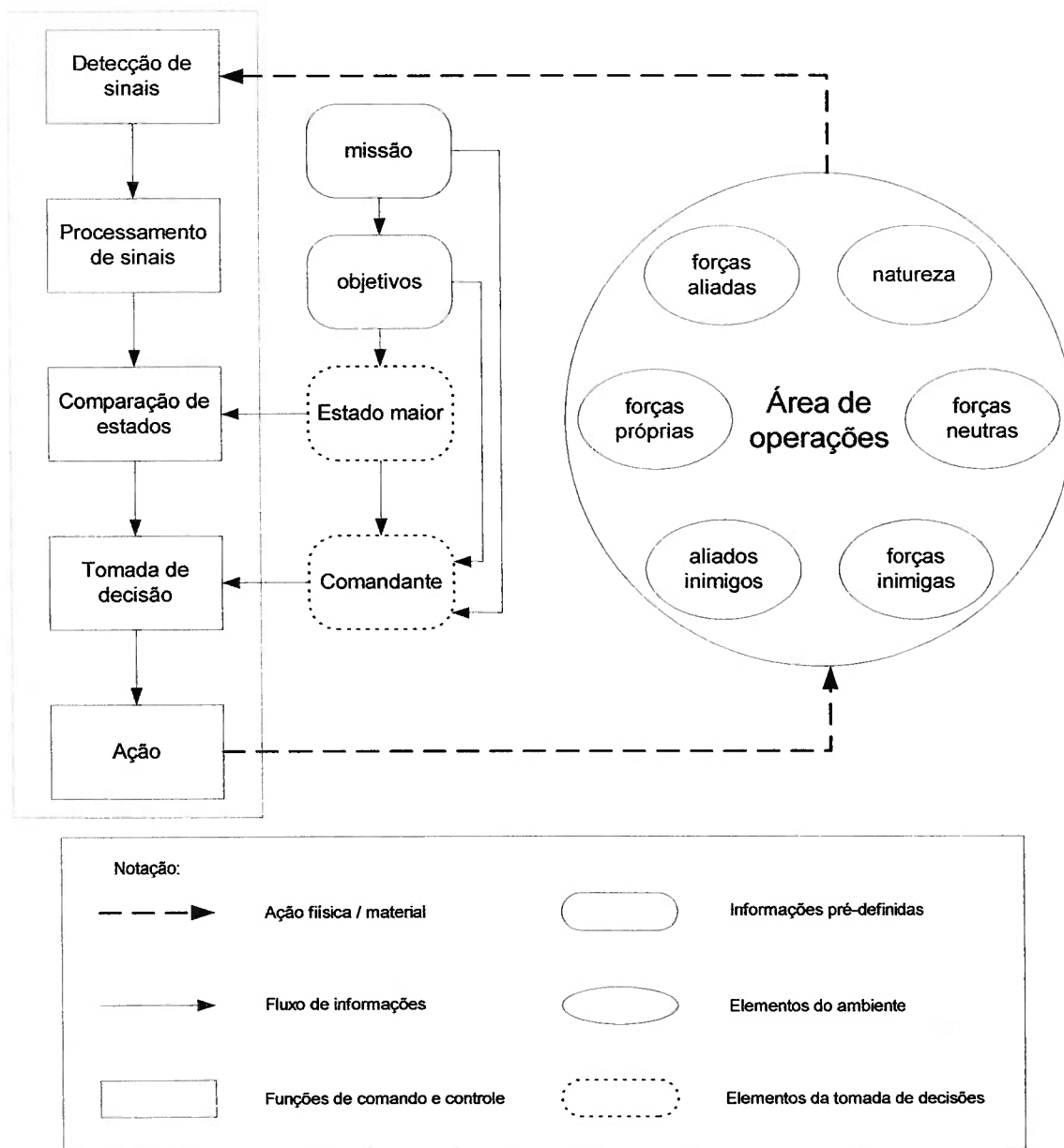


Figura 3.3: Modelo do processo de comando e controle da atividade militar naval.

- A função COMPARAÇÃO DE ESTADOS, compara o estado atual do ambiente, com o estado desejado que é especificado pelo estado maior com base nos objetivos e na missão.
- A função TOMADA DE DECISÃO determina o que deve ser realizado para manter ou modificar o estado atual do ambiente. Isto é de responsabilidade do comandante que considera as recomendações do estado maior.
- A função AÇÃO executa esta decisão.

3.8 SISTEMAS DE COMANDO E CONTROLE E SISTEMAS A EVENTOS DISCRETOS

De acordo com Miyagi (1996), o controle pode ser definido como a “aplicação de uma ação pré-planejada para que aquilo que se considera como objeto de controle atinja certos objetivos”. Satisfazer estes objetivos no caso do controle de SED (Sistemas a Eventos Discretos) corresponde à execução de operações conforme um procedimento pré-estabelecido. Este procedimento define a ordem em que as ações devem ocorrer, isto é, “controle de SED é o controle que, baseado num procedimento pré-estabelecido ou numa lógica fixa que estabelece um procedimento, executa ordenadamente cada estágio do controle”. A Figura 3.4 apresenta o diagrama conceitual básico dos sistemas de controle de SED.

As funções do sistema de controle para SED são por sua vez estruturados de acordo com a Figura 3.5.

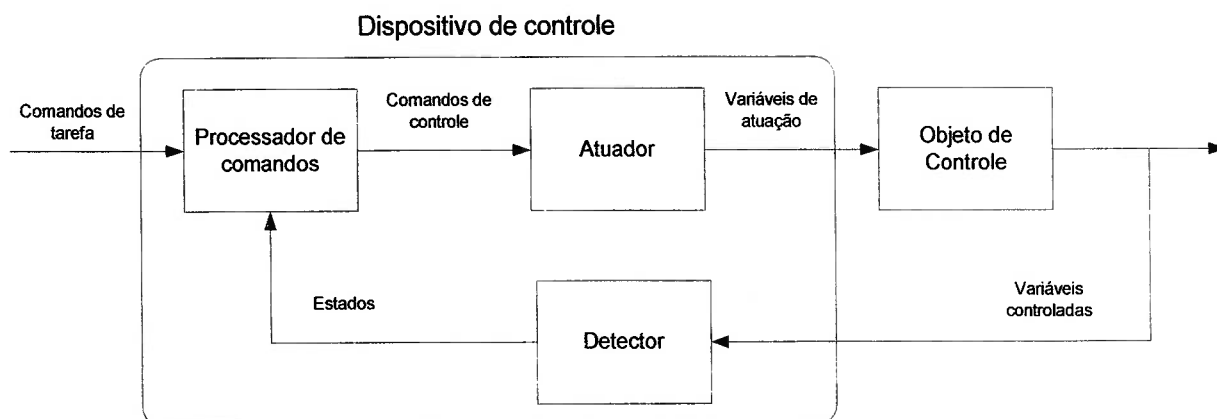


Figura 3.4: Diagrama conceitual básico dos sistemas de controle de SED (Miyagi, 1996).

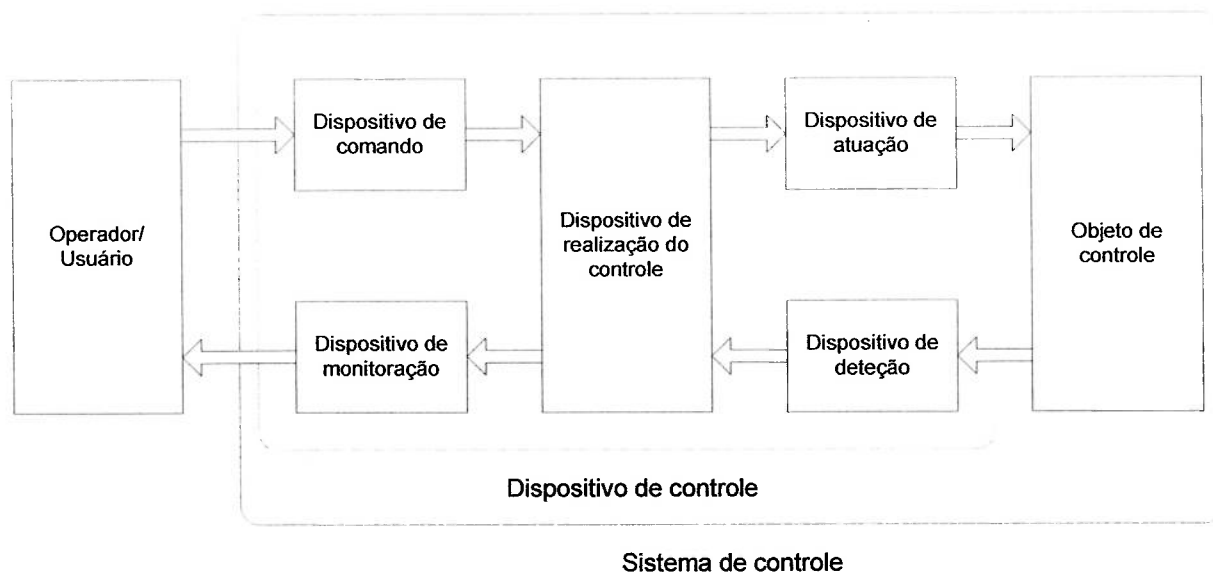


Figura 3.5: Diagrama conceitual básico da estrutura do sistema de controle de SED (Miyagi, 1996).

Segundo este esquema, os principais dispositivos do controle de SED, utilizados no sistema de comando e controle para navios de guerra podem classificar-se da seguinte forma (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 Classificação dos dispositivos e exemplo em sistemas de comando e controle.

Classificação	Definição	Exemplos de dispositivos
Dispositivos de comando	Responsáveis pela conversão de comandos do usuário/operador para os sinais tratados pelo sistema de controle	Teclados, botões, chaves e interfaces de comando do Visualizador Panorâmico Naval
Dispositivos de atuação	Responsáveis pela modificação do estado do objeto de controle a partir do sinal recebido pelo dispositivo de realização do controle	Sistemas de armas
Dispositivos de detecção	Responsáveis pela detecção do estado do sistema.	Sistemas de sensores
Dispositivos de monitoração	Responsáveis pela apresentação do estado do sistema ao usuário/operador	Monitores, sinalizadores e alarmes do Visualizador Panorâmico Naval
Dispositivos de realização	Responsáveis pela comparação do valor/estado desejado e pelo processamento dos dados enviados pelo dispositivo de detecção e de comando, enviando sinais aos dispositivos de atuação e monitoração	Sistema de processamento de sinais, sistemas eletromecânicos, sistemas de conversão analógico-digital, controladores programáveis.

Com base no processo de comando e controle naval (Figura 3.3) e no diagrama conceitual básico da estrutura do sistema de controle de SED (Figura 3.5), deriva-se o diagrama do processo de comando e controle naval de acordo com o sistema de controle de SED apresentado na Figura 3.6.

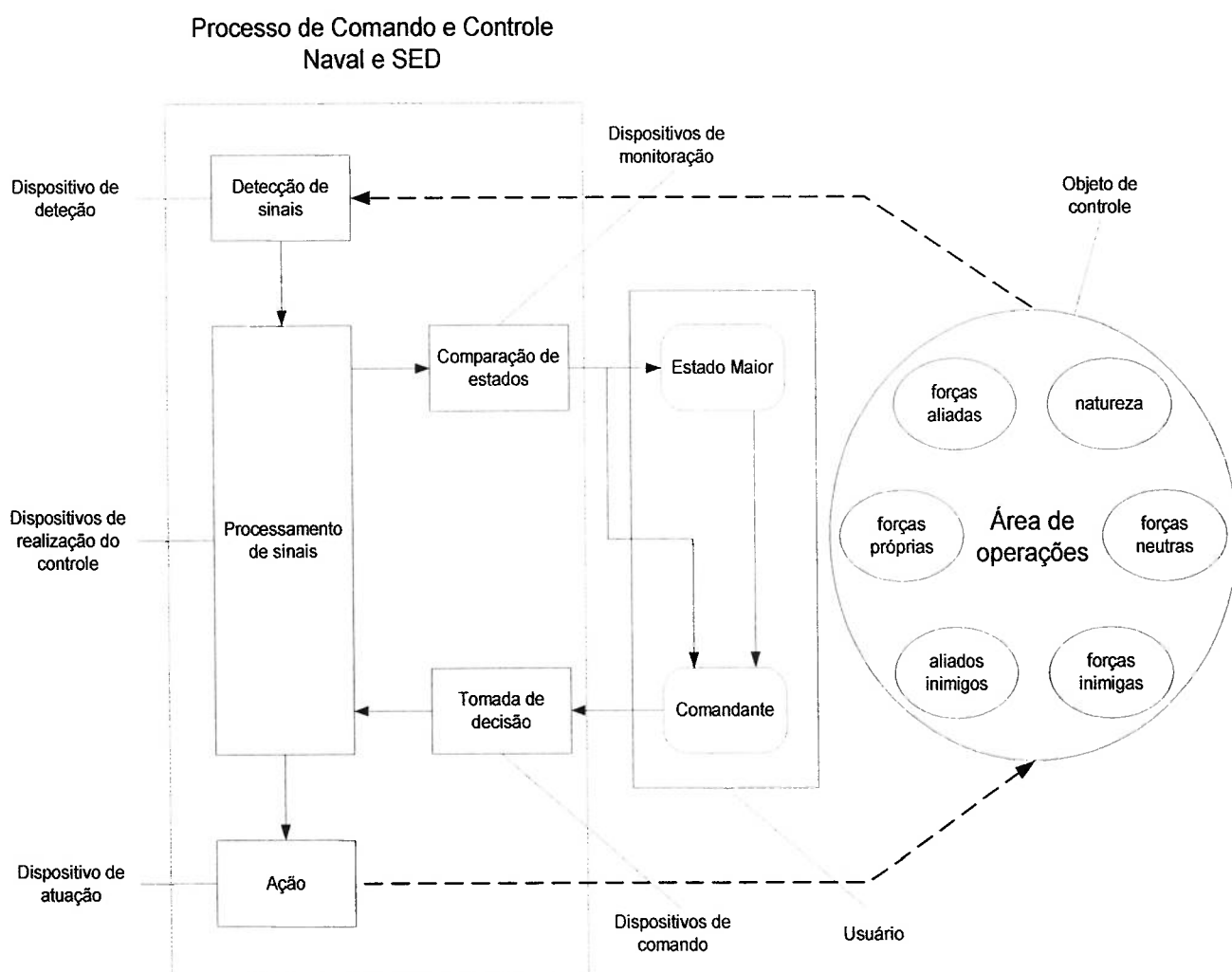


Figura 3.6: Processo de comando e controle naval e SED

3.8.1 Objeto de controle

De acordo com o apresentado em Miyagi (1996), o modelo do objeto de controle pode ser definido no presente trabalho de maneira genérica, isto é, o modelo do objeto de controle é aquele apresentado nas Figuras 3.7 (a) e (b).

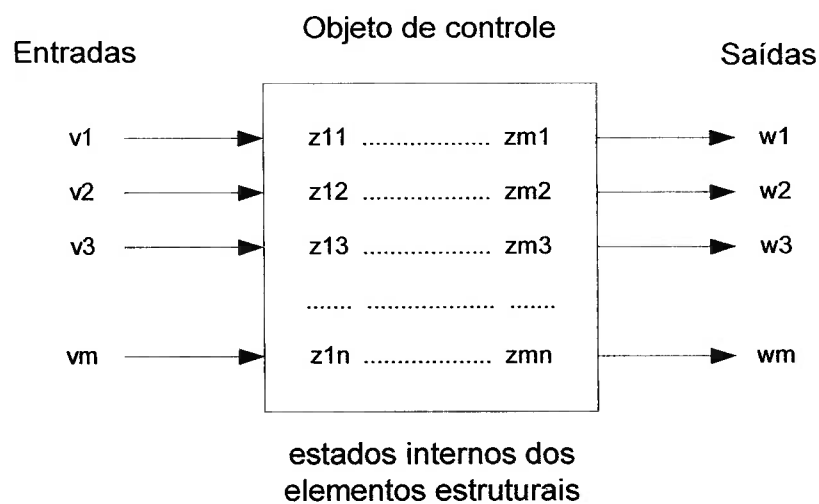


Figura 3.7 (a) Modelo de objeto de controle no controle de SED (Miyagi, 1996)

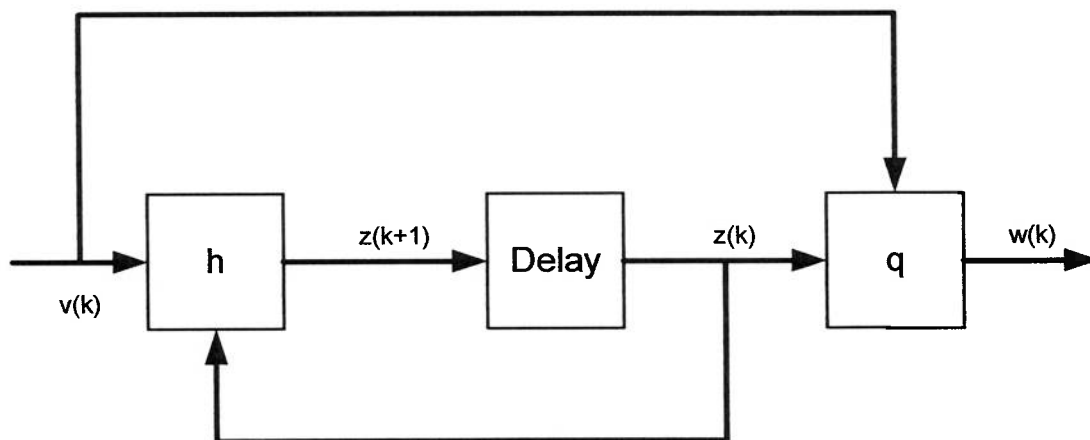


Figura 3.7 (b) Modelo do comportamento do objeto de controle do controle de SED (Miyagi, 1996)

Nestas figuras o objeto de controle pode ser representado por equações de estado (Equação 3.1) e de saída (Equação 3.2) da seguinte forma:

$$z(k+1) = h[z(k), v(k)] \quad (3.1)$$

$$w(k) = q[z(k), v(k)] \quad (3.2)$$

Onde:

v = representa o vetor dos sinais de entrada sobre os m elementos estruturais.

z = representa o vetor dos n estados dos m elementos estruturais.

w = representa uma variável vetorial de saída que é uma combinação dos m elementos estruturais e n estados assumidos por estes.

$h[]$ = é uma função matricial.

$q[]$ = é uma função matricial.

A equação 3.1 indica que o estado interno do objeto de controle num passo seguinte depende do estado atual do próprio objeto e do sinal de entrada presente. A equação 3.2 mostra que a saída depende do estado atual e da entrada atual do elemento.

3.8.2 Dispositivos utilizados em um navio de guerra

Entre os principais dispositivos utilizados em um navio de guerra para poder efetuar tarefas de comando e controle dentro de uma área de operações, têm-se os seguintes:

Dispositivos de Comando e Monitoração:

- Visualizador Panorâmico Naval: considera-se como o elemento que faz a interface com os usuários do sistema de comando e controle. Nele são detalhadas de forma gráfica todas as informações obtidas da área de operações. Além disso o responsável pelo sistema de comando e controle pode acionar teclas e outros dispositivos que definem os comandos a serem executados pelo sistema de comando e controle.

Dispositivos de Detecção

- Radar: sistema eletrônico que permite a detecção de objetos fora do alcance da vista através da emissão de ondas eletromagnéticas. A palavra radar corresponde as iniciais em inglês de “Radio Detection And Ranging”. A informação provida por estes dispositivos são a velocidade, posição e tamanho do objeto detectado.
- Sistema de dados do navio: conformado pelo giro compasso, anemômetro e o sensor de velocidade. Permitem coletar informações sobre o estado do meio ambiente, necessárias por exemplo para o cálculo de tiro.

Dispositivos de Atuação

- Sistema de Armas: composto pelo radar de controle de tiro, a arma e o calculador (responsável pelo cálculo das condições para efetuar o disparo da arma).
- Radar de controle de tiro (RCT): tem seu funcionamento descrito na mesma forma que o radar, mas sua função é seguir ou rastrear de alvos. A informação provida por eles é transmitida diretamente para o sistema de armas. Além de dados sobre velocidade e posição, também informa a altura do alvo.
- Arma: o navio pode utilizar mísseis, artilharia, torpedos, foguetes e emissões eletromagnéticas de alta potência.

Dispositivos de realização

- Controladores e calculadores: sistema de processamento de sinais, sistemas eletromecânicos, sistemas de conversão analógico-digital, controladores programáveis.

3.9 SISTEMAS C³I PARA NAVIOS DE GUERRA

Existem diferentes definições para os sistemas de comando e controle e o ponto em comum é que sua abrangência e funções são controversas, e sujeito a

muitas e diferentes interpretações. O termo pode significar quase tudo: qualquer coisa que o usuário deseje que signifique (Moll, 1981).

Comando e controle (C^2) e seus derivados Comando, Controle e Comunicações (C^3), Comando, Controle, Comunicações e Computadores (C^4), Comando, Controle, Comunicações e Inteligência (C^3I), Comando, Controle, Comunicações, Inteligência e Interoperabilidade (C^3I^2) não têm uma definição trivial. Um ponto de partida é a definição oficial do Departamento de Defesa dos Estados Unidos de América (DoD) sobre comando e controle apresentada em Coakley (1991): “O sistema de comando e controle é a organização dos recursos disponíveis ao comandante para que possa conduzir as operações de suas forças para alcançar a missão designada”.

Esta definição, projetada para ser aplicada a diversas atividades, não especifica completamente três aspectos básicos: “O que” as forças designadas devem realizar, “como” o comandante deve utilizar os recursos (pessoal, equipamento, comunicações, instalações) e os procedimentos para realizar isto.

A estrutura de um sistema de comando e controle para as forças navais de um país influencia as tarefas navais, suas missões, dimensões, estruturas e disposições. Sua estrutura muda de acordo com as características específicas como: geografia e topografia do país, *forma e longitude de suas praias*²¹, condições geopolíticas, intensidade dos interesses navais do país, área da plataforma submarina em que o país tem interesses econômicos, direitos de pesca, tráfego marítimo, etc.

Neste contexto é que o sistema C^3I se apresenta como uma parte dos navios de guerra, fundamental para garantir a realização do processo de comando e controle da maneira mais eficaz.

O sistema C^3I é descomposto em quatro subsistemas Estes subsistemas representam a parte de “Inteligência” relacionada à captação de informação por meio da percepção do ambiente, à parte de “Comando” relacionada à elaboração de uma visão do estado do ambiente e ao apoio à decisão do comandante, à parte de

²¹ Características da área da costa.

“Controle” relacionada com a execução das ordens do comandante e a parte de “Comunicações” relacionada com as interconexões entre os subsistemas.

Esta decomposição do sistema estabelece uma distinção entre os diversos subsistemas que formam o sistema C³I.

Assim os únicos subsistemas que têm uma relação com o ambiente externo ao sistema são os sistemas de “Inteligência” e de “Controle”. As conexões entre os sistemas se fazem por intermédio do sistema de “Comunicações”. Cabe mencionar que o comandante não faz parte do sistema C³I, mas é o elemento fundamental do processo de comando e controle, ao tomar as decisões que o sistema C³I deve implementar. O comandante não é modelado neste trabalho.

De maneira ilustrativa apresenta-se na Figura 3.8, o sistema C³I com seus subsistemas de “Comando”, “Controle”, “Comunicações” e “Inteligência”.

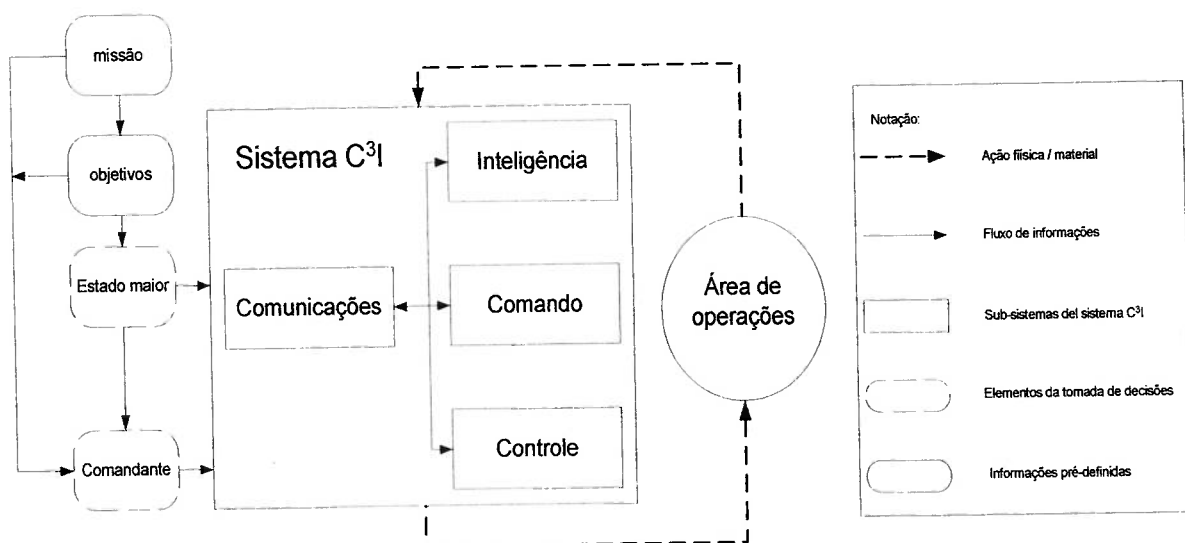


Figura 3.8: Subsistemas do Sistema C³I.

É necessário mencionar que a missão, objetivos, estado maior e o comandante são elementos externos ao sistema C³I, mas interagem com ele.

A Figura 3.9 mostra em maior detalhe como os processos do comando e controle naval, apresentados anteriormente na Figura 3.3, são reagrupados nos subsistemas do sistema C³I.

O critério pelo qual se define esta estrutura, é a similaridade de características encontradas na realização dos processos de comando e controle naval, com as atividades inerentes aos subsistemas do sistema C³I.

O subsistema de comunicações faz parte do processo de comando e controle naval como a interface entre os demais subsistemas.

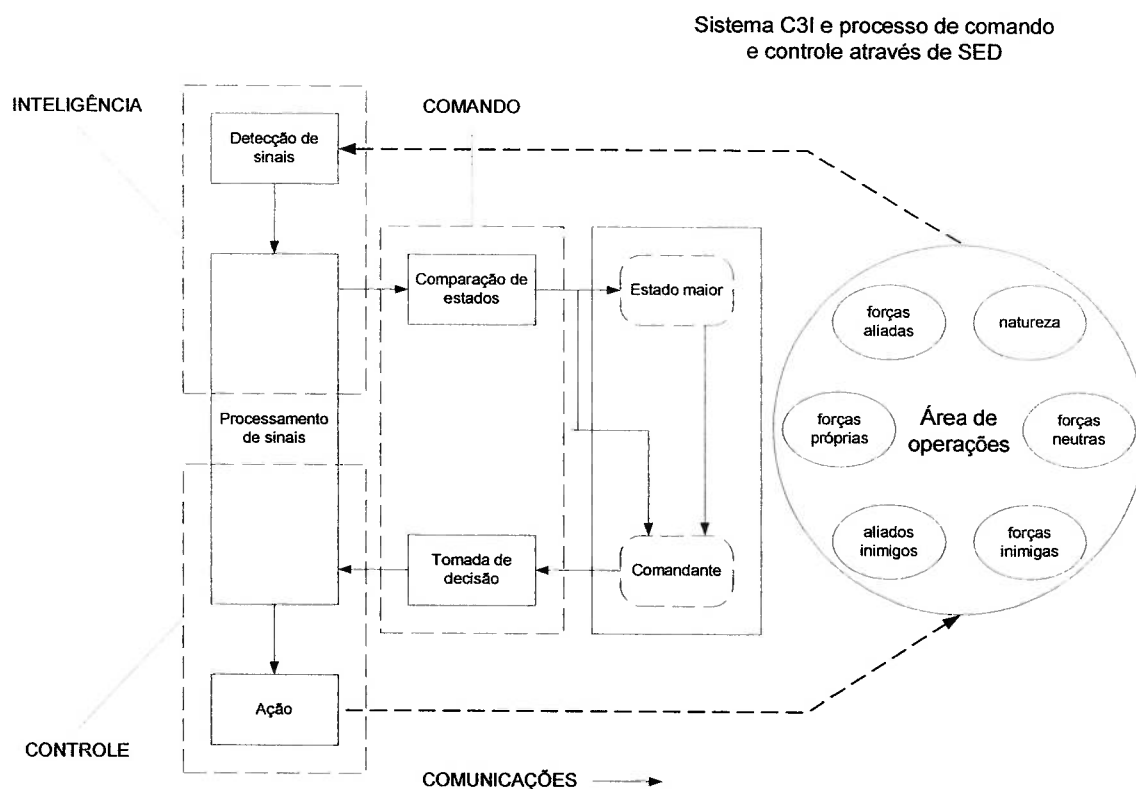


Figura 3.9: Processo de comando e controle no Sistema C³I.

3.10 COMENTÁRIOS SOBRE O CAPÍTULO

No presente capítulo apresentaram-se os conceitos fundamentais do processo de comando e controle com ênfase na aplicação militar. Discutiu-se também a utilização dos sistemas de comando e controle, em particular o sistema C³I, para a implementação do comando e controle naval. Os conceitos foram considerados no

contexto militar mas, na medida do possível, pode-se fazer uma analogia com outros tipos de organizações.

CAPÍTULO 4

METODOLOGIA IDEF0 E REDES DE PETRI

4.1 METODOLOGIA IDEF0

No contexto deste trabalho, considera-se que um modelo é uma representação de aspectos de interesse de um sistema. O modelo é desenvolvido para compreender, analisar, melhorar ou substituir um sistema. Sistemas por outro lado, são compostos de partes interdependentes que trabalham e interagem para realizar uma função, atividade ou tarefa. As partes de um sistema envolvem diferentes entidades, incluindo pessoas, informação, softwares, processos, equipamentos, produtos ou matéria prima. O modelo descreve o que o sistema faz, como é controlado, que coisas trabalham nele, que recursos são utilizados para realizar suas funções e o que produz (Estados Unidos, 2003).

O IDEF0 é uma técnica de modelagem conceitual baseada em uma combinação de gráficos e textos (Bouti & Ait Kadi, 1995) que são apresentados de uma maneira organizada e segundo uma semântica própria para coletar informação, ajudar na análise, subsidiar a lógica para mudanças potenciais, especificar requisitos e respaldar atividades de integração. O componente básico do diagrama IDEF0 é o bloco funcional que é apresentado na Figura 4.1.

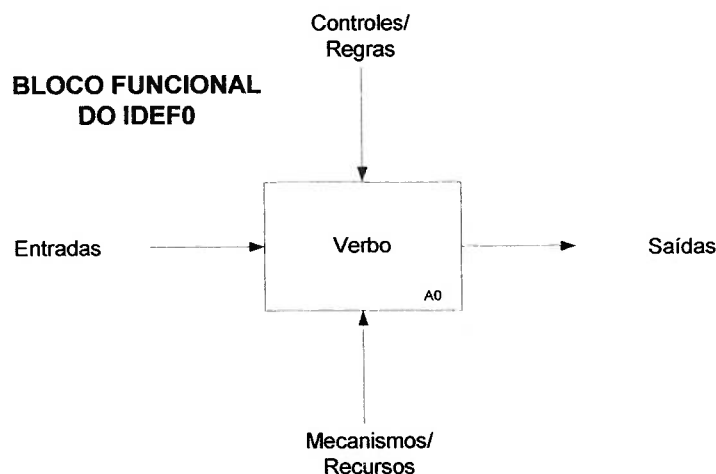


Figura 4.1: Bloco funcional do diagrama IDEF0.

Os blocos representam os *processos* (função, atividade, tarefa, etc.) e estão associados a um *verbo* representativo. As *entradas* são os recursos utilizados no processo, os *controles* são as regras de operação do processo, os *mecanismos* são as ferramentas utilizadas no *processo* e as *saídas* são os produtos do *processo*.

Existem três tipos de diagramas: gráficos, de texto e de glossário. Os diagramas gráficos definem funções e relações funcionais através da semântica e sintaxe de blocos e setas. Os diagramas de texto e de glossário propiciam informação adicional aos diagramas gráficos.

Um modelo IDEF0 é composto por uma série de diagramas que gradualmente incrementam os níveis de detalhe, descrevendo as funções e suas interfaces dentro do contexto do sistema como é apresentado na Figura 4.2.

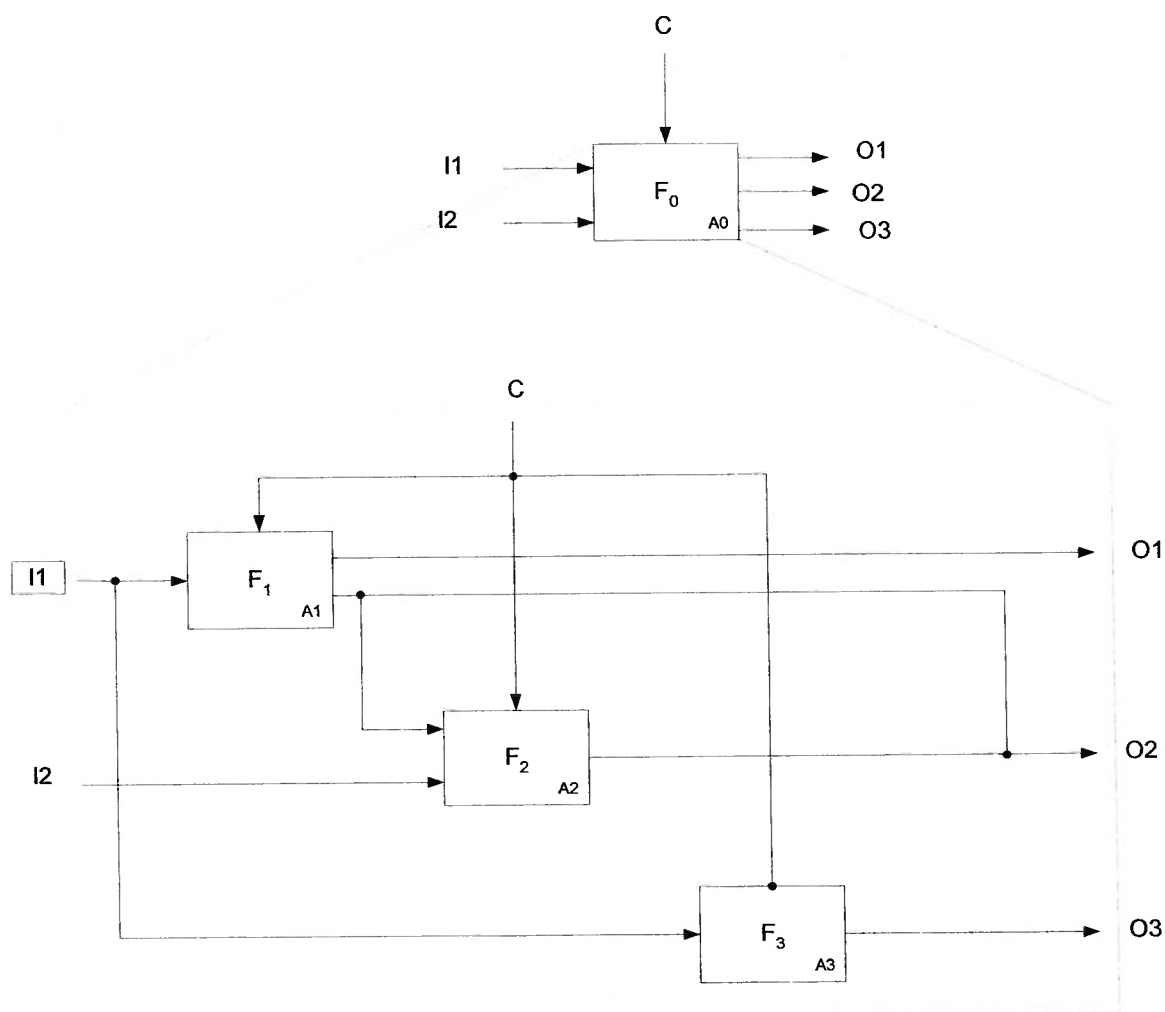


Figura 4.2: Decomposição hierárquica dos diagramas IDEF0.

O IDEF0 é uma técnica para a análise de necessidades, definição de requerimentos, desenho de sistemas, definição de procedimentos de manutenção e de políticas de melhoras contínuas (Peters & Peters, 1997). O IDEF0 é uma ferramenta para o projeto das funções e das interfaces que devem ser identificadas e definidas de modo a tornar as decisões lógicas, acessíveis, integráveis e realizáveis. O modelo IDEF0 reflete como as funções do sistema se relacionam e de certa forma têm papel análogo ao projeto de um produto que reflete como as diferentes partes dele são combinadas. Segundo as normas da IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) (1998), o IDEF0 deve ser usado de uma maneira sistemática e está associado a uma metodologia para:

- Realizar a análise e desenho de sistemas, independentemente do nível de abordagem das entidades envolvidas: pessoas, máquinas, materiais, computadores ou informação.
- Produzir a documentação de referência concomitante com a evolução do processo de desenvolvimento do sistema, dando suporte como uma base para a integração de novos sistemas ou melhoramento de sistemas existentes.
- Realizar a comunicação entre analistas, planejadores, usuários e gerentes.
- Permitir o consenso de grupo de trabalho através de entendimento do sistema.
- Gerenciar projetos longos e complexos usando medições qualitativas de progresso.
- Prover uma arquitetura de referência para análise de ambiente, sistema de informação e gerenciamento de recursos.

O modelo IDEF0 representa uma situação estática, a qual é fundamental para compreender a estrutura do sistema, adicionalmente é também um procedimento de simulação, o qual pode ser associado para a análise de sua dinâmica. (Whitman et al., 1997).

Os usos típicos da modelagem com o IDEF0 (Nathan & Wood, 1991 ; Reimann & Sarkis, 1996 ; Snodgrass, 1993) são:

- Análise e desenho do sistema e seu processo de implementação.

- Auxílio na redução de complexidade do sistema.
- Auxílio na identificação do conhecimento comum do sistema.
- Suporte nas decisões de compra.
- Auxílio na documentação.

A construção de um modelo IDEF0 envolve uma metodologia com regras que devem ser rigorosamente obedecidas. A razão para este rigor é assegurar uma representação consistente e completa. Desta forma, a sintaxe do IDEF0 é explicitamente definida.

4.2 REDES DE PETRI

4.2.1 Modelagem de Sistemas a Eventos Discretos (SED)

Modelos baseados em sistemas a eventos discretos são comumente utilizados para descrever, analisar e controlar processos observados em diversos ambientes onde a dinâmica de seu comportamento é governada pela ocorrência de eventos que não são considerados contínuos no tempo (Cassandras, 1993).

Os sistemas de comando e controle têm sua dinâmica definida através das mudanças de estados discretos devido à ocorrência de eventos que podem ser considerados instantâneos (Griffin & Skinner, 1999 ; Zhou, 1994). Estes sistemas cuja dinâmica é dirigida pela ocorrência de eventos instantâneos são conhecidos como Sistemas a Eventos Discretos (SED) (Miyagi, 1996 ; Ramadge & Wonham, 1989), e atualmente existem diferentes técnicas para sua especificação, análise e controle.

É comum ver os sistemas a eventos discretos modelados como autômatos finitos (Ramadge & Wonham, 1989) mas, na prática estes modelos são de difícil construção e requerem profissionais altamente treinados.

Fazer a modelagem dos sistemas a eventos discretos com Redes de Petri pode ajudar na solução dessas dificuldades (Murata, 1989 ; Peterson, 1991 ; Reisig, 1985). Os modelos de Redes de Petri são normalmente mais compactos que os modelos

baseados em autômatos, representam o mesmo comportamento do sistema e são mais apropriados para a descrição de sistemas com estruturas repetidas e fluxos com uma grande quantidade de estados alcançáveis.

As Redes de Petri permitem a modelagem da ocorrência simultânea de múltiplos eventos sem que isto envolva um incremento da complexidade do modelo, como no caso dos autômatos. Além disso, elas têm uma representação gráfica que explícita a evolução dos estados do sistema assim como identifica a dependência entre suas partes.

A representação gráfica e a formulação algébrica das Redes de Petri têm sugerido seu uso em diferentes áreas. As Redes de Petri têm sido usadas para modelar sistemas de computação com multiprocessamento, redes de computadores, protocolos de comunicação digital, processos de controle de plantas, sistemas de filas, células flexíveis de manufatura, entre outras (Denham, 1989).

As Redes de Petri (Desel & Esparza, 1995 ; Murata, 1989 ; Peterson, 1981 ; Reisig, 1985) têm uma representação matemática, empregando matrizes e álgebra linear (Moody & Antsaklis, 2000), tornando-as particularmente úteis para análise funcional de sistemas.

4.2.2 Fundamentos das Redes de Petri

O conceito de Rede de Petri foi introduzido inicialmente por Carl Adam Petri, em sua tese de doutorado em 1962 (Bowden & Pearce, 2000) como uma técnica de modelagem gráfica e matemática de descrição de relações entre condições e eventos no estudo de protocolos de comunicação entre componentes assíncronos (Vasilis et al., 1997).

Embora ocorresse uma ampla divulgação acadêmica ao longo de três décadas, o seu potencial só foi reconhecido na metade da década de oitenta, onde esta teoria foi usada para implementações práticas nas áreas de informática e manufatura devido à disponibilidade de compartilhamento de novos recursos computacionais.

Além das aplicações citadas anteriormente, as Redes de Petri também têm demonstrado sua efetividade para sistemas de comando e controle (Berger & Lamontagne, 1993 ; Bowden & Davies, 1997 ; Choi & Kuo, 1988). Nestas pesquisas, têm sido proposta a aplicação de Redes de Petri coloridas para a modelagem de sistemas de comando e controle naval (Berger & Lamontagne, 1993) ou a aplicação de Redes de Petri ordinárias na modelagem dos processos de comando e controle. No entanto, estas pesquisas não discutiram a metodologia da modelagem de sistemas de comando e controle e nem consideraram os casos atuais dos sistemas C³I.

4.2.3 Elementos das Redes de Petri

As redes de Petri são grafos bipartidos²² compostos de *lugares* (representados por círculos), *transições* (representados por barras), *arcos* orientados interligando os componentes anteriores e *marcas* (utilizadas para definir o estado de uma Rede de Petri).

A execução de uma Rede de Petri é controlada pelo número de *marcas* e sua distribuição na rede. As *marcas* residem nos *lugares* e determinam o *disparo* das *transições* da rede. Uma *transição dispara* removendo as *marcas* dos seus *lugares* de entrada e criando novas *marcas* em seus *lugares* de saída. A relação de elementos de entrada e/ou saída é definida pelo sentido dos arcos.

As regras básicas²³ para a modelagem da evolução dos estados da Rede de Petri incluem:

- Uma *transição* só pode ser *disparada* se seus *lugares* de entrada estão *marcados* (eles têm pelo menos uma *marca*);
- No *disparo*, a *transição* remove uma *marca* de cada *lugar* de entrada e coloca uma *marca* em cada *lugar* de saída;

²² Os arcos só podem interligar elementos de natureza diferente (Peterson, 1981).

²³ Por simplificação, considera-se nesta introdução às Redes de Petri, as regras das Redes de Petri tipo condição/evento (Reisig, 1992)

- As *marcas* não têm identificação e são usadas apenas para indicar se a condição representada é verdadeira (marcada) ou falsa (não marcada).

Pode-se associar também temporizações às *transições* para representar o tempo requerido para completar uma atividade, neste caso a *transição* só pode *disparar* após o *término do tempo* associado.

Pode-se considerar outros tipos de *arcos* que proporcionam condições adicionais para o disparo das *transições*: o *arco habilitador* que habilita a *transição*, caso o *lugar* a que se refere esteja *marcado*, e o *arco inibidor*, que desabilita a *transição* caso o *lugar* a que se refere esteja *marcado*. A ocorrência do *disparo* desta *transição* (em ambos casos) não altera a marcação do lugar na origem do *arco habilitador* ou *inibidor*. A Figura 4.3 (a) mostra um exemplo de Rede de Petri com seus elementos básicos e seus elementos adicionais.

As Figuras 4.3 (b), (c), (d), (e) e (f) ilustram a aplicação da *regra de disparo* explicitando a seqüência dos estados da Rede de Petri. Na Figura 4.3 (a), as condições “solicitação de disparo de míssil” e “míssil disponível” habilitam a *transição* “designar míssil”. Com o *disparo* desta *transição*, tem-se a alteração do estado da rede que é indicado na Figura 4.3 (b).

Como a condição “sistema de míssil operando” também habilita a *transição* “preparar míssil”, ela pode ser *disparada*, resultando na nova condição “míssil em espera de dados” de acordo à Figura 4.3 (c).

A condição “míssil em espera de dados” habilita a *transição temporizada* “processando dados do alvo” a qual representa uma atividade que leva um certo tempo para sua execução, e que é representado na Figura 4.3 (d). Uma vez decorrido o tempo atribuído a esta *transição*, ela pode disparar e a nova condição é “míssil pronto” que é apresentado na Figura 4.3 (e).

Quando a condição “míssil pronto” está *marcada*, a *transição* “disparar míssil” pode *disparar* se a condição de “ordem de disparo de míssil” encontrar-se

sem *marca*. O *disparo* desta *transição* coloca uma *marca* no evento “míssil disparado” de acordo com a Figura 4.3 (f).

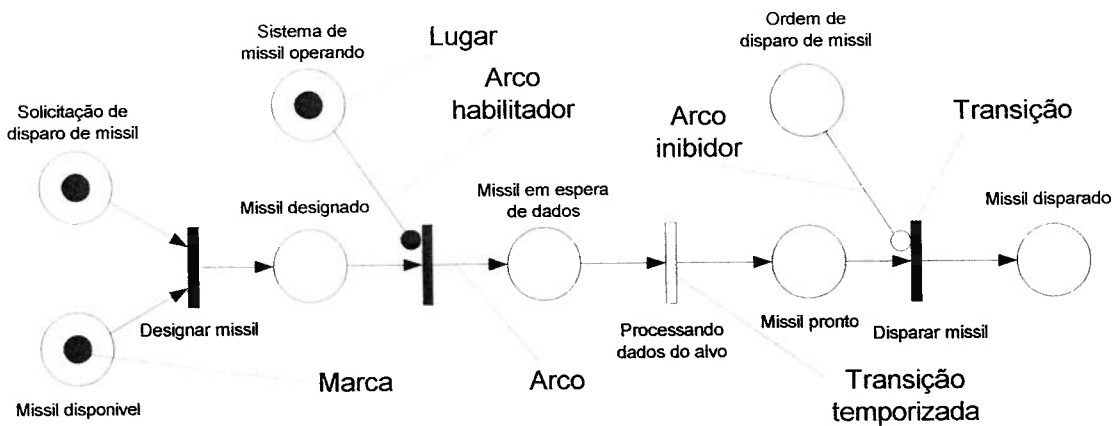


Figura 4.3 (a): Rede de Petri com seus elementos básicos. Nesta rede os lugares representam as condições e as transições representam as ações de um processo de lançamento de um míssil.

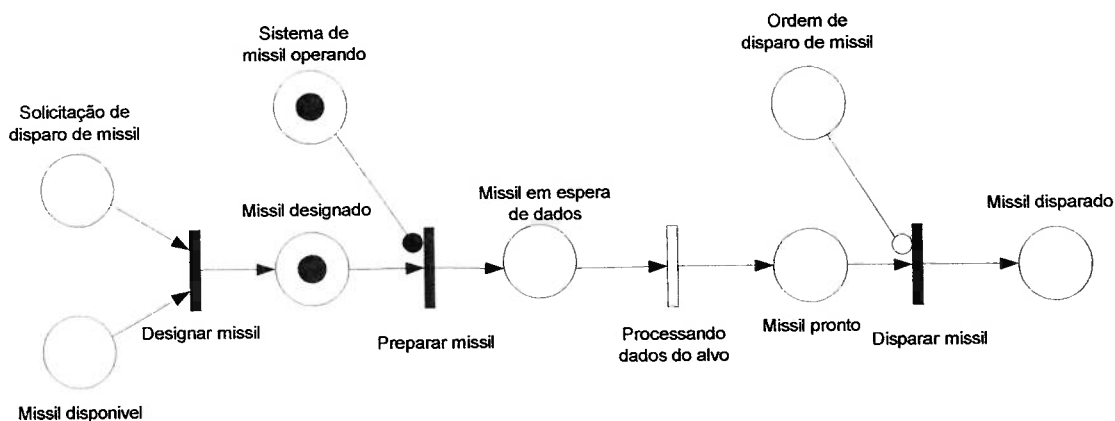


Figura 4.3 (b): Míssil designado e sistema de míssil operando.

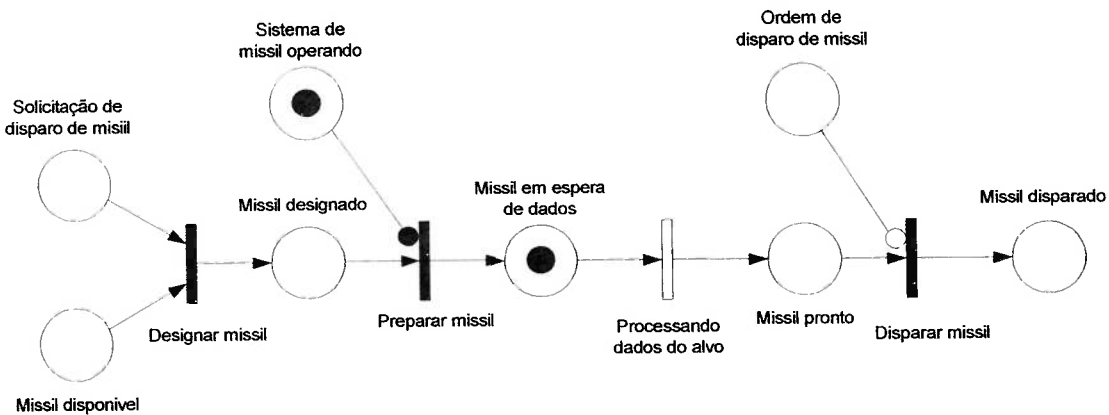


Figura 4.3 (c): Míssil em espera de dados.

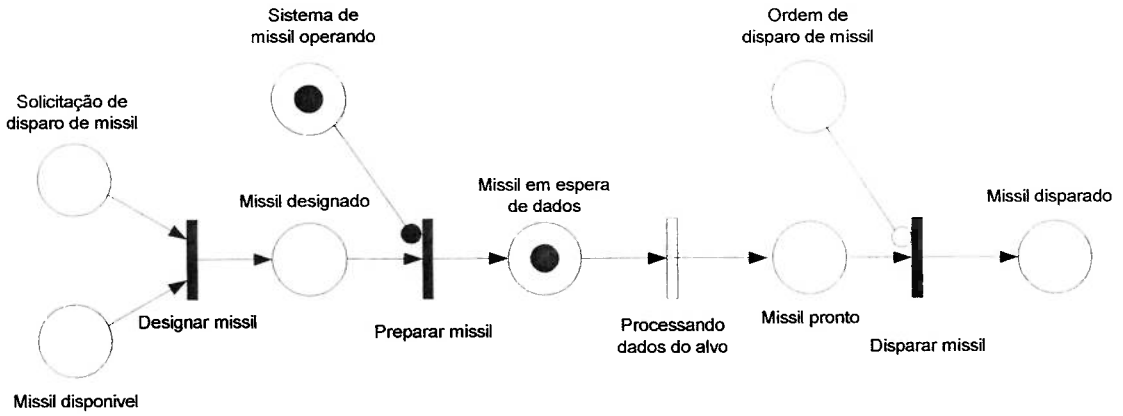


Figura 4.3 (d): Processando dados do alvo.

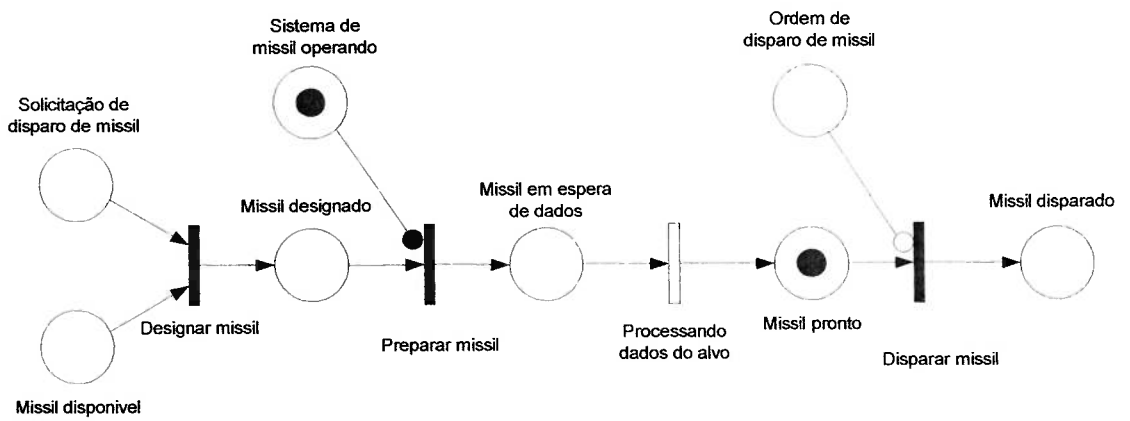


Figura 4.3 (e): Missil pronto.

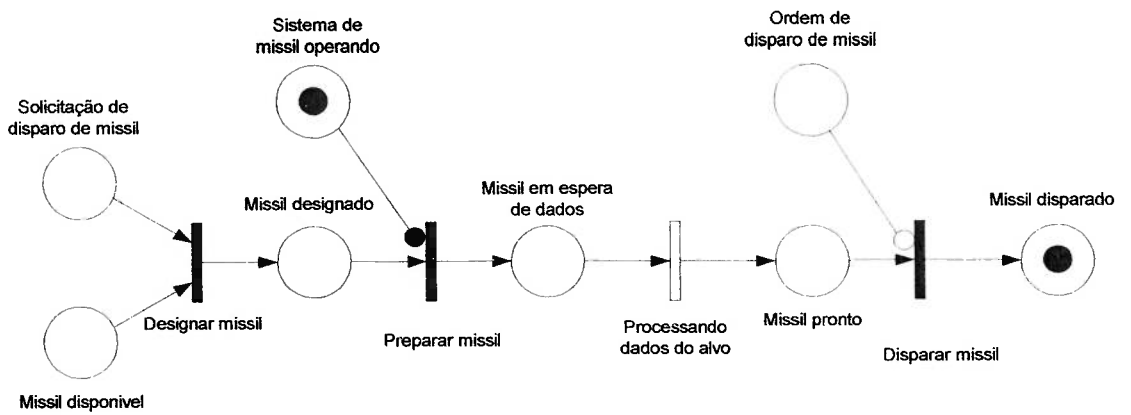


Figura 4.3 (f): Missil disparado.

4.3 IDEF0 E REDES DE PETRI

Embora a análise de grafos gerados pelo IDEF0 possa proporcionar importantes informações sobre a estrutura dos processos de um sistema, ela não responde às perguntas que as Redes de Petri podem responder (Schultz & Peters, 1993).

As Redes de Petri têm sido assim associadas e combinadas com outros conceitos para aumentar seu poder de modelagem em particular ao relacionado com a capacidade de representar o comportamento dinâmico de sistemas complexos e de grande porte (Peters & Peters, 1997).

O grande problema que o analista enfrenta no uso das Redes de Petri é em relação a como construí-la de modo racional e sistematizado. Por outro lado, o IDEF0 provê uma forma organizada para identificar os principais fluxos e componentes de um sistema (Bosilj-Vuksic et al., 2000). Assim, alguns pesquisadores procuraram identificar a correspondência entre elementos do IDEF0 com elementos das Redes de Petri.

Uma possível correspondência entre o IDEF0 e as Redes de Petri é apresentada no trabalho de Bosilj-Vuksic et al. (2000). A Tabela 4.1 compara os grafos de acordo ao critério de uso, e a Tabela 4.2 apresenta uma comparação dos elementos dos diagramas IDEF0 e Redes de Petri

Tabela 4.1 Comparação do IDEF0 e Redes de Petri de acordo com o critério de uso.

Critério de uso	Diagramas IDEF0	Redes de Petri
Simplicidade	Sim	Sim
Poder de representação	Estática	Dinâmica
Estrutura hierárquica	Possível	Possível

Tabela 4.2 Comparação dos elementos do IDEF0 e Redes de Petri.

Elementos	Diagramas IDEF0	Redes de Petri
Processos	Sim (conexões dos modelos numa rede)	Sim
Atividade	Sim (Bloco Funcional)	Sim (<i>Transição</i>)
Entidade	Sim, implicitamente (fluxo de dados através da rede de atividade)	Sim (<i>Marcas</i>)
Recursos	Sim (Seta inferior)	Sim (<i>Marcas</i>)
Filas	Não	Sim (<i>Lugares</i>)
Evento	Não	Sim (mecanismo de disparo)
Controle	Sim (Seta superior)	Sim (condições, regras, etc)
Dinâmica	Não	Sim

Os trabalhos de Bosilj-Vuksic et al. (2000), Hilt et al. (1994), Koh et al. (1991), Nowak et al. (1996) e Tse & Pong (1991), envolvem a conversão de modelos IDEF0 para modelos em Redes de Petri, onde as caixas do IDEF0, que representam as atividades, são transformadas em transições nos modelos de Redes de Petri, e onde as setas, que representam o fluxo de informações no IDEF0, são transformadas em lugares nos modelos das Redes de Petri.

Estas regras de transformações foram comprovadas nos trabalhos específicos citados, entretanto, carecem ainda de uma metodologia geral para a conversão de modelos IDEF0 para modelos em Redes de Petri próprios para o controle, como o MFG. Por conseguinte introduz-se o PFS como conexão entre as duas representações.

4.4 PRODUCTION FLOW SCHEMA (PFS)

O PFS (Production Flow Schema) (Miyagi, 1988), é uma classe de rede canal-agência (Reisig, 1985) devidamente interpretada para sistemas produtivos. Constitui uma técnica para desenvolver uma descrição funcional hierárquica de um sistema a partir de seu modelo conceitual, ou seja, num nível mais alto de abstração (Santos Filho et al., 2001) sem o detalhamento do seu comportamento dinâmico.

O PFS baseia-se em aplicar a técnica de refinamentos sucessivos através de uma abordagem “top-down”, de maneira que seja possível inserir progressivamente no modelo o detalhamento dos processos do sistema. O objetivo é representar o fluxo de operações tendo como referência a evolução dinâmica de um determinado processo.

Os elementos do PFS são os seguintes:

- Elementos ativos chamados “atividades”: representam um sub-processo ou um componente ativo do sistema capaz de realizar transformações. As atividades podem agregar uma ou mais operações e pode ser refinada em sub-atividades. Correspondem a um macro-elemento delimitado por “[“ e “]”.
- Elementos passivos chamados “distribuidores”: representam componentes passivos, capazes de armazenar, permanecer em determinados estados ou tornar os itens visíveis. É indicado graficamente por uma circunferência. Entre duas atividades sempre existe um elemento distribuidor.
- Arcos: conectam “atividades” e “distribuidores” representando o fluxo de materiais e/ou informações. Explicitam uma relação lógica entre estes elementos. No PFS se tem os fluxos primários, que estão conectados diretamente aos símbolos “[“ e “]”, e os fluxos secundários, que estão conectados à parte interna da “atividade” (este fluxo não é obrigatório).

A Figura 4.4 apresenta os elementos e os fluxos dentro do PFS.

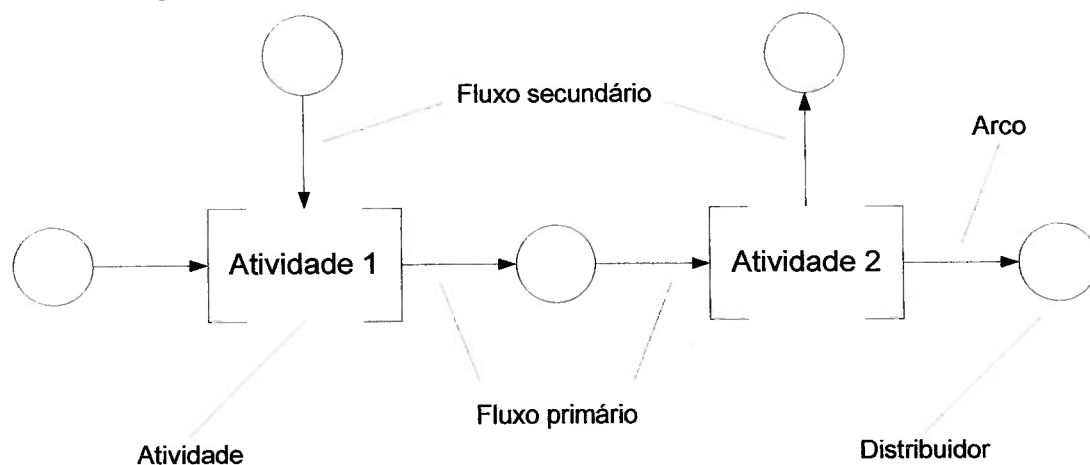


Figura 4.4: Elementos do PFS.

4.5 MARK FLOW GRAPH (MFG)

Mark Flow Graph (MFG) é uma técnica de modelagem derivada da teoria de Redes de Petri tipo condição-evento. O MFG foi desenvolvido para especificar as estratégias de controle seqüencial e programável (Miyagi, 1996). Ele é composto pelos seguintes elementos, de acordo com a Figura 4.5:

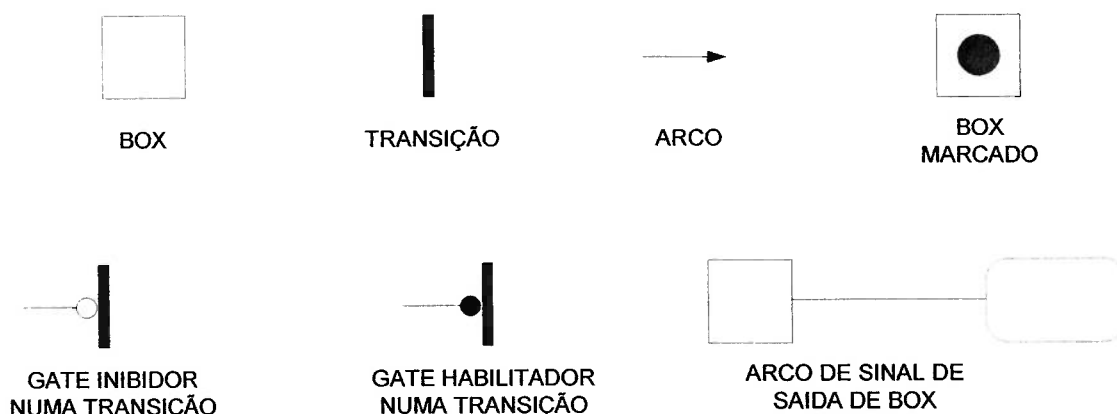
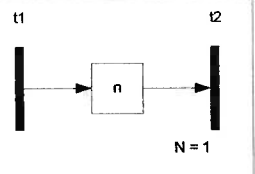
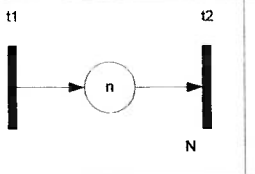
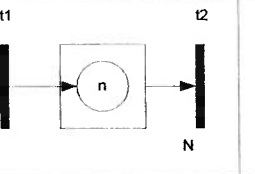
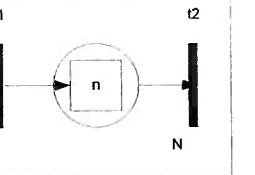


Figura 4.5: Elementos do MFG (Mark Flow Graph).

- *Transição*: corresponde a um evento que causa a mudança de estado do sistema.
- *Box*: representa condições que podem estar associadas ao modo de operação ou à disponibilidade de um recurso do sistema. Existem quatro tipos de *box* com suas respectivas características (Miyagi, 1988) as quais são descritas na tabela 4.3.
- *Arco*: estabelece relações entre os *boxes* e as *transições* e vice-versa.
- *Gate*: habilita ou inibe às *transições*. São denominados habilitadores ou inibidores conforme sua natureza. Estas por sua vez, podem ser subclassificadas em externa ou interna de acordo com a origem do sinal.
- *Marca*: indica a manutenção de certa condição.
- *Arco de sinal de saída*: este arco envia um sinal binário do *box* para os dispositivos externos ao grafo.

Estes elementos são conectados de tal forma que eles formam um grafo orientado bipartido (Liu et al., 1994).

Tabela 4.3 Características dos tipos de Box no MFG.

	Box Simples	Box Múltiplo	Box Agrupador	Box Dispersor
Símbolos: N : Capacidade total de marcas do box n : Número de marcas contidas no box				
Condição necessária para o disparo de t1	$n = 0$	$n < N$	$n < N$	$n = 0$
Condição necessária para o disparo de t2	$n = 1$	$n > 0$	$n = N$	$n > 0$
Resultado do disparo de t1	$n = 1$	$n = n + 1$	$n = n + 1$	$n = N$
Resultado do disparo de t2	$n = 0$	$n = n - 1$	$n = 0$	$n = n - 1$
Gate habilitador indicado por n	Habilita quando $n > 0$			
Gate habilitador indicado por N	Habilita quando $n = N$			
Gate inibidor indicado por n	Inibe quando $n > 0$			
Gate inibidor indicado por N	Inibe quando $n = N$			

Uma das características do MFG é a capacidade de modelar o comportamento dinâmico do sistema. Derivado das Redes de Petri, as *regras de disparo* de uma *transição* no MFG são, em princípio, as mesmas utilizadas para as redes de Petri.

Cada *box* só pode ter no máximo uma *marca*. Para que uma *transição* possa disparar, todos os *boxes* de entrada devem ter uma *marca* e todos os *boxes* de saída devem estar vazios. Além disso, todos os *gates* habilitadores devem estar associados com um *box* marcado e todos os *gates* inibidores devem estar associados com um *box* vazio. Nesta situação a *transição* pode ser *disparada*. Quando uma *transição dispara*, todas as *marcas* dos *boxes* de entrada desaparecem e imediatamente todos os *boxes* de saída obtêm uma *marca*.

Com a finalidade de oferecer maior poder de modelagem e incrementar sua aplicação na análise de sistemas, foram introduzidos também os seguintes elementos ao MFG (Santos Filho, 1993):

- *Box temporizado*: quando uma *marca* aparece neste tipo de *box*, a *transição* conectada à sua saída só pode ser *disparada* depois de decorrido um intervalo de tempo. Este intervalo deve ser especificado junto ao *box*.
- *Transição temporizada*: uma vez que todas as condições de *disparo* estejam satisfeitas, esta *transição* só *dispara* depois de decorrido um intervalo de tempo. Se durante este tempo, uma das condições deixar de ser satisfeita, a contagem de tempo é anulada e será reiniciada somente após todas as condições estarem novamente satisfeitas. Este intervalo deve ser especificado junto à *transição*.

4.6. MARK FLOW GRAPH ESTENDIDO (E-MFG)

A aplicação de MFG para a representação de estratégias de controle que envolvem detalhamento de atributos das ferramentas utilizadas, peças processadas e outros itens típicos dos sistemas flexíveis, evidenciam uma limitação desta técnica: as regras de controle podem ser relativamente complexas, o que dificulta a construção do modelo MFG correspondente e compromete a facilidade de interpretação deste. É neste contexto que o Mark Flow Graph Estendido (E-MFG) foi desenvolvido como técnica de modelagem baseada em *marcas* individuais e regras de produção (Santos Filho, 1993).

4.6.1 Elementos estruturais do E-MFG

Além das características apresentadas dos elementos do MFG, consideram-se as seguintes extensões:

Marca

A *marca* tem a função de representar a manutenção de uma determinada condição. Entretanto, considera-se que estas *marcas* podem ser individualizadas por atributos.

Os *atributos* nas *marcas* podem ser associadas à diferentes informações com referência ao processo, ao controle, etc. Os *atributos* podem ser variáveis lógicas ou inteiras, dependendo de sua natureza. Um exemplo da estrutura de uma *marca individual* é apresentada à seguir:

$$\text{Marca} = \langle a1, a2, a3, a4 \rangle$$

Interpretação: a1 = Velocidade

a2 = Distância

a3 = Posição

a4 = Altura

As *marcas* também podem ser “compostas” quando contêm os *atributos* referentes à composição de várias *marcas* individuais simples. Uma estrutura deste tipo é apresentada na Figura 4.6.

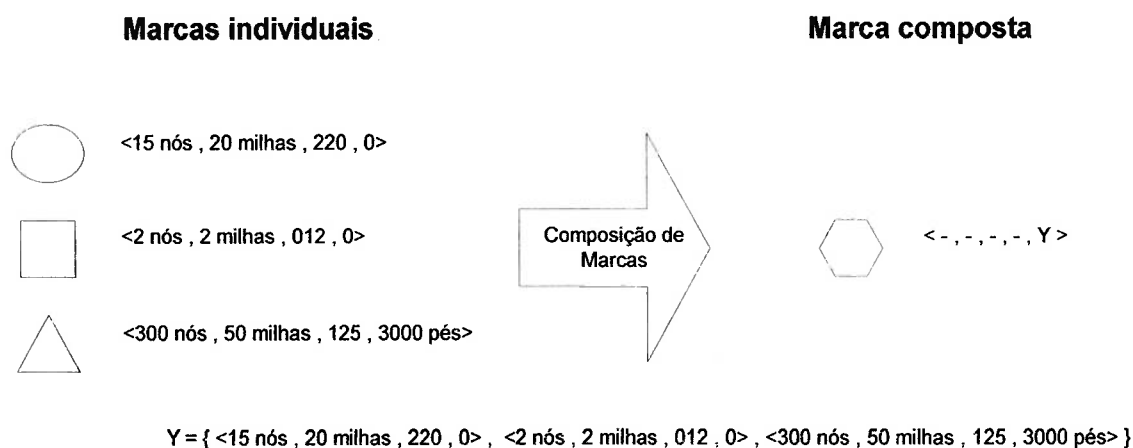


Figura 4.6: Exemplo da estrutura de uma marca composta.

Este tipo de *marca* tem um *atributo* especial reservado como código de controle, o qual permite ter acesso às informações da *marca* e representa o código de controle da composição. A *marca composta* possui todos os campos de atributos nulos, com exceção do campo de controle.

Transição

Considera-se que as *transições* podem admitir inscrições que representam regras adicionais restritivas para a evolução do estado do sistema. A Figura 4.7 representa o exemplo de uma regra adicional de controle associada à *transição* t1.

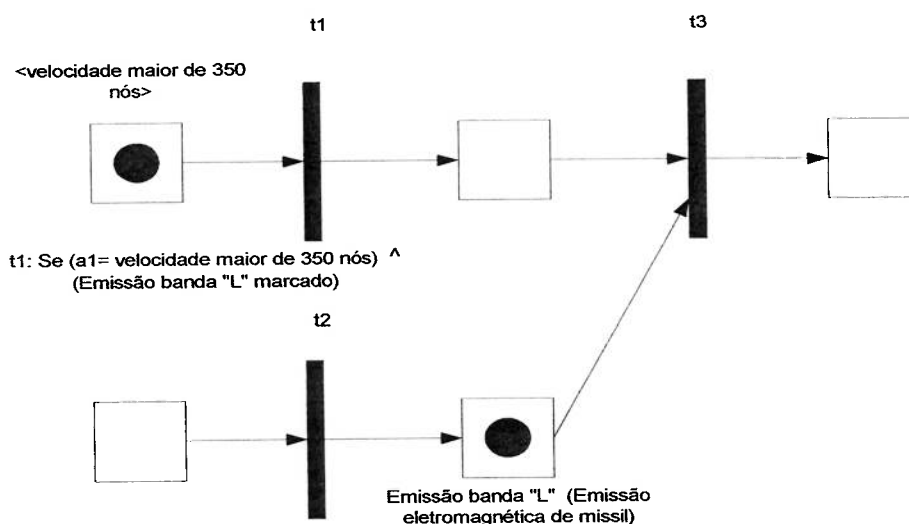


Figura 4.7: Regra de controle associada a uma *transição*.

Arco de sinal de saída

Considera-se que os *arcos de sinal de saída* possam ter inscrições variáveis que permitam transmitir informações sobre os atributos das *marcas*.

Arco

Considera-se que os *arcos* orientados podem conter inscrições variáveis que controlam a transmissão dos *atributos* das *marcas individuais*. A Figura 4.8 apresenta um exemplo da utilização dos *arcos orientados* com inscrições.

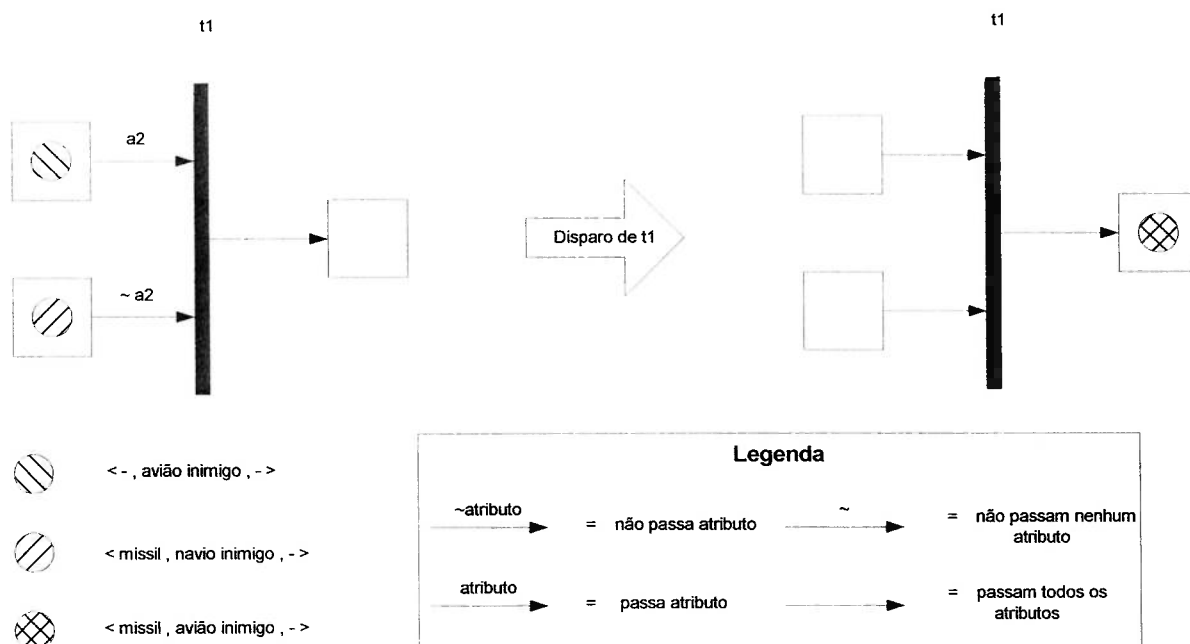


Figura 4.8: Regra de filtragem seletiva associada aos *arcos*.

Gate

Considera-se que a função de *gate* é habilitar ou inibir as *transições*. Podem conter inscrições fixas relacionadas aos *atributos* agregados às *marcas*, o que aumenta o seu poder de controle sobre a ocorrência dos eventos. A Figura 4.9 mostra o elemento *gate* no E-MFG.

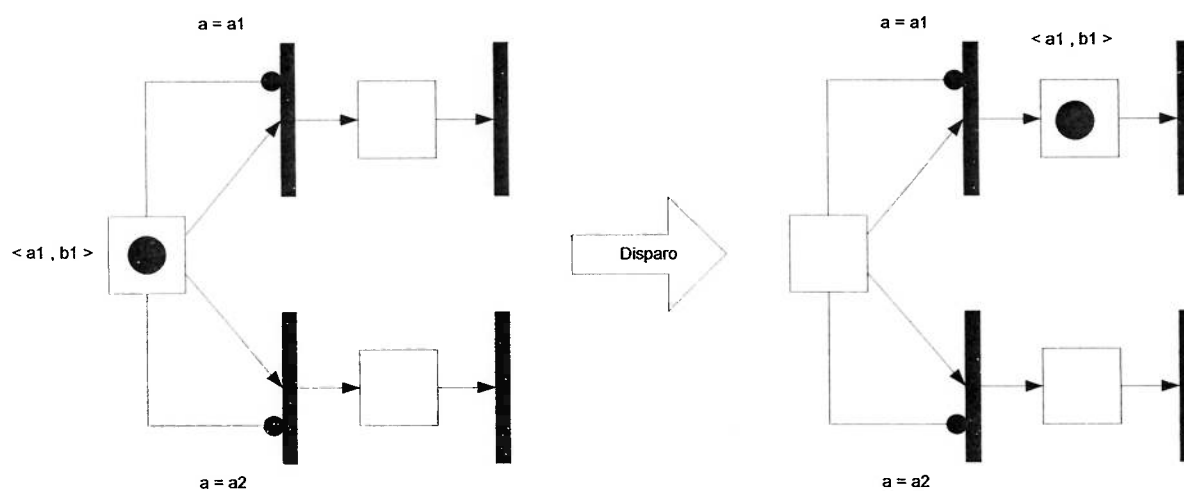


Figura 4.9: *Gate* com inscrições fixas.

Box

Considera-se que os *boxes* representam as pré e pós condições do sistema. O E-MFG possui um elemento que permite representar uma temporização, através de um *box* que retém a *marca* em seu interior durante um certo intervalo de tempo, dependendo do estado de algum atributo predefinido para tal função.

Outro elemento no E-MFG é o *box controlador*. Este *box* possui um conjunto de regras de controle descritas através de estruturas “se....então....senão”. São regras de produção que observam o estado atual dos elementos do grafo e caso estejam satisfeitas executam uma atribuição de valores aos *atributos* de uma *marca*. Isto é representado na Figura 4.10.

4.6.2 Dinâmica de disparo

Considera-se que o “disparo” de uma *transição* se dê seguindo uma hierarquia com três níveis de decisão, determinada pelas seguintes regras:

1. Primeiro nível: regras de restrições adicionais de *disparo*. Estas regras são especificadas através de inscrições nas *transições*. Uma *transição* que atende estas regras é denominada “*transição em prontidão*”.
2. Segundo nível: regras de habilitação de disparo. Estas regras estão relacionadas à manutenção das regras básicas de *disparo* herdadas do MFG. Se uma *transição* atende estas regras e é também uma *transição em prontidão*, é denominada “*transição habilitada*”.
3. Terceiro nível: regras de realização de disparo. Estas regras correspondem à verificação das regras de arbitragem em situações que envolvem *conflito* e/ou que envolvem *filtragem seletiva (arcos)*. Se uma *transição habilitada*, tem também seus *conflitos* resolvidos, é chamada “*transição disparável*” e é *disparada* de imediato.

uma metodologia hierárquica, como o PFS/MFG desenvolvida por Miyagi (1988), pode contribuir para resolver este problema.

A metodologia PFS/MFG consiste na representação de um modelo conceitual do sistema (PFS Production Flow Schema) e o seu detalhamento através do MFG (Mark Flow Graph).

A metodologia proposta visa a sistematização do processo de construção do modelo de um sistema, utilizando a abordagem “top-down”. No processo de detalhamento, identificam-se três passos principais: definição do problema, especificação da solução e implementação (Liu et al., 1994).

Para a definição do problema, um modelo conceitual em PFS é construído. No modelo conceitual, visualizam-se as relações entre as partes ativas e passivas do sistema e fluxos de itens. Este modelo conceitual é então refinado gradativamente até gerar um modelo funcional descrito pelo MFG, o qual especifica uma estratégia de controle.

De acordo com a metodologia, os elementos do PFS são detalhados gradativamente e segundo uma estrutura hierárquica. Este detalhamento pode gerar sub-grafos:

1. Totalmente em PFS
2. Híbridos PFS/MFG com alguns elementos em PFS e outros em MFG.
3. Em MFG

O detalhamento para a especificação de sinais com o meio externo (como atuadores, detectores, dispositivos de monitoração ou de comando) é necessariamente através do MFG.

A Figura 4.11 ilustra uma estrutura hierárquica descrita pelo PFS/MFG.

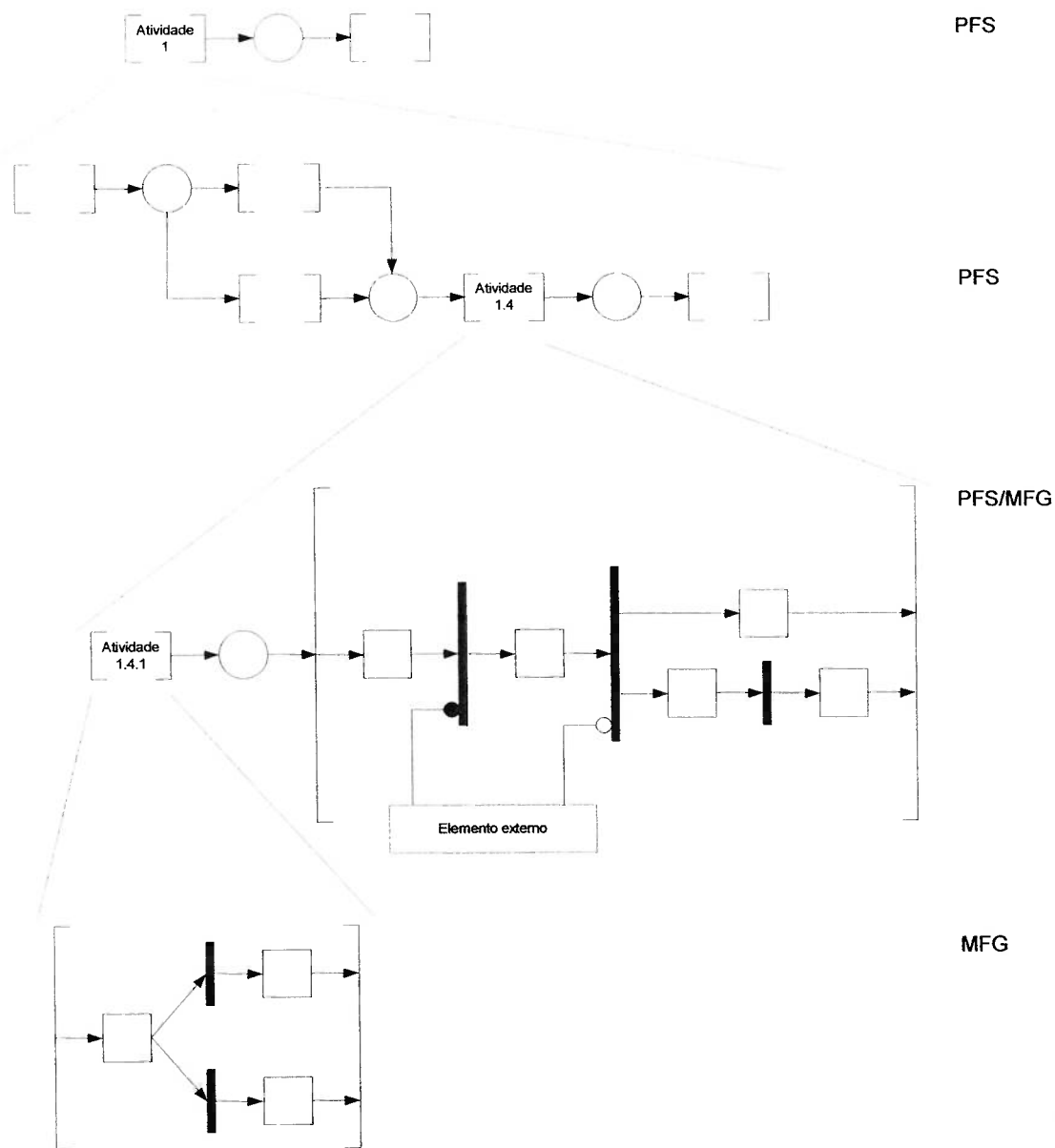


Figura 4.11: Estrutura hierárquica do PFS/MFG.

Esta metodologia permite, assim, que, através de uma visão macro e conceitual do sistema, os diferentes sub sistemas e suas funções sejam detalhadas até o nível de interface dos dispositivos do sistema de comando e controle (Arakaki et al., 1998).

4.8 UTILIZAÇÃO DO IDEF0 NA GERAÇÃO DE MODELOS PFS E MFG

A conversão dos modelos IDEF0 para modelos PFS se faz considerando que as definições dos elementos principais dos dois modelos são análogas. Tanto no modelo IDEF0 como no modelo PFS, o elemento principal (a *caixa* no IDEF0 e a *atividade* no PFS) representa uma transformação de itens. As entradas e saídas da *caixa* do IDEF0 podem ser associadas a um distribuidor de entrada e saída respectivamente.

Um exemplo desta conversão apresenta-se na Figura 4.12

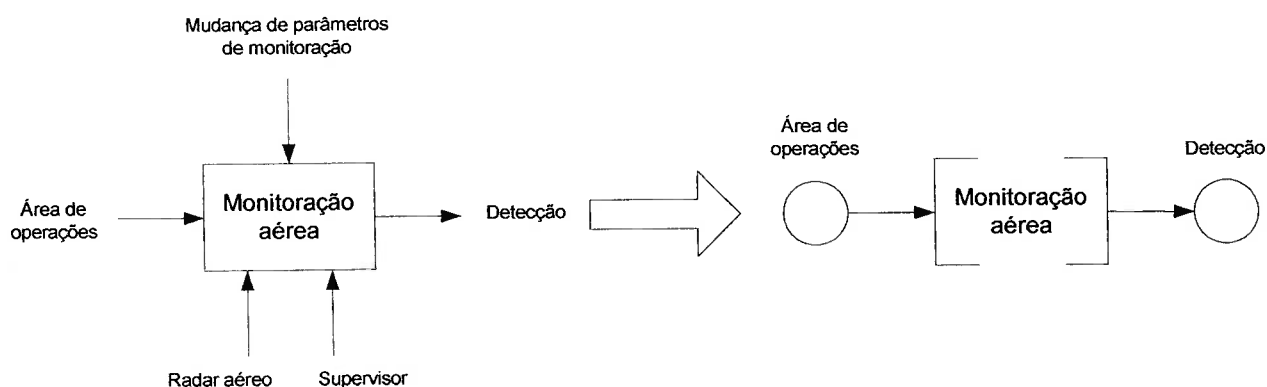


Figura 4.12: Conversão do IDEF0 ao PFS

Os demais elementos utilizados nos modelos IDEF0 são utilizados na geração dos modelos em MFG de acordo com a metodologia PFS/MFG.

Os controles ou regras associam-se com as regras de produção necessárias nos modelos E-MFG.

Quando os mecanismos ou recursos são dispositivos considerados dentro do sistema (o radar aéreo na Figura 4.12), serão associados com o modelo MFG necessário para a implementação da atividade de acordo com a operação deste dispositivo.

Quando os mecanismos ou recursos são considerados elementos externos ao sistema (supervisor na Figura 4.12), serão associados como elementos estruturais que permitem um interfaceamento com os dispositivos do sistema. Neste grupo, considera-se basicamente o elemento humano que é capaz de gerar eventos assíncronos para interagir efetivamente com a evolução dinâmica do sistema.

4.9 COMENTARIOS SOBRE ESTE CÁPITULO

Apresentaram-se as definições necessárias para a implementação e desenvolvimento de modelos de sistemas C³I. Primeiramente foi introduzido o conceito da metodologia IDEF0 para a criação de modelos de processos de sistemas. Depois foram detalhadas as definições sobre as Redes de Petri e suas extensões como o PFS (para a sistematização no desenvolvimento de modelos de Redes de Petri) e o MFG (para a especificação do controle).

Embora o MFG seja uma grande ferramenta para a especificação de controle, considera-se que não é adequada em sistemas relativamente complexos onde necessariamente se tem que considerar regras de produção. Para isto foi apresentado o E-MFG.

Verificou-se ainda que a utilização do IDEF0 para a construção do modelo dos processos inerentes ao sistema, ajuda posteriormente no desenvolvimento de modelos em Redes de Petri e suas extensões. Esta ajuda baseia-se em que os diagramas IDEF0, contém todas as informações necessárias para as etapas seguintes da modelagem.

CAPÍTULO 5

METODOLOGIA PARA A MODELAGEM E ANÁLISE DE SISTEMAS C³I

Neste capítulo, apresenta-se a proposta de uma metodologia para a modelagem de sistemas C³I, a qual é resultante dos estudos realizados. Esta metodologia baseia-se nos diferentes modelos de processo de desenvolvimento de software (Pressman, 1988 ; Pressman, 1997, Pádua Filho, 2001), na metodologia de modelagem de sistemas de produção apresentada por Hilt et al. (1994) e no modelo de projeto de desenvolvimento de sistemas de controle (Miyagi, 1996, Santos Filho, 1998).

5.1 REDES DE PETRI E REQUISITOS DOS SISTEMAS

5.1.1 Projeto de sistemas e Redes de Petri

A aplicação prática das redes de Petri para o projeto e análise de sistemas pode ser efetuada de muitas maneiras. Uma delas considera as Redes de Petri como uma ferramenta de modelagem, análise, validação, verificação, simulação e avaliação do desempenho dos sistemas na fase de projeto (Peterson, 1981 ; Zhou & DiCesare, 1993).

Uma vez efetuada a especificação do sistema, é efetuada a sua modelagem através de Redes de Petri. O modelo gerado pode ser então analisado com a finalidade de atender as especificações geradas na definição do sistema.

Qualquer problema encontrado pela análise do modelo indica uma falha na fase de projeto do sistema. O projeto deve assim ser modificado para corrigir as falhas. Esta modificação do projeto deve ser novamente modelada e analisada. O ciclo é repetido até não se encontrar falhas.

Uma vez que o sistema apresente o comportamento desejado, o modelo deve ser convertido para as operações de controle e de monitoração na fase de execução. O ciclo pode ser visto na Figura 5.1.

É a partir deste ciclo de projeto de sistemas com Redes de Petri que a metodologia proposta no presente trabalho é desenvolvida.

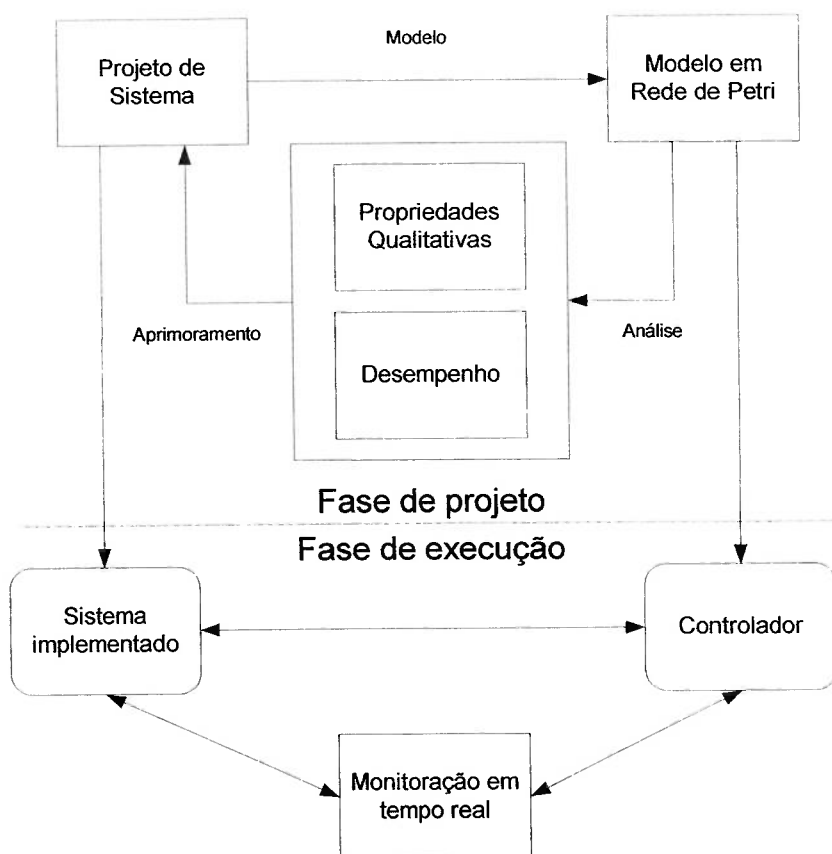


Figura 5.1: Utilização das Redes de Petri para a modelagem, análise e controle de sistemas (adaptado de Zhou & DiCesare, 1993).

5.1.2 Análise de Requisitos

O desenvolvimento de um sistema qualquer (projeto de sistemas conforme indicado na Figura 5.1), demanda uma especificação concisa e muito acurada no que diz respeito ao comportamento desejado do sistema. É, portanto, essencial que os métodos e a representação das especificações permitam expressar sem ambigüidades o comportamento do sistema, bem como validar e verificar sua consistência.

Embora a análise de requisitos não seja o foco do presente trabalho é importante para o desenvolvimento do sistema C³I conhecer como devem ser obtidos e analisados os requisitos necessários para iniciar a modelagem dos mesmos e poder efetuar posteriormente sua validação e verificação.

Neste contexto, a engenharia de requisitos é vista como um processo sistemático e disciplinado de levantamento de necessidades e funcionalidades de um sistema, com a finalidade da especificação precisa de requisitos.

Os requisitos são definidos nas fases iniciais do desenvolvimento de sistemas como sendo uma especificação do que deve ser implementado. São descrições, geralmente em linguagem natural, de como o sistema deve proceder, ou de como as pessoas devem desempenhar determinado papel numa organização.

A engenharia de requisitos por sua vez é o processo que engloba todas as atividades envolvidas na descoberta, documentação e manutenção do conjunto de requisitos de um sistema (Sommerville & Sawyer, 1997).

As entradas do processo de engenharia de requisitos são informações sobre os sistemas existentes, necessidades dos usuários, padrões da organização, informações de domínio do sistema e regras reguladoras externas à organização.

A aplicação deste processo varia entre as organizações, porém a maioria envolve a indicação, análise, negociação e validação de requisitos.

A Figura 5.2 ilustra o processo de engenharia de requisitos, destacando as principais entradas e saídas do processo (Kotonya & Sommerville, 1998).

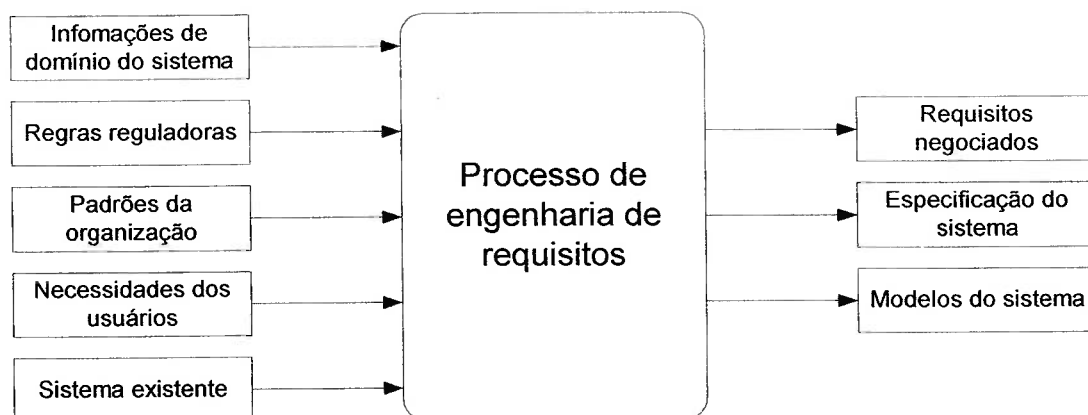


Figura 5.2 Entradas e saídas do processo de engenharia de requisitos

5.2 DESENVOLVIMENTO DE MODELOS

A metodologia proposta deve orientar de modo eficaz a construção de modelos de sistemas C³I fornecendo ainda o suporte necessário para o desenvolvimento do projeto deste tipo de sistema, considerando uma *integração total*²⁴ entre este e outros sistemas de comando e controle²⁵, sejam sistemas em fase de projeto ou sistemas que se encontrem em operação. Esta metodologia deve assim, organizar e estruturar as etapas de trabalho de forma racional e sistemática.

Algumas considerações para o desenvolvimento da metodologia são:

- A metodologia proposta deve ser de aplicação geral, isto é, não se deve restringi-la apenas para propósitos militares.
- A metodologia deve considerar que o sistema C³I tem como uma das finalidades básicas fornecer um conhecimento detalhado da área de operações onde ele atua, deve ser uma ferramenta de apoio às decisões e um instrumento para a execução de ordens. Isto deve ser realizado utilizando apropriadamente todos os recursos disponíveis e da maneira mas eficiente e efetiva possível.

²⁴ Integração total no sentido de padronizar os processos e informações no sistema C³I visando a comunicação de informações com outros sistemas de comando e controle.

²⁵ A organização pode ser integrante de uma rede de onde se possa ter mais organizações, por conseguinte outros sistemas de comando e controle.

- A modelagem do sistema C³I deve tratar dos aspectos que afetam o seu desempenho e deve permitir uma análise do mesmo.
- O sistema C³I, pode ser modelado no contexto da teoria dos sistemas a eventos discretos e de acordo com a estrutura básica de um sistema de controle SED (Figura 3.5).

A metodologia proposta para a modelagem de sistemas C³I é composta de seis etapas as quais são ilustradas na Figura 5.3.

Nesta metodologia, as etapas 1, 2 e 3 consistem, respectivamente, em uma definição concreta do problema, uma análise das necessidades requeridas e uma definição do sistema apropriado para a solução do problema. No contexto da Figura 5.1, pode-se considerar estas etapas como parte do processo de concepção do sistema na fase de projeto.

A etapa 4 é a elaboração dos modelos do sistema de acordo com a teoria dos sistemas a eventos discretos. No contexto da Figura 5.1, pode-se considerar esta etapa como parte do processo de geração de modelos em Redes de Petri.

A etapa 5 constitui a análise dos modelos, verificando se estes foram corretamente gerados e validando-os. No contexto da Figura 5.1, pode-se considerar esta etapa como parte do processo de verificação de propriedades qualitativas e de avaliação do desempenho.

A etapa 6 é a implementação do sistema de acordo com as informações geradas nas etapas anteriores. No contexto da Figura 5.1, pode-se considerar esta etapa como a fase de execução, seja no processo de implementação do sistema como no processo de instalação do controlador.

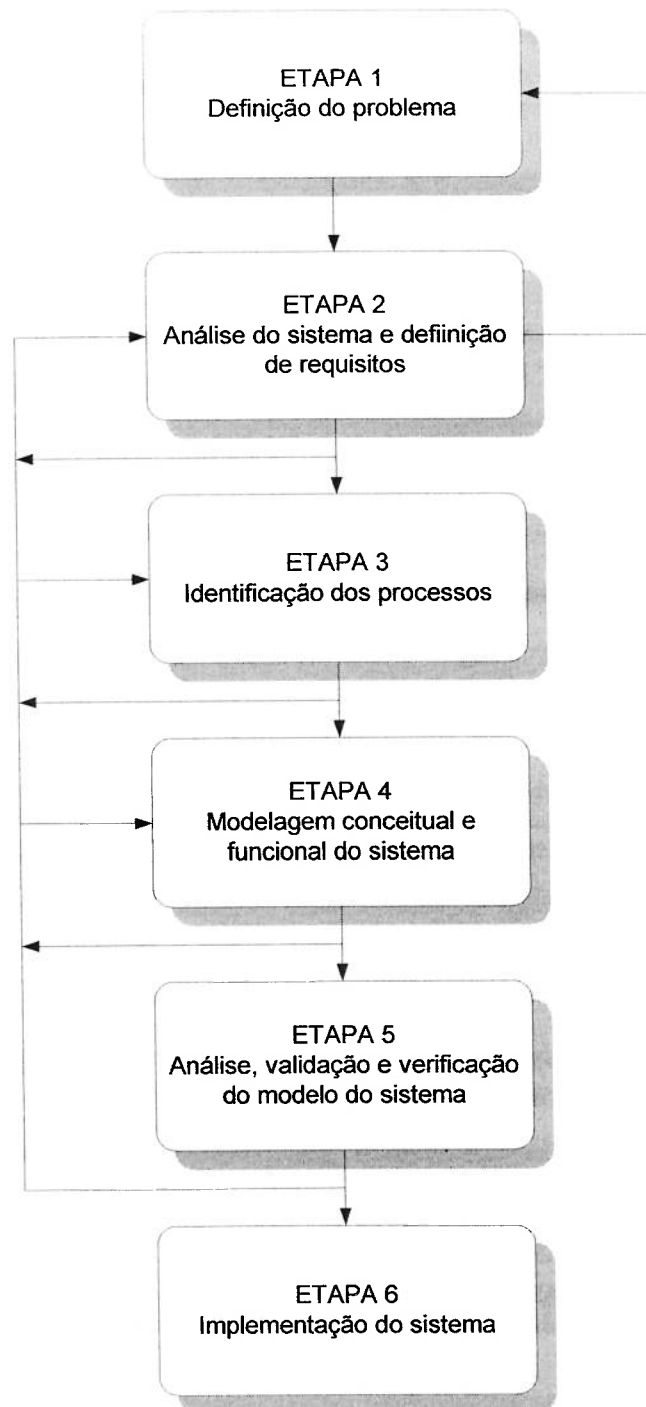


Figura 5.3: Metodologia para a modelagem de sistemas C³I para navios de guerra.

Etapa 1: Definição do problema

Esta é a etapa inicial na modelagem de sistemas C³I. Nesta etapa identifica-se o problema que justificou o desenvolvimento do sistema. A definição é feita de

acordo às necessidades levantadas pelo comandante e outros usuários. Esta etapa é necessária para definir a abrangência do sistema.

Esta etapa deve ser feita mediante entrevistas com a pessoa encarregada da organização, com o encarregado do sistema e com os usuários finais.

Basicamente as informações geradas nesta etapa são:

- Missão que o comandante e usuários esperam que o sistema execute;
- Área de atuação do sistema;
- Limites de atuação do sistema;
- Benefícios esperados pelo comandante e usuários.

Estas informações são o ponto de partida para efetuar a definição e especificação dos requisitos (Figura 5.2) que será feito na etapa 2.

É importante destacar que de acordo com as informações obtidas, pode-se detectar se a solução para o problema da organização é realmente o desenvolvimento de um sistema C³I ou a solução pode ser obtida de uma maneira diferente.

Para uma melhor inter-relação entre o comandante, os usuários finais e o encarregado de coletar as informações, utiliza-se o IDEF0 para a definição do problema.

A Figura 5.4 mostra de maneira esquemática as entradas e saídas da etapa 1.

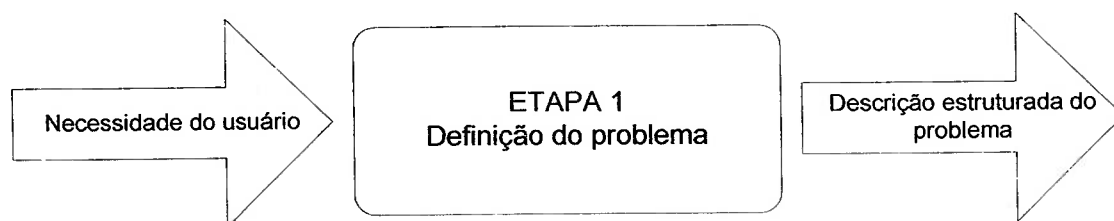


Figura 5.4: Etapa 1: Definição do problema

Etapa 2: Análise do sistema e definição de requisitos

Esta etapa tem como finalidade definir os requisitos do sistema C³I, assim como as características gerais da estrutura do sistema C³I. Aqui devem ser consideradas as informações geradas na etapa 1.

A primeira parte desta etapa visa identificar os requisitos necessários para desenvolver as ações com vista a uma solução para o problema.

Com base na descrição do problema, os requisitos são gerados especificando objetivos que devem ser alcançados para a realização da missão que o comandante e os usuários esperam. Estes objetivos devem conter informações gerais das funções e desempenhos desejados, restrições de operação e critérios de validação.

A segunda parte desta etapa é a especificação de todos os dispositivos do controle SED (Figura 3.5) necessários para o atendimento dos requisitos. Desta maneira, procura-se conhecer o sistema através do levantamento dos dispositivos necessários para efetuar o processo de comando e controle de acordo com a Figura 3.6.

Devem ser especificadas as capacidades e características gerais exigidas para cada um dos dispositivos de modo que possam atender os requisitos levantados para o sistema.

A Figura 5.5 mostra de maneira esquemática as entradas e saídas da etapa 2.

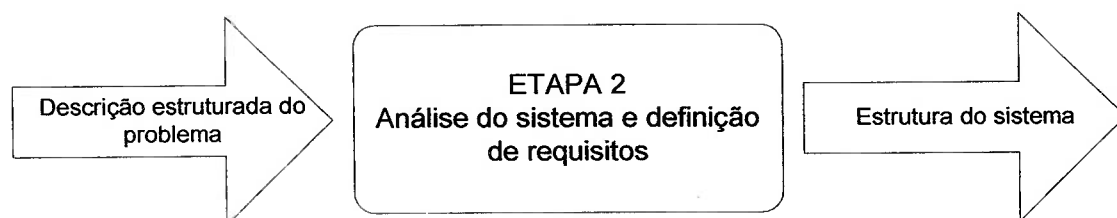


Figura 5.5: Etapa 2: Análise do sistema e definição de requisitos

Uma vez definidos todos os dispositivos, é desenvolvido o modelo estrutural do sistema C³I. Cada dispositivo é identificado de acordo com a função desempenhada dentro do processo de comando e controle (Figura 3.6) e dentro do determinado subsistema do sistema C³I (Figura 3.8). Esta decomposição permite tratar a complexidade do sistema C³I e simplifica a construção do modelo global do sistema.

As informações que devem ser geradas nesta etapa são:

- Diagrama estrutural do sistema (Diagrama de blocos dos dispositivos necessários e suas interconexões);
- Definição dos dispositivos de realização do controle;
- Definição dos dispositivos de detecção;
- Definição dos dispositivos de atuação;
- Definição dos dispositivos de monitoração;
- Definição dos dispositivos de comando.

Etapa 3: Identificação dos processos

Nesta etapa, as informações das etapas 1 e 2 são analisadas, considerando os requisitos do sistema C³I para se obter uma definição dos processos que devem ser realizados de forma precisa para atender as especificações dos requisitos.

A Figura 5.6 mostra de maneira esquemática as entradas e saídas da etapa 3.

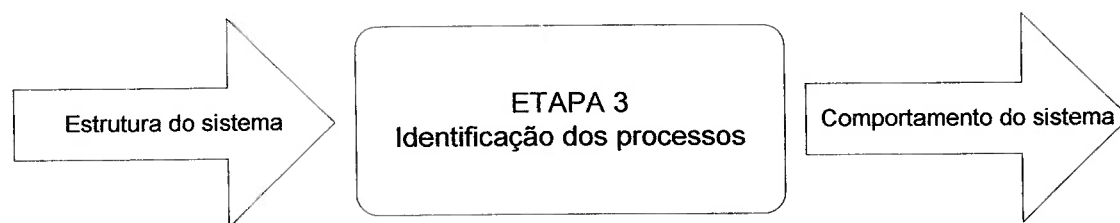


Figura 5.6: Etapa 3: Identificação dos processos

Uma avaliação e uma análise das informações levantadas nesta etapa permitem a identificação de erros de interpretação e a verificação da necessidade de

novos levantamentos, caso existam informações não suficientemente claras, contraditórias ou incorretas. Também se deve identificar os objetivos realizáveis de acordo com as limitações de tecnologia ou de orçamento. A avaliação e a análise deve ser realizada em conjunto com os interessados no desenvolvimento do sistema.

Nesta etapa, utiliza-se a técnica de modelagem de processos IDEF0, a qual oferece uma clara visão da estrutura dos processos realizados pelo sistema, para sua posterior análise a partir do conhecimento das informações processadas. Assim, são definidos todos os processos que o sistema de C³I deve realizar, além das informações que ele processa.

Utilizando esta técnica de descrição formal, procura-se organizar o conhecimento, facilitar a comunicação entre diferentes pessoas, detectar erros e determinar a consistência dos requisitos levantados, tornando mais objetivo o detalhamento do comportamento do sistema.

Nesta etapa devem ser identificadas as seguintes informações:

- Quais são os processos necessários para atender os requisitos;
- Quais são os dispositivos que são utilizados em cada um dos processos;
- As entradas e saídas de informação nos processos;
- As regras de controle de cada um dos processos.

Etapa 4: Modelagem conceitual e funcional do sistema

Nesta etapa, a modelagem de cada um dos elementos estruturais do sistema é realizada de forma sistemática segundo uma abordagem hierárquica (Top-Down). De modo similar à proposta de He et al. (2000), inicialmente descreve-se o sistema no nível conceitual para, gradualmente, fazer um refinamento do mesmo e obter seu modelo funcional. A Figura 5.7 mostra de maneira esquemática as entradas e saídas da etapa 4.

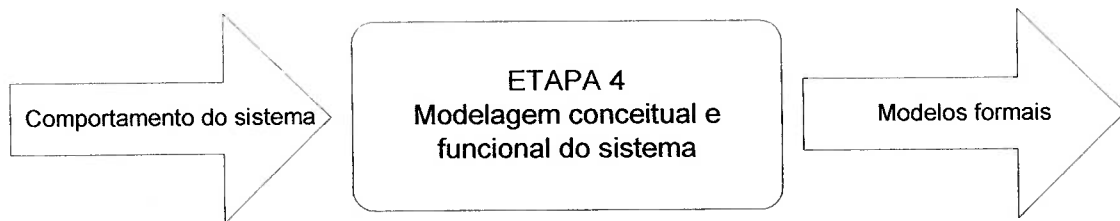


Figura 5.7: Etapa 4: Modelagem conceitual e funcional do sistema

O modelo conceitual do sistema é particularmente importante para tratar os problemas de interpretação das informações obtidas do comandante e os usuários (as quais, muitas vezes, podem ser subjetivas). Auxilia na organização das idéias e no conhecimento do sistema e permite a descrição e compreensão deste ao modelar as inter-relações e funções de seus diferentes componentes para, depois, derivar uma especificação funcional adequada.

Para esta etapa, adota-se como técnica de modelagem o PFS utilizada dentro do contexto da metodologia PFS/MFG, apresentada no item 4.7.

Os modelos construídos são avaliados e revisados em função das características do sistema. Nessas avaliações, podem ser detectadas falhas na construção dos modelos ou, até mesmo, falhas no levantamento das informações, o que pode implicar em novos levantamentos e até na redefinição do sistema.

Neste nível, inicialmente identificam-se as principais atividades realizadas em cada um dos elementos considerados no modelo IDEF0 do sistema, sendo importante ter em conta as inter-relações entre estes elementos, definindo as suas respectivas funções dentro do sistema. A representação é realizada por “elementos ativos” que se inter-relacionam através dos “fluxos de itens” definidos pelo sistema.

Nos sistemas C³I, estas inter-relações podem ser identificadas como fluxos de informações na entrada e saída de cada subsistema.

Por sua vez, a modelagem funcional compreende a descrição do comportamento dinâmico do sistema. Para a realização deste modelo, é adotado o

MFG e suas extensões como o F-MFG (Matsusaki, 1998) e o E-MFG (Santos Filho, 1993 ; Santos Filho 1998). Dessa forma, explicita-se como ocorre a integração das diversas partes estruturais do sistema através do controle do fluxo das informações.

Os modelos são analisados com a finalidade de verificar se eles atendem as especificações do sistema real, de tal forma que seu comportamento dinâmico seja coincidente com o comportamento esperado. Esta análise pode implicar em correções do modelo.

A especificação funcional do sistema obtida nesta etapa define os requisitos do sistema. Uma análise destes requisitos pode, até mesmo alterar os parâmetros inicialmente adotados para o sistema.

Etapa 5: Análise, validação e verificação do modelo do sistema

Nesta etapa, analisa-se e valida-se o modelo do sistema com a finalidade de confirmar se os objetivos iniciais das etapas 1 e 2 foram alcançados.

Além disso os modelos são verificados de acordo com as propriedades estruturais e comportamentais das Redes de Petri.

É preciso indicar que na estrutura da metodologia de modelagem proposta, no caso de se encontrar algum problema, deve-se voltar à etapa devida para fazer as correções necessárias de forma a se ter um contínuo aprimoramento do modelo.

A Figura 5.8 mostra de maneira esquemática as entradas e saídas da etapa 5.

Etapa 6: Implementação do sistema

Nesta etapa os modelos gerados, validados e verificados são implementados como sistema físico e/ou como software de controle.

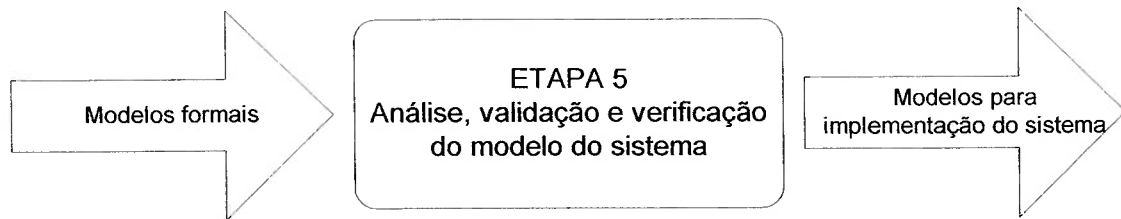


Figura 5.8: Etapa 5: Análise, validação e verificação do modelo do sistema

5.3 COMENTARIOS SOBRE ESTE CAPÍTULO

Neste capítulo, foi apresentada a metodologia para a modelagem de sistema C^3I . Esta é uma metodologia que envolve seis etapas e é iniciada a partir do levantamento de informações que são utilizadas para a definição do sistema a ser modelado. Em seguida, são desenvolvidos os modelos do sistema, iniciando com um modelo estrutural em IDEF0 para, depois, gerar os modelos conceituais em PFS, que são posteriormente refinados em modelos funcionais em MFG, os quais permitem descrever a dinâmica do sistema até os níveis operacionais.

Dessa forma, a metodologia explora os recursos das Redes de Petri para a modelagem de sistemas C^3I através do uso do PFS e o MFG e suas extensões.

A partir do modelo funcional é efetuada a análise do sistema. Para isto, inclui-se ao modelo o conceito de tempo através de estruturas adequadas. Já na etapa final, procedem-se as verificações dos objetivos propostos. Esta metodologia permite o aprimoramento contínuo do processo em qualquer etapa.

Na tabela 5.1 apresenta-se um resumo da metodologia proposta, indicando a etapa, a informação de entrada em cada etapa, a informação de saída de cada etapa, a atividade realizada e o método utilizado.

Tabela 5.1: Resumo da metodologia proposta

Etapa	Entrada	Saída	Atividade	Metodo
Etapa 1 Definição do problema	Necessidade do usuário	Descrição estruturada do problema	Conhecimento do problema	Entrevistas, solicitações
Etapa 2 Análise do sistema e definição de requisitos	Descrição estruturada do problema (Sistemas existentes possíveis)	Estrutura do sistema (Modelo comunicativo)	Conhecimento do sistema	Engenharia de requisitos
Etapa 3 Identificação dos processos	Estrutura do sistema (Descrição do sistema)	Comportamento do sistema	Conhecimento dos processos e como o sistema deve funcionar	IDEF0
Etapa 4 Modelagem conceitual e funcional do sistema	Comportamento do sistema (Atividades e elementos)	Modelos formais	Geração de modelos de acordo a teoria de SED	PFS/MFG
Etapa 5 Análise, validação e verificação do modelo do sistema	Modelos formais (Modelos gerados)	Modelos para implementação do sistema	Validação, verificação e aprimoramento dos modelos	Simulação discreta e análise de propriedades
Etapa 6 Implementação do sistema				

CAPÍTULO 6

EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

6.1 ETAPA 1: DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

O navio de guerra utilizado neste exemplo tem como missão principal efetuar operações de *guerra de superfície*²⁶, *guerra antiaérea*²⁷, *guerra antisubmarina*²⁸ e *guerra eletrônica*²⁹ dentro de uma área de operações marítima qualquer, com a finalidade de aplicar um *poder naval* eficaz para manter o *poder marítimo* da nação. Para isto é necessário conceber um sistema de comando e controle que utilize eficientemente os recursos designados para a execução de sua missão.

A definição do problema e os processos requeridos para sua solução, são representados utilizando o IDEF0 nas Figuras 6.1 e 6.2 e seus correspondentes dicionário de dados apresentam-se nas tabelas 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5 e 6.6.

Na Figura 6.1 apresenta-se o problema (controle da área de operações), as operações envolvidas no problema, as regras necessárias e os mecanismos utilizados na resolução do problema e a sua solução.

Na Figura 6.2 tem-se um detalhamento dos processos envolvidos na resolução do problema. Pode-se observar que os processos utilizados estão de acordo com os processos inerentes ao comando e controle apresentados na Figura 3.1. Desta maneira confirma-se que o sistema C³I é o principal elemento para a solução do problema, já que este se encontra presente em todos os processos.

²⁶ Ações necessárias para obter o controle do mar.

²⁷ Ações necessárias para obter o controle do espaço aéreo.

²⁸ Ações necessárias para obter o controle do espaço submarino.

²⁹ Ações necessárias para obter o controle do espaço eletromagnético.

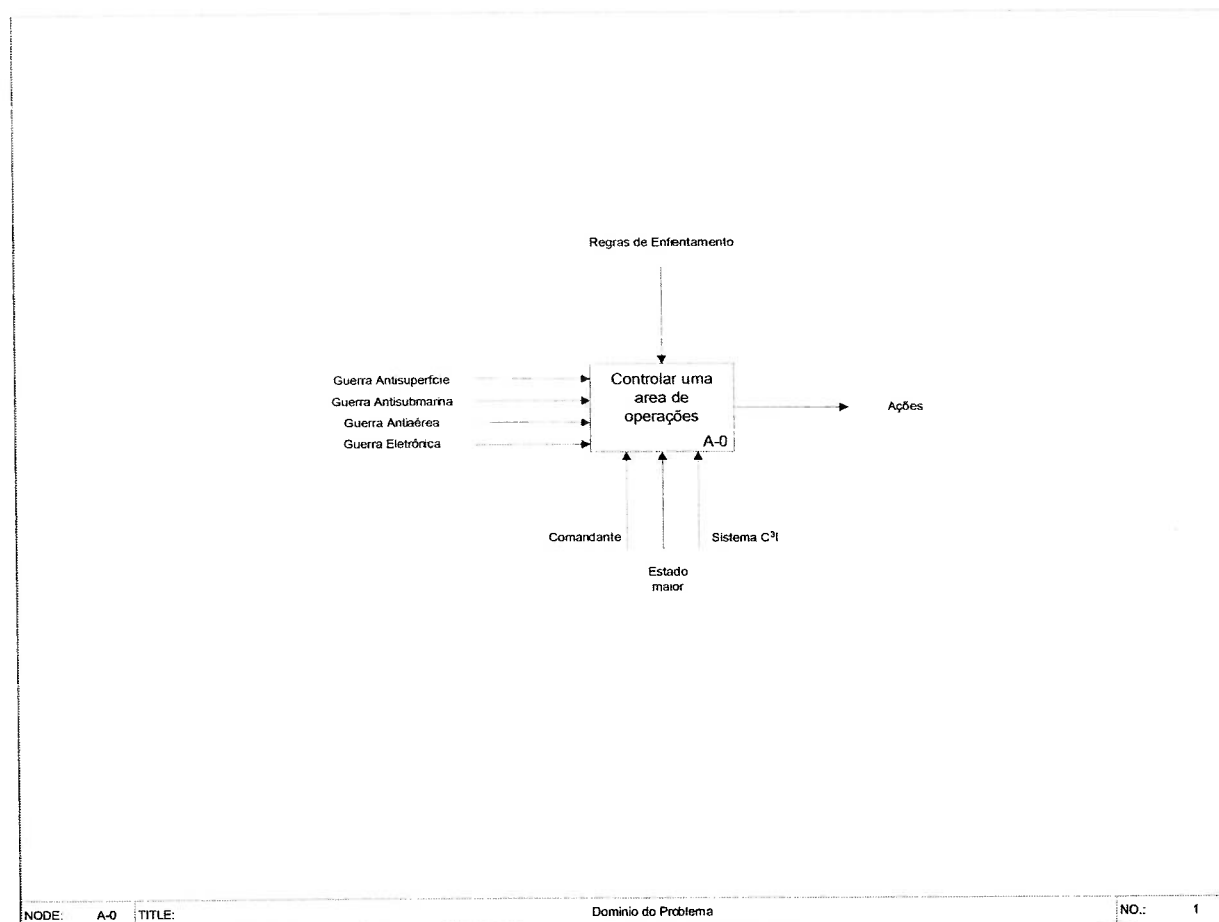


Figura 6.1: Domínio do problema no IDEF0

Tabela 6.1 Processo Controlar uma área de operações

Processo	Controlar uma área de operações	
Nó	A-0	
Função	Manter o controle de uma área marítima, executando uma missão designada.	
Entradas	Guerra antisuperfície	Informações sobre contatos de navios
	Guerra antisubmarina	Informações sobre contatos de submarinos ou torpedos
	Guerra antiaérea	Informações sobre contatos de aviões, helicópteros e mísseis.
	Guerra eletrônica	Informações sobre contatos de emissões eletromagnéticas
Saídas	Ações	Execução de ordens com o objetivo de manter o controle da área
Regras	REN (Regras de enfrentamento)	Regras gerais que têm de se seguir em determinadas situações. São determinadas pelo mais alto nível da hierarquia da força.
Mecanismos	Comandante	Pessoa no mais alto nível da hierarquia da tomada de decisões da unidade.
	Estado maior	Grupo de pessoas especialistas nos diversos subsistemas do navio que assessoram o comandante na tomada de decisões.
	Sistema C ³ I	Recursos disponíveis

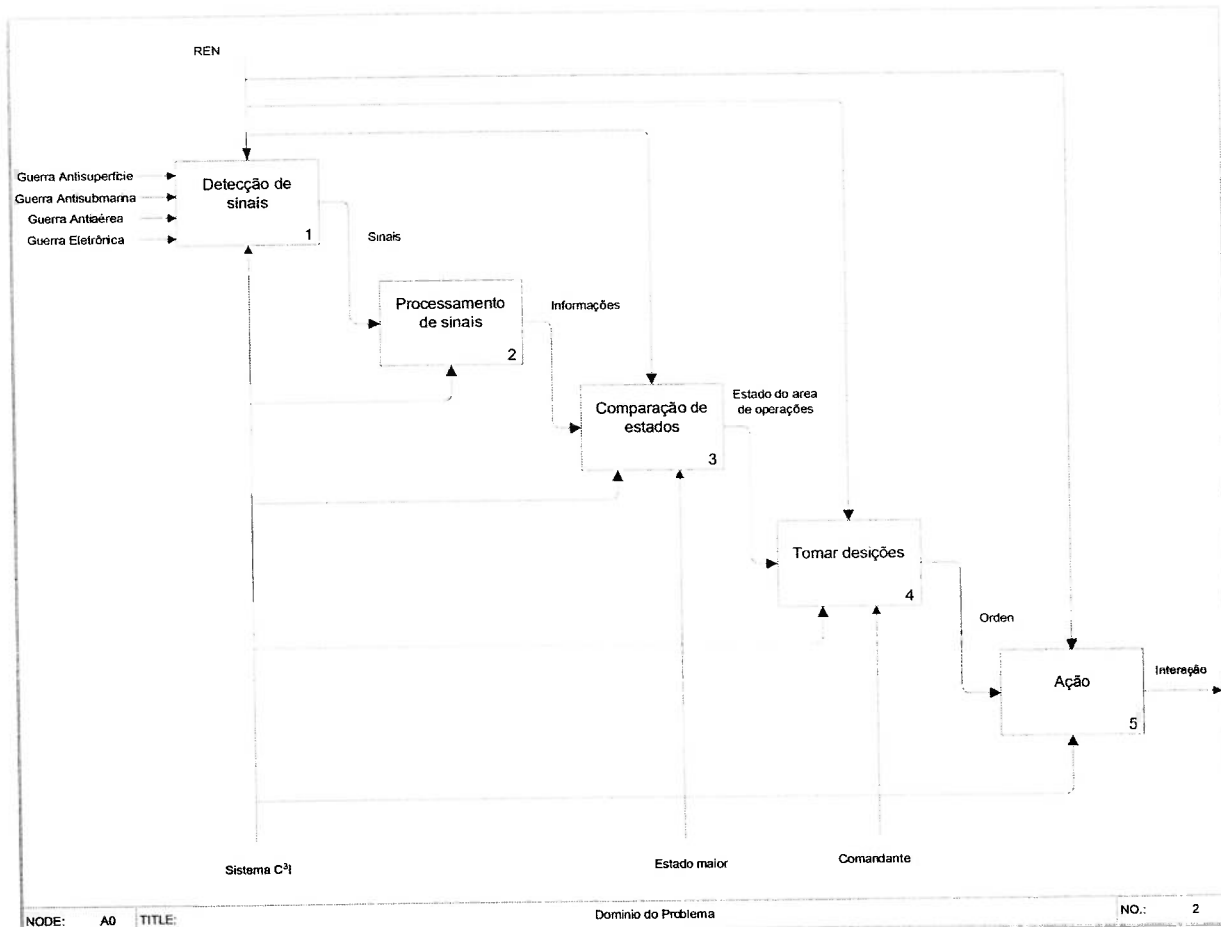


Figura 6.2: Refinamento do domínio do problema

Tabela 6.2 Processo Detecção de sinais

Processo	Detecção de sinais	
Nó	A0	
Função	Coletar e extrair dados do meio ambiente	
Entradas	Guerra antisuperfície	Informações sobre contatos de navios
	Guerra antisubmarina	Informações sobre contatos de submarinos ou torpedos
	Guerra antiaérea	Informações sobre contatos de aviões, helicópteros e mísseis.
	Guerra eletrônica	Informações sobre contatos de emissões eletromagnéticas
Saídas	Sinais	Contatos detectados
Regras	REN (Regras de enfrentamento)	Regras gerais que têm de se seguir em determinadas situações. São determinadas pelo mais alto nível da hierarquia da força.
Mecanismos	Sistema C ³ I	Recursos disponíveis

Tabela 6.3 Processo Processamento de sinais

Processo	Processamento de sinais	
Nó	A0	
Função	Extração do significado dos dados coletados	
Entradas	Sinais	Contatos detectados
Saídas	Informações	Determinação dos parâmetros dos contatos e sua possível identificação
Mecanismos	Sistema C ³ I	Recursos disponíveis

Tabela 6.4 Processo Comparação de estados

Processo	Comparação de estados	
Nó	A0	
Função	Comparar o estado atual do ambiente com o estado desejado	
Entradas	Informações	Determinação dos parâmetros dos contatos e sua possível identificação
Saídas	Estado de uma área de operações	Relação entre do estado do navio, área de operações e missão do navio.
Regras	REN (Regras de enfrentamento)	Regras gerais que têm de se seguir em determinadas situações. São determinadas pelo mais alto nível da hierarquia da força.
Mecanismos	Sistema C ³ I	Recursos disponíveis
	Estado maior	Grupo de pessoas especialistas nos diversos subsistemas do navio que assessoram ao comandante na tomada de decisões.

Tabela 6.5 Processo Tomar decisões

Processo	Tomar decisões	
Nó	A0	
Função	Determinação das ações a ser executadas	
Entradas	Estado de uma área de operações	Relação entre do estado do navio, área de operações e missão do navio.
Saídas	Ordem	Ações que devem ser executadas
Regras	REN (Regras de enfrentamento)	Regras gerais que têm de se seguir em determinadas situações. São determinadas pelo mais alto nível da hierarquia da força.
Mecanismos	Sistema C ³ I	Recursos disponíveis
	Comandante	Pessoa no mais alto nível da hierarquia da tomada de decisões da unidade.

Tabela 6.6 Processo Ação

Processo	Ação	
Nó	A0	
Função	Execução das ordens do comando	
Entradas	Ordem	Ações que devem ser executadas
Saídas	Interação	Execução das ordens
Regras	REN (Regras de enfrentamento)	Regras gerais que têm de se seguir em determinadas situações. São determinadas pelo mais alto nível da hierarquia da força.
Mecanismos	Sistema C ³ I	Recursos disponíveis

6.2 ETAPA 2: ANÁLISE DO SISTEMA E DEFINIÇÃO DOS REQUISITOS

6.2.1 Requisitos necessários

Com base na definição do problema, elaboram-se os requisitos mínimos do sistema C³I. Devido à complexidade das informações processadas pelo sistema, para cada tipo de informação são explicitados seus correspondentes requisitos na forma de funções que devem ser executadas, isto é:

- Guerra antissuperfície: Detecção de navios e utilização de armas adequadas para a destruição de navios inimigos.
- Guerra antiaérea: Detecção de alvos aéreos e utilização de armas adequadas para a destruição de alvos aéreos.
- Guerra antissubmarina: Detecção de alvos submarinos e utilização de armas adequadas para a destruição de alvos submarinos.
- Guerra eletrônica: Detecção de sinais eletromagnéticos, utilização de ondas eletromagnéticas de alta potência e assegurar o uso dos radares próprios ante ataques eletromagnéticos.
- Meio ambiente: Coletar informação sobre o meio ambiente.
- Forças amigas: Enviar e receber informações.

6.2.2 Dispositivos necessários

Uma vez especificados os requisitos, devem ser detalhados os dispositivos que serão utilizados. Desta forma considera-se que no presente caso, os dispositivos mínimos³⁰ que o sistema C³I deve ter são:

- Guerra antisuperfície: Radar de superfície, mísseis antisuperfície, artilharia antisuperfície, radar de controle de tiro de superfície, sistema de controle de tiro de superfície.
- Guerra antiaérea: Radar aéreo, mísseis antiaéreos, artilharia antiaérea, radar de controle de tiro aéreo, sistema de controle de tiro aéreo.
- Guerra antissubmarina: Sonar, torpedos, sistema de controle de tiro antissubmarino.
- Guerra eletrônica: disturbadores³¹, foguetes CHAFF³², medidas de apoio à guerra eletrônica.
- Meio ambiente: radar de navegação, giro compasso, anemômetro, sensor de velocidade.
- Força amiga: comunicações.

Cada um destes dispositivos contam com suas próprias *características de operação* (funcionamento) e *capacidades de operação* (distância, altura, etc). Nas fases posteriores de modelagem, as capacidades de operação serão consideradas *padrões* (funcionamentos básicos), já que é na fase de implementação que, de acordo com o projeto do navio e do sistema C³I, estas capacidades serão detalhadas.

6.2.3 Diagrama de blocos dos elementos físicos do sistema C³I

Na Figura 6.3 apresenta-se o agrupamento dos dispositivos utilizados no sistema C³I de acordo com o diagrama conceitual básico da estrutura do sistema de

³⁰ De acordo com a disponibilidade econômica, pode-se aumentar a quantidade de dispositivos.

³¹ Elementos que emitem ondas eletromagnéticas de grande potência com a finalidade de inutilizar os sensores do inimigo.

³² Tiras de folha metálicas jogadas ao ar por um foguete, as quais confundem ao inimigo criando falsos contactos no radar.

controle SED apresentado na Figura 3.5 e com o diagrama do processo de comando e controle no Sistema C³I apresentado na Figura 3.9.

Na Figura 6.3 especificam-se as informações que provêm dos dispositivos de detecção e que são enviadas aos dispositivos de atuação.

No sistema C³I considerado no presente trabalho, especial atenção é atribuída às funções de monitoração, comando e realização do controle. Assim, os dispositivos envolvidos devem ser capazes de:

- Apresentar a situação da área de operações (mediante vídeo) com o objetivo de monitoração;
- Poder traduzir as ordens do comandante em comandos para ser executados pelo sistema;
- Empregar os sinais recebidos para tratar as informações e dados utilizados pelo sistema C³I.

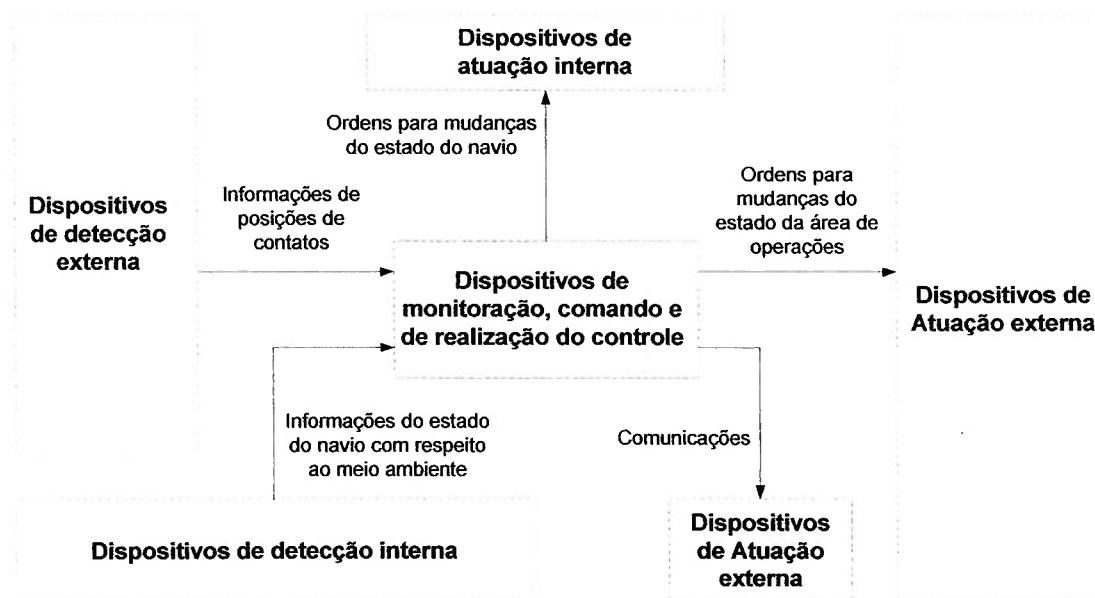


Figura 6.3: Diagrama de dispositivos do sistema de controle SED para o sistema C³I

Com base na Figura 6.3, apresenta-se na Figura 6.4 o diagrama detalhado dos dispositivos e os elementos físicos que fazem parte do sistema C³I, assim como suas conexões.

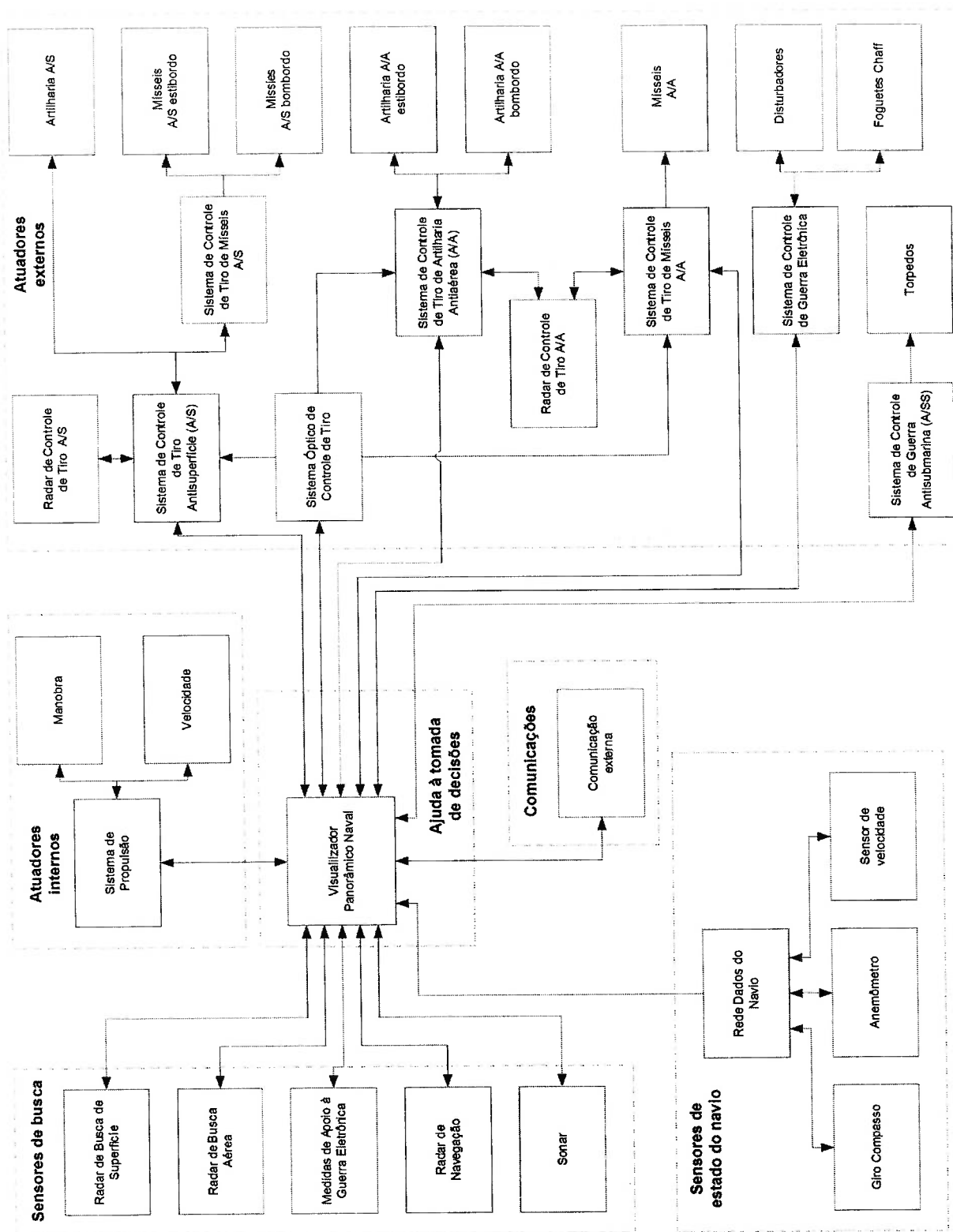


Figura 6.4: Diagrama de blocos dos elementos físicos do Sistema C³I

Nesta figura, os dispositivos de detecção externa são representados pelo bloco “sensores de busca”, os dispositivos de detecção interna são representados pelo bloco “sensores de estado do navio”, os dispositivos de atuação externa são representados pelo bloco “atuadores externos” e pelo bloco de “comunicações”, e os dispositivos de monitoração, comando e realização do controle são representados pelo bloco de “ajuda à tomada de decisões”. No diagrama, cada um destes elementos é representado por uma caixa. Cada elemento é um conjunto de “hardware” e “software” que juntamente realizam uma função determinada. O fluxo de informação entre eles é representado por setas, as quais podem ser unidirecionais ou bidirecionais.

Para uma melhor visualização, cada um dos blocos apresentados são, em seguida, detalhados:

- **Sensores de busca:** contém todos os sensores cuja função é coletar dados do ambiente. No caso dos radares, isto se efetua mediante a emissão de ondas eletromagnéticas que ao encontrar um objeto, são refletidas e regressam ao radar que efetua uma análise das mesmas. O sonar funciona de maneira similar, com a diferença que este é usado sob o mar e emite ondas acústicas. As medidas eletrônicas são equipamentos que só recebem ondas eletromagnéticas, as quais são analisadas para obter informações da fonte emissora. Na figura 6.5 apresentam-se os tipos de sensores utilizados e as informações que eles fornecem para o bloco “ajuda à tomada de decisões”

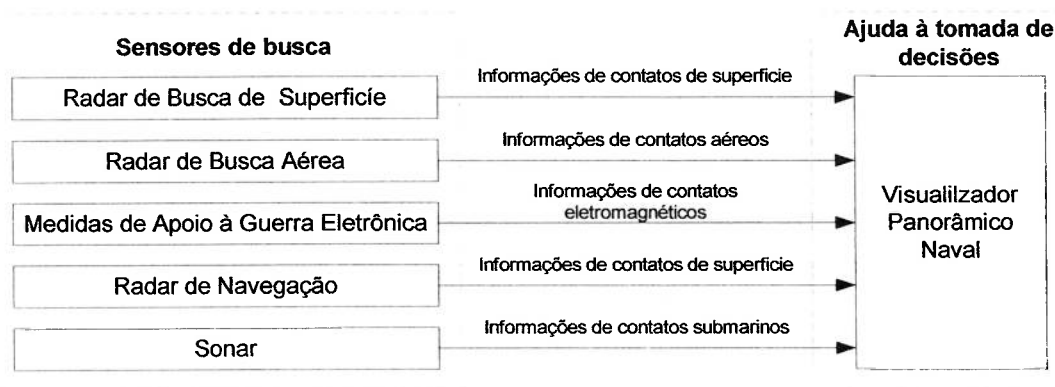


Figura 6.5: Diagrama de blocos dos sensores do sistema C³I e as informações que fornecem.

- Sensores de estado do navio: contém todos os sensores que coletam informações sobre o estado do navio. O giro compasso (bússola eletrônica) informa a direção de movimento, o anemômetro a direção do vento e o sensor de velocidade a velocidade do navio. Estes dados são importantes para processar as ordens de disparo e de manobra. Na Figura 6.6 apresentam-se os tipos de sensores utilizados e as informações que eles fornecem.

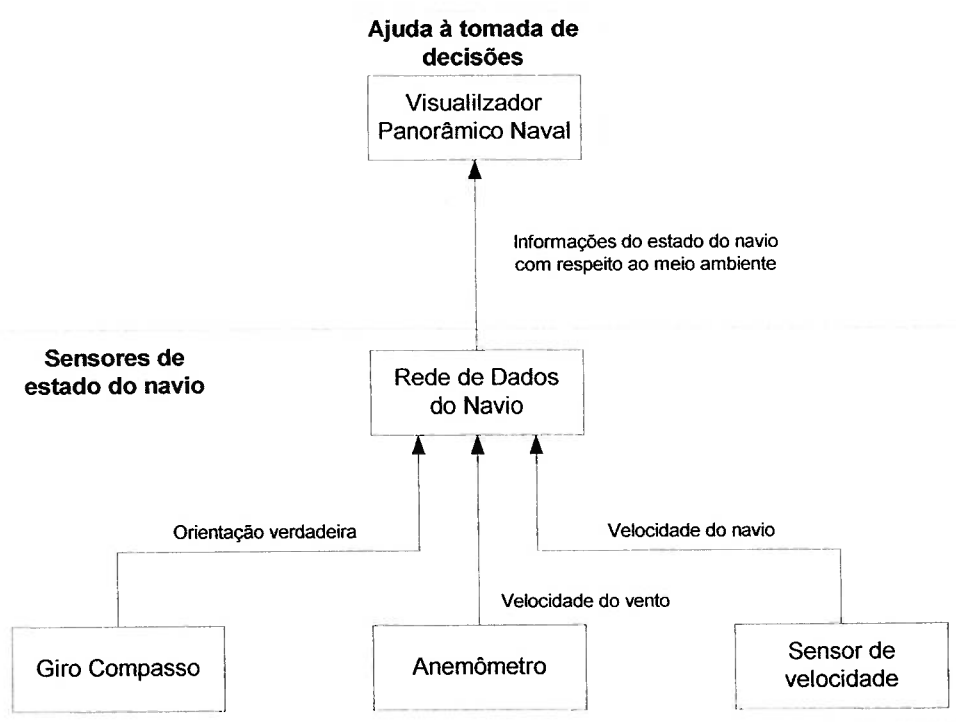


Figura 6.6: Diagrama de blocos dos sensores de estado do navio do sistema C³I e as informações que fornecem.

- Atuadores internos: efetuam as ações do navio como mudança de direção e de velocidade. O sistema de propulsão encarrega-se de efetuar os cálculos de acordo com as ordens recebidas e as informações obtidas dos sensores de estado do navio (Figura 6.7).

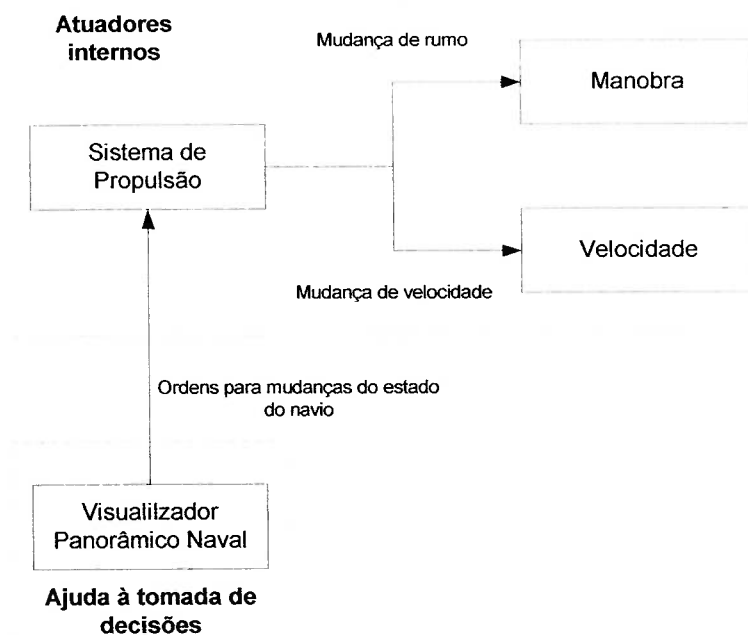


Figura 6.7: Diagrama de blocos dos atuadores internos do Sistema C³I e as informações que fornecem.

- **Atuadores externos:** são todos aqueles que de alguma forma realizam ações que vão interagir com o ambiente. Dentre eles pode-se distinguir três tipos de elementos (Figura 6.8):
 - ❖ **Armas:** artilharia, mísseis, disturbadores, foguetes CHAFF, torpedos. No diagrama, consideram-se mísseis e artilharia, estibordo e bombordo, de acordo com a posição deles nos navios, estibordo e bombordo, respectivamente.
 - ❖ **Radares de controle de tiro:** sensores usados pelo sistema de controle de tiro para coletar informações do estado dos alvos.
 - ❖ **Sistemas de controle de tiro:** efetuam as operações para o disparo das armas, de acordo com as informações proporcionadas pelos respectivos radares de controle de tiro.

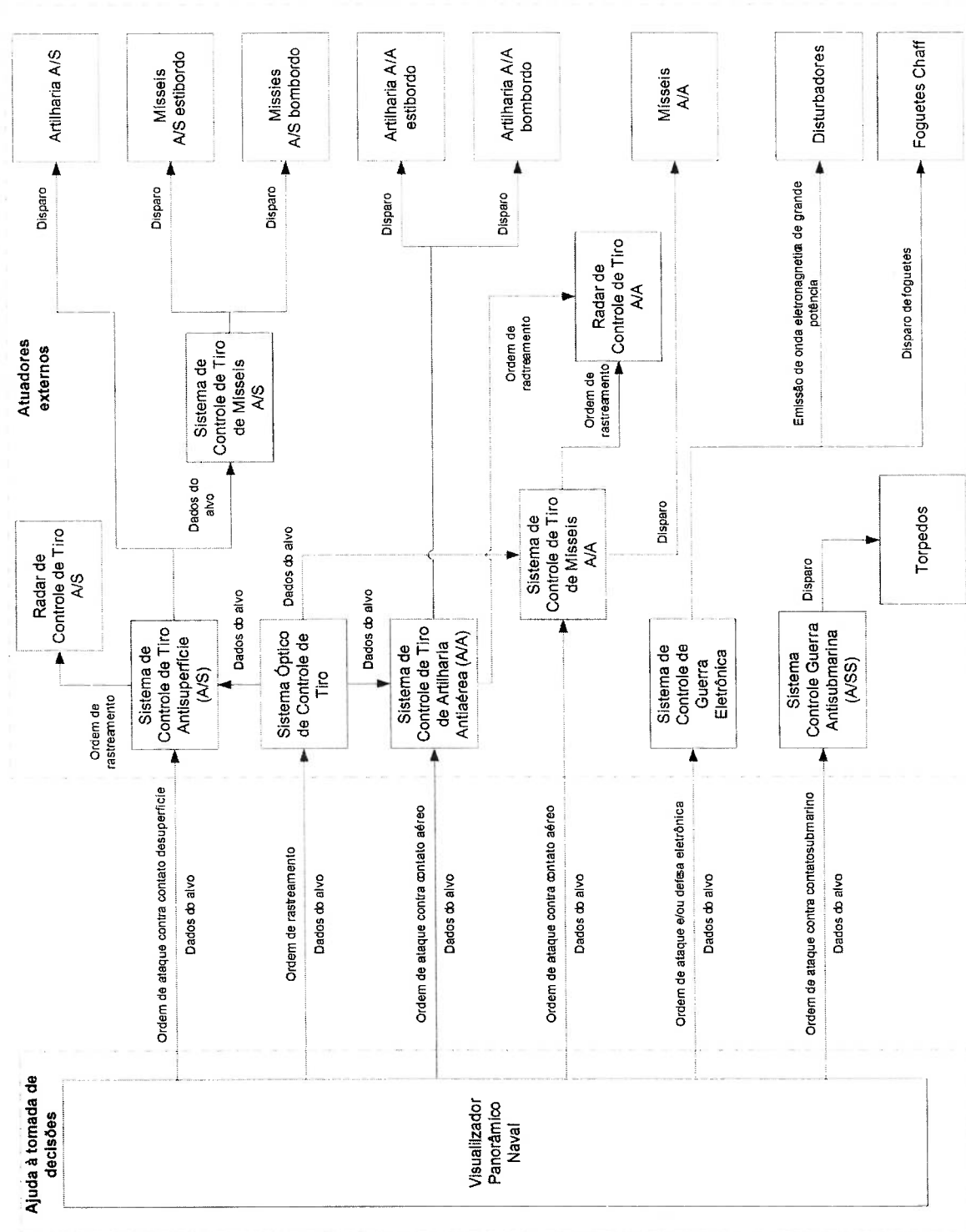


Figura 6.8: Diagrama de blocos dos atuadores externos do Sistema C³I e as informações que fornecem.

- Comunicações: reúne todos os equipamentos de comunicação externa do navio. Entre eles, equipamentos de HF (*High Frequency*), VHF (*Very High Frequency*), UHF (*Ultra High Frequency*) e comunicações via satélite. A classificação se faz de acordo com a frequência utilizada.
- Ajuda à tomada de decisões: é o componente no qual se reúnem todas as informações disponíveis. Estas informações são apresentadas de maneira visual para o Comandante e o Estado Maior, de modo que estes possam tomar suas decisões. Além disso, o comandante também pode enviar as ordens aos elementos atuadores.

6.3 ETAPA 3: IDENTIFICAÇÃO DOS PROCESSOS

6.3.1 Diagramas IDEF0

De acordo com o processo de comando e controle naval executado pelo sistema C³I apresentado na Figura 3.9 e com os elementos físicos utilizados pelo sistema C³I apresentados na Figura 6.3, desenvolvem-se os seguintes diagramas IDEF0:

- Diagrama A-0: o diagrama de contexto, apresenta o nível hierárquico mais alto dos diagramas IDEF0 do sistema C³I. Nele mostram-se as informações mais gerais do processo realizado pelo sistema C³I (Figura 6.9). O correspondente dicionário de dados apresenta-se na Tabela 6.7.
- Diagrama A0: o diagrama de contexto A-0 é expandido identificando os principais processos realizados pelos subsistemas de “Inteligência”, “Comunicações”, “Comando” e “Controle” (Figura 6.10). Os correspondentes dicionários de dados apresentam-se nas Tabelas 6.8, 6.9, 6.10 e 6.11.
- Diagrama A1: o processo realizado pelo subsistema de “Inteligência” é expandido em processos de “Captar”, “Classificar”, “Analisar”, “Acionar emergência” e “Disseminar” (Figura 6.11). Os correspondentes dicionários de dados apresentam-se nas Tabelas 6.12, 6.13, 6.14 e 6.15.

- Diagrama A2: o processo realizado pelo subsistema de “Comunicações” é expandido em processos de “Classificar sinal”, “Verificar disponibilidade” e “Enviar sinal” (Figura 6.12). Os correspondentes dicionários de dados apresentam-se nas Tabelas 6.16, 6.17 e 6.18.
- Diagrama A3: o processo realizado pelo subsistema de “Controle” é expandido em processos de “Acionar emergência”, “Analisar ambiente” e “Interatuar” (Figura 6.13). Os correspondentes dicionários de dados apresentam-se nas Tabelas 6.19, 6.20 e 6.21.
- Diagrama A4: o processo realizado pelo subsistema de “Comando” é expandido em processos de “Avaliar sinal”, “Analisar”, “Comparar” e “Tomada de decisões” (Figura 6.14). Os correspondentes dicionários de dados apresentam-se nas Tabelas 6.22, 6.23, 6.24 e 6.25.
- Diagrama A11: o processo de “Captar” do diagrama A1 é expandido nos processos de “Monitoração externa” e “Monitoração interna” (Figura 6.15). Os correspondentes dicionários de dados apresentam-se nas Tabelas 6.26 e 6.27.
- Diagrama A111: o processo de “Monitoração externa” do diagrama A11 é expandido nos processos de “Monitoração antiaérea”, “Monitoração antiperfície”, “Monitoração antissubmarina” e “Monitoração de emissões eletromagnéticas” (Figura 6.16). Os correspondentes dicionários de dados apresentam-se nas Tabelas 6.28, 6.29, 6.30, 6.31 e 6.32.
- Diagrama A112: o processo de “Monitoração interna” do diagrama A11 é expandido nos processos de “Calcular direção”, “Calcular velocidade do vento” e “Calcular velocidade do navio” (Figura 6.17). Os correspondentes dicionários de dados apresentam-se nas Tabelas 6.33, 6.34 e 6.35.
- Diagrama A12: o processo de “Analisar” do diagrama A1 é expandido nos processos de “Rastreamento de contatos” e “Análise de onda eletromagnética” (Figura 6.18). Os correspondentes dicionários de dados apresentam-se nas Tabelas 6.36 e 6.37.

- Diagrama A31: o processo de “Interatuar” do diagrama A3 é expandido nos processos de “Seguir contato”, “Nomear contato”, “Designar Arma”, “Terminar rastreamento”, “Disparar” e “Manobrar” (Figura 6.19). Os correspondentes dicionários de dados apresentam-se nas Tabelas 6.38, 6.39, 6.40, 6.41, 6.42 e 6.43.

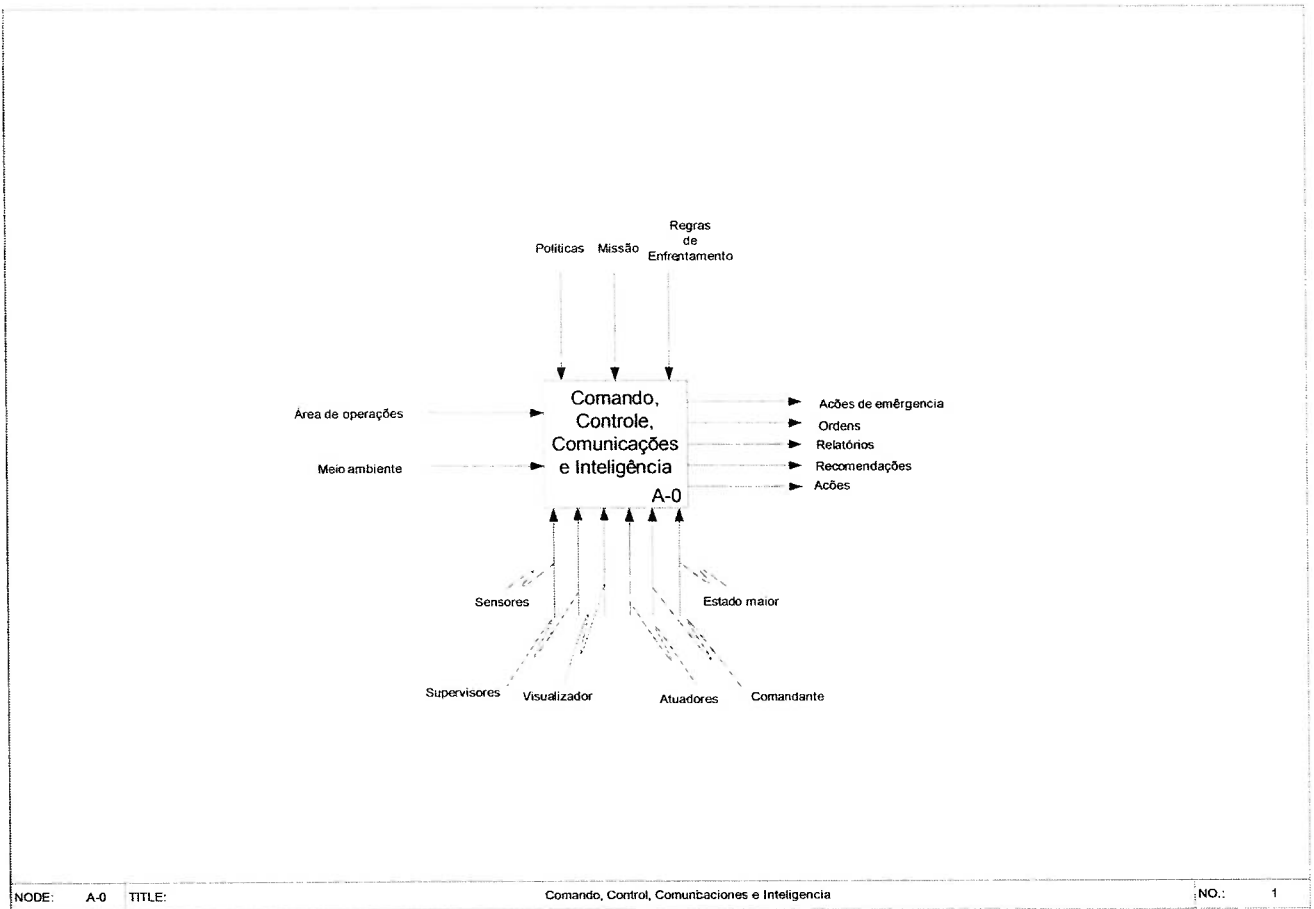


Figura 6.9: Diagrama A-0, Sistema C³I

Tabela 6.7 Processo C³I

Processo	C³I	
Nó	A-0	
Função	Coleta de informações do meio ambiente para poder interagir com ele de acordo com uma tomada de decisão baseada em políticas e regras de enfrentamento estabelecidas.	
Entradas	Área de operações	Dados coletados através dos diversos sensores que possui o navio.
	Meio ambiente	Dados gerais do estado do navio.
Saídas	Ordens	Produtos de uma tomada de decisão. Implicam necessariamente uma interação com o ambiente.
	Ações	Execução de uma ordem.
	Relatórios	Informação detalhada das ações executadas e seus efeitos.
	Recomendações	Produtos da tomada de decisão. Implicam em comunicação de sugestões de ações para outras unidades.
	Ações de emergência	Execução de uma ação imediata em função da detecção de um ataque inimigo.
Regras	Políticas	Regras ditadas pelo comandante da unidade em adição às REN.
	Missão	Objetivo da unidade.
	REN (Regras de enfrentamento)	Regras gerais que têm de ser atendidas em determinadas situações. São determinadas pelo mais alto nível da hierarquia da força.
Mecanismos	Sensores	Dispositivos que efetuam diversas medições ou registram leituras.
	Supervisores	Grupo de pessoas que operam os diversos subsistemas do navio.
	Atuadores	Dispositivos elétricos, hidráulicos ou mecânicos que respondem à determinada ação de uma ordem.
	Comandante	Pessoa no mais alto nível da hierarquia da tomada de decisões da unidade.
	Estado Maior	Grupo de pessoas especialistas nos diversos subsistemas do navio que assessoram o comandante na tomada de decisões.
	Visualizador	Mesa tática onde o comandante e seu estado maior têm a capacidade de observar o comportamento da área de operações, obter as informações de importância, onde podem tomar as decisões e onde dão as ordens.

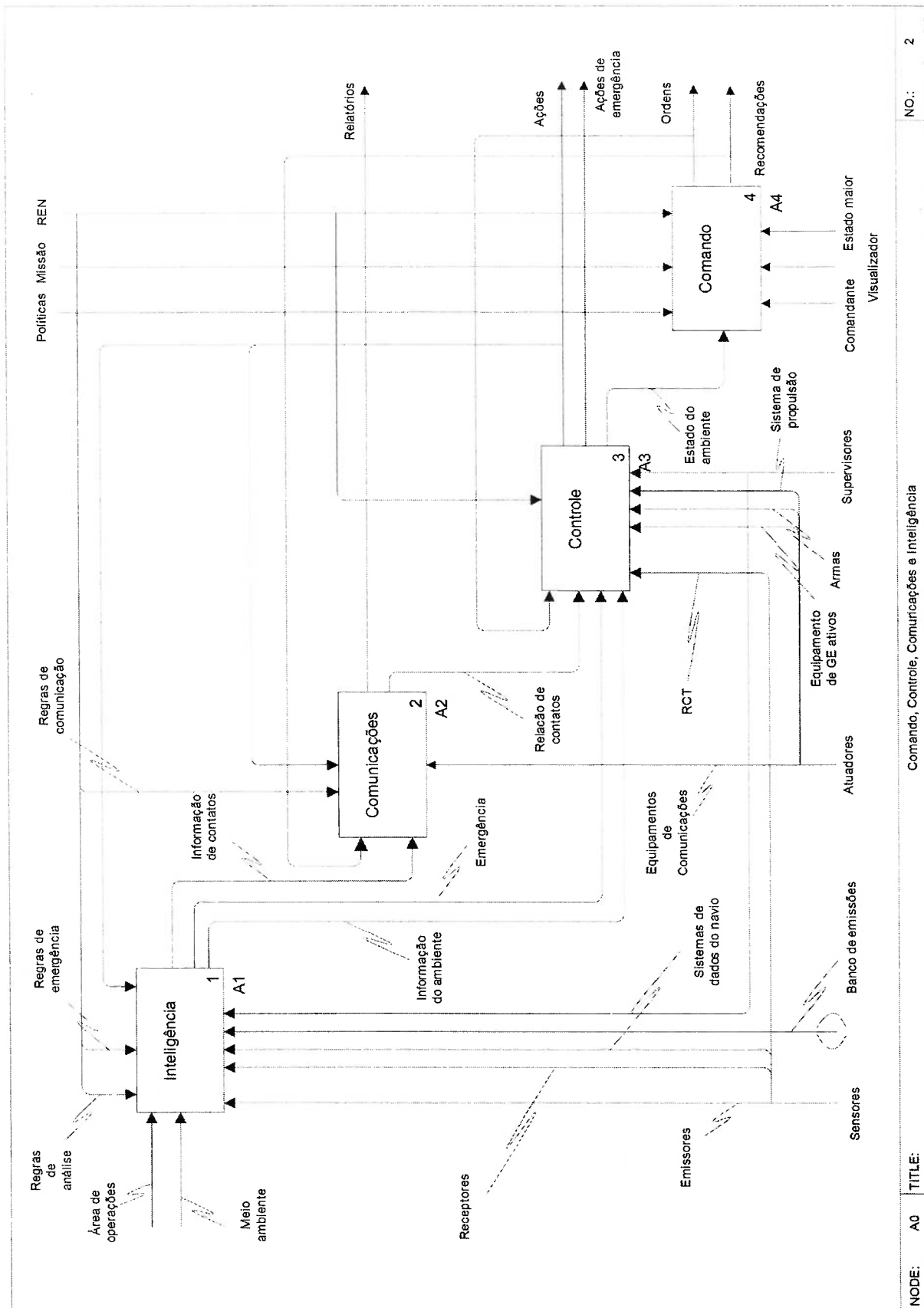


Figura 6.10: Diagrama A0. subsistemas do Sistema C³I

Tabela 6.8 Processo de Inteligência

Processo	Inteligência	
Nó	A0	
Função	Coletar dados do meio ambiente e dados internos para transformá-los em informação.	
Entradas	Meio ambiente	Dados gerais do estado do navio.
	Área de operações	Dados coletados através dos diversos sensores que o navio possui.
Saídas	Emergência	Pedido de execução de uma ação em resposta a um ataque.
	Informação do ambiente	Informação de importância sob o estado do meio ambiente e do navio.
	Informação de contatos	Informação sob possíveis alvos.
Regras	Regras de análise	Normas para a análise dos dados obtidos.
	Regras de emergência	Normas para atuar, caso se tenha informação de ataque à unidade.
	Ações	Especificações dos parâmetros de busca.
Mecanismos	Emissores	Sensores do tipo ativo.
	Receptores	Sensores do tipo passivo.
	Banco de emissões	Contém uma lista com o registro dos diferentes tipos de emissões com suas características e tipo de emissor.
	Supervisores	Grupo de pessoas que operam os diversos subsistemas do navio.
	Sistemas de dados do navio	Sensores do tipo passivo, encarregados de obter informações do estado do navio e do ambiente (velocidade do navio, velocidade do vento, direção do vento, posição do navio, etc.)

Tabela 6.9 Processo de Comunicações

Processo	Comunicações	
Nó	A0	
Função	Disseminar a informação para o lugar correto, utilizando os canais adequados.	
Entradas	Recomendações	Produtos da tomada de decisão. Implicam comunicações de sugestões de ações para outras unidades.
	Informação de contatos	Informação sob possíveis alvos.
Saídas	Relatórios	Informação detalhada das ações executadas e seus efeitos.
	Relação de contatos	Informação das atividades na área de operações.
Regras	Regras de comunicação	Normas para as comunicações de sinais.
	Ações	Especificações dos parâmetros das emissões de sinais.
Mecanismos	Equipamentos de comunicações	Conjunto de "hardware" e "software" necessário para enviar sinais.

Tabela 6.10 Processo de Controle

Processo	Controle	
Nó	A0	
Função	Executar as ordens do comando.	
Entradas	Emergência	Pedido de execução de uma ação em resposta a um ataque.
	Relação de contatos	Informação das atividades na área de operações.
	Informação do ambiente	Dados coletados através dos diversos sensores do navio.
	Ordens	Produtos da tomada de decisão. Implicam necessariamente numa interação com o ambiente.
Saídas	Ações	Execução de uma ordem.
	Estado do ambiente	Informação do estado do navio dentro do ambiente da área de operações.
	Ações de emergência	Execução de uma ação imediata em função da detecção de um ataque inimigo.
Regras	REN	Regras gerais que têm de ser atendidas em determinadas situações. São determinadas pelo mais alto nível da hierarquia da força.
Mecanismos	RCT	Radar de Controle de Tiro.
	Equipes de GE (Guerra Eletrônica) ativos	Equipamentos que emitem ondas eletromagnéticas utilizadas para negar ao inimigo o uso do espectro eletromagnético.
	Armas	Equipamento que efetua o disparo.
	Sistemas de propulsão	Equipamentos que efetuam a movimentação do navio.
	Supervisores	Grupo de pessoas que operam os diversos subsistemas do navio.

Tabela 6.11 Processo de Comando

Processo	Comando	
Nó	A0	
Função	Tomada de decisões.	
Entradas	Estado do ambiente	Informação do estado do navio dentro do ambiente da área de operações.
Saídas	Ordens	Produtos da tomada de decisão. Implicam necessariamente numa interação com o ambiente.
	Recomendações	Produtos da tomada de decisão. Implicam na comunicação de sugestões de ações para outras unidades.
Regras	Políticas	Regras ditadas pelo comandante da unidade em adição às REN.
	Missão	Objetivo da unidade.
	REN	Regras gerais que têm de ser atendidas em determinadas situações. São determinadas pelo mais alto nível da hierarquia da força.
Mecanismos	Comandante	Pessoa no mais alto nível da hierarquia da tomada de decisões da unidade.
	Estado Maior	Grupo de pessoas especialistas nos diversos subsistemas do navio que assessoram o comandante na tomada de decisões.
	Visualizador	Mesa tática onde o comandante e seu estado maior têm a capacidade de observar o comportamento da área de operações, obter as informações de importância, onde podem tomar as decisões e onde dão as ordens.

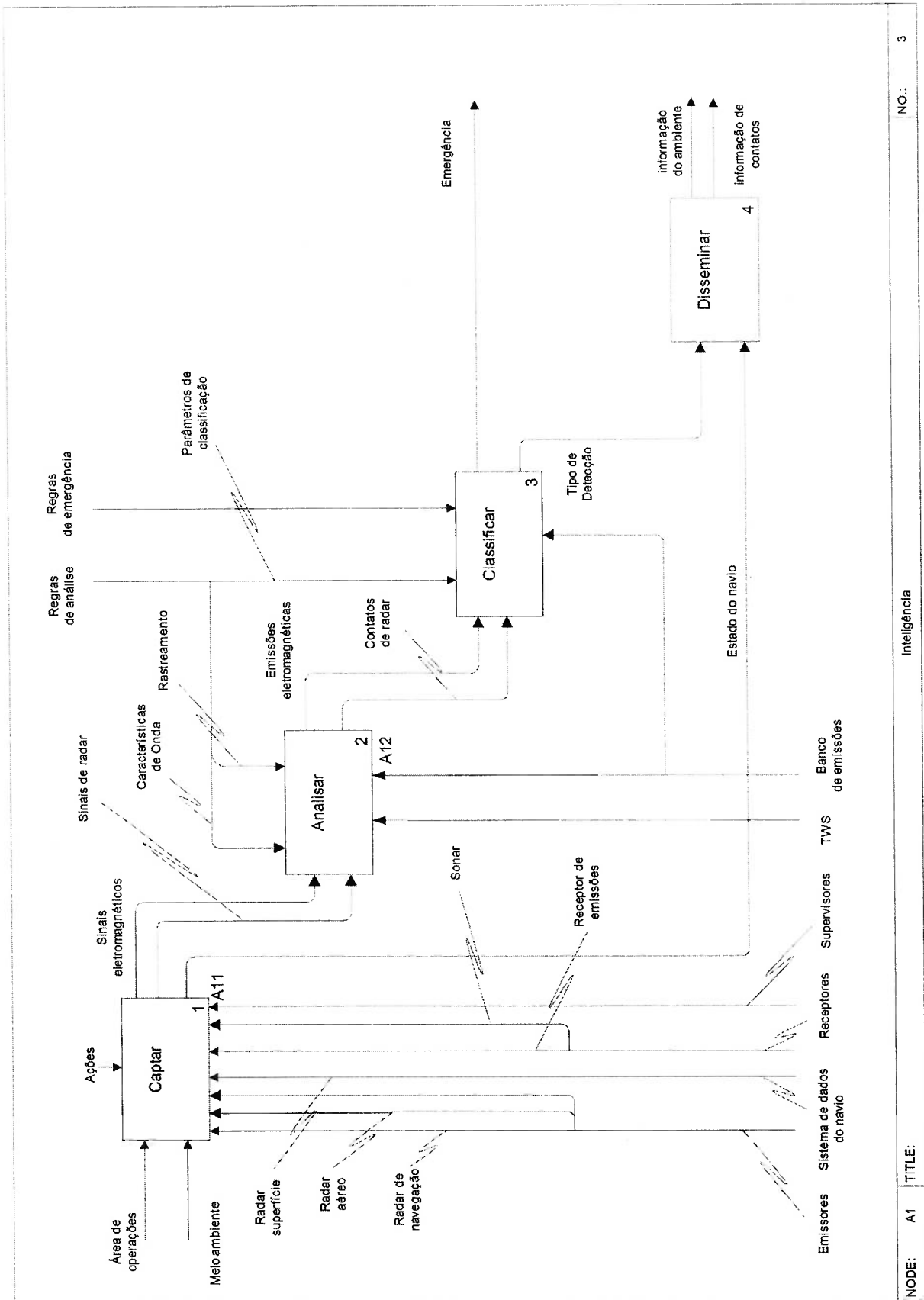


Figura 6.11: Diagrama A1, subsistema Inteligência

Tabela 6.12 Processo Captar

Processo	Captar	
Nó	A1	
Função	Coleta de dados da área de operações e dados internos do navio.	
Entradas	Área de operações	Dados coletados através dos diversos sensores que possui o navio.
	Meio ambiente	Informação geral do estado do navio.
Saídas	Sinais eletromagnéticos	Emissões eletromagnéticas recebidas pelos sensores de guerra eletrônica.
	Sinais de radar	Emissões recebidas pelos radares.
	Estado do navio	Informação geral do navio em tempo real.
Regras	Ações	Especificações dos parâmetros de busca.
Mecanismos	Radar de navegação	Radar utilizado para a navegação.
	Radar aéreo	Radar utilizado para a procura de contatos aéreos.
	Radar de superfície	Radar utilizado para a procura de contatos de superfície.
	Receptor de emissões	Receptor de ondas eletromagnéticas não geradas pelo navio.
	Sonar	Receptor de ondas acústicas. Seu funcionamento é debaixo do mar.
	Sistema de dados do navio	Sensores do tipo passivo, encarregados de obter informações do estado do navio e do ambiente (velocidade do navio, velocidade do vento, direção do vento, posição do navio, etc.).
	Supervisores	Grupo de pessoas que operam os diversos subsistemas do navio.

Tabela 6.13 Processo Analisar

Processo	Analisar	
Nó	A1	
Função	Análise de emissões.	
Entradas	Sinais eletromagnéticos	Emissões eletromagnéticas recebidas pelos sensores de guerra eletrônica.
	Sinais de radar	Emissões recebidas pelos radares.
Saídas	Emissões eletromagnéticas	Emissões eletromagnéticas analisadas de acordo com o tipo de onda.
	Contatos de radar	Emissões de radar analisadas de acordo com o movimento dentro da área de operações.
Regras	Características de onda	Parâmetros a utilizar na análise de emissões eletromagnéticas.
	Rastreamento	Regras de rastreamento.
Mecanismos	Banco de emissões	Contém uma lista de registros de diferentes tipos de emissões com suas características e tipo de emissor.
	TWS	Sistema de rastreamento (<i>Track While Scan</i>).

Tabela 6.14 Processo Classificar

Processo	Classificar	
Nó	A1	
Função	Classificação de emissões.	
Entradas	Emissões eletromagnéticas	Emissões eletromagnéticas analisadas de acordo com o tipo de onda.
	Contatos de radar	Emissões de radar analisadas de acordo com o movimento dentro da área de operações.
Saídas	Emergência	Emissão perigosa a qual indica um ataque.
	Tipo de detecção	Possível alvo ou contato.
Regras	Parâmetros de classificação	Normas para a classificação dos dados obtidos.
	Regras de emergência	Parâmetros para a classificação de uma emergência.
Mecanismos	Banco de emissões	Contém uma lista de registros de diferentes tipos de emissões com suas características e tipo de emissor.

Tabela 6.15 Processo Disseminar

Processo	Disseminar	
Nó	A1	
Função	Recopilação das informações geradas para sua disseminação às diversas unidades.	
Entradas	Tipo de detecção	Possível alvo ou contato.
	Estado do navio	Informação geral do navio em tempo real.
Saídas	Informação do ambiente	Informação de importância sobre o estado do meio ambiente e do navio.
	Informação de contatos	Informação sob possíveis alvos.

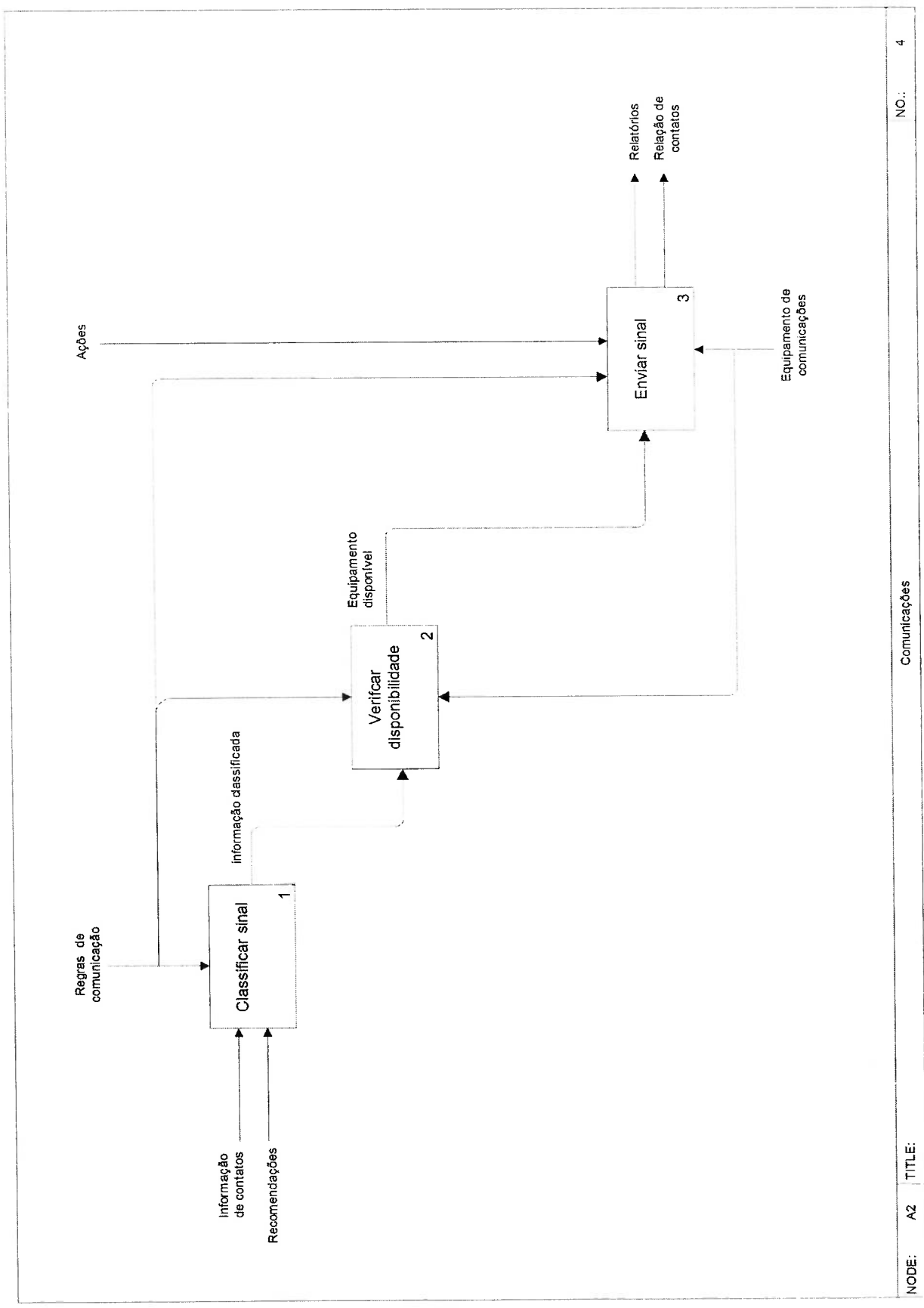


Figura 6.12: Diagrama A2, subsistema Comunicações

Tabela 6.16 Processo Classificar sinal

Processo	Classificar sinal	
Nó	A2	
Função	Tipo de sinal a transmitir.	
Entradas	Informação de contatos	Informação sob possíveis alvos.
	Recomendações	Produtos da tomada de decisão. Implicam na comunicação de sugestões de ações para outras unidades.
Saídas	Informação classificada	Informação agrupada de acordo com o meio que será utilizado na transmissão.
Regras	Regras de comunicação	Normas para as comunicações de sinais.

Tabela 6.17 Processo de Verificar disponibilidade

Processo	Verificar disponibilidade	
Nó	A2	
Função	Verificação dos equipamentos de comunicação.	
Entradas	Informação classificada	Informação agrupada de acordo com o meio que será utilizado na transmissão.
	Saídas	Seleção do equipamento que será utilizado na transmissão.
Mecanismos	Equipamento de comunicações	Conjunto de "hardware" e "software" necessário para enviar sinais.
	Regras	Regras de comunicação de

Tabela 6.18 Processo Enviar sinal

Processo	Enviar sinal	
Nó	A2	
Função	Transmissão do sinal.	
Entradas	Equipamento disponível	Seleção do equipamento que será utilizado na transmissão e a informação a ser transmitida.
	Saídas	Relatórios
Regras	Relação de contatos	Informação das atividades na área de operações.
	Regras de comunicação de	Normas para as comunicações de sinais.
Mecanismos	Ações	Especificações da transmissão de sinais.
	Equipamento de comunicações	Conjunto de hardware e software necessário para enviar sinais.

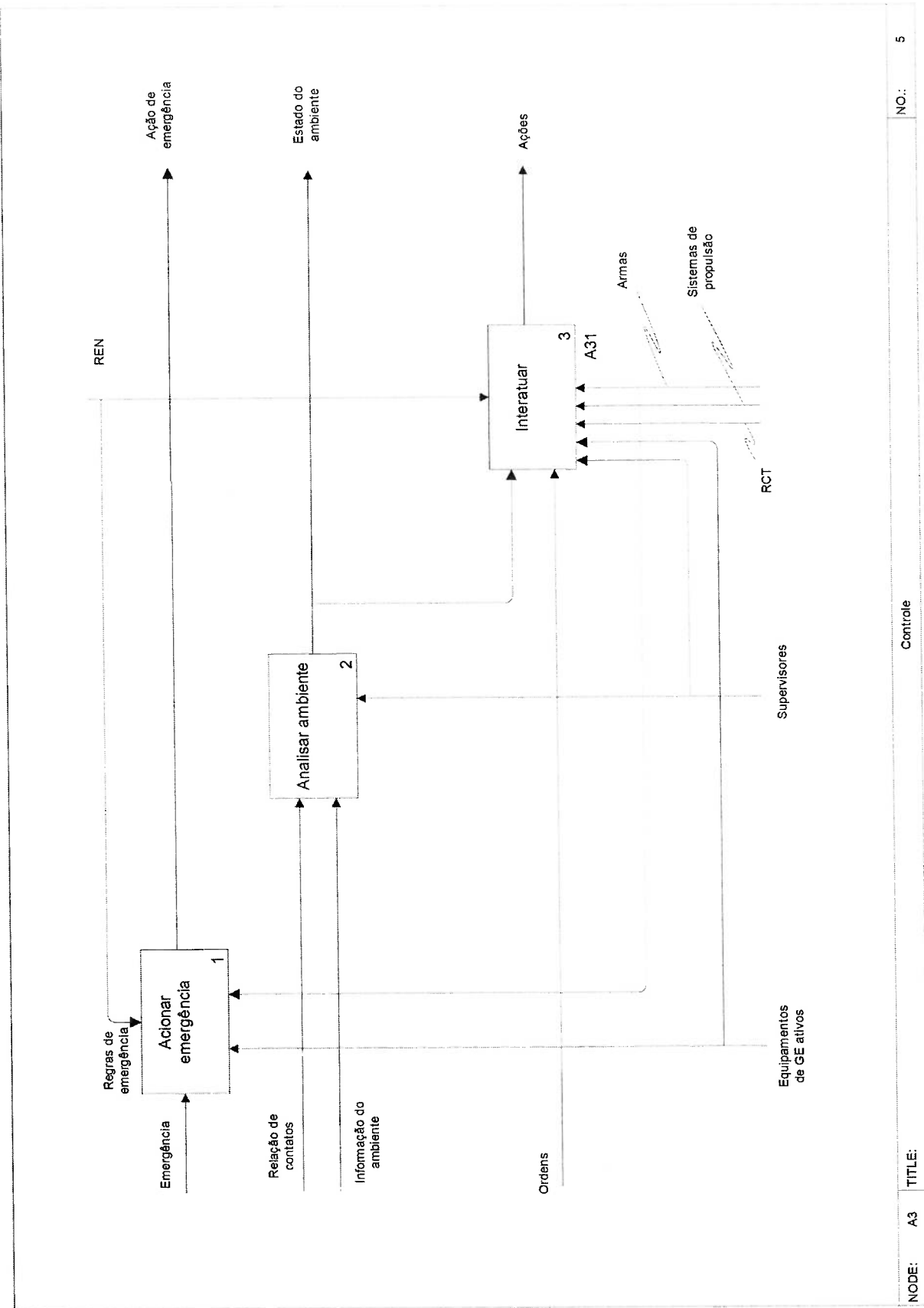


Figura 6.13: Diagrama A3. subsistema Controle

Tabela 6.19 Processo Acionar emergência

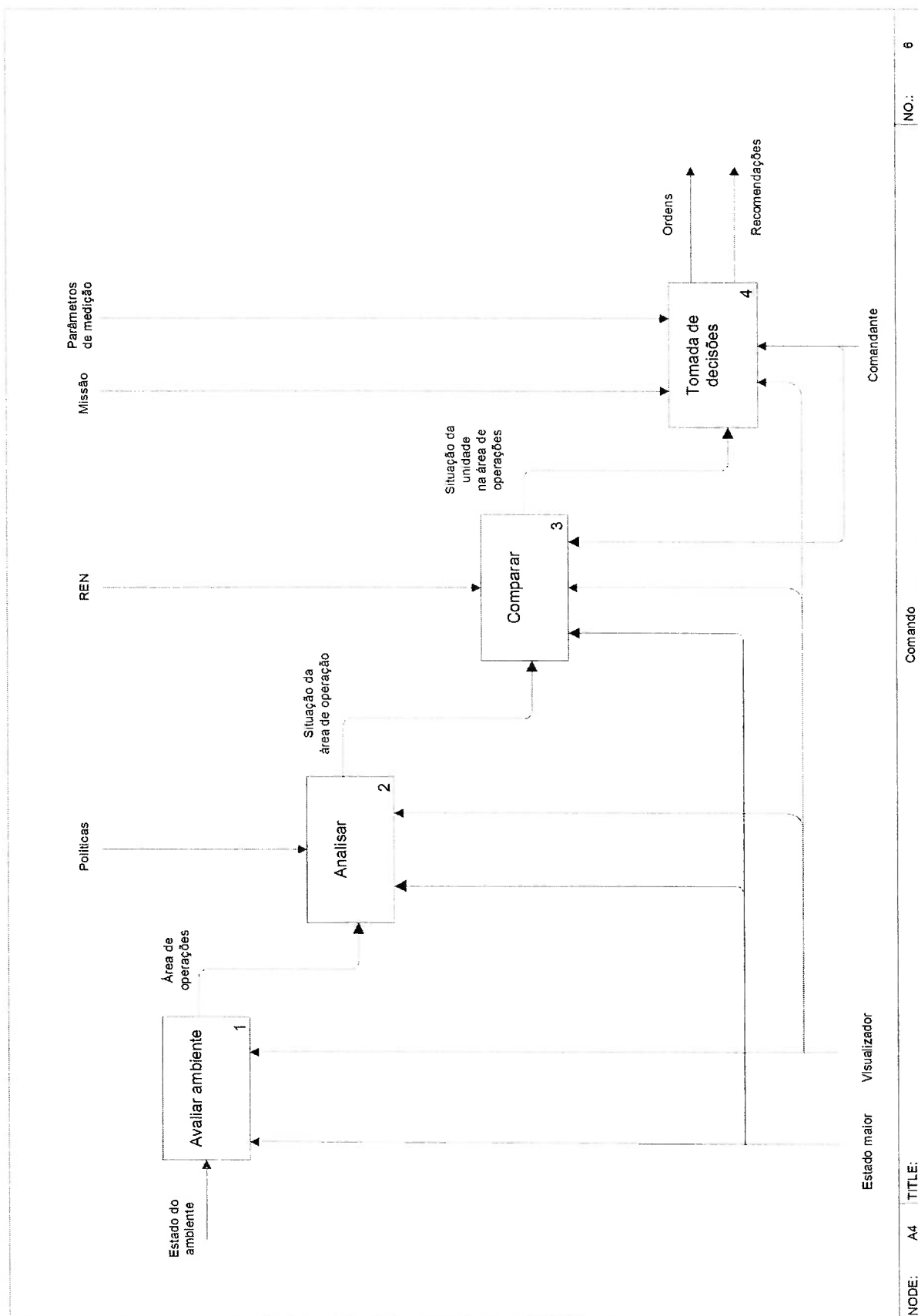
Processo	Acionar emergência	
Nó	A3	
Função	Escolher a melhor ação para a defesa de um ataque.	
Entradas	Emergência	Pedido de execução de uma ação em resposta a um ataque.
Saídas	Ação de emergência	Melhor resposta a um ataque.
Regras	Regras de emergência	Normas para atuar, caso se tenha informação de ataque à unidade.
Mecanismos	Equipamentos de GE ativos	Equipamentos que emitem ondas eletromagnéticas utilizadas para negar ao inimigo o uso do espectro eletromagnético.
	Armas	Equipamento que efetua o disparo.

Tabela 6.20 Processo Analisar ambiente

Processo	Analisar ambiente	
Nó	A3	
Função	Análise das condições do meio ambiente.	
Entradas	Relação de contatos	Informação das atividades na área de operações.
	Informação do ambiente	Dados coletados através dos diversos sensores que possui o navio.
Saídas	Estado do ambiente	Informação do estado do navio dentro do ambiente da área de operações.
Mecanismos	Supervisores	Grupo de pessoas que operam os diversos subsistemas do navio.

Tabela 6.21 Processo Interatuar

Processo	Interatuar	
Nó	A3	
Função	Execução das ordens para efetuar ações que interagem com o ambiente.	
Entradas	Estado do ambiente	Informação do estado do navio dentro do ambiente da área de operações.
	Ordens	Comandos para efetuar determinada ação.
Saídas	Ações	Execução de uma ordem.
Regras	REN	Regras gerais que têm que ser atendidas em determinadas situações. São determinadas pelo mais alto nível da hierarquia da força.
Mecanismos	Supervisores	Grupo de pessoas que operam os diversos subsistemas do navio.
	Equipamentos de GE ativos	Equipamentos que emitem ondas eletromagnéticas utilizadas para negar ao inimigo o uso do espectro eletromagnético.
	RCT	Radar de Controle de Tiro.
	Sistemas de propulsão	Equipamentos que efetua a movimentação do navio.
	Armas	Equipamento que efetua o disparo.



NODE: A4	TITLE: Comando	NO.: 6
----------	----------------	--------

Figura 6.14: Diagrama A4. subsistema Comando

Tabela 6.22 Processo Avaliar ambiente

Processo	Avaliar ambiente	
Nó	A4	
Função	Analisar o estado do ambiente no qual o navio está operando.	
Entradas	Estado do ambiente	Informação do estado do navio dentro do ambiente da área de operações.
Saídas	Área de operações	Determinação da área de operações.
Mecanismos	Estado Maior	Grupo de pessoas especialistas nos diversos subsistemas do navio que assessoram o comandante na tomada de decisões.
	Visualizador	Mesa tática onde o comandante e seu estado maior têm a capacidade de observar o comportamento da área de operações, obter as informações de importância, onde podem tomar as decisões e onde dão as ordens.

Tabela 6.23 Processo Analisar

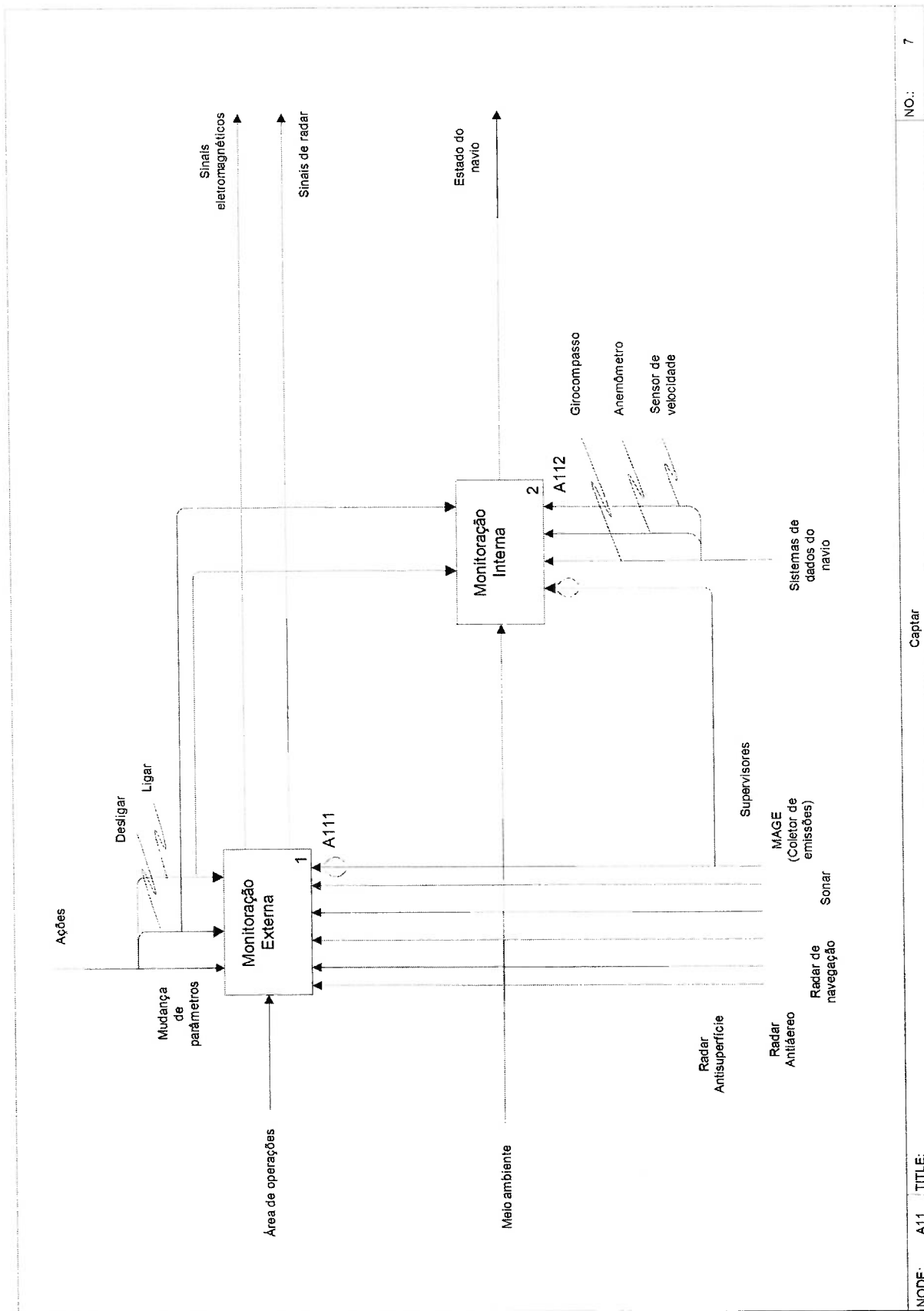
Processo	Analisar	
Nó	A4	
Função	Analisar a área de operações na qual o navio está operando.	
Entradas	Área de operações	Determinação da área de operações.
Saídas	Situação da área de operações	Determinação das condições do navio dentro da área de operações.
Regras	Políticas	Regras ditadas pelo comandante da unidade em adição às REN.
Mecanismos	Estado Maior	Grupo de pessoas especialistas nos diversos subsistemas do navio que assessoram o comandante na tomada de decisões.
	Visualizador	Mesa tática onde o comandante e seu estado maior têm a capacidade de observar o comportamento da área de operações, obter as informações de importância, onde podem tomar as decisões e onde dão as ordens.

Tabela 6.24 Processo Comparar

Processo	Comparar	
Nó	A4	
Função	Comparação das condições no navio na área de operações e as regras de enfrentamento nestas condições.	
Entradas	Situação da área de operações	Determinação das condições do navio dentro da área de operações.
Saídas	Situação da unidade na área de operações	Estado da unidade em tempo real e sua colocação na área de operações.
Regras	REN	Regras gerais que têm de ser atendidas em determinadas situações. São determinadas pelo mais alto nível da hierarquia da força.
Mecanismos	Estado maior	Grupo de pessoas especialistas nos diversos subsistemas do navio que assessoram o comandante na tomada de decisões.
	Comandante	Pessoa no mais alto nível da hierarquia da tomada de decisões da unidade.
	Visualizador	Mesa tática onde o comandante e seu estado maior têm a capacidade de observar o comportamento da área de operações, obter as informações de importância, onde podem tomar as decisões e onde dão as ordens.

Tabela 6.25 Processo Tomada de decisões

Processo	Tomada de decisões	
Nó	A4	
Função	Tomada de decisões.	
Entradas	Situação da unidade na área de operações	Estado da unidade em tempo real e sua colocação na área de operações.
Saídas	Ordens	Produtos da tomada de decisão. Implicam necessariamente numa interação com o ambiente.
	Recomendações	Produtos da tomada de decisão. Implicam na comunicação de sugestões de ações para outras unidades.
Regras	Missão	Objetivo da unidade.
	Parâmetros de decisão	Parâmetros a tomar em conta na decisão.
Mecanismos	Comandante	Pessoa no mais alto nível da hierarquia da tomada de decisões da unidade.
	Visualizador	Mesa tática onde o comandante e seu estado maior têm a capacidade de observar o comportamento da área de operações, obter as informações de importância, onde podem tomar as decisões e onde dão as ordens.



NO.: 7

Captor

NODE: A11 TITLE:

Figura 6.15: Diagrama A11. função Captar

Tabela 6.26 Processo Monitoração externa

Processo	Monitoração externa	
Nó	A11	
Função	Coleção de informações da área de operações.	
Entradas	Área de operações	Dados coletados através dos diversos sensores que possui o navio.
Saídas	Sinais eletromagnéticos	Emissões eletromagnéticas recebidas pelos sensores de guerra eletrônica.
	Sinais de radar	Emissões recebidas pelos radares.
Regras	Mudança de parâmetros	Alteração de parâmetros de busca dos sensores.
	Desligar	Desligar equipamentos.
	Ligar	Ligar equipamentos.
Mecanismos	Radar antissuperfície	Radar utilizado para a procura de contatos de superfície.
	Radar antiaéreo	Radar utilizado para a procura de contatos aéreos.
	Radar de navegação	Radar utilizado para a navegação.
	Sonar	Receptor de ondas acústicas. Seu funcionamento é sob o mar.
	MAGE (Receptor de emissões)	Receptor de ondas eletromagnéticas não geradas pelo navio.
Supervisores	Grupo de pessoas que operam os diversos subsistemas do navio.	

Tabela 6.27 Processo Monitoração interna

Processo	Monitoração interna	
Nó	A11	
Função	Coletar informações do meio ambiente.	
Entradas	Meio ambiente	Informação geral do estado do navio.
Saídas	Estado do navio	Informação geral do navio em tempo real.
Regras	Ligar	Ligar equipamentos.
	Desligar	Desligar equipamentos.
Mecanismos	Supervisor	Grupo de pessoas que operam os diversos subsistemas do navio.
	Girocompasso	Calcula a localização do norte magnético ou norte verdadeiro.
	Anemômetro	Calcula a velocidade e direção do vento.
	Sensor de velocidade	Calcula a velocidade do navio.

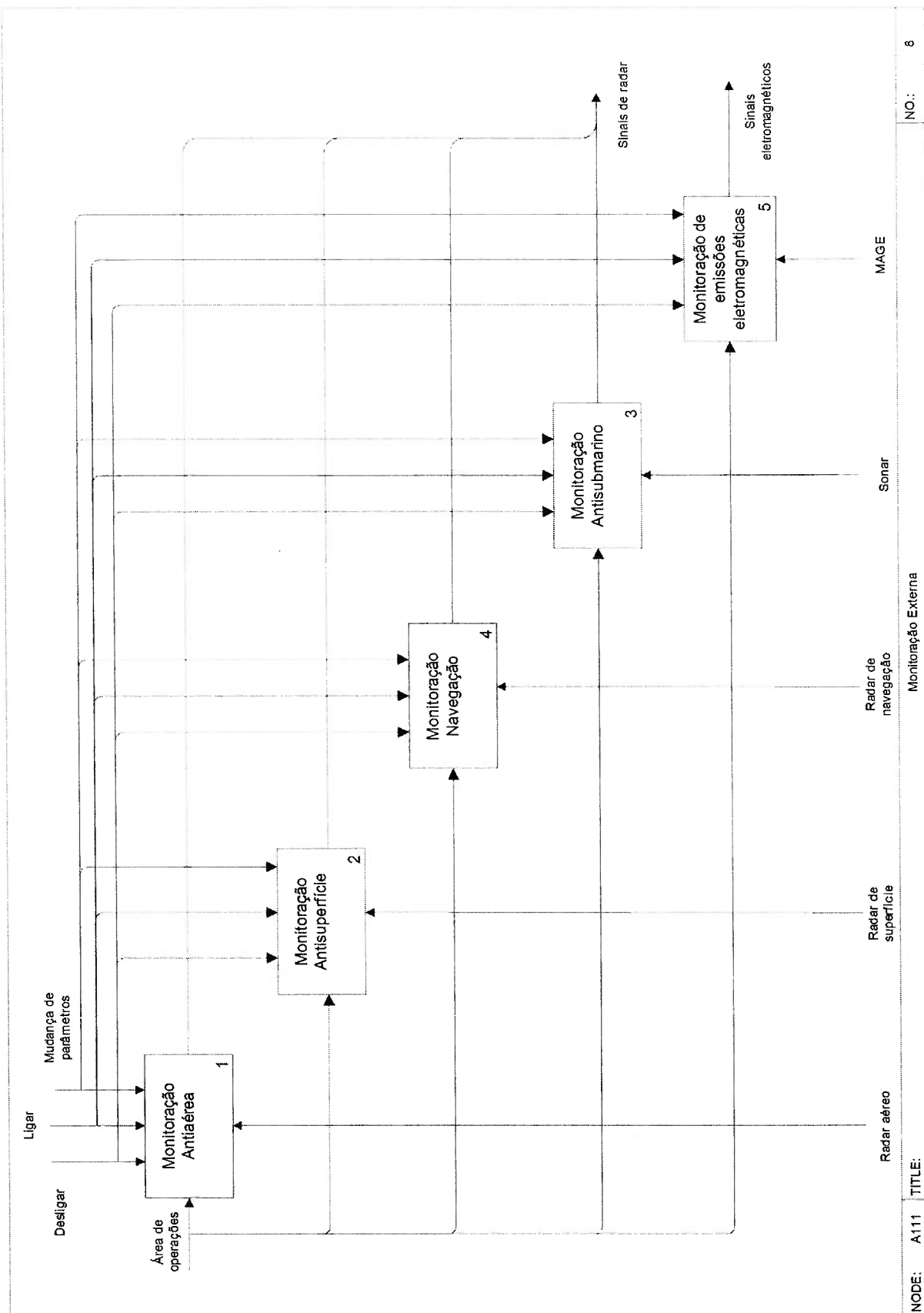


Figura 6.16: Diagrama A111. função Monitoração Externa

Tabela 6.28 Processo Monitoração antiaérea

Processo	Monitoração antiaérea	
Nó	A111	
Função	Coletar informações da área de operações aérea.	
Entradas	Área de operações	Dados coletados através dos diversos sensores que possui o navio.
Saídas	Sinais de radar	Emissões recebidas pelo radar.
Regras	Ligar	Ligar equipamento.
	Desligar	Desligar equipamento.
	Mudança de parâmetros	Alteração de parâmetros de busca dos sensores.
Mecanismos	Supervisor	Grupo de pessoas que operam os diversos subsistemas do navio.
	Radar aéreo	Radar utilizado para a procura de contatos aéreos.

Tabela 6.29 Processo Monitoração antissuperfície

Processo	Monitoração antissuperfície	
Nó	A111	
Função	Coletar informações da área de operações de superfície.	
Entradas	Área de operações	Dados coletados através dos diversos sensores que possui o navio.
Saídas	Sinais de radar	Emissões recebidas pelo radar.
Regras	Ligar	Ligar equipamento.
	Desligar	Desligar equipamento.
	Mudança de parâmetros	Alteração de parâmetros de busca dos sensores.
Mecanismos	Supervisor	Grupo de pessoas que operam os diversos subsistemas do navio.
	Radar de superfície	Radar utilizado para a procura de contatos de superfície.

Tabela 6.30 Processo Monitoração de navegação

Processo	Monitoração navegação	
Nó	A111	
Função	Coletar informações da área de operações de navegação.	
Entradas	Área de operações	Dados coletados através dos diversos sensores que possui o navio.
Saídas	Sinais de radar	Emissões recebidas pelo radar.
Regras	Ligar	Ligar equipamento.
	Desligar	Desligar equipamento.
	Mudança de parâmetros	Alteração de parâmetros de busca dos sensores.
Mecanismos	Supervisor	Grupo de pessoas que operam os diversos subsistemas do navio.
	Radar de navegação	Radar utilizado para a navegação.

Tabela 6.31 Processo Monitoração antisubmarina

Processo	Monitoração antisubmarina	
Nó	A111	
Função	Coletar informações da área de operações submarinas.	
Entradas	Área de operações	Dados coletados através dos diversos sensores que possui o navio.
Saídas	Sinais de radar	Emissões recebidas pelo radar.
Regras	Ligar	Ligar equipamento.
	Desligar	Desligar equipamento.
	Mudança de parâmetros	Alteração de parâmetros de busca dos sensores.
Mecanismos	Supervisor	Grupo de pessoas que operam os diversos subsistemas do navio.
	Sonar	Receptor de ondas acústicas. Seu funcionamento é sob o mar.

Tabela 6.32 Processo Monitoração de emissões eletromagnéticas

Processo	Monitoração de emissões eletromagnéticas	
Nó	A111	
Função	Coletar informações da área de operações de guerra eletrônica.	
Entradas	Área de operações	Dados coletados através dos diversos sensores que possui o navio.
Saídas	Sinais eletromagnéticos	Emissões eletromagnéticas recebidas pelos sensores de guerra eletrônica.
Regras	Ligar	Ligar equipamento.
	Desligar	Desligar equipamento.
	Mudança de parâmetros	Alteração de parâmetros de busca dos sensores.
Mecanismos	Supervisor	Grupo de pessoas que operam os diversos subsistemas do navio.
	MAGE	Receptor de ondas eletromagnéticas não geradas pelo navio.

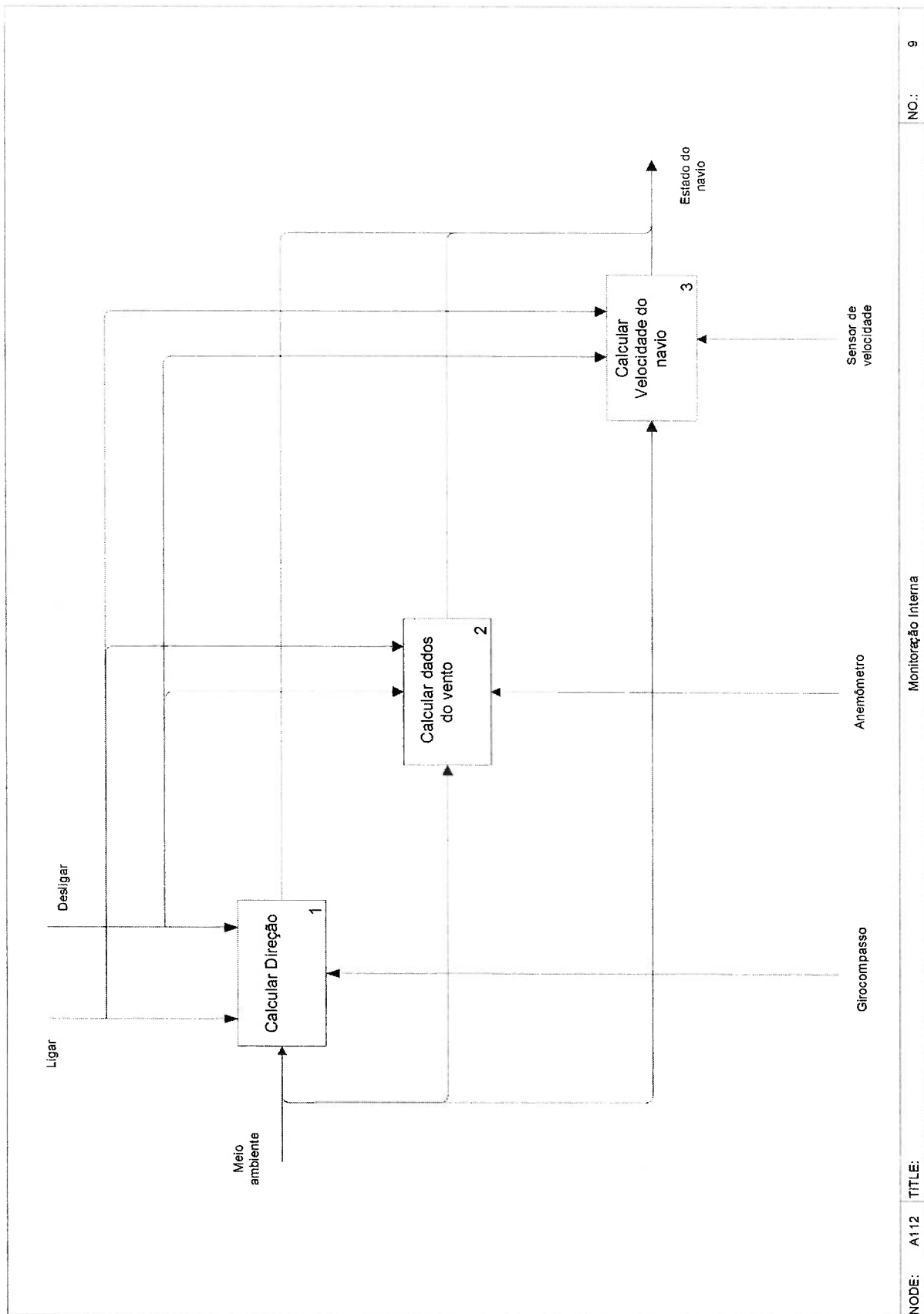


Figura 6.17: Diagrama A112. função Monitoração interna

Tabela 6.33 Processo Calcular direção

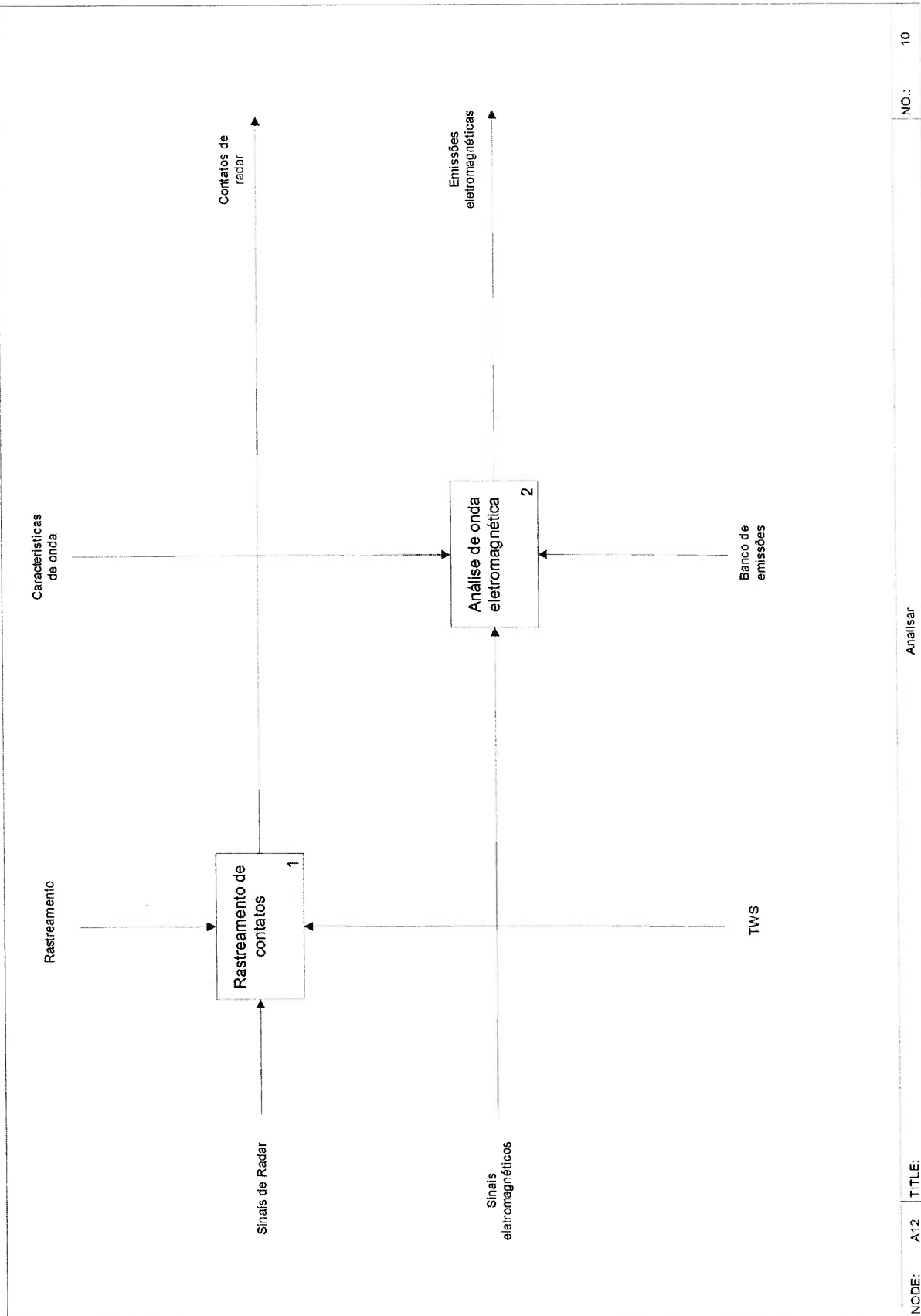
Processo	Calcular direção	
Nó	A112	
Função	Calcular direção do navio.	
Entradas	Meio ambiente	Informação geral do estado do navio.
Saídas	Estado do navio	Informação geral do navio em tempo real.
Regras	Ligar	Ligar equipamento.
	Desligar	Desligar equipamento.
Mecanismos	Supervisor	Grupo de pessoas que operam os diversos subsistemas do navio.
	Girocompasso	Calcula a localização do norte magnético ou norte verdadeiro.

Tabela 6.34 Processo Calcular dados do vento

Processo	Calcular direção	
Nó	A112	
Função	Calcular velocidade e direção do vento.	
Entradas	Meio ambiente	Informação geral do estado do navio.
Saídas	Estado do navio	Informação geral do navio em tempo real.
Regras	Ligar	Ligar equipamento.
	Desligar	Desligar equipamento.
Mecanismos	Supervisor	Grupo de pessoas que operam os diversos subsistemas do navio.
	Anemômetro	Calcula a velocidade e direção do vento.

Tabela 6.35 Processo Calcular velocidade do navio

Processo	Calcular direção	
Nó	A112	
Função	Calcular a velocidade do navio.	
Entradas	Meio ambiente	Informação geral do estado do navio.
Saídas	Estado do navio	Informação geral do navio em tempo real.
Regras	Ligar	Ligar equipamento.
	Desligar	Desligar equipamento.
Mecanismos	Supervisor	Grupo de pessoas que operam os diversos subsistemas do navio.
	Sensor de velocidade	Calcula a velocidade do navio.



NO.: 10

Analisar

TITLE:

A12

Figura 6.18: Diagrama A12. função Analisar

Tabela 6.36 Processo Rastreamento de contatos

Processo	Rastreamento de contatos	
Nó	A12	
Função	Efetuar rastreamento de contatos com a finalidade de obter seu rumo e velocidade.	
Entradas	Sinais de radar	Emissões eletromagnéticas recebidas pelos sensores do navio.
Saídas	Contatos de radar	Emissões de radar analisadas de acordo com o movimento dentro da área de operações.
Regras	Regras de rastreamento	Regras de rastreamento.
Mecanismos	TWS	Sistema de rastreamento (<i>Track While Scan</i>).

Tabela 6.37 Processo Análise de onda eletromagnética

Processo	Análise de onda eletromagnética	
Nó	A12	
Função	Efetuar análise de ondas eletromagnéticas com a finalidade de obter informações mais precisas.	
Entradas	Sinais eletromagnéticos	Emissões eletromagnéticas recebidas pelos sensores de guerra eletrônica.
Saídas	Emissões eletromagnéticas	Emissões eletromagnéticas analisadas de acordo com o tipo de onda.
Regras	Características de onda	Parâmetros a utilizar na análise de emissões eletromagnéticas.
Mecanismos	Banco de emissões	Contém uma lista de registros de diferentes tipos de emissões com suas características e tipo de emissor.

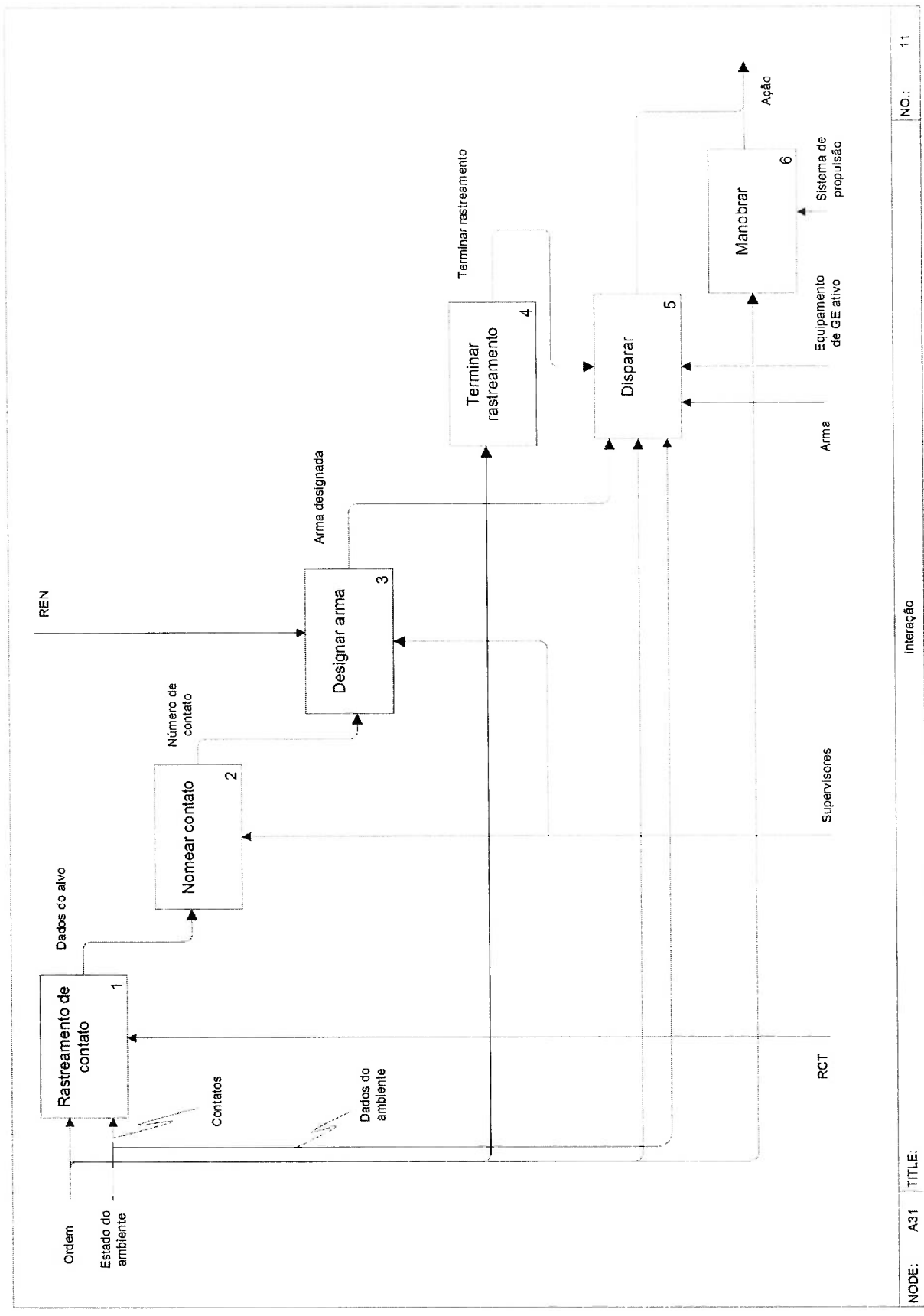


Figura 6.19: Diagrama A31, função Interatuar do subsistema Controle

Tabela 6.38 Processo Rastreamento de contato

Processo	Rastreamento de contato	
Nó	A31	
Função	Manter o alvo na mira.	
Entradas	Ordens	Produtos da tomada de decisão. Implicam necessariamente numa interação com o ambiente.
	Contato	Relação de contatos detectados e analisados.
Saídas	Dados do alvo	Características do alvo.
Mecanismos	RCT	Radar de Controle de Tiro.

Tabela 6.39 Processo Nomear contato

Processo	Nomear contato	
Nó	A31	
Função	Identificar o alvo com um nome.	
Entradas	Dados do alvo	Características do alvo.
Saídas	Número de contato	Identificação do alvo.
Mecanismos	Supervisores	Grupo de pessoas que operam os diversos subsistemas do navio.

Tabela 6.40 Processo Designar arma

Processo	Designar arma	
Nó	A31	
Função	Escolher a melhor arma para usar.	
Entradas	Número de contato	Identificação do alvo.
Saídas	Arma designada	Arma para disparar contra o alvo.
Regras	REN	Regras gerais que têm de ser seguidas em determinadas situações. São determinadas pelo mais alto nível da hierarquia da força.
Mecanismos	Supervisores	Grupo de pessoas que operam os diversos subsistemas do navio.

Tabela 6.41 Processo Terminar rastreamento

Processo	Terminar rastreamento	
Nó	A31	
Função	Deter disparo.	
Entradas	Ordens	Produtos da tomada de decisão. Implicam necessariamente numa interação com o ambiente.
Saídas	Terminar rastreamento	Características do alvo mudaram.

Tabela 6.42 Processo Disparar

Processo	Disparar	
Nó	A31	
Função	Utilização da arma designada.	
Entradas	Arma designada	Arma para disparar contra o alvo.
	Ordens	Produtos da tomada de decisão. Implicam necessariamente numa interação com o ambiente.
	Dados do ambiente	Informação do estado do navio dentro do ambiente da área de operações.
Saídas	Ação	Execução de uma ordem.
Regras	Terminar seguimento	Características do alvo mudaram.
Mecanismos	Arma	Equipamento que efetua o disparo.
	Equipamento de GE ativo	Equipamentos que emitem ondas eletromagnéticas utilizadas para negar ao inimigo o uso do espectro eletromagnético.

Tabela 6.43 Processo Manobrar

Processo	Manobrar	
Nó	A31	
Função	Mudar direção e velocidade do navio.	
Entradas	Ordens	Produtos da tomada de decisão. Implicam necessariamente numa interação com o ambiente.
Saídas	Ação	Execução de uma ordem.
Mecanismos	Sistemas de propulsão	Equipamentos que efetua a movimentação do navio.

6.4 ETAPA 4: MODELAGEM CONCEITUAL E FUNCIONAL DO SISTEMA

Uma vez gerados os diagramas IDEF0 pode-se então obter as informações necessárias para a elaboração dos modelos PFS e MFG. A primeira informação requerida para iniciar a modelagem é conhecer as funções que devem ser executadas pelo sistema C³I. Esta informação é provida pelo IDEF0 tomando em consideração os processos obtidos na modelagem.

Conhecendo as funções, o detalhamento delas é necessário para a elaboração dos modelos PFS. Inicialmente assume-se que as funções são agrupadas em quatro grandes blocos, as funções de inteligência, de comunicações, de controle e de comando. Isto é apresentado no diagrama da Figura 6.20, onde se mostram os dois primeiros níveis das funções.

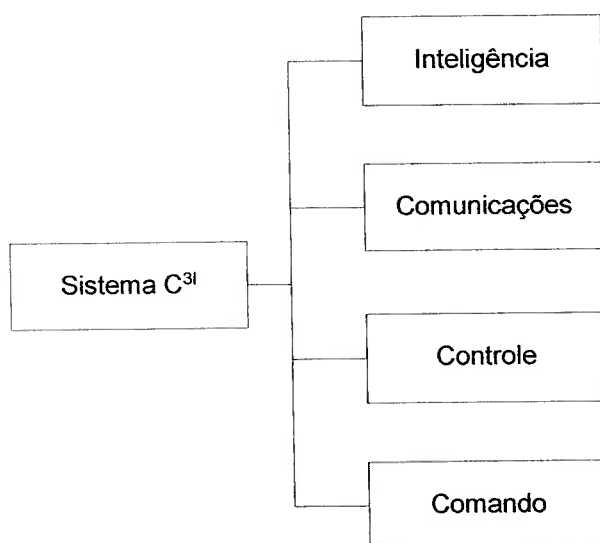


Figura 6.20: Diagrama correspondente aos dois primeiros níveis das funções do Sistema C³I

O correspondente modelo conceitual em PFS é apresentado na Figura 6.21. Nele pode-se ver que as atividades de comunicações e de controle apresentam uma característica particular [Sugisawa, 1998]: a atividade pode ser iniciada de mais de uma forma.

Desta maneira, a atividade de comunicações pode ser iniciada de duas formas, com informações provenientes da atividade de inteligência ou da atividade

de comando. De maneira similar, a atividade de controle pode ser iniciada com informações provenientes da atividade de inteligência, comunicações ou de comando.

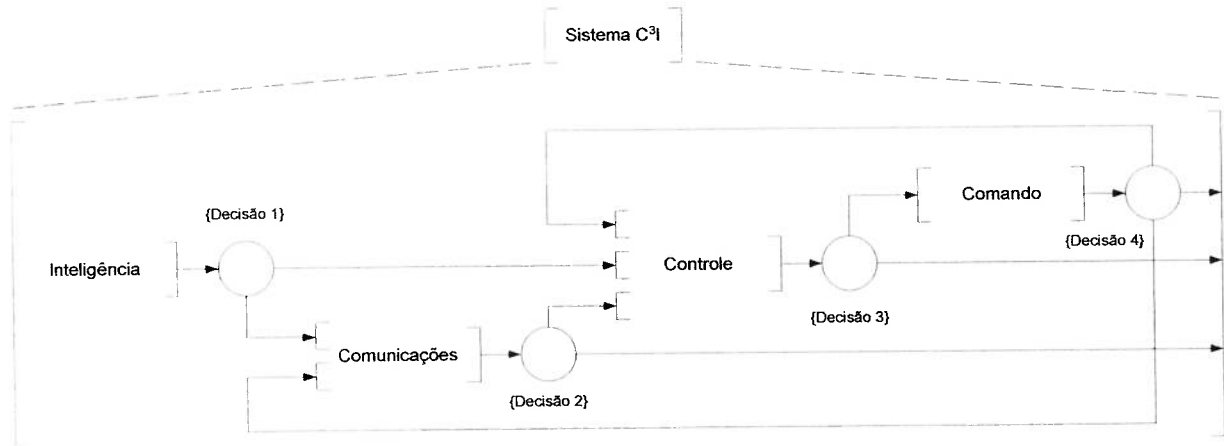


Figura 6.21: Modelo PFS do Sistema C³I

Para assegurar uma modelagem mais estruturada e facilitar a compreensão dos modelos, procede-se a decomposição das funções.

6.4.1 Função de Inteligência

A função de inteligência é decomposta em funções de captar, classificar, analisar e disseminar. Esta decomposição é apresentada na Figura 6.22.

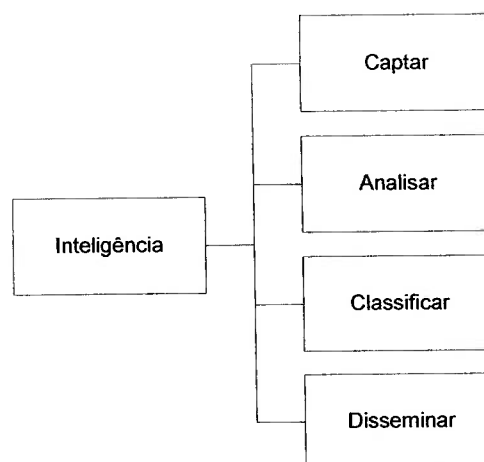


Figura 6.22: Diagrama correspondente à função de inteligência e sua decomposição

A função captar é a que inicia o processo de comando e controle que será conduzido pelo sistema C³I. A decomposição da função de captar é apresentada na Figura 6.23.

Esta decomposição se faz de acordo com os requisitos e dispositivos necessários detalhados na etapa 2.

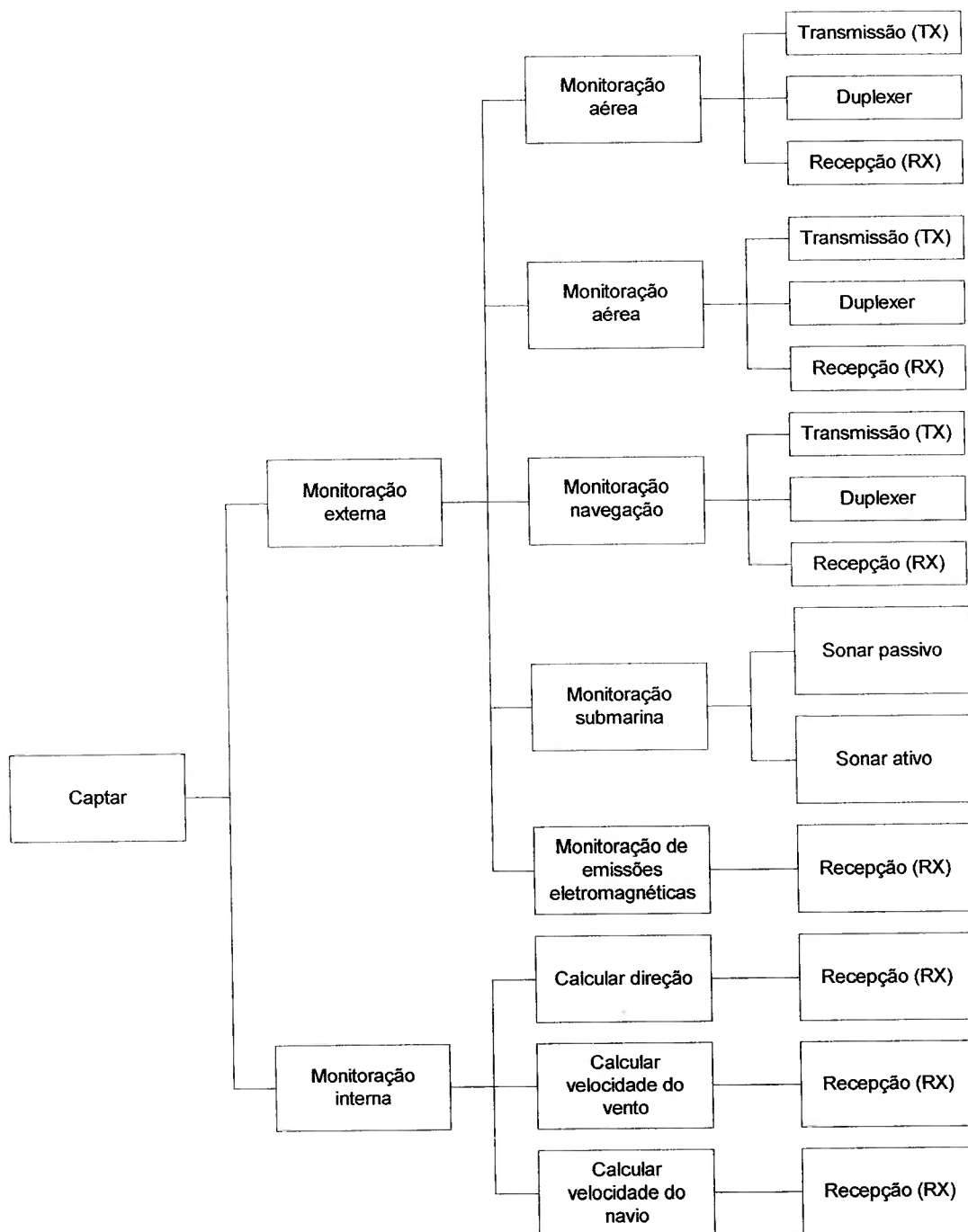


Figura 6.23: Diagrama correspondente à função captar e sua decomposição

A decomposição da função analisar é apresentada na Figura 6.24.

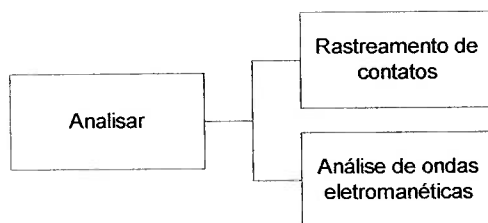


Figura 6.24: Diagrama correspondente à função analisar e sua decomposição

As funções de classificar e disseminar não requerem uma posterior decomposição de funções.

Na Figura 6.25 apresenta-se o modelo PFS da função de inteligência. Uma vez obtido o modelo PFS, inicia-se o processo de decomposição hierárquica da função de inteligência.

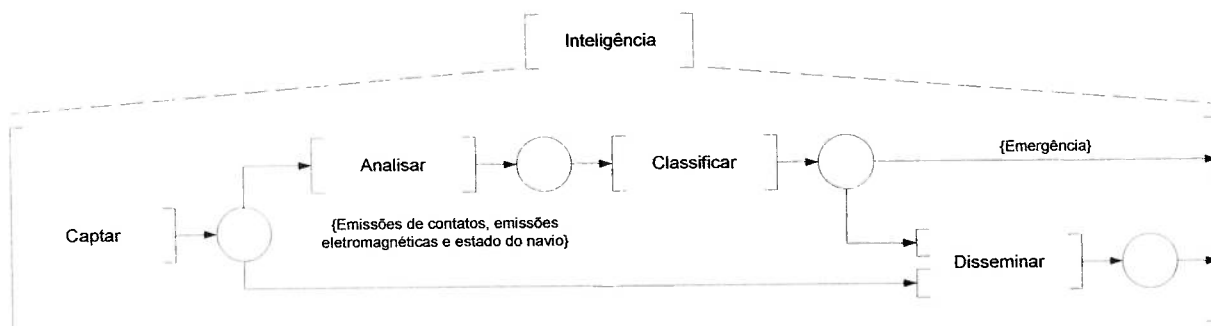


Figura 6.25: Modelo PFS da função de inteligência

6.4.1.1 Função de Captar

A primeira função a ser detalhada é a função de captar, os modelos PFS/MFG desta função são especificados a seguir. A função captar pode efetuar o processo de detecção de sinais de duas formas, sinais que correspondem ao meio ambiente onde o sistema C³I vai interagir (monitoração externa) ou o meio ambiente que interage com o sistema C³I (monitoração interna). Isto é representado no modelo PFS da atividade captar na Figura 6.26.

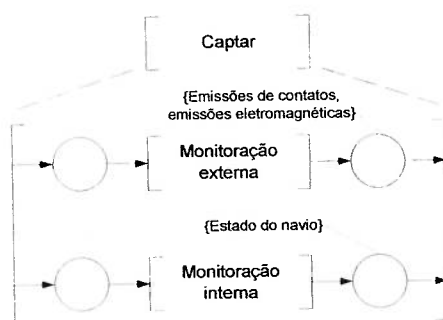


Figura 6.26: Modelo PFS da função de captar

A monitoração externa é composta pela monitoração aérea encarregada da busca de alvos no meio aéreo (aviões, mísseis, helicópteros), pela monitoração de superfície encarregada da busca de alvos na superfície do mar (navios), pela monitoração de navegação encarregada da busca de elementos próprios do mar (ilhas, etc.), pela monitoração submarina encarregada da busca de alvos sob a superfície do mar (submarinos, torpedos) e pela monitoração eletrônica encarregada pela detecção de ondas eletromagnéticas. O correspondente modelo PFS da função de monitoração externa se apresenta na Figura 6.27.

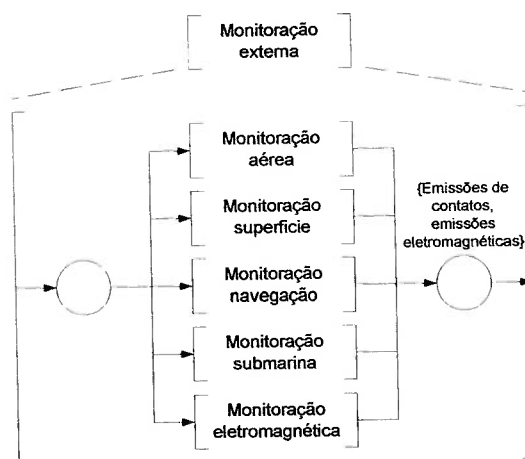


Figura 6.27: Modelo PFS da função de monitoração externa

As atividades de monitoração aérea, de superfície e de navegação, têm como característica principal serem realizadas por radares. A diferença entre elas está na forma do lóbulo de propagação da onda eletromagnética (originado pelo tipo de antena), na fonte de geração da onda eletromagnética (*Klystron*, *TWT*, *Magnetron*)³³ e a frequência utilizada (Skolnik, 1962). Embora sejam muitas as diferenças, o

³³ Equipamentos utilizados na geração de radiação de alta potência no espectro das microondas.

funcionamento básico do radar é o mesmo para as três funções. De acordo com o descrito no item 6.2.2 estas diferenças não serão especificadas no presente trabalho, por que estas são tratadas na etapa de implementação. É por isso que se deve considerar o modelo da monitoração aérea como adequado também para a monitoração de superfície e de navegação.

O modelo PFS da função de monitoração aérea apresenta-se na Figura 6.28. Ele é composto pelas atividades de transmissão (TX), duplexer³⁴ e recepção (RX).

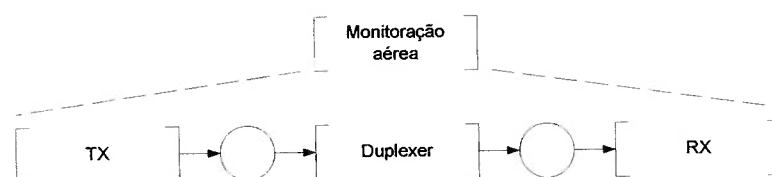


Figura 6.28: Modelo PFS da função de monitoração aérea

A função de transmissão é representada em seu correspondente modelo MFG na Figura 6.29.

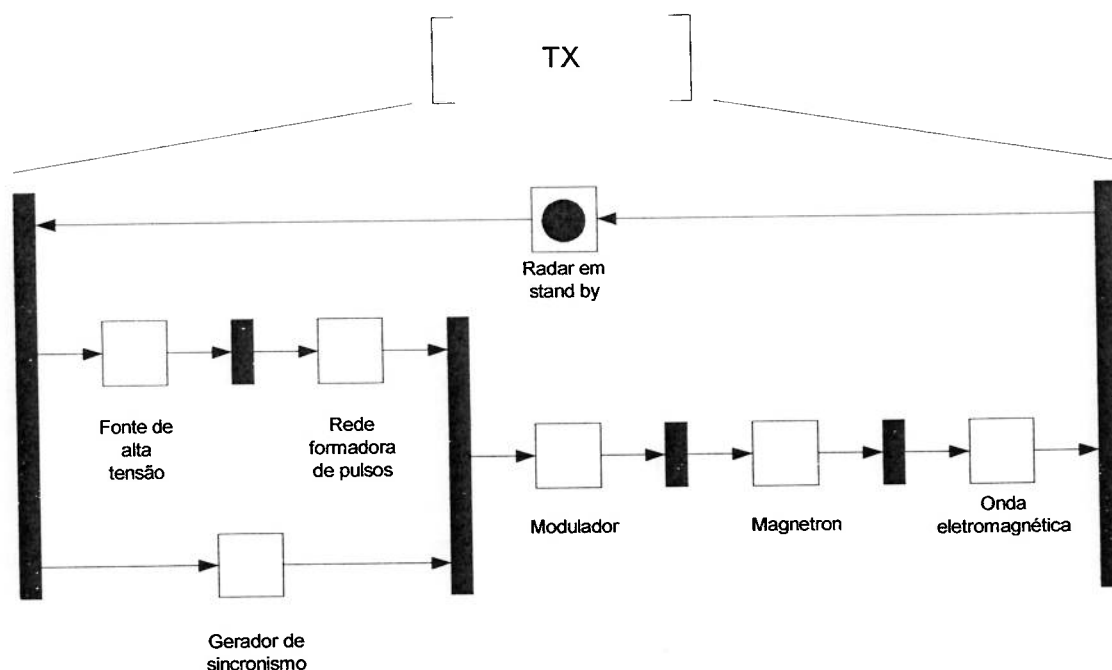


Figura 6.29: Modelo MFG da função de TX

³⁴ Válvula que permite a utilização da mesma guia de onda do radar para a transmissão e recepção de emissões eletromagnéticas.

A função de duplexer é representada em seu correspondente modelo MFG na Figura 6.30. Esta função tem como responsabilidade a emissão da onda eletromagnética gerada na função de transmissão ao meio ambiente, e de receber as ondas refletidas pela mesma antena.

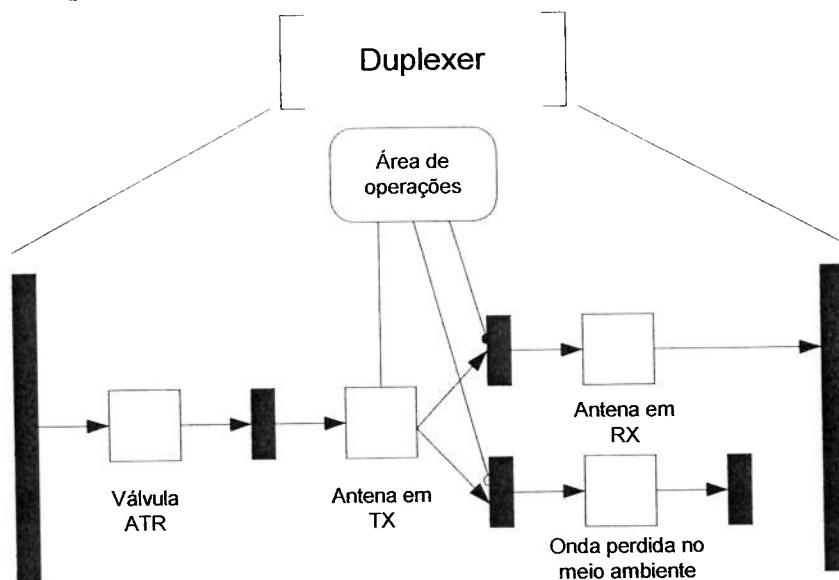


Figura 6.30: Modelo MFG da função Duplexer

A função de recepção é representada em seu correspondente modelo MFG na Figura 6.31.

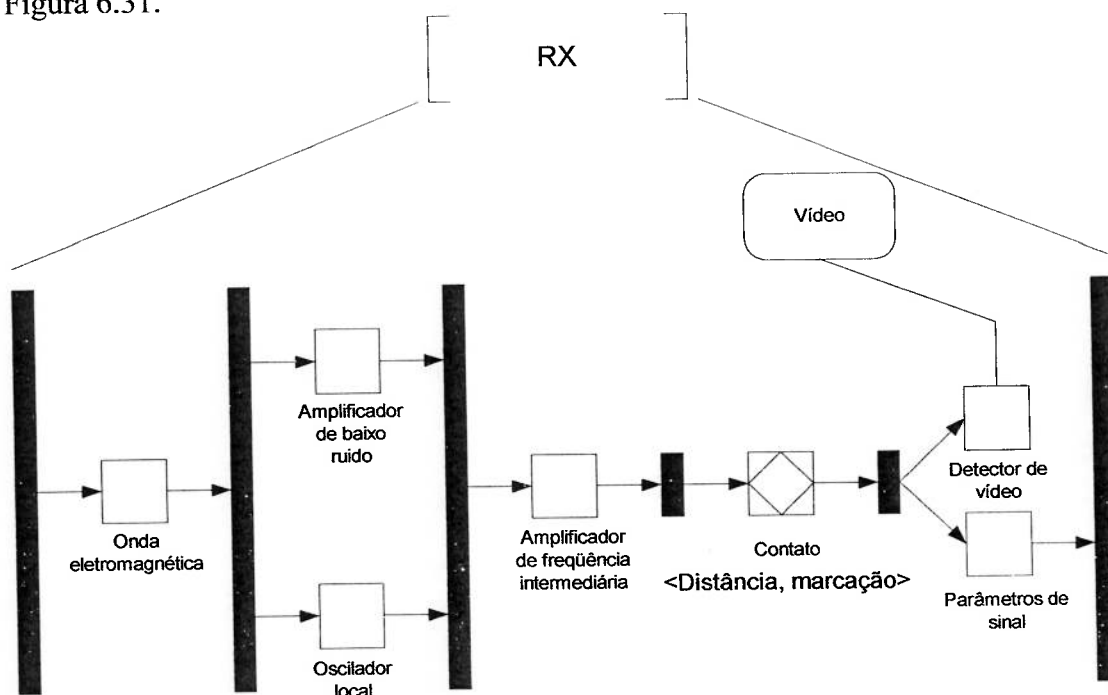


Figura 6.31: Modelo MFG da função de RX

O modelo PFS da função de monitoração submarina é apresentado na Figura 6.32. Esta função tem como sub atividades as atividades de sonar ativo (o equipamento emite ondas acústicas e o comportamento é similar ao radar) e de sonar passivo (o equipamento só recebe ondas acústicas).

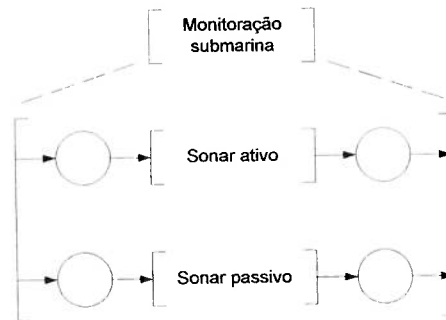


Figura 6.32: Modelo PFS da função de monitoração submarina

As funções de sonar passivo e de sonar ativo são representadas em seus correspondentes modelos MFG nas Figuras 6.33 e 6.34 respectivamente.

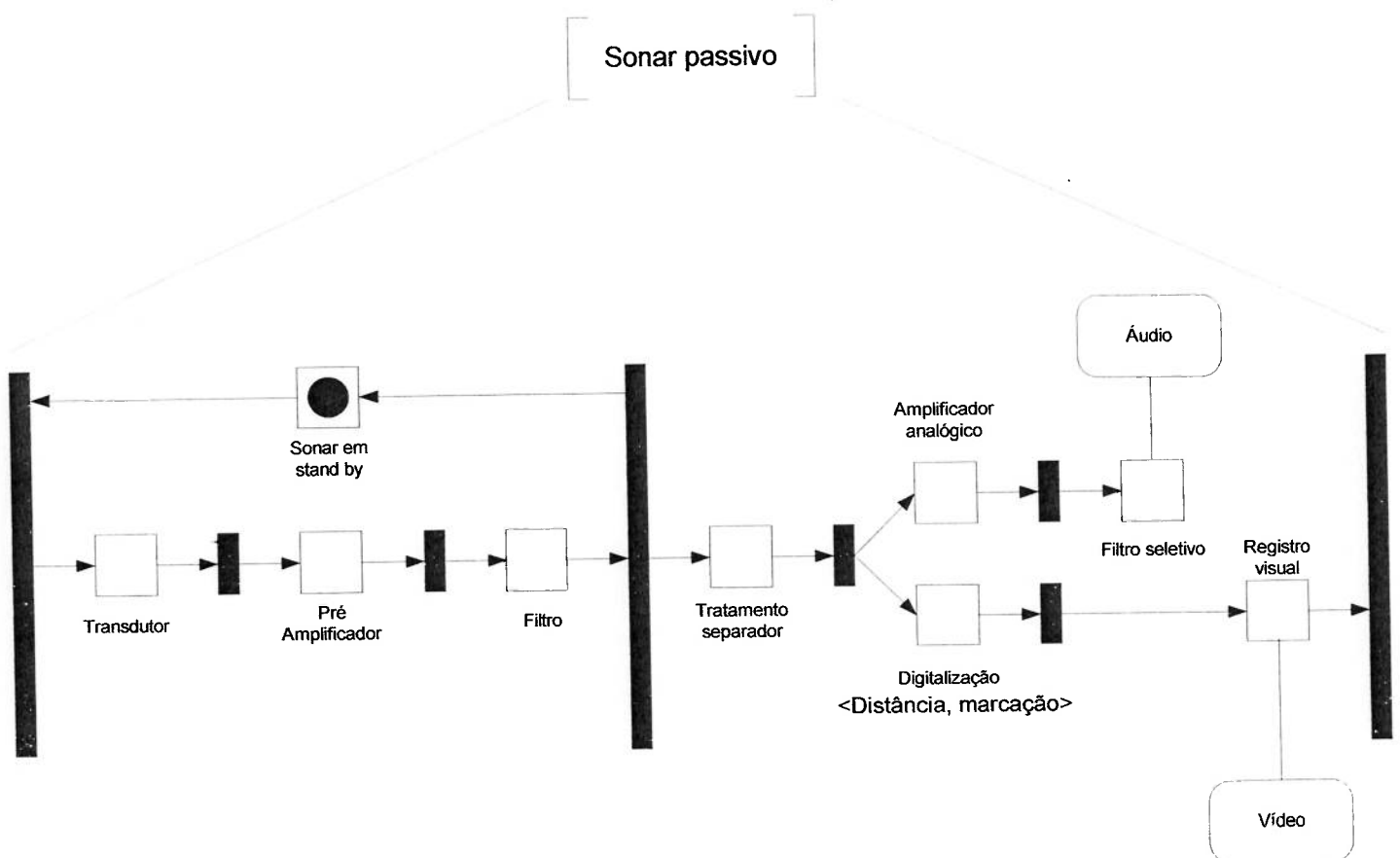


Figura 6.33: Modelo MFG da função de sonar passivo

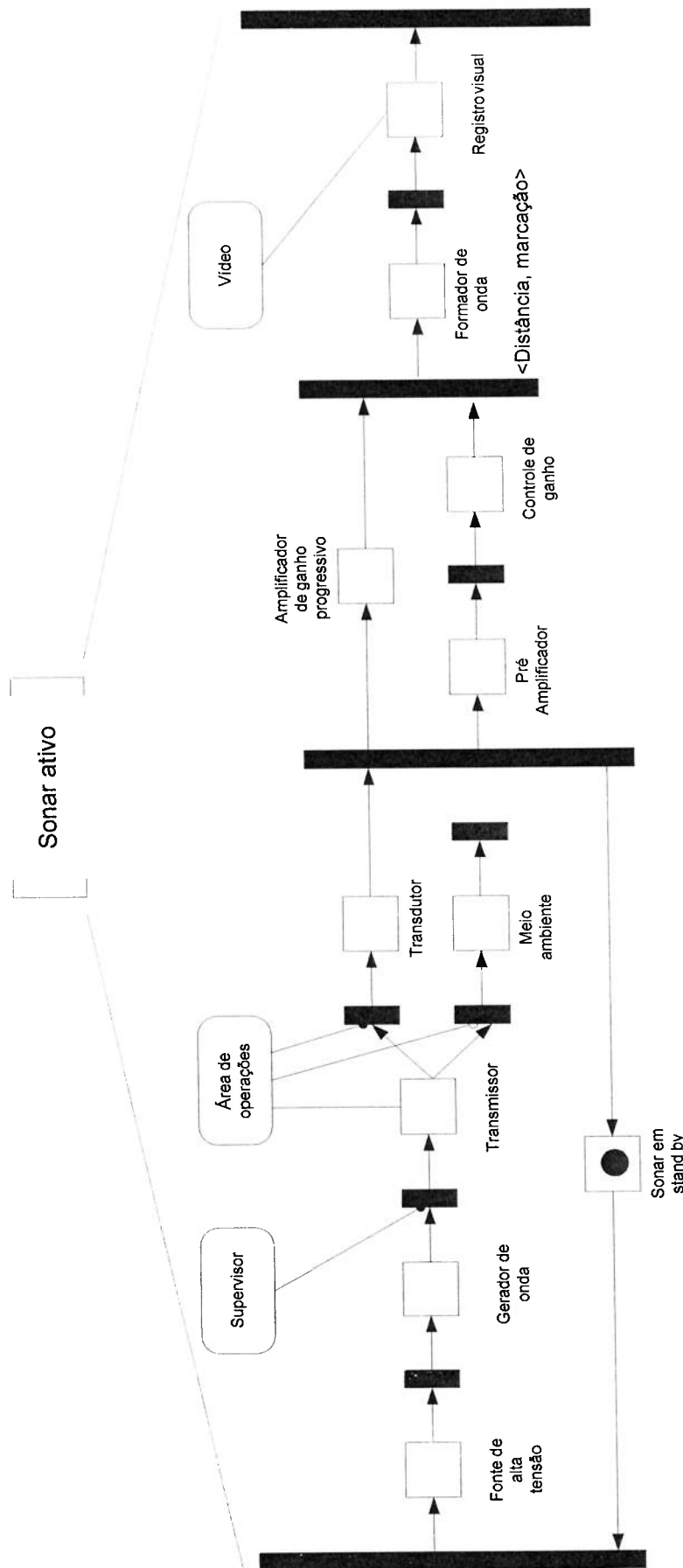


Figura 6.34: Modelo MFG da função de sonar ativo

A função de monitoração eletrônica é representada pelo seu correspondente modelo MFG na Figura 6.35. O modelo compreende quatro tipos de antenas, cada uma com uma faixa de freqüência de operação, as quais asseguram uma detecção dos principais sinais eletromagnéticos da área de operações. Em Wiley (1985), pode-se encontrar mais informação sobre a monitoração de sinais.

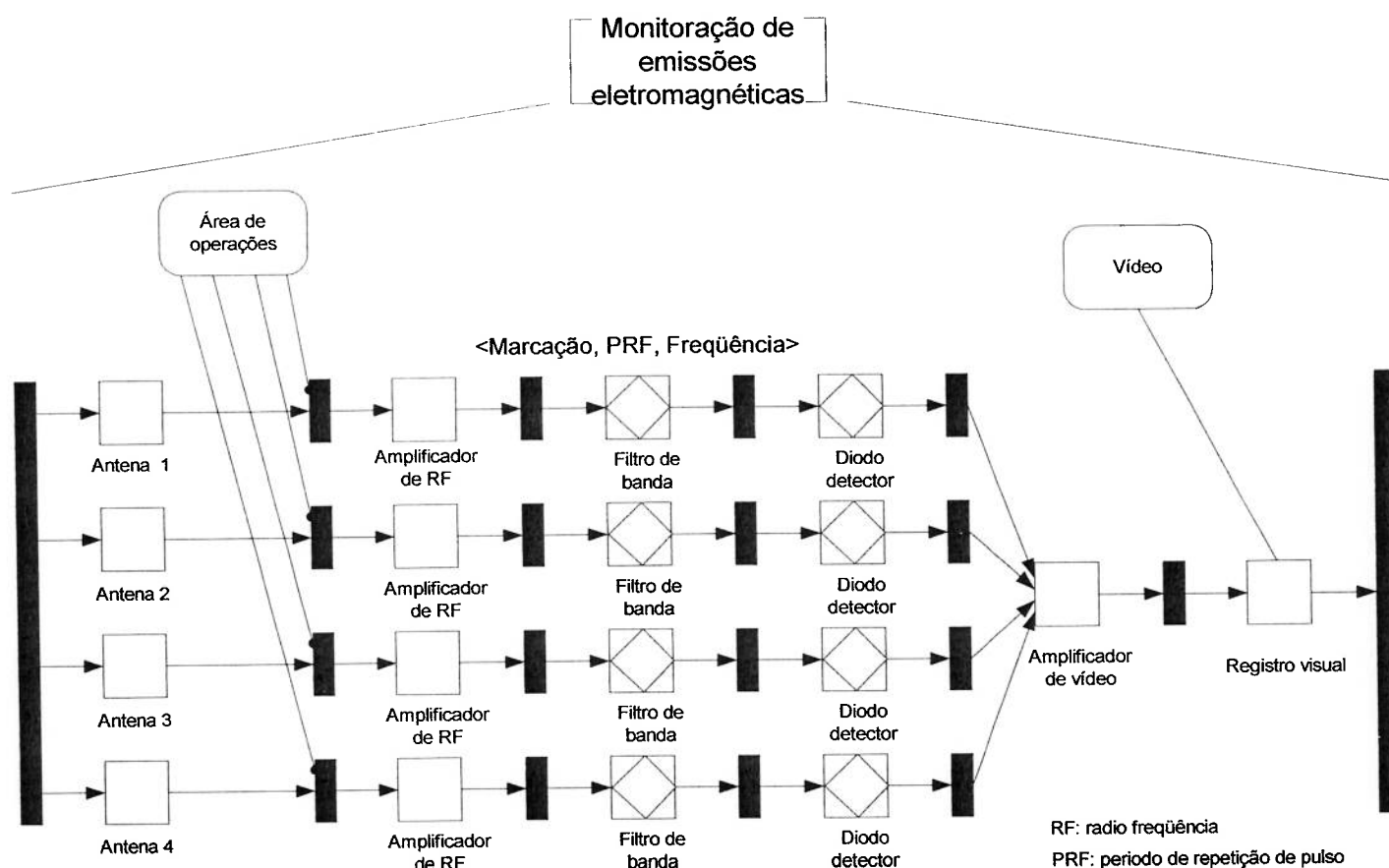


Figura 6.35: Modelo MFG da função de monitoração de emissões eletromagnéticas.

A monitoração interna, a segunda função da “função de captar”, é composta pelas funções de calcular direção, calcular velocidade do vento e calcular velocidade do navio.

Esta função é necessária para a coleta de dados que são utilizados para conhecer o estado do navio dentro da área de operações. Além disso, os dados coletados serão utilizados pelos sistemas de armas para o cálculo do disparo.

O modelo PFS da função de monitoração interna é apresentado na Figura 6.36.

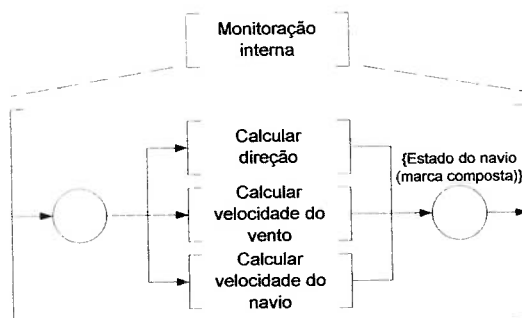


Figura 6.36: Modelo PFS da função de monitoração interna

A função “calcular direção” é realizada por uma bússola. Neste sentido utiliza-se o “compasso laser” para poder representar a função. O funcionamento do “compasso laser” é apresentado na Figura 6.37.

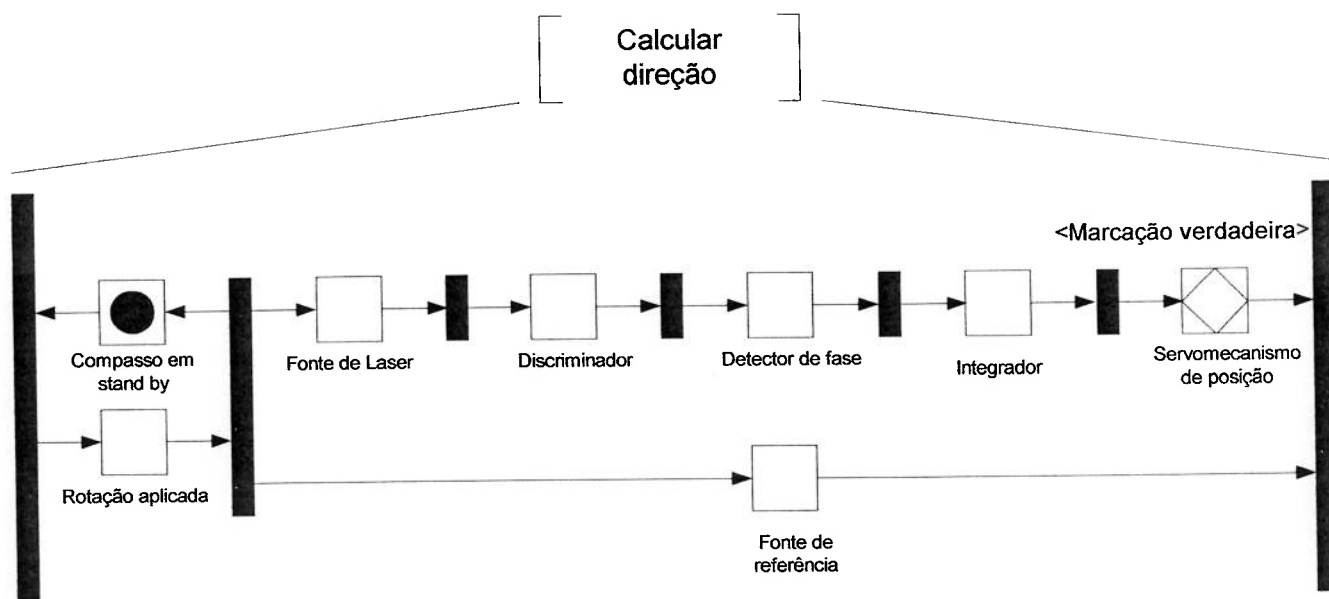


Figura 6.37: Modelo MFG da função calcular direção

A função calcular direção do vento é realizada pelo anemômetro. O anemômetro mede a velocidade do vento e sua direção. O funcionamento do anemômetro é apresentado na Figura 6.38.

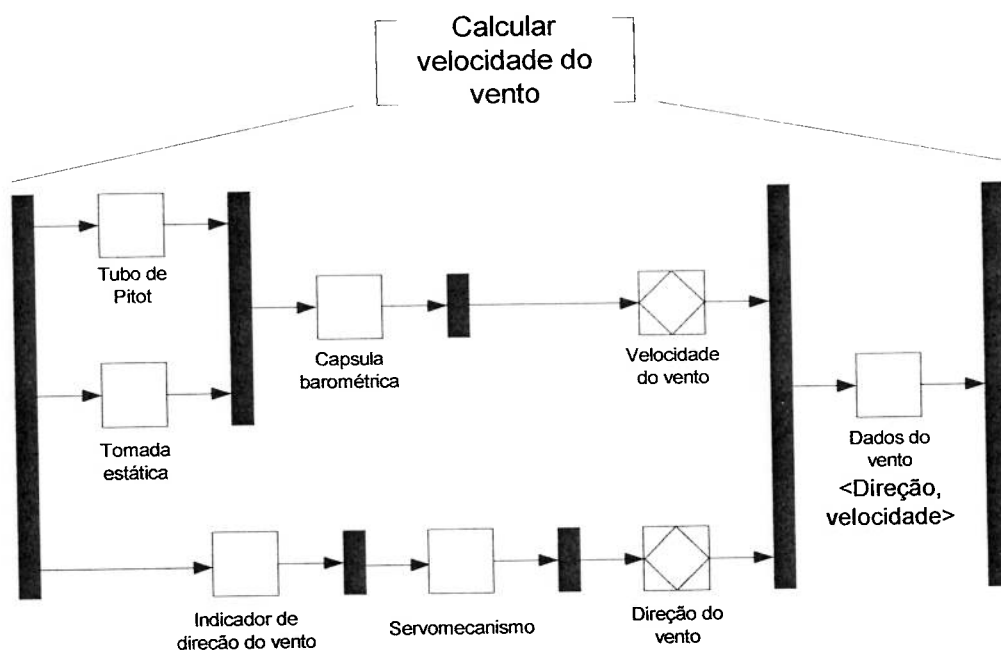


Figura 6.38: Modelo MFG da função de calcular velocidade do vento

A função calcular direção do navio comumente é realizada pelo dispositivo chamado “corredeira”, mas na atualidade vem-se utilizando mais amplamente o GPS (*Global Position System*) para realizar esta função. O GPS possui ainda a função de calcular a posição do navio. O funcionamento do GPS é apresentado na Figura 6.39

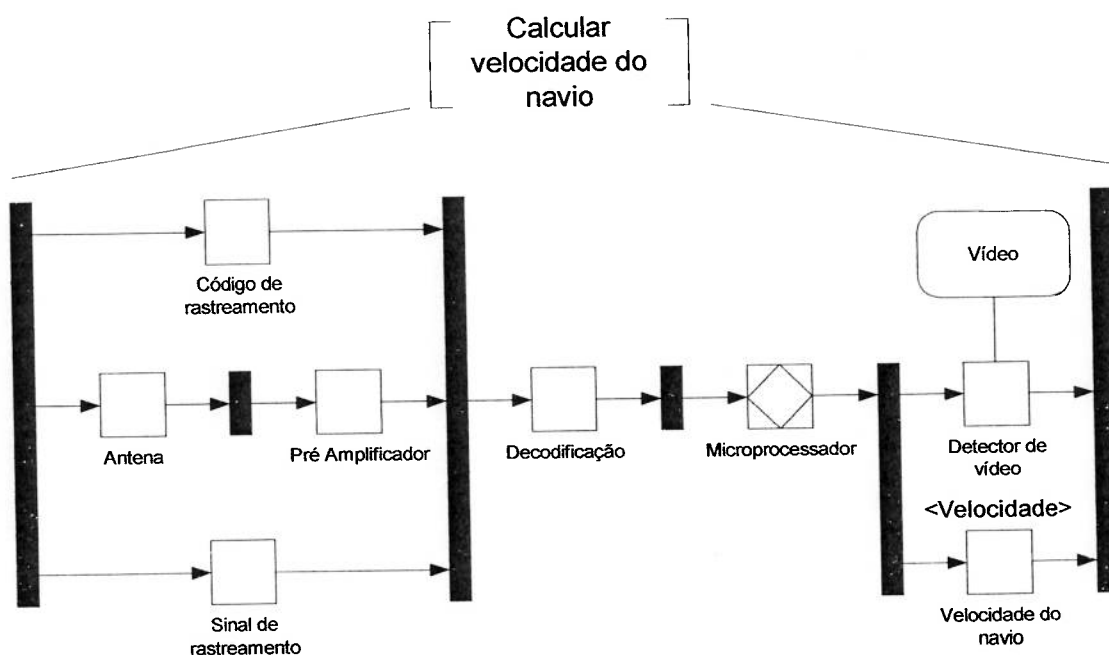


Figura 6.39: Modelo MFG da função de calcular velocidade do navio

6.4.1.2 Função de Analisar

O modelo PFS correspondente à função analisar é apresentado na Figura 6.40.

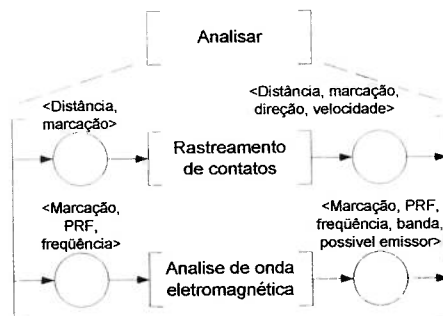


Figura 6.40: Modelo PFS da função de analisar

O processo de rastreamento de contatos é realizado pela função conhecida como “rastreamento enquanto procura” (em inglês *Tracking While Scan – TWS*) e seu comportamento é representado pelo modelo MFG apresentado na Figura 6.41.

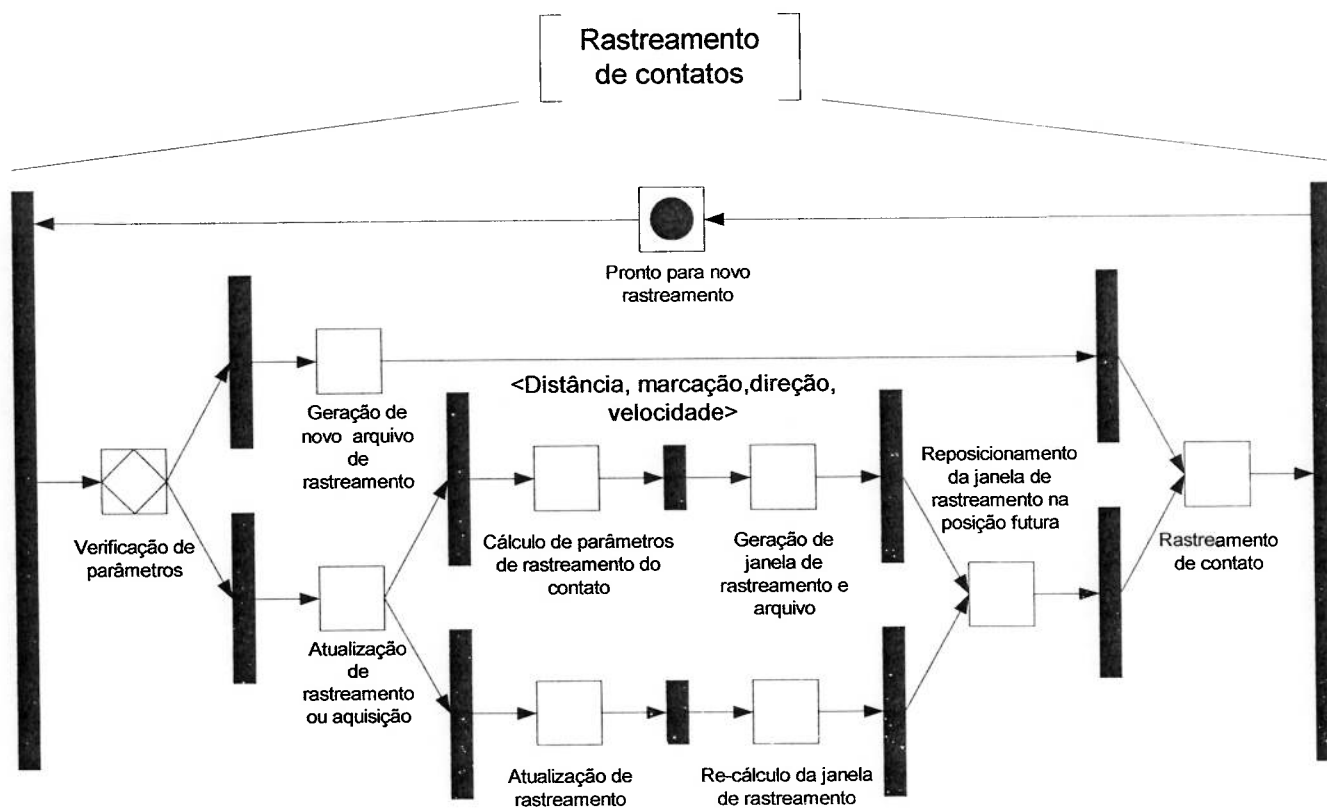


Figura 6.41: Modelo MFG da função de rastreamento de contatos

O processo de análise de onda eletromagnética é realizado com a finalidade de conhecer o tipo de onda eletromagnética gerada, isto é, que tipo de emissor foi utilizado na geração da onda (radar de navegação, radar de controle de tiro, radar de monitoração, etc), e uma vez conhecido o tipo de emissor é possível conhecer o tipo de plataforma utilizada (navio, avião, submarino, torpedo, etc). A função é representada pelo modelo MFG apresentado na Figura 6.42.

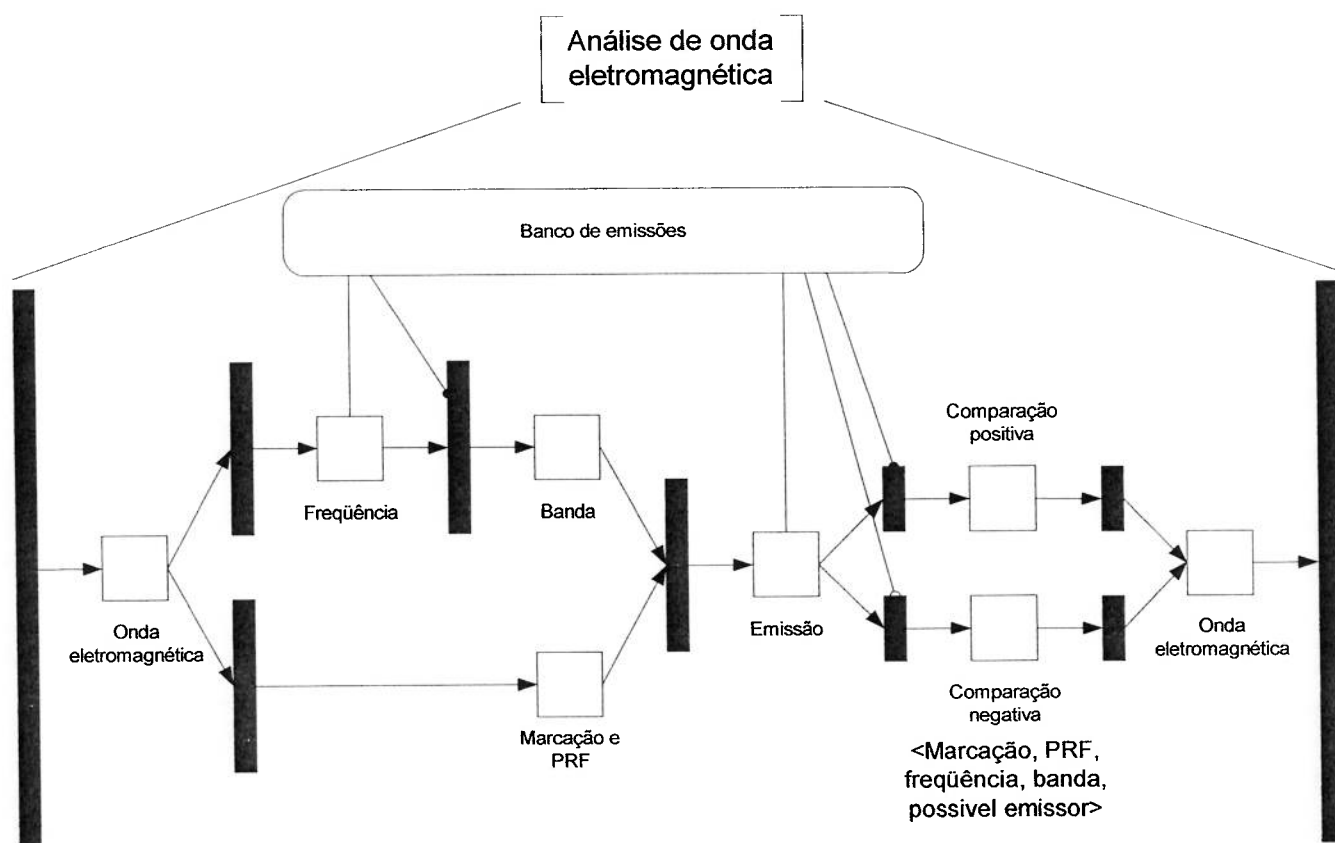


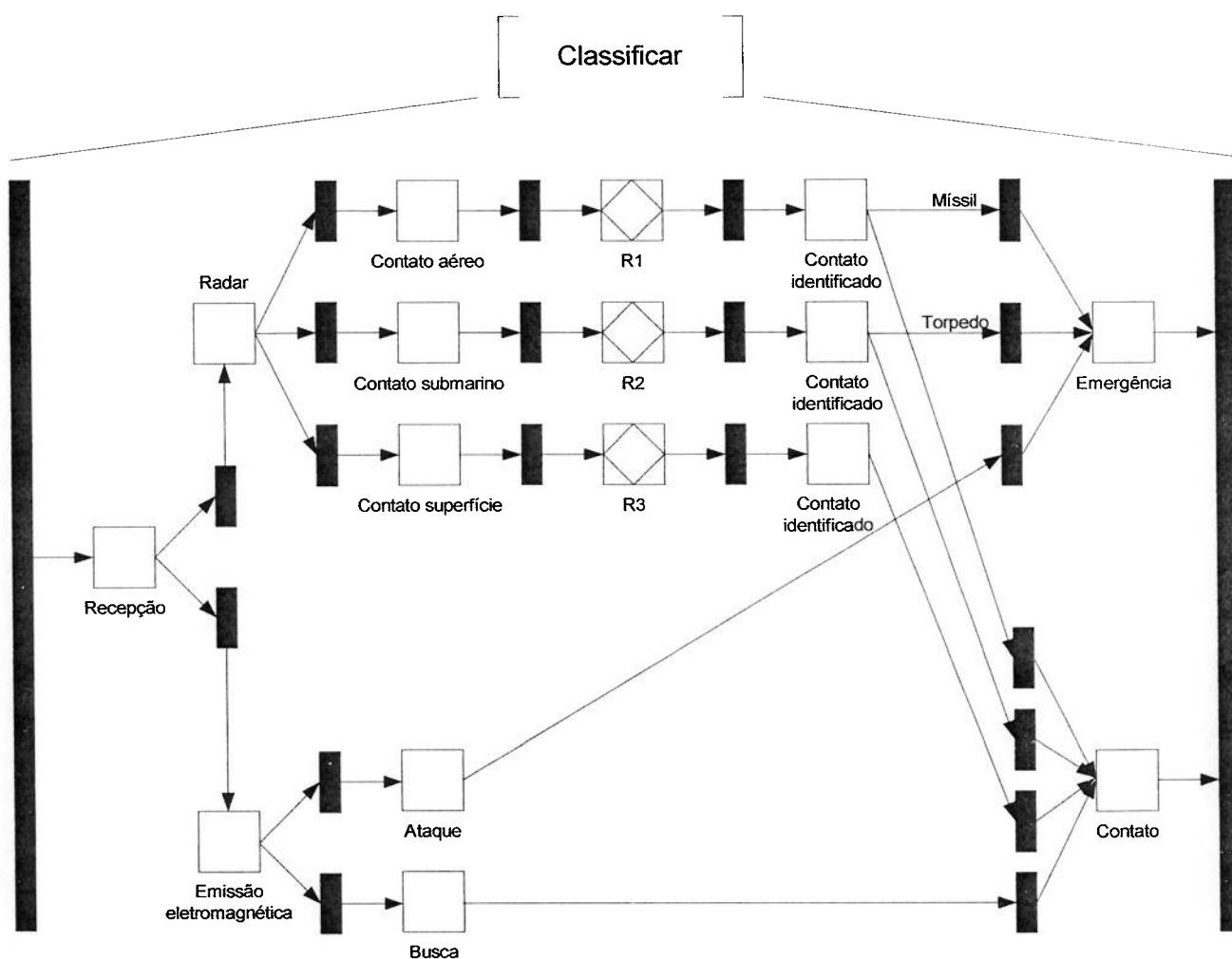
Figura 6.42: Modelo MFG da função de análise de onda eletromagnética

6.4.1.3 Função de Classificar

Uma vez detectados todos os sinais de importância da área de operações, é necessária sua classificação para poder conhecer o tipo elemento que foi detectado (navio, submarino, torpedo, míssil, etc.). Esta classificação se faz de acordo com os parâmetros de classificação das regras de análise segundo a Figura 6.11. Basicamente a velocidade e o tipo de sensor são as considerações importantes para a classificação dos contatos de radar, enquanto as características da onda das emissões

eletromagnéticas são usadas para a sua classificação. Esta função é relativamente importante, já que nela o sistema reconhece as situações de emergência.

De acordo com o modelo PFS da função de inteligência (Figura 6.25), pode-se observar que esta é responsável pela classificação de uma parte dos dados obtidos na função de captar. Estes dados são os provenientes da função de monitoração externa, enquanto os dados provenientes da função de monitoração interna são enviados para a função de disseminar. A decomposição hierárquica da função de classificar é apresentada na Figura 6.43.



Onde: V= velocidade

R1 = Se $V < 60$ então helicóptero , Se $60 < V < 100$ então avião , Se $V > 100$ então míssil

R2 = Se $V < 40$ então submarino , Se $V > 40$ então torpedo

R3 = Se $V = 0$ então terra , Se $V > 0$ então navio

Figura 6.43: Modelo MFG da função de classificar

6.4.1.4 Função de Disseminar

A função disseminar é a encarregada da recopilação de todas as informações geradas previamente, para sua disseminação (Figura 6.44). Ela recebe as informações geradas dos sinais captadas e determina onde devem ser encaminhadas e que tipo de canal deve ser empregado (canais externos ou internos).

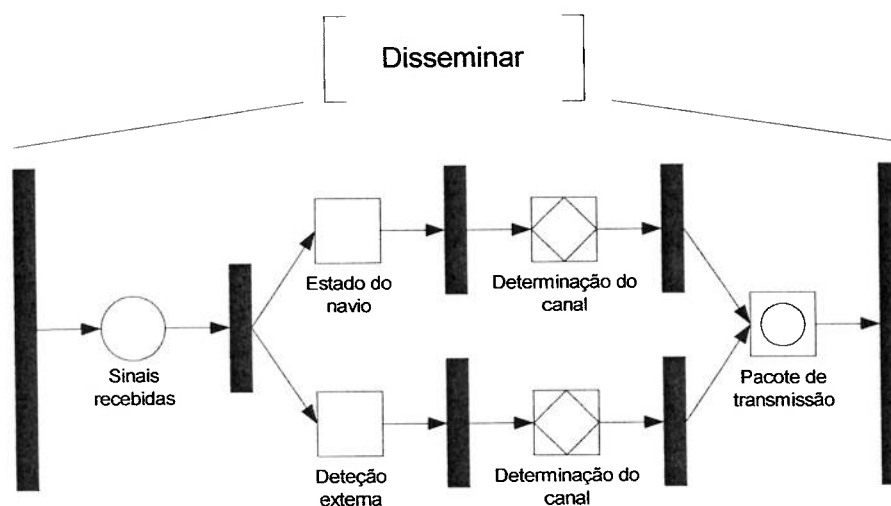


Figura 6.44: Modelo MFG da função de disseminar

6.4.2 Função de Comunicações

A função de comunicações tem como finalidade utilizar os meios ou recursos disponíveis para a difusão e comunicação de informações, respeitando os canais previamente estabelecidos na função de inteligência.

Ela recebe informações das funções de inteligência (referentes às informações do navio e do ambiente) e de comando referentes às recomendações enviadas pelo comandante.

A função de comunicações é decomposta nas funções de classificar sinal, verificar disponibilidade e enviar sinal (Figura 6.45).

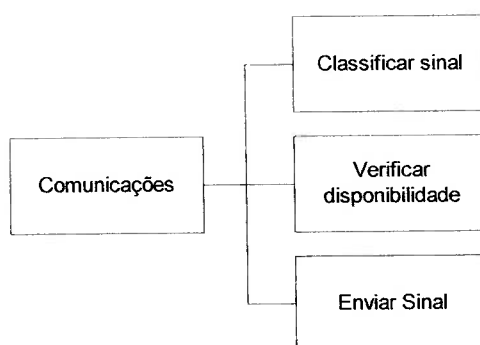


Figura 6.45: Diagrama correspondente à função de comunicações e sua decomposição.

Apresenta-se na Figura 6.46 o modelo PFS da função de comunicações com suas sub-funções correspondentes.



Figura 6.46: Modelo PFS da função de comunicações.

6.4.2.1 *Função de Classificar Sinal*

A função de classificar sinal é a encarregada da determinação do meio de transmissão (externa ou interna) que será utilizado para a comunicação das informações geradas e as recomendações efetuadas pelo comandante.

Além disso, esta função também determina a utilização dos diferentes aparelhos de comunicação (externos ou internos). No caso dos aparelhos externos, determina a utilização de determinadas faixas de frequência (UHF, VHF ou HF). No caso dos aparelhos internos, determina a utilização das diversas redes internas de comunicação.

Esta função possui características semelhantes com a função de disseminar do item 6.4.1.4, mas a função de classificar sinal possui um escopo mais abrangente. Ela pode elevar o grau de importância ou de segurança das mensagens.

O correspondente modelo MFG da função classificar sinal apresenta-se na Figura 6.47.

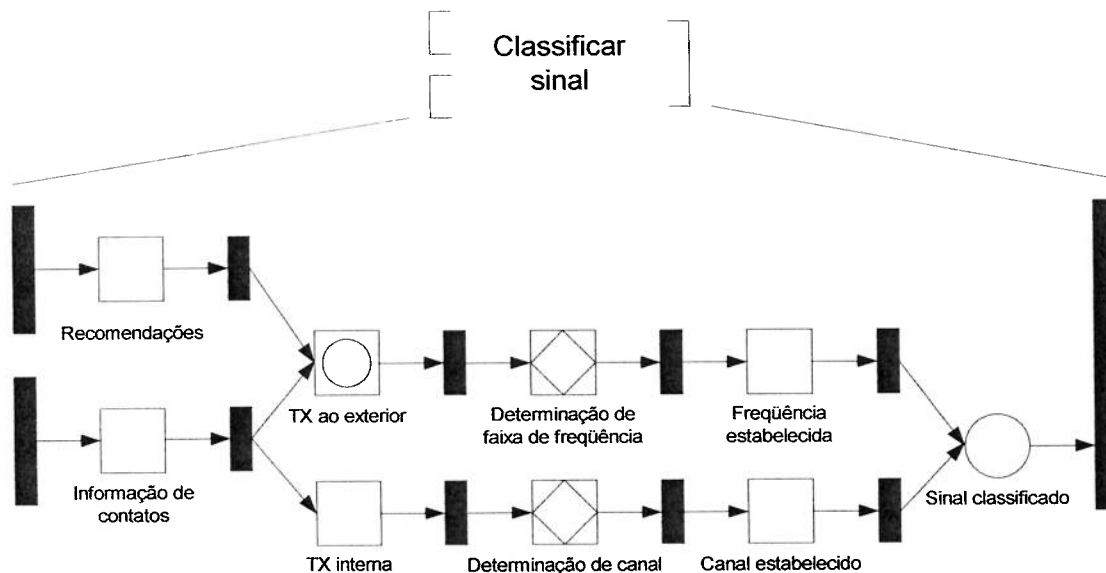


Figura 6.47: Modelo MFG da função de classificar sinal.

6.4.2.2 Função de Verificar Disponibilidade

Uma vez determinado o tipo de aparelho a ser utilizado na transmissão das informações, a função de verificar disponibilidade, verifica se os equipamentos de comunicações encontram-se nas condições de efetuar a transmissão.

Para efeitos da modelagem, considera-se que existem três equipamentos de comunicação, um para cada faixa de frequência e que existe uma única rede interna de comunicações de dados. Uma quantidade maior de equipamentos possibilitaria uma maior quantidade de transmissão de dados.

O modelo MFG da função de verificar disponibilidade é apresentado na Figura 6.48. Considera-se, como condição inicial, que todos os equipamentos se encontram em estado de espera, aguardando por informações a serem transmitidas.

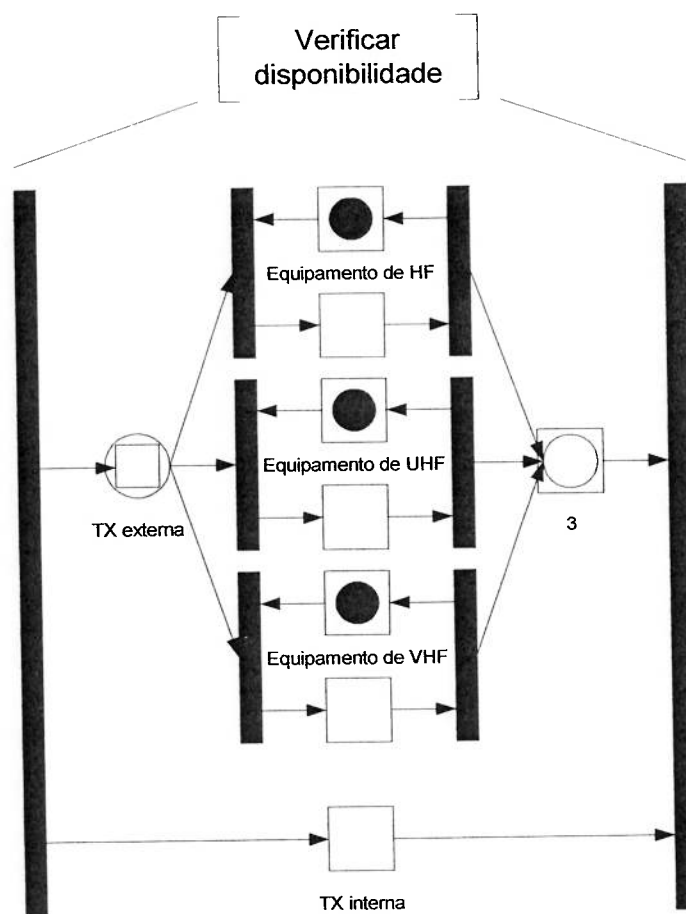


Figura 6.48: Modelo MFG da função de verificar disponibilidade

6.4.2.3 Função de Enviar Sinal

A função de enviar sinal é modelada com a finalidade de representar as informações transmitidas ao exterior e as informações transmitidas à rede interna. O correspondente modelo MFG é apresentado na Figura 6.49.

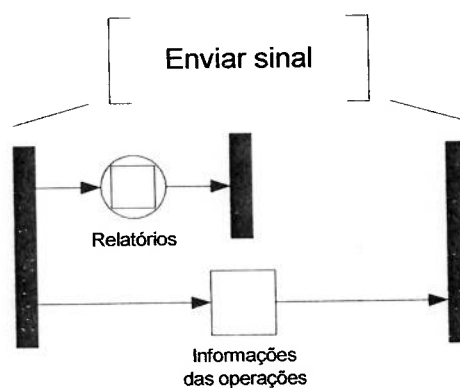


Figura 6.49: Modelo MFG da função de enviar sinal.

6.4.3 Função de Controle

A função de controle é decomposta nas funções de acionar emergência, analisar ambiente e interatuar (Figura 6.50). A decomposição da função de interatuar é apresentada na Figura 6.51.

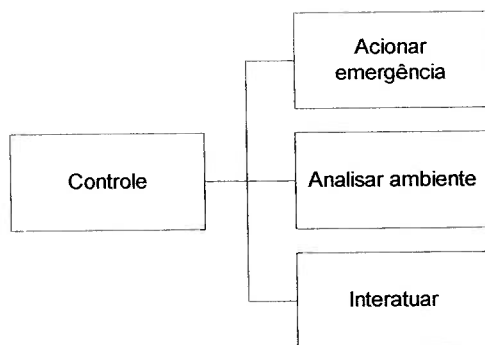


Figura 6.50: Diagrama correspondente à função de controle e sua decomposição.

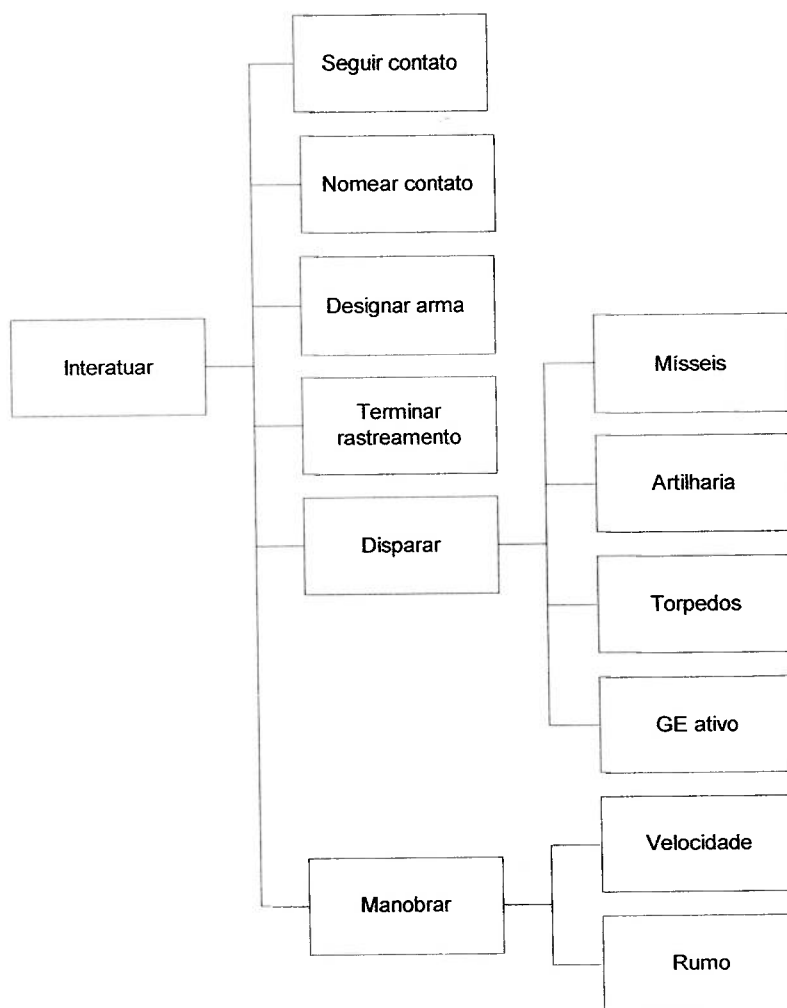


Figura 6.51: Diagrama correspondente à função de interatuar e sua decomposição.

Uma vez obtida a decomposição hierárquica de todas as funções correspondentes à função controle, é desenvolvido o correspondente modelo PFS da função. Este modelo apresenta-se na Figura 6.52.

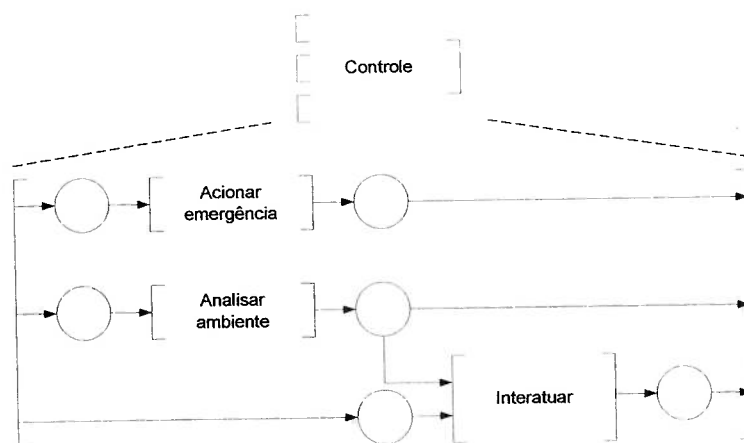


Figura 6.52: Modelo PFS da função de controle.

6.4.3.1 Função de Acionar Emergência

Esta função tem como objetivo principal efetuar ações rápidas e eficazes de defesa contra ataques. Uma vez recebido o sinal de que o navio encontra-se sob um ataque inimigo, esta função tem a prioridade na utilização de recursos para repelir o ataque.

Esta função não depende das ordens do comandante ou dos usuários do sistema, é completamente autônoma e responde às regras previamente especificadas e a padrões de execução específicos. Esta característica assegura que não existirão perdas de tempo na execução das ações.

A função de acionar emergência é representada pelo seu correspondente modelo MFG na Figura 6.53. A determinação de ações é, de fato, a escolha das armas que serão utilizadas e o cálculo do ponto futuro é a determinação do lugar onde vai ser efetuado o disparo (considerando a velocidade e a direção do contato).

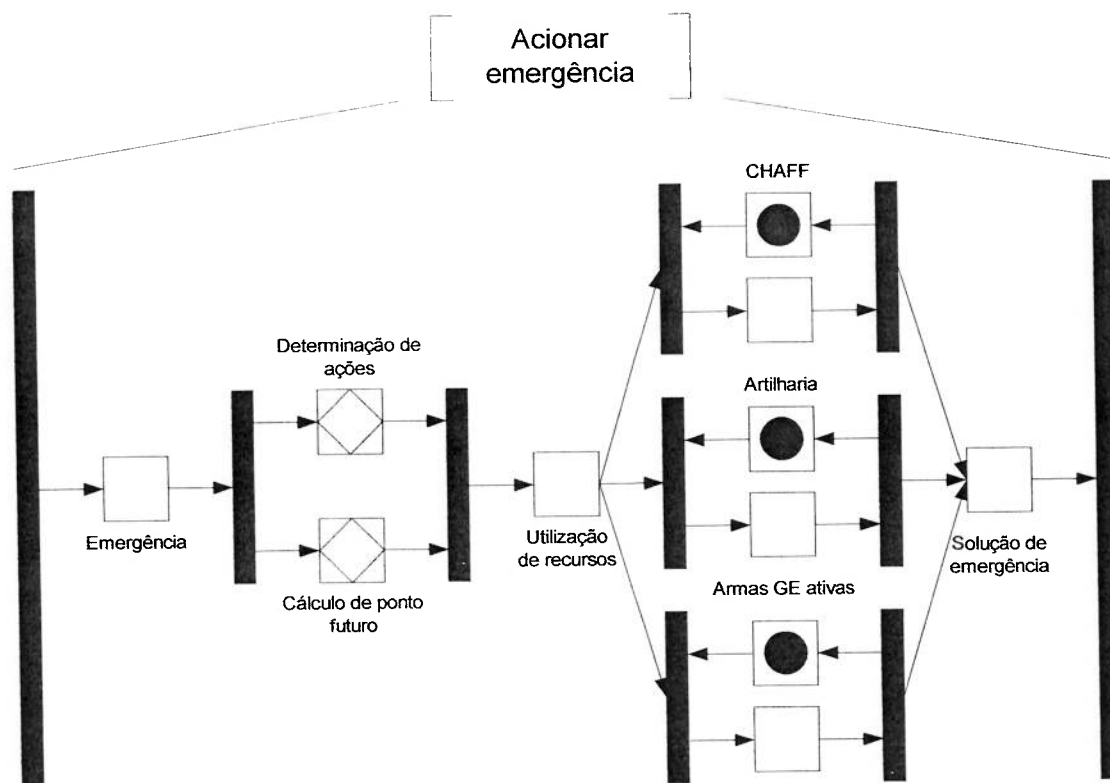


Figura 6.53: Modelo MFG da função de acionar emergência

6.4.3.2 Função de Analisar Ambiente

Todas as informações sejam internas ou externas, são representadas através de ícones padronizados para sua posterior análise por meio dos supervisores. Esta representação se faz pela apresentação no vídeo dos consoles auxiliares, mesas táticas ou, inclusive, no visualizador panorâmico naval.

Os supervisores com base em suas experiências têm a possibilidade de trocar os ícones ou as informações com autorização previa do responsável direto ou do comandante, utilizando dispositivos como teclados, botões etc.

A Figura 6.54 apresenta o modelo MFG da função de analisar ambiente.

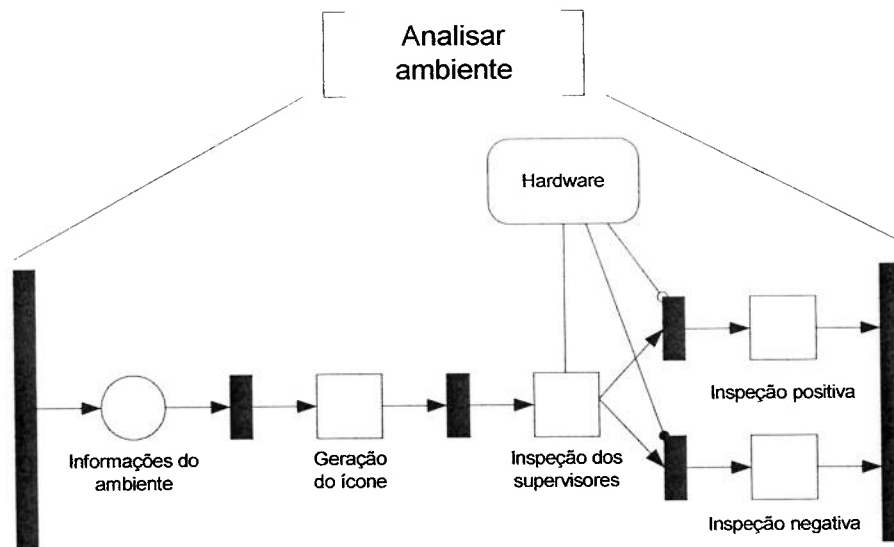


Figura 6.54: Modelo MFG da função de analisar ambiente

6.4.3.3 Função de Interatuar

A função de interatuar pode ser considerada como uma das principais do sistema C³I, já que é ela que controla todos os dispositivos de atuação do navio. Embora a função de acionar emergência tenha algumas propriedades especiais de poder utilizar dispositivos sem autorização expressa do comandante, estes são limitados.

Na figura 6.55 apresenta-se o modelo PFS da função de interatuar.

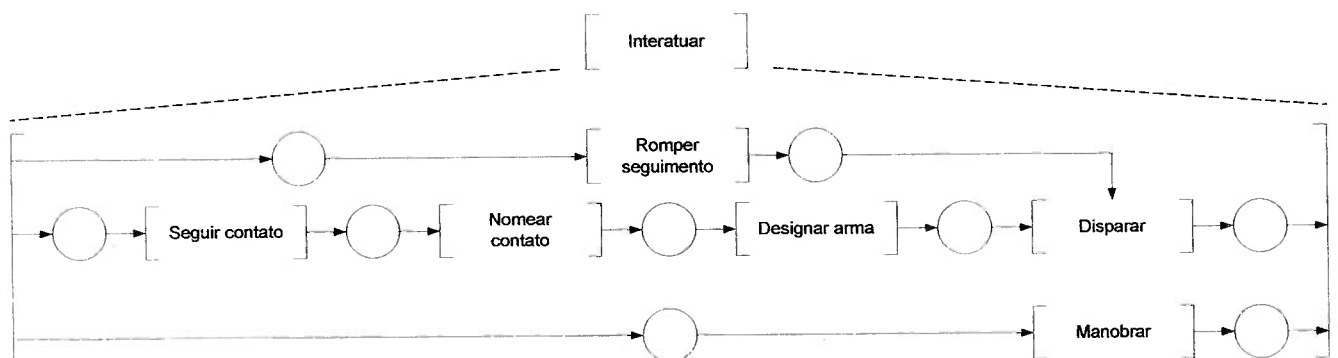


Figura 6.55: Modelo PFS da função de interatuar.

A atividade de seguir contato é iniciada depois que é recebida uma ordem do comandante para efetuar um rastreamento sobre determinado contato. Este

rastreamento é efetuado por Radars de Controle de Tiro (RCT) os quais diferentemente dos radares convencionais, têm sua propagação de ondas direcionadas. A única informação necessária para iniciar o rastreamento de um contato é sua marcação. Uma vez recebida esta informação, o RCT automaticamente alinha-se na direção do contato e inicia a busca por ele. Uma vez localizado o contato, o RCT o mantém na linha de fogo, enviando ao sistema as informações de marcação, distância e altura.

A Figura 6.56 apresenta o modelo MFG da atividade de seguir contato.

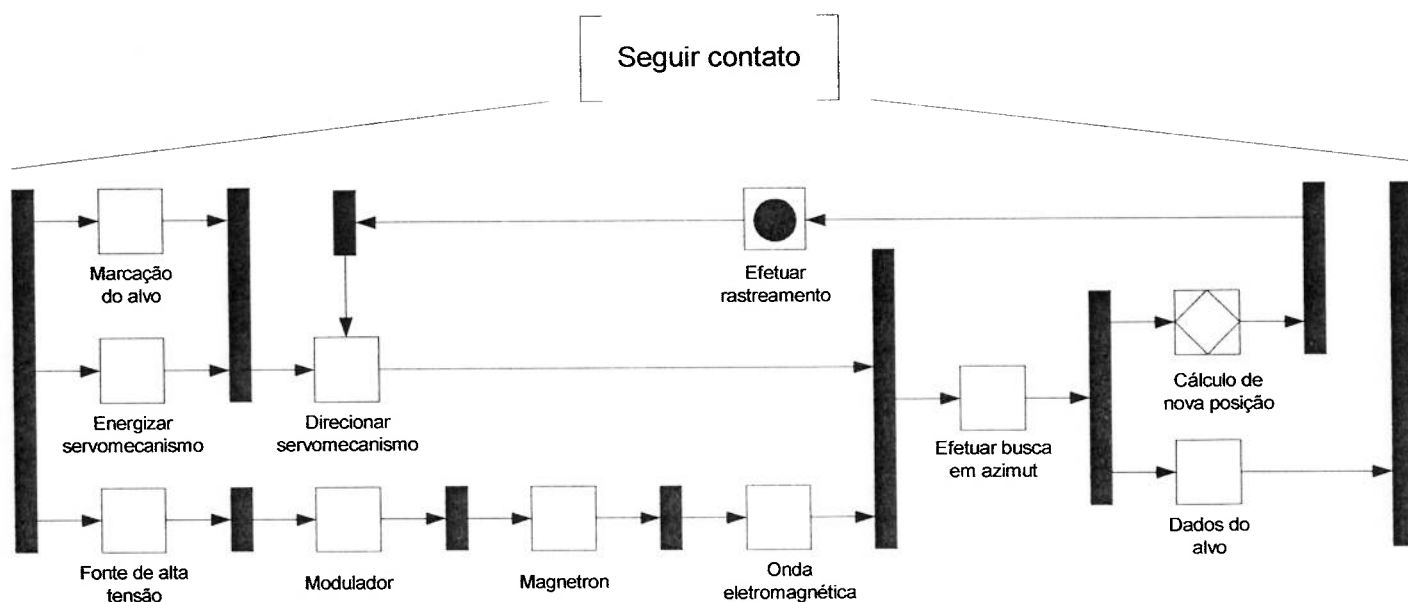


Figura 6.56: Modelo MFG da função de seguir contato

A atividade de nomear contato tem como função designar um código a um determinado contato. Depois deste passo o contato passa a ser definido como alvo. Isto é feito com a finalidade de distribuir determinados alvos a diferentes tipos de armas. O modelo MFG da atividade nomear contato é apresentado na Figura 6.57.

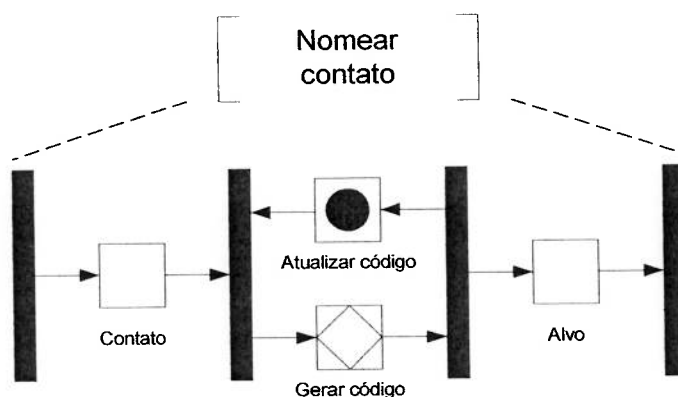


Figura 6.57: Modelo MFG da função de nomear contato

Uma vez que o contato foi seguido e designado com um código, a atividade seguinte encarrega-se de enviar as ordens e informações à determinada arma. A determinação das armas se faz de acordo com as regras de enfrentamento previamente definidas. Além disso, esta atividade tem interação por parte dos supervisores encarregados do sistema, no sentido deles poderem designar determinadas armas em casos especiais. O modelo MFG da atividade designar arma é apresentado na Figura 6.58.

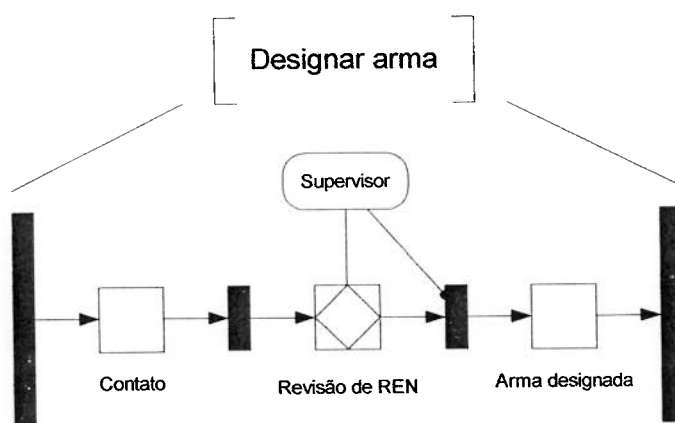


Figura 6.58: Modelo MFG da função de designar arma

A atividade de disparar é especificada de acordo com o controle de cada tipo de arma. Neste sentido, a atividade de disparar deve ser capaz de controlar mísseis (antiaéreos e de superfície), artilharia (antiaéreas e de superfície), torpedos e os equipamentos de guerra eletrônica ativos.

A decomposição do modelo PFS correspondente é apresentada na Figura 6.59.

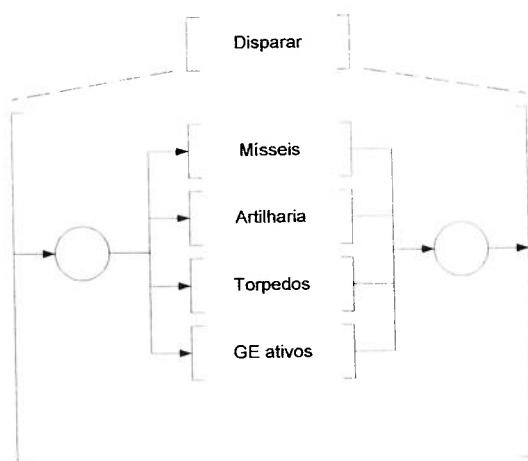


Figura 6.59: Modelo PFS da função de disparar.

A atividade de mísseis é decomposta em duas atividades, mísseis antiaéreos e mísseis de superfície de acordo com a Figura 6.60, que apresenta o correspondente modelo PFS.

Ambos os tipos de mísseis comportam-se da mesma maneira, pelo qual somente é efetuada a modelagem do comportamento geral de um míssil mediante o desenvolvimento de seu correspondente modelo MFG de acordo com a Figura 6.61.

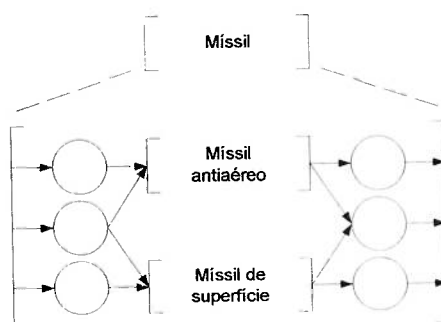


Figura 6.60: Modelo PFS da função de míssil.

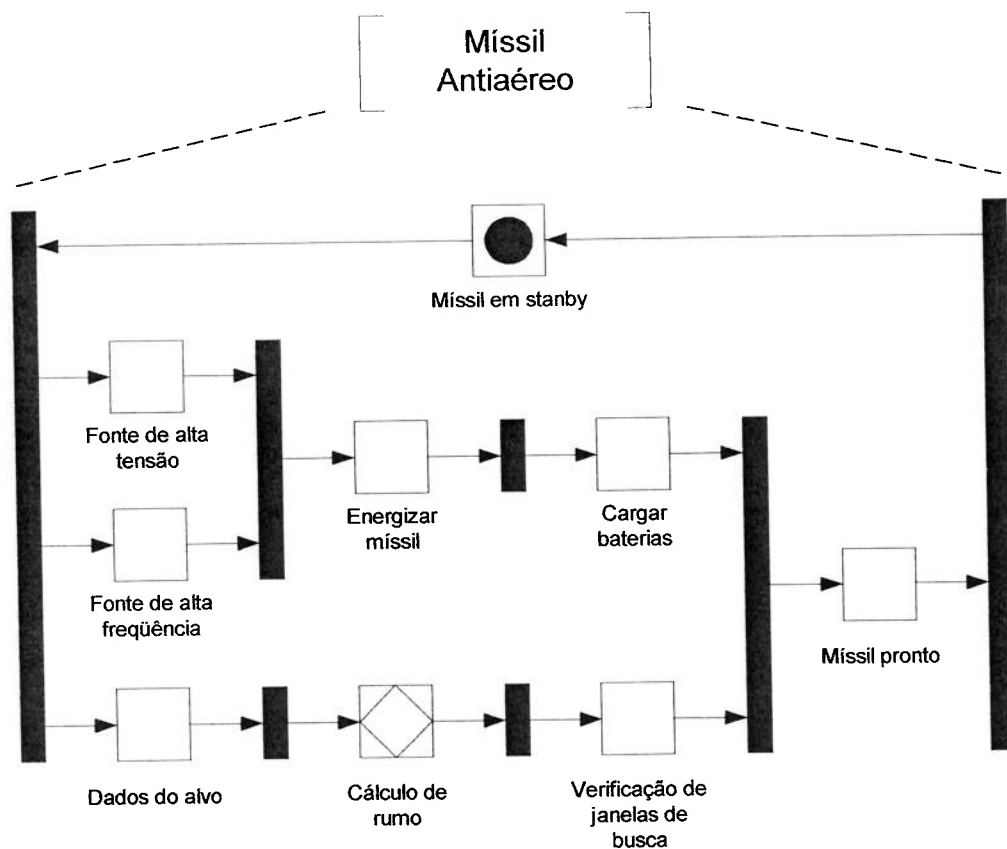


Figura 6.61: Modelo MFG da função de míssil antiaéreo.

Da mesma maneira que a atividade míssil, a atividade artilharia descompõe-se em duas atividades, a atividade de artilharia antiaérea e artilharia de superfície. Ambas as atividades comportam-se no geral da mesma maneira, sendo a diferença o alcance e a rapidez de disparo de cada uma.

O correspondente modelo PFS da atividade artilharia é apresentado na Figura 6.62 e o modelo MFG da atividade artilharia antiaérea é apresentado na Figura 6.63.

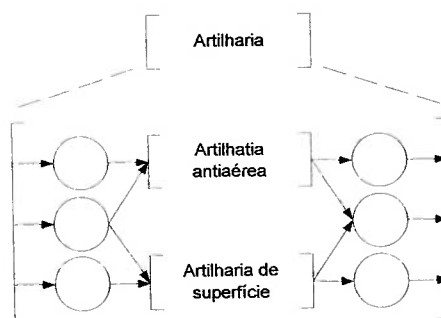


Figura 6.62: Modelo PFS da função de artilharia

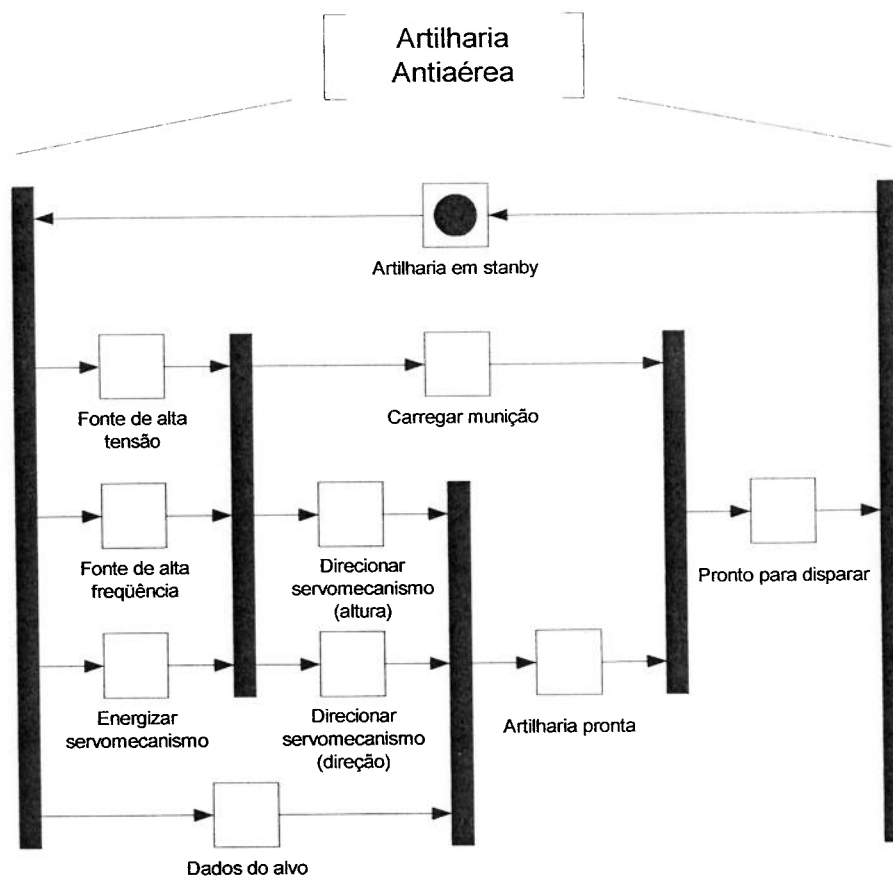


Figura 6.63: Modelo MFG da função de artilharia antiaérea.

Os modelos MFG das atividades de torpedo e GE ativos (disturbadores) apresentam-se nas Figuras 6.64 e 6.65 respectivamente.

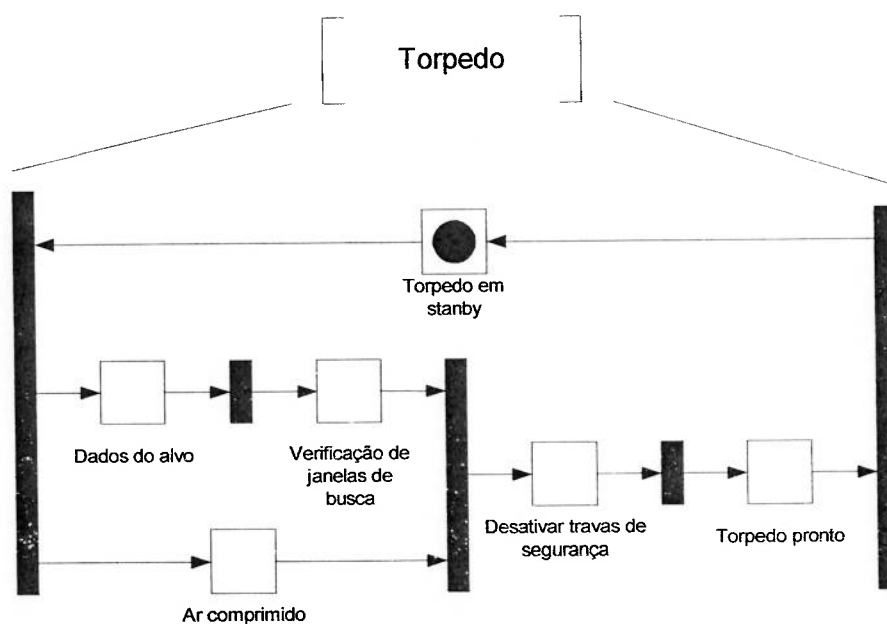


Figura 6.64: Modelo MFG da função de torpedos.

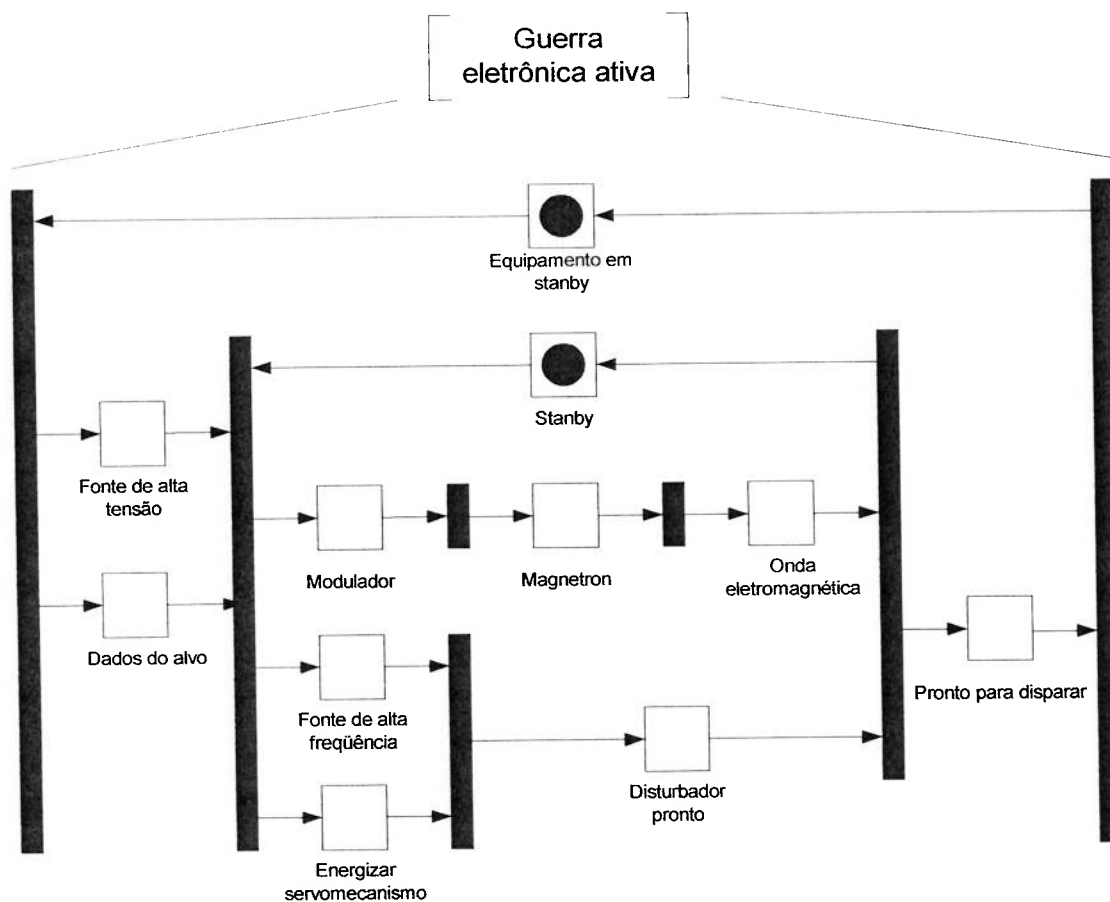


Figura 6.65: Modelo MFG da função de Guerra eletrônica ativa.

A função de manobrar tem como objetivo a mudança dos parâmetros de navegação do navio. Estes parâmetros são a velocidade e o rumo do navio (Figura 6.66)

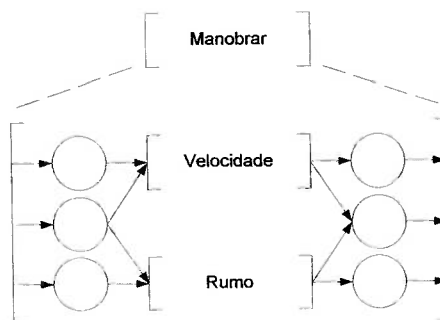


Figura 6.66: Modelo PFS da função de manobrar

A atividade de velocidade atua diretamente sobre a rotação dos motores e o *passo da hélice*³⁵ para obter uma determinada velocidade. Este comportamento é descrito na Figura 6.67 por meio de seu correspondente modelo MFG.

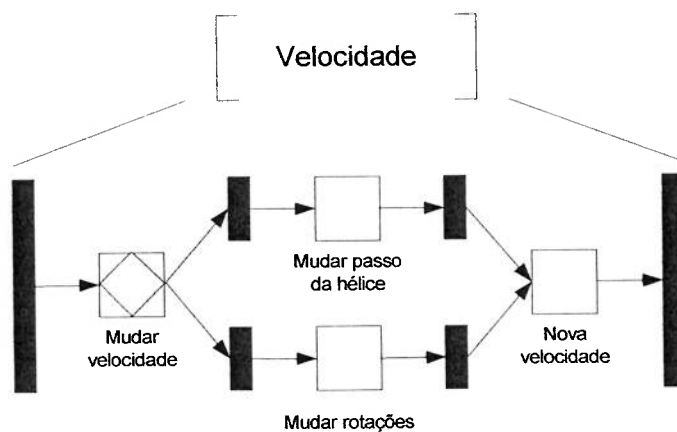


Figura 6.67: Modelo MFG da função de velocidade.

A atividade de rumo atua diretamente sobre a mudança de direção do navio através da correção do ângulo da pá do leme. Este procedimento é apresentado na Figura 6.68.

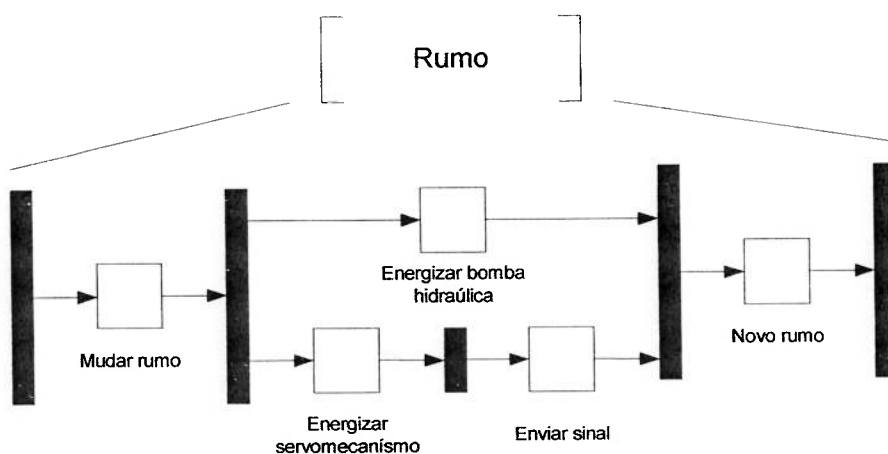


Figura 6.68: Modelo MFG da função de rumo.

³⁵ Ângulo de ataque das pás do hélice

6.4.4 Função de Comando

A função de comando é decomposta nas funções de avaliar ambiente, analisar, comparar e tomada de decisões (Figura 6.69).

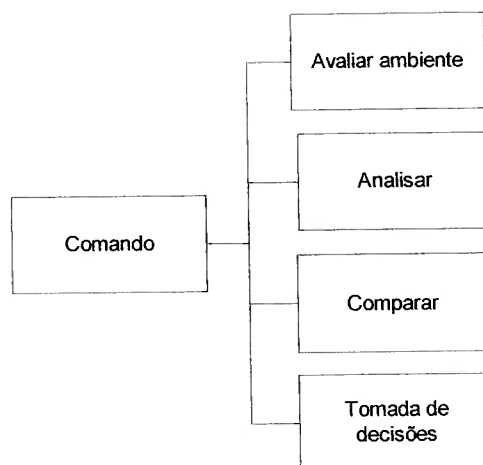


Figura 6.69: Diagrama correspondente à função de comando e sua decomposição.

Na Figura 6.70 é apresentado o correspondente modelo PFS da função de comando.

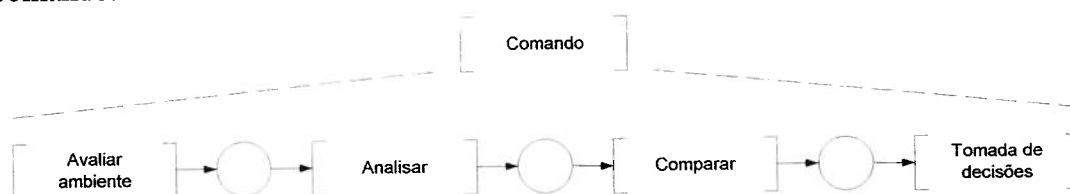


Figura 6.70: Modelo PFS da função de comando.

A função de comando é executada basicamente pelo estado maior e pelo comandante, assim os modelos das suas sub-funções refletem somente o comportamento dessas pessoas e não do sistema.

6.4.4.1 Função de Avaliar Ambiente

Esta função tem como finalidade a verificação pelo estado maior se os ícones gerados com o sistema são os adequados. O estado maior faz esta verificação com base em sua experiência. Ele poderá mudar os dados com relação ao contato se considerar apropriado. A Figura 6.71 apresenta o modelo MFG da atividade de avaliar ambiente.

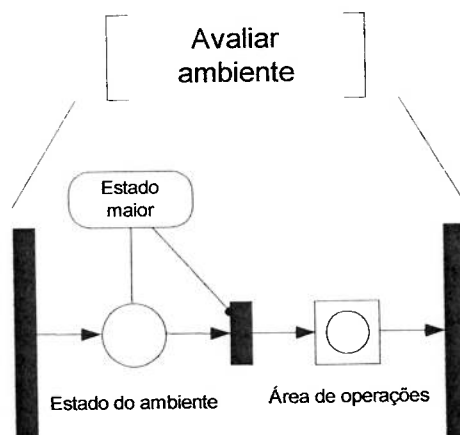


Figura 6.71: Modelo MFG da função de avaliar ambiente

6.4.4.2 Função de Analisar

Nesta função, o estado maior analisa a área de operações com relação aos objetivos e a missão do navio. O procedimento executado pelo estado maior é apresentado na Figura 6.72.

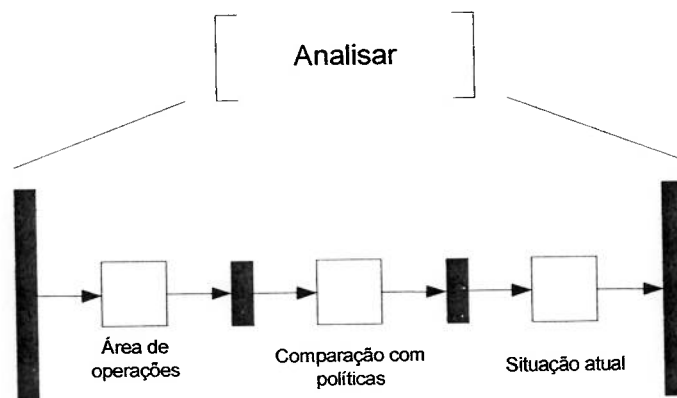


Figura 6.72: Modelo MFG da função de analisar

6.4.4.3 Função de Comparar

Nesta atividade, o comandante e o estado maior comparam a situação do navio dentro da área de operações com relação as regras de enfrentamento (REN). As

REN dão ao comandante algumas diretrizes de como reagir em determinadas situações. O correspondente modelo MFG é apresentado na Figura 6.73.

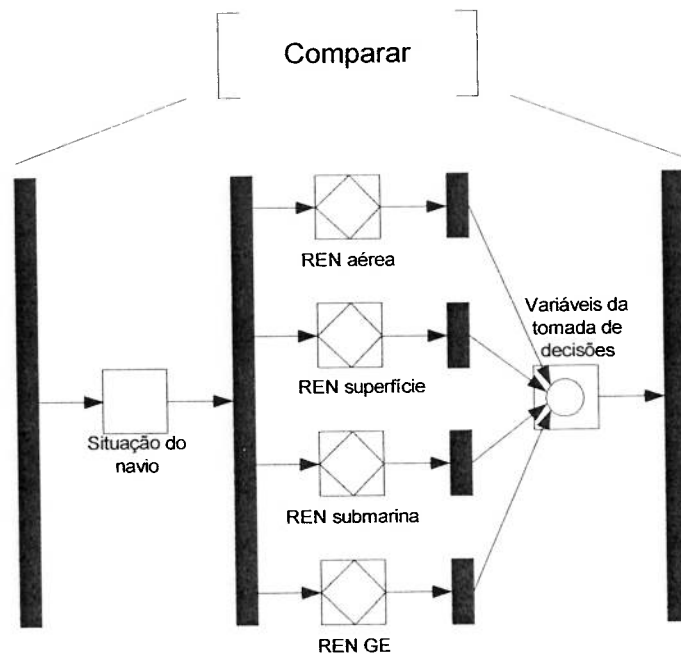


Figura 6.73: Modelo MFG da função de comparar

6.4.4.4 Função de Tomada de Decisões

Uma vez que o comandante tem os dados, informações e variáveis para poder efetuar sua decisão, ele a introduz no sistema, para que este execute suas ordens ou transmita suas recomendações.

No caso das ordens, estas serão executadas pelo subsistema de controle e no caso das recomendações, estas serão transmitidas pelo subsistema de comunicações. Esta atividade é representada na Figura 7.74.

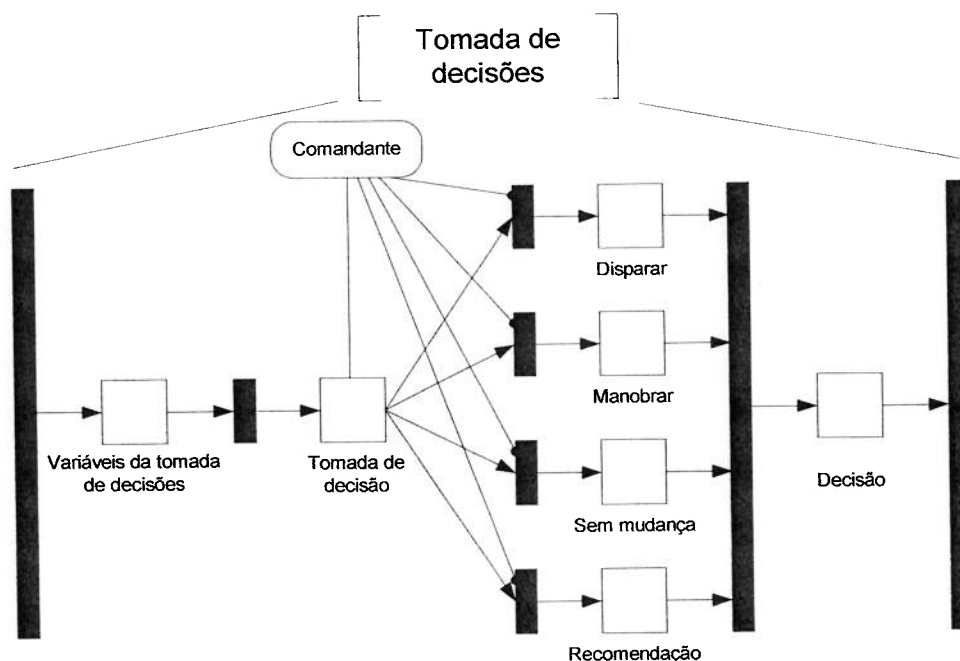


Figura 6.74: Modelo MFG da função de tomada de decisões

6.5 ETAPA 5: ANÁLISE, VALIDAÇÃO E VERIFICAÇÃO DO MODELO DO SISTEMA

Uma vez gerados os modelos PFS e MFG correspondente ao sistema C³I, se procede a sua análise, validação e verificação. É preciso destacar que no momento não existe uma ferramenta computacional capaz de fazer simulação, diretamente, de modelos MFG e E-MFG, pelo qual realizou-se uma combinação de simulação manual dos modelos e a utilização de ferramentas de simulação computacional baseadas em Redes de Petri ordinárias.

Ao não contar com uma ferramenta computacional, específica para modelos MFG e E-MFG, que permita realizar a verificação das propriedades dos modelos gerados e tendo em conta a complexidade, em termos de quantidade de modelos, procedeu-se a realização, de forma análoga com os testes de software citados por Pressman (1997): teste de unidade (para cada modelo MFG gerado) e teste de integração (para grupos de modelos MFG de um mesmo modelo PFS).

Desta forma pode-se verificar a possibilidade da existência de problemas na dinâmica dos modelos, além de possíveis inconsistências das propriedades, comportamentais e estruturais dos modelos em Redes de Petri.

Neste sentido, os testes de unidade foram desenvolvidos através de simulação manual dos modelos, enquanto os testes de integração foram desenvolvidos através de simulação computacional por meio da ferramenta HPSIM³⁶.

O resultado da execução destes testes foi que os modelos cumprem as propriedades das Redes de Petri e não apresentam problemas com sua dinâmica de estados.

Com a finalidade de poder validar e analisar os modelos, de acordo com os requisitos gerados na etapa 2, realizaram-se as seguintes simulações:

1. Simulação de detecção de contato de superfície hostil.
2. Simulação de detecção de contato de superfície neutro.
3. Simulação de detecção de contato aéreo hostil.
4. Simulação de contato aéreo neutro.
5. Simulação de contato submarino hostil.
6. Simulação de contato submarino neutro.
7. Simulação de emissão eletromagnética hostil.
8. Simulação de emissão eletromagnética neutra.
9. Teste de *stress* do sistema (Pressman, 1997) simulando múltiplos contatos hostis e neutros.

Estas simulações comprovaram que os modelos gerados atendem os requisitos levantados na etapa 2.

6.6 COMENTÁRIOS SOBRE ESTE CAPÍTULO

Demonstrou-se passo a passo a aplicação da metodologia proposta no capítulo 5. Na etapa 1 considerou-se o levantamento inicial dos dados referentes ao

³⁶ Disponível em http://www.winpesim.de/petrinet/e/hpsim_e.htm

problema de acordo com as necessidades do usuário. Na etapa 2 estabeleceram-se os requisitos necessários para atender as necessidades do usuário com a finalidade de obter uma estrutura do sistema e dos dispositivos que atuam nele. Na etapa 3, identificaram-se os processos levados a cabo pelo sistema. Na etapa 4 realizaram-se as modelagens conceituais e funcionais dos processos executados pelo sistema, os quais foram previamente detalhados na etapa 3. Na etapa 5 foi realizada a análise, validação e verificação dos modelos considerando as propriedades das Redes de Petri e técnicas de simulação.

As simulações realizadas confirmaram que o sistema atende os requisitos necessários para a solução do problema das necessidades do usuário.

CAPÍTULO 7

COMENTÁRIOS FINAIS E CONCLUSÕES

Este trabalho introduz uma metodologia para a modelagem de sistemas C³I para navios de guerra através de uma abordagem de sistemas a eventos discretos, e especificamente, mediante a utilização das Redes de Petri. Esta metodologia permite o desenvolvimento estruturado de modelos e proporciona sua interpretação (indispensável em modelos complexos de sistemas de grande porte), facilitando o direcionamento do processo de modelagem e o aprimoramento da especificação do sistema.

A metodologia apresentada propõe o uso de modelos estruturais, conceituais e funcionais, cuja finalidade é orientar a construção de um modelo global do sistema C³I para sua posterior implementação.

Nesta metodologia é explorada a utilização do IDEF0 como ferramenta para a compreensão do comportamento desejado do sistema, que é combinada com a técnica de modelagem/metodologia PFS/MFG. Além disso, foi utilizado o MFG estendido (E-MFG) procurando incrementar o poder da modelagem do MFG, para simplificar o grafo e utilizar regras de controle específicas dos sistemas C³I.

O trabalho confirmou a utilidade e eficiência das Redes de Petri e da metodologia PFS/MFG para a modelagem de sistemas C³I para navios de guerra. Confirma-se assim a possibilidade de se utilizar dita metodologia para auxílio a projetos (modelagem, análise e especificação) em outros tipos de organizações que requeiram sistemas de comando e controle (sistemas de tráfego aéreo, sistemas de fabricação, sistemas de controle de tráfego marítimo, etc.) já que esta metodologia permite a plena compreensão do sistema.

A metodologia proposta no presente trabalho apresenta as seguintes características que foram corroboradas no exemplo da aplicação:

- Fornece uma forma sistemática para a abordagem de sistemas C³I e a construção de seus modelos, os quais podem ser usados para a verificação e validação do sistema e sua implementação.
- Representa as características e operações do sistema de modo claro e uniforme.
- Representa o sistema do nível conceitual ao detalhado de acordo com a estrutura hierárquica das atividades do sistema, considerando aspectos de modularidade, flexibilidade e capacidade de expansão.
- É flexível na medida em que os modelos admitem composição com outras técnicas que possam também ser usadas na modelagem.

De acordo com a experiência alcançada na elaboração do presente trabalho são sugeridos os seguintes trabalhos futuros:

- Desenvolvimento de uma ferramenta de simulação baseada na metodologia PFS/MFG (considerando a utilização do MFG estendido).
- Continuar com o estudo das técnicas IDEF, procurando estabelecer uma relação com a modelagem de sistemas a eventos discretos.
- Utilização de modelos orientados a objetos e Redes de Petri para o desenvolvimento de novos sistemas de comando e controle.
- Utilização dos diagramas IDEF0 e seus correspondentes dicionários de dados para a construção de sistemas de software orientados a objetos.
- Estudar a possibilidade de combinar Redes de Petri, sistemas de realidade virtual e sistemas de comando e controle, com a finalidade de desenvolver ambientes virtuais para treinamento de pessoal.

LISTA DE REFERÊNCIAS

ALLARD, K. **Command, Control and the Common Defense**. Washington D.C.: United States Government Printing Office, 1996. 337p.

ALVES, J. Sistemas de pesquisa e exploração das informações do campo de batalha. **Semana da Arma de Transmissões**. Lisboa, 1991 e 1992

ARAKAKI, J.; SANTOS FILHO, D. J.; MIYAGI, P. E. Análise de sistemas integrados de manufatura baseada na metodologia MFG/PFS. In: WORKSHOP IBERO-AMERICANO DE SISTEMAS AUTÔNOMOS EM ROBÓTICA E CIM, Lisboa 1992. **Robótica e Automatização: Revista de Informação Técnica e Científica**, Lisboa, 1992, n.10, p.19-24.

ARAKAKI, J.; MIYAGI, P. E.; SANTOS FILHO, D. J. Aplicação da metodologia PFS/MFG na modelagem de sistemas de edifícios inteligentes. In: WORKSHOP SINTED SOBRE EDIFÍCIOS INTELIGENTES Varadero, 1998. **SINTED II**. Varadero : UNINOVA/CYTED, 1998. p. 98-100.

ARANDA, O.; HARTUNG, K. Potencias marítimas medianas em el siglo XXI. **Revista de Marina de la Armada Chilena**, v. 116/851, Julho-Agosto 1999. p. 317 Disponível em : <<http://www.revistamarina.cl/>>. Acesso em: 10 Abril 2003.

BERGER, J.; LAMONTAGNE, L. A coloured Petri Net model for a naval command and control system. In: LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE, v. 691, Chicago, 1993. **Proceedings of the 14th International Petri Net Conference**. Chicago: Springer Verlag, 1993. p. 532-541.

BOSILJ-VUKSIC, V.; GIAGLIS, G.; HLUPIC, V. IDEF diagrams and Petri Nets for business process modeling: suitability, efficacy and complementary use. **Proceedings of the Second International Conference on Enterprise Information Systems ICEIS 2000**, Stafford, 2000. p. 242-247.

BOUTI, A.; AIT KADI, D. Towards a IDEF0 based Multi-View Modeling Methodology. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS, MAN AND CYBERNETICS, v. 3, Vancouver, 1995. **Intelligent Systems for the 21st Century**. p. 2645 -2650

BOWDEN, F.; DAVIES, M. Application of a role-based methodology to represent command and control processes using extended Petri Nets. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS, MAN AND CYBERNETICS, v. 5, Orlando, 1997. **Computational Cybernetics and Simulation**. p. 4348-4353.

BOWDEN, F.; PEARCE, C. Decision process Petri Net analysis. In: 5TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMMAND & CONTROL RESEARCH AND TECHNOLOGY, Track 6, n. 1, Canberra, 2000. **Working Together**. Disponível em : <<http://www.dodccrp.org>>. Acesso em: 10 Abril 2003.

BRANDT, K. Modeling and simulation links with command and control systems. In: 6TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMMAND & CONTROL RESEARCH AND TECHNOLOGY, Track 3, Part 2, n. 1, Maryland, 2001. **Collaboration in the Information Age**. Disponível em : <<http://www.dodccrp.org>>. Acesso em: 10 Abril 2003.

BROWN, R. Normative models for capturing tactical intelligence knowledge. In: Johnson, S. & Alexander H. **Science of Command and Control: Copying with complexity**. Fairfax: Armed Forces Communication and Electronic Association (AFCEA) International Press, 1989. p. 68-75.

BUILDER, C.; BANKES, S.; NORDIN, R. **Command Concepts: a theory derived from the practice of command and control**. Rand Corporation, 1991. 144p. Disponível em : <<http://www.rand.org/publications/MR/MR775/>>. Acesso em: 10 Abril 2003.

CALVEZ, J. **Embedded real-time systems**. New York: John Wiley & Sons, 1993. 647p.

CARDOSO, J.;VALETTE, R. **Redes de Petri**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1997. 212p.

CARREIRA, D.; BARROS M.; MELO, P. Uma aplicação militar do computador na simulação e apoio à decisão. **Jornal do Exército**, Lisboa, 1991

CASSANDRAS, C. **Discrete event systems: Modeling and performance analysis**. Boston: Irwin Publications, 1993. 790p.

CHOI, B.; KUO, W. Performance analysis of a generic naval command and control battle group system by use of Timed Petri Nets. **Proceedings of the 20th Winter Simulation Conference**, San Diego 1988. New York: ACM Press, 1988. p. 765-774.

COAKLEY, T. **C³I: Issues of Command and Control**. Washington D.C.: National Defence University, 1991. 408p.

COE, G. Modeling performance impacts of command and control system product improvements – using Petri Nets to replicate complexity. IEEE Military Communications Conference, 1991. **MILCOM 91 Military Communications in a Changing World**, New York, 1991, v.1, p. 61-67.

CONNER, W.; Automated Petri Net modeling of military operations. **Proceedings of the IEEE 1990 National Aerospace and Electronics Conference NAECON**, Dayton, 1990, v. 2, p. 624-627.

DAVID, R.; ALLA, H. **Petri Nets and Grafcet: tools for modeling discrete event systems**. Londres: Prentice Hall, 1992. 339p.

DENHAM, M. A Petri Net approach to discrete event control. **Proceedings of the IEE Colloquium on Modelling, Simulation and Control of Discrete Event Systems**, London, 1989, Digest No. 146.

DESEL J.; ESPARZA, J. **Free choice Petri Nets**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 244p.

DIAZ, S. Unidade de superfície para la armada del 2000. **Revista de Marina de la Armada Chilena**, v. 113/833, Julho-Agosto 1996, p. 349. Disponível em: <<http://www.revistamarina.cl/>>. Acesso em: 10 Abril 2003.

ESTADOS UNIDOS. Department of the Army. **Decisive force: the army in theater operations**. FM 100-7. Washington D.C.:Office of the Army Department, 1995. 250p.

ESTADOS UNIDOS. Department of Defense. **Department of Defense Dictionary of Military and Associated Terms**. Joint Pub 1-02. Washington D.C.:Secretary of Defense, 2001. 736p. Em: <http://www.dtic.mil/doctrine/jel/new_pubs/jp1_02.pdf> Acesso em: 01 Agosto 2003.

ESTADOS UNIDOS, National Institute of Standards and Technology. **Integration Definition for Function Modeling (IDEF0) FIPS 183**. Draft Federal Publication Standard Publication (FIPS PUB 183), 1993. 128p Em: <<http://www.campbell.berry.edu/faculty/jgrout/processmaps/idef0.pdf>> Acesso em: 01 Agosto 2003.

FERREIRA, A. **Novo dicionário da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1994.

GRIFFIN, B.; SKINNER, K. Vulnerability analysis of C³I networks using discrete event simulation and modeling. **Proceedings for Information, Decision and Control IDC 99**. Adelaide, 1999, pp. 141-144.

HASEGAWA, K et al. Application of the Mark Flow Graph to represent discrete event production systems and control system. **Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers**, v. 24, n. 1, 1988.

HE, D.; STREGE, B.; TOLLE, H; KUSIAK, A. Decomposition in automatic generation of Petri Nets for manufacturing system, control and scheduling. **International Journal of Production Research**, v. 38, n. 6, 2000. p. 1437-1457.

HILT, B.; EL MHAMED, A.; NOAGHIU, C. Modeling of information flow approach using SADT and Petri Nets. **4th International Conference on Advanced Factory Automation, Factory 200**, Conference publication No. 398, 1994. p. 326-331.

HOSINSKI, J. Learning from others: how to buy C³I. **Government Computers News**, Gale Group, 1987, v. 6, n.17. p.80.

IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers). IEEE standard for functional modeling language - syntax and semantics for IDEF0. **IEEE Std 1320.1-1998**, 1998.

INAMASU, R. **Modelo de FMS: uma plataforma para simulação e planejamento**. 1995. 134p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1995.

JENSEN, K. **Coloured Petri Nets – Basic concepts, analysis methods and practical use: Volumen 1: Basic Concepts**. Berlin: Springer Verlag, 1992. 234p.

JUSTINIANO, H. Empleo ilimitado del poder naval. **Revista de Marina de la Armada Chilena**, v. 111/820, Maio-Junho 1994, p. 260. Disponível em : <http://www.revistamarina.cl/>. Acesso em: 10 Abril 2003.

KLEIN, G. Naturalistic models of C decision making. In: Johnson, S. & Alexander H. **Science of Command and Control: Copying with uncertainty**. Washington D.C.: Armed Forces Communication and Electronic Association (AFCEA) International Press, 1988. p. 86-92.

KOH, I.; DICESARE, F.; RUBENSTEIN, A. Modeling and control information flow for a CIM system using colored Petri Nets. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS, MAN AND CYBERNETICS, v. 1, 1991. **Decision aiding for complex systems**. p. 343-348.

KOTONYA, G.; SOMMERVILLE, I. **Requirements engineering: process and techniques**. Chichester: John Wiley & Sons, 1998. 294p.

KNAPP, B. C3I information flow models: integrating and interfaces. **1997 Workshop on Engineering of Computer-Based Systems ECBS 97**, Monterey, 1997. p. 136-139.

LAWSON, J. The state variables of a command control system. **Proceedings of the Second MIT/ONR Workshop on Distributed Communications and Decision Problems Motivated by Naval C3 Systems**, v. 2, Cambridge, 1980. p. 462-510.

LAWSON, J. Command and Control as a process. **IEEE Control Systems Magazine**, v. 1, n. 1, Mar. 1981, p. 5-12.

LEVIS, A.; ATHANS, M. The quest for a C³I theory: dreams and realities. In: Johnson, S. & Alexander H. **Science of Command and Control: Copying with uncertainty**. Washington D.C.: Armed Forces Communication and Electronic Association (AFCEA) International Press, 1988. p. 4-9.

LIAO, S.. Cased-based decision support system: Architecture for simulating military command and control. **European Journal of Operational Research**, v. 123, issue 3, 1999. p.558-567.

LINGARD, A. Naval Intelligence – Knowledge-based decision support for naval command. **IEE Review**, v. 36, i.6, 1990. pp. 229-232

LIU, W.; Miyagi, P.; Schreeck, G. MFG/PFS methodology in manufacturing industries. **Studies in Informatics and Control**, 1994. v. 3, n. 2-3. p. 195-200.

MARINHA DO BRASIL, **Pagina Oficial da Marinha do Brasil**. Disponível em: <<http://www.mar.mil.br/mb1.htm>> Acesso em: 01 Agosto 2003.

MARTINEZ, J. Uso del mar em el siglo XXI, problemas y restricciones. **Revista de Marina de la Armada Chilena**, v. 112/827, Julho-Agosto 1995, p. 352. Disponível em : <<http://www.revistamarina.cl/>>. Acesso em: 10 Abril 2003.

MATSUSAKI, C. **Redes F-MFG (Functional Mark Flow Graph) e sua aplicação no projeto de sistemas antropocêntricos**. 1998. 89p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.

METZGER, B.; Van VOORST, L.; PIRES, R.; JHA, W.; AU, M.; AMAN, D.; CASTANON, V. The C3I parallel benchmark suite: Introduction and preliminary results. In: PROCEEDINGS OF THE 1996 ACM/IEEE CONFERENCE ON SUPERCOMPUTING, Pittsburg, 1996. **Conference on High Performance Networking and Computing**. New York: ACM Press, 1996.n 2

MIYAGI, P. E. **Control system design, analysis and implementation of discrete event production systems by using Mark Flow Graph**. 1988. Tese (Doutorado) - Tokyo Institute of Technology. Tokyo, 1988.

MIYAGI, P. E. **Controle programável: fundamentos do controle de sistemas a eventos discretos**. São Paulo:Editora Edgard Blucher, 1996. 194p.

MIYAGI, P. E.; ARATA, W. M. Application of PFS model based analysis of manufactured systems for performance assessment. **Revista Brasileira de Ciências Mecânicas**, Rio de Janeiro, 1997. v. 9, n. 1. p. 58-71.

MOLL, K., Understanding Command and Control. **ACSC Readings and Seminars**, Alabama, 1981. vol. 2, p. 15-24

MOODY, J.; ANTSAKLIS, P. Petri Net supervisors for DES with uncontrollable and unobservable transitions. **IEEE Transaction on Automatic Control**, v. 45, n. 3, 2000. p. 462-476.

MURATA, T. Petri Nets: properties, analysis and applications. **Proceedings of the IEEE**, 1989, v. 77, n. 4. p. 541-580.

NAÇÕES UNIDAS, New York. U.N. Convention on the Law of the Sea. Disponível em: <http://www.un.org/Depts/los/convention_agreements/texts/unclos/unclos_e.pdf>
Acesso em: 01 Agosto 2003.

NATHAN, B.; WOOD, J., **The use of IDEF0 to document a methodology – a novice's point of view**. Fort Worth: Automation and Robotics Research Institute, 1991. 275p.

NOWAK, G.; NIEL, E.; JUTARD, A. Specification method based on temporal SADT and deterministic/stochastic petri nets: application to safety assessment. **Proceedings of the 1996 IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, 1996**. EFTA 96. v. 1. p. 163-166

OGATA, K. **Engenharia de controle moderno**. Rio de Janeiro: Prentice Hall, 1993. 791p.

PADUA FILHO, W. **Engenharia de software: Fundamentos, metodos e padrões**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. LTC, 2001. 584p.

PETERS, L.; PETERS, J. Using IDEF0 for dynamic process analysis. **Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Robotics and Automation**. Albuquerque, 1997, v. 4. p. 3203-3208.

PETERSON, J. **Petri Net theory and the modeling of systems**. Engelwood Cliffs: Prentice Hall, 1981. 290p.

PRESSMAN, R. **Software engineering: A beginners guide**. New York: McGraw Hill, 1988. 294p.

PRESSMAN, R. **Software engineering: A practitioners approach**. New York: McGraw Hill, 1997. 852p.

RAMADGE P.; WONHAM W. The control of discrete event systems. **Proceedings of the IEEE**, 1989, v. 77, n. 1. p. 81-97.

REDI, D. Optimising the flow of information within a C³I network. **Mathematical and Computer Modelling**, 1999, n. 30. pp. 225-243.

REIMANN, M.; SARKIS, J., An integrated functional representation of concurrent engineering. **Production Planning and Control**, 1996, v. 7, n. 5. p. 452-461.

REISIG, W. **Petri Nets an Introduction**. New York: Springer Verlag, 1985. 161p.

REISIG, W. **A primer in Petri Nets design**. Berlin: Springer Verlag, , 1992. 120p.

ROTHROCK, R.; BURNS, W.; DITTMER, P. Networking for highly distributed and mobile C³I systems using short wavelength, agile-beam communications technologies. Military Communications Conference, 1991. **MILCOM 91 Military Communications in a Changing World**, New York, 1991, v.1, p. 736-739

ROUFF, K.; THOMPSON, R.; TODD, N.; BECKER, M. Situation assessment expert systems for C³I: models, methodologies and tools. In: Johnson, S. & Alexander H. **Science of Command and Control: Copying with uncertainty**. Washington D.C.: Armed Forces Communication and Electronic Association (AFCEA) International Press, 1988. p. 118-126.

SANTOS FILHO, D. J. **Proposta do Mark Flow Graph Estendido para a modelagem e controle de sistemas integrados de manufatura**. 1993. 155p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993.

SANTOS FILHO, D. J. **Controle de sistemas antropocêntricos de produção baseado em redes de petri interpretadas**, 1998. 287p. Dissertação (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.

SANTOS FILHO, D. J.; SILVA, J. R.; MARUYAMA, N.; MIYAGI, P. E. Estruturação da modelagem de processos em sistemas produtivos. **V Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente - SBA**, Canela, 2001. Disponível em: <<http://www.delet.ufrgs.br/vsbai/vsbai/artigos/1143.pdf>>. Acesso em: 10 Abril 2003.

SEILA, A. Introduction to simulation. **Proceedings of the 27th Winter Simulation Conference**, Arlington, 1997. New York: ACM Press, 1995. p. 7-15

SILVA, M. **Las Redes de Petri en la Automática y la Informática**. Madrid: Editorial AC, 1985. 429p.

SILVA, J. R.; MIYAGI, P. E. PFS/MFG: a high level net for the modeling of discrete manufacturing systems. **Proceedings of BASYS 95, 1st IEEE/ECLA/IFIP International Conference on Architectures and Design Methods for Balanced Automation Systems**, Vitoria, 1995.

SILVA, J. R.; MIYAGI, P. E. A formal approach to PFS/MFG : a Petri Net representation of discrete manufacturing systems. **Studies in Informatics and Control**, 1996.v. 5, n. 2.

SCHULTZ, R.; PETERS, L. The application of Petri Nets in object oriented enterprise simulations. **IEEE Proceedings of the 27th Annual Hawaii International Conference on System Sciences**, 1993, v. 4. p. 390-398.

SKOLNIK, M., **Introduction to radar systems**. New York: Mc Graw-Hill Book Company INC, 1962. 648p.

SNODGRASS, B., **Integrating activity based costing with IDEF modeling**. Dallas: Appleton Company, 1993. 235p.

SOMMERVILLE, I; SAWYER, P. **Requirements engineering: a good practice guide**. New York: John Wiley & Sons, 1997. 404p.

SPARSHATT, R.; JUSTICE, N. Future battle command and control system. In: 23rd ARMY SCIENCE CONFERENCE, Section 0A, n. 12 Orlando, 2002. **Transformational Science & Technology for the Army, a race for speed and precision**. Abstract

SUGISAWA, M. **A study on modelling and deadlock avoidance for discrete production systems with shared resources**. 1998. 204p. Dissertação (Doutorado) – Tohin Yokohama University, Yokohama.

TABAK, D.; LEVIS, A. Petri Net representation of decision models. **IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics**, v.15, n. 6, 1985. p. 812-818.

TSE, T.; PONG, L. An examination of requirements specification languages. **Computer Journal**, v. 34, n. 2, 1991. p. 143-152.

VAN CREVELD, M. **Command in War**. Cambridge: Harvard University Press, 1985. 352p.

VAN DER VOORT, A. Representational aspects of military command and control systems. **Proceedings of the 4th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics SCI 2000**, Orlando, 2000, v. 9. p. 283-289.

VAN TRESS, H.; STEWART, C. Research at the George Mason University Technology Development Center for Command, Control, Communications and Intelligence. **IEEE Proceedings of SOUTHEASTCON '91**, v. 2, 1991. p. 827 -831.

VASSILIS, G.; ACHILLES, K.; PANAYOTIS, P. Comparative study and categorization of high-level Petri Nets. **Journal of Systems and Software**, v. 43, n. 2, 1998. p. 133-160.

VIEGAS, P. O papel dos sistemas C³I no moderno campo de batalha. **Revista Militar de Portugal**, Março, 1996. Disponível em <<http://www.exercito.pt/am/ie/publicac/corpodoc/nunes102/artc3i.pdf>> Acesso em: 10 Abril 2003.

WILEY, R. **Electronic Intelligence: The interception of radar signals**. Massachusetts: Artech House INC, 1985. 284p.

WOLH, J. Force management decision requirements for air force tactical command and control. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, v. 11, n. 9, 1981. p. 618-639.

WHITMAN, L.; HUFF, B.; PRESLEY, A., Structured models and dynamic systems analysis: The integration of the IDEF0/IDEF3 modeling methods and discrete event simulation. **Proceedings of the 29th Winter Simulation Conference**, Atlanta, 1997. New York: ACM Press, 1997. p. 518-524

ZHOU, M. Design of command and control systems using Petri Nets and object-oriented technology. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS, MAN AND CYBERNETICS, v. 3, San Antonio, 1994. **Humans, Information and Technology**. p. 2538-2543.

ZHOU, M.; DICESARE, F. **Petri Net synthesis for discrete event control of manufacturing systems**. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 1993. 233p

ZHOU, M.; WANG, D. Design of Petri Nets objects and their application in command and control systems. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS, MAN AND CYBERNETICS, v. 5, Vancouver, 1995. **Intelligent Systems for the 21st Century**. p. 3463-3468.