

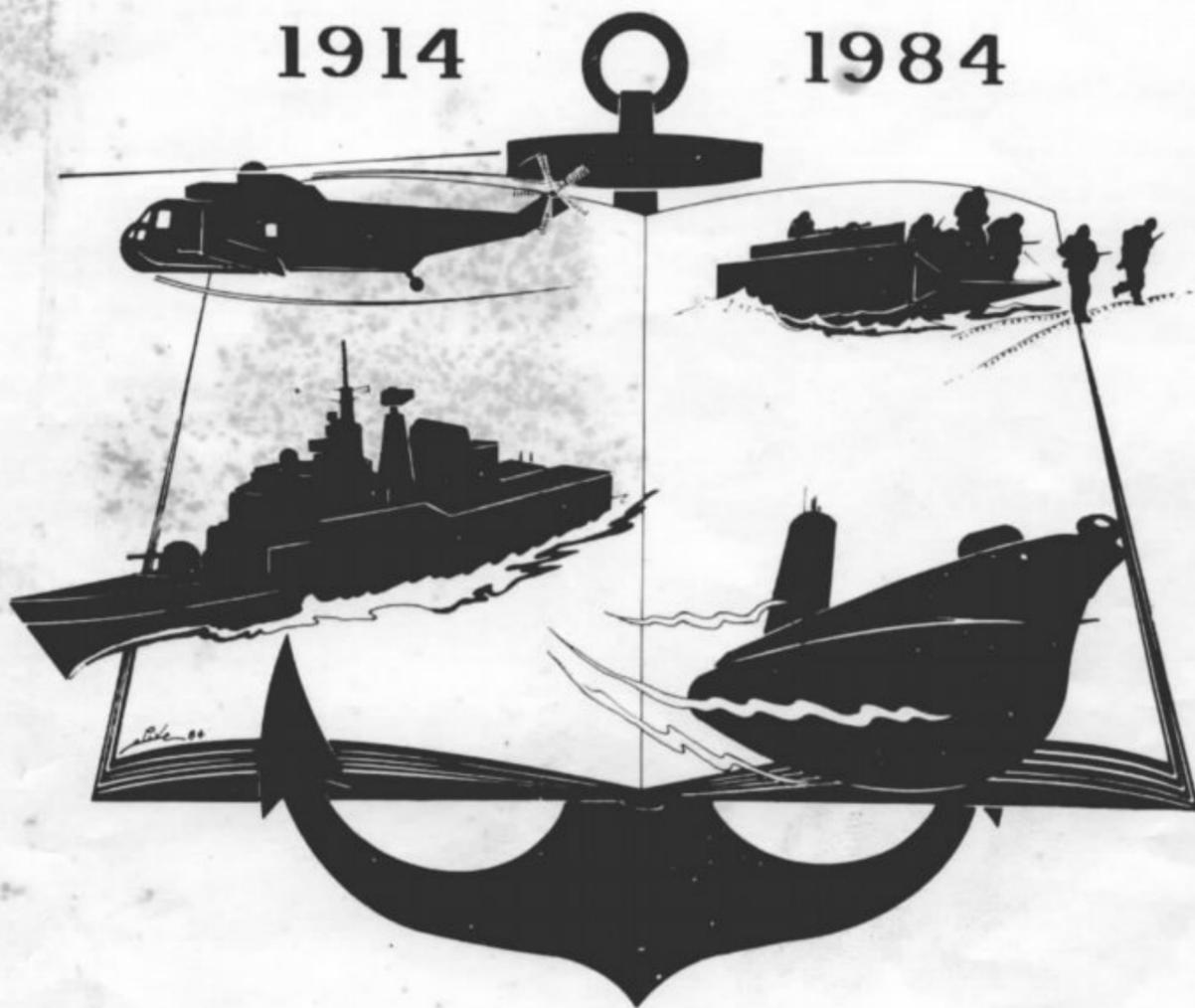
01

6-C-36

MARINHA DO BRASIL
ESCOLA DE GUERRA NAVAL

1914

1984



70 ANOS

SOBRE O CONCEITO DE SISTEMA

POR:

CMG. MARIO JORGE FERREIRA BRAGA

MARÇO / 1984

MARINHA DO BRASIL
ESCOLA DE GUERRA NAVAL



70 ANOS

SOBRE O CONCEITO DE SISTEMA

POR

CMG MARIO JORGE FERREIRA BRAGA

MARCO 1988

Prezado Leitor

Ao retirar o material bibliográfico, você se torna responsável por ele. Esperamos que faça bom uso e que tenha cuidado, pois se houver qualquer dano ou extravio do mesmo, você será o responsável pela reposição.



S U M Á R I O

PÁGINA

I - INTRODUÇÃO 01

II - FORMALIZAÇÃO QUALITATIVA 04

 II.1 - Da Colocação do Problema 07

 II.2 - Da Natureza do Modelo 12

 II.3 - Da Construção do Modelo 17

 II.4 - Comentários Finais 24

III - FORMALIZAÇÃO LÓGICO-MATEMÁTICAS 31



MM - 041081/1991
9.652

GN-00008928-7

INTRODUÇÃO

01

02

03

04

05

06

07





I - INTRODUÇÃO

Sistema é uma palavra em moda.

Fala-se de Sistemas Econômicos, de Sistemas Políticos, de Eco Sistemas, de Sistemas de Armas, de Sistemas de Processamento de Dados, de Sistemas de Propulsão, de Sistemas de Distribuição de Energia, de Sistemas de Comunicações, etcoetera, ad nauseam!

Um grande número de livros é, anualmente, publicado sobre o assunto, e existem cadeiras — Sistemas Lineares, Sistemas de Controle, por exemplo — em quase todas as Faculdades, cujo título começa com esta palavra.

Ainda, é comum que, de alguma forma, se relacione o termo Sistema, com as atividades de computação eletrônica.

Existe um pouco de verdade — vox populi, vox Dei — em todas as acepções vulgares que são emprestadas a este conceito; realmente, a abordagem sistêmica, poderoso instrumento metodológico, invadiu rapidamente o nosso cotidiano, e a frequência com que a mencionam é um indicador desta presença marcante.

Por outro lado, sendo relativamente recente o uso generalizado do enfoque sistêmico, e tendo esta prática geralmente derivado de aflitivas situações concretas, a formalização teórica ficou, evidentemente, para trás; além disto, estes esforços foram conduzidos em pontos distintos e distantes do planeta, introduzindo, como decorrência, dificuldades semânticas que vão a tal ponto que A. KOESTLER /1/ propõe que a expressão Holon (Todo, em grego) substitua o termo Sistema para reduzir a confusão em torno desta palavra!

Ultimamente, um certo número de autores vem-se dedicando à formalização do assunto. Embora as abordagens sejam múltiplas, é possí-

vel distinguir, a grosso modo, três tendências principais:

- a elaboração de uma teoria filosófica;
- a elaboração de uma teoria matemática; e
- a compilação de métodos e resultados a serviço da abordagem sistêmica.

Pensamos que há nisto uma certa hierarquia natural. Se não, vejamos.

Primeiro, é preciso estabelecer as bases filosóficas (e interdisciplinares ...) do assunto.

De fato, a idéia de sistema é a idéia de uma síntese complexa de elementos que foram artificialmente separados pela divisão arbitrária das disciplinas acadêmicas.

O comportamento do todo resultante depende das disciplinas envolvidas, mas não se esgota na união delas.

O nível de tratamento dispensado ao sistema, pelo menos nos primeiros passos da abordagem, é completamente diferente daquele com que se tratam os entes pertencentes às disciplinas individuais, isto no sentido de que o grau de abstração /2/ é maior, o que faz com que certas propriedades das partes desvançam na agregação dos detalhes, enquanto insuspeitadas características do todo aparecem em verdadeira grandeza.

Ainda, a variação para mais do grau de abstração, permite que resultados de ciências individuais sejam transplantados para fora de seus campos de origem, podendo-se então obter critérios para diferenciar a verdadeira analogia /2/ (instrumento poderoso de descoberta, conforme percebido desde os escolásticos), do simples jogo de palavras.

Finalmente, como no correr deste trabalho mostraremos, é de suma importância estabelecer uma taxonomia de sistemas, pois os tratamentos variam enormemente entre os tipos.

Tudo isto posto, forçoso é reconhecer que a formalização deve começar pelo estabelecimento de uma teoria qualitativa que, descrevendo, classificando, generalizando, concluindo, organizando, enfim, as idéias referentes à sistemas, seja capaz de identificar o sujeito a ser formalizado, estabelecer a moldura de pensamento dentro da qual deverá operar a formalização e, finalmente, reconhecer as limitações da teoria lógico-matemática resultante. Esta, portanto, é a primeira fase do trabalho a ser empreendido: identificar o problema.

Se por um lado não se pode crer que, nas malhas de uma teoria matemática, sejam aprisionados todos os aspectos de uma realidade complexa, o inefável sempre escapa, por outro, os séculos já demonstraram que a matemática é um dos mais importantes instrumentos à disposição do cientista.

Cumprido então que, sobre o sujeito anteriormente identificado, se elabore um arcabouço teórico tão amplo quanto possível o qual como aliante veremos, será estabelecido a partir da teoria de conjuntos.

Finalmente, as aplicações.

O campo de Sistemas é, talvez, o mais fecundo de nossa época, em termos de aplicações.

Podemos dizer que nenhum campo das atividades humanas encontra-se hoje imune às idéias, aos métodos ou ao enfoque sistêmico.

Entretanto, esta é mais uma razão para que a hierarquia acima referida seja respeitada.

O desenvolvimento de aplicações (tecnologia ...) não é, todos o sabemos, auto sustentável. Sem um poderoso "back-up" teórico, a tecnologia encontra rapidamente os seus limites, e ali fenece.

A prática de hoje é uma consequência direta do rigor teórico de ontem!

Entretanto, é desta fraqueza que a prática retira a sua força:

Premida por problemas que não consegue resolver, ela realimenta a sua perplexidade e as soluções parciais que porventura tenha encontrado, para a teoria matemática e/ou para a teoria filosófica, em busca de novas formulações teóricas o que, não só amplia a teoria, mas permite que novos problemas, além do que deu origem ao esforço, possam ser tratados e resolvidos.

Este ciclo de interações sucessivas entre a teoria e a prática tem sido, provavelmente, o motor do desenvolvimento científico moderno e esta constatação deve servir de advertência contra qualquer tendência isolacionista, quer das universidades (que as vezes se transformam em torres de marfim) quer das instituições públicas e privadas que, também as vezes, pensam poder prescindir do apoio da ciência pura, que só a universidade lhes pode proporcionar.

Nos acanhados limites deste trabalho, tentaremos, inicialmente, colocar qualitativamente o conceito de Sistema, e o faremos discorrendo sobre o uso militar da abordagem sistêmica, nos socorrendo de trechos de trabalho que escrevemos anteriormente /3/; depois, esboçaremos a formalização matemática, a título e a nível de ilustração, remetendo à Referência /4/ , os que se interessam por mais detalhes e maior profundidade.

Julgamos que este local é extremamente adequado para uma discussão em torno do conceito de Sistema ; este trabalho esperamos apenas que sirva como modesta plataforma, sobre a qual se poderá assentar o debate.

II - FORMALIZAÇÃO QUALITATIVA

II-1 - DA COLOCAÇÃO DO PROBLEMA

A Abordagem Sistêmica é a filha da complexidade.

De fato, a revolução metodológica observada na Renascença, pela adoção do método empírico-indutivo e a matematização das ci

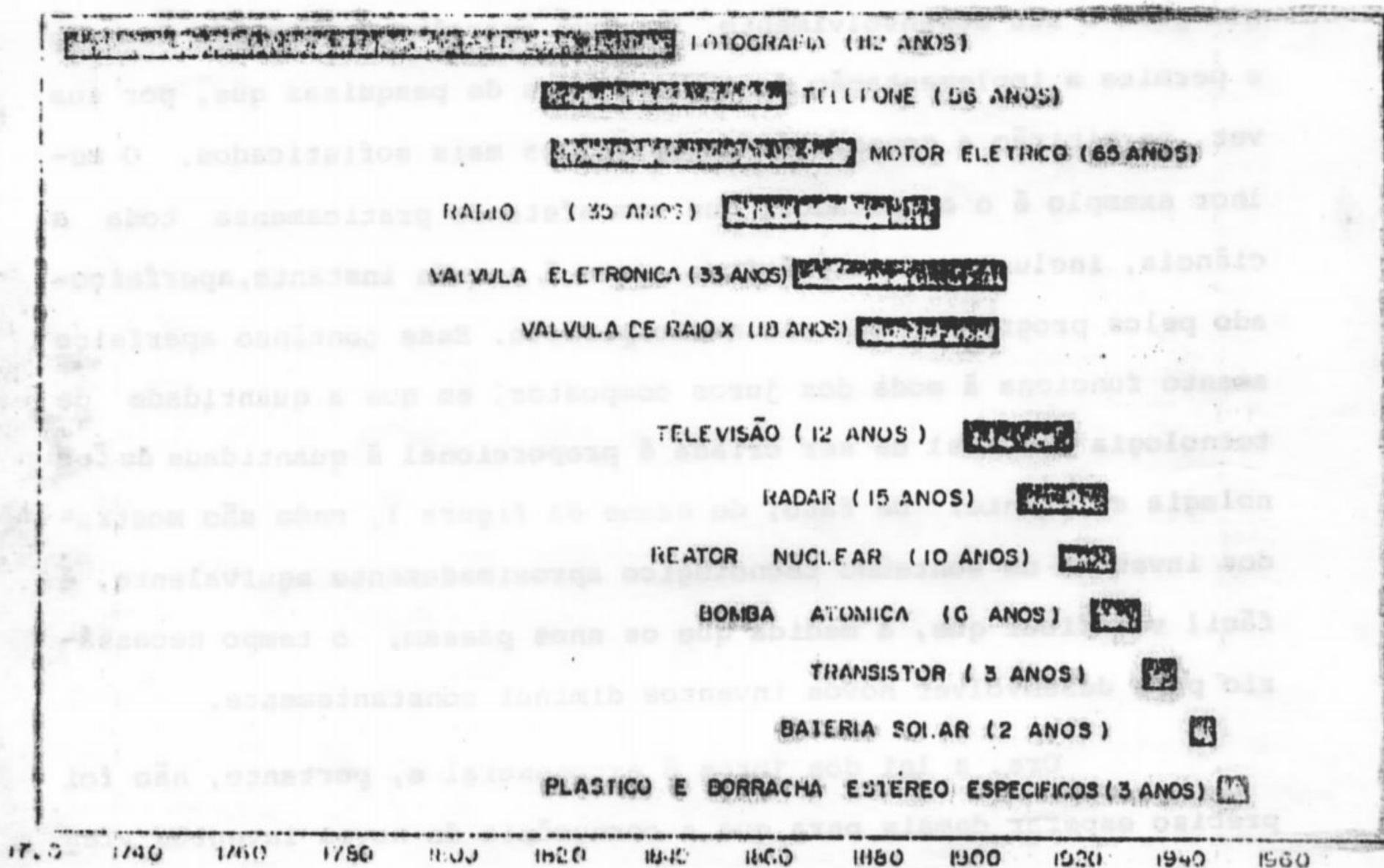
ências de natureza, provocou os mais espantosos progressos técnicos que a humanidade já testemunhou.

Tal progresso apresenta uma característica notável, diferente qualitativamente de outros grandes avanços (o fogo, a domesticação de animais, a agricultura organizada, etc ...) que o homem logrou em sua história, pelo fato de advir de um corpo de conhecimentos científicos organizados e que depende ele mesmo de tecnologia para o seu desenvolvimento. Um novo aparelho construído sugere e permite a implementação de novas linhas de pesquisas que, por sua vez, permitirão a construção de aparelhos mais sofisticados. O melhor exemplo é o computador, que vem afetando praticamente toda a ciência, inclusive a matemática, e que é, a cada instante, aperfeiçoado pelos progressos que ele mesmo permite. Esse contínuo aperfeiçoamento funciona à moda dos juros compostos, em que a quantidade de tecnologia possível de ser criada é proporcional à quantidade de tecnologia existente. De fato, do exame da figura I, onde são mostrados inventos de conteúdo tecnológico aproximadamente equivalente, é fácil verificar que, à medida que os anos passam, o tempo necessário para desenvolver novos inventos diminui constantemente.

Ora, a lei dos juros é exponencial e, portanto, não foi preciso esperar demais para que a cornucópia de novos inventos viesse a alterar profundamente a fisionomia da sociedade.

De fato, à medida que a capacidade de produzir equipamentos se foi ampliando, também aumentou, de maneira considerável, o número de problemas de decisão ligados à alocação de recursos para produzi-los, ao arranjo dos equipamentos para formar sistemas, ao emprego, ao controle e à manutenção destes sistemas.

Para lidar com esta complexidade, foram surgindo aos poucos, desde a Segunda Guerra Mundial, técnicas, notadamente as de Pesquisa Operacional, que vieram paulatinamente se agrupando sob a égide da Abordagem Sistêmica.



Fonte: Center for Integrated Studies, World and Trends (Binghamton, New York: School of Advanced Technology, State University of New York, 1969)

FIGURA 1

Assim, envolvendo o universo dos equipamentos, passou a existir todo um arsenal tecnológico "imaterial" que se destina, fundamentalmente, a decidir eficientemente sobre que equipamentos devem ser produzidos, como devem ser arranjados para formar sistemas, como e por quem devem ser conduzidos e mantidos e como devem ser empregados, tudo tendo em vista a otimização das finalidades dos sistemas.

É sobre o uso deste arsenal tecnológico "imaterial", no que se refere a sistemas militares, que discorreremos a seguir.

Um sistema militar pode ser definido como "um conjunto de homens e máquinas que interagem, trocando informação e controle, e que se destina a finalidades específicas".

Vejam bem que esta não é uma definição geral de sistemas, como as que seriam encontradas em tratados de Teoria Geral dos Sistemas, mas que se aplica perfeitamente à situação de que nos ocupamos neste ponto do trabalho.

Fundamentalmente, o que pretende a Análise é construir modelos capazes de permitir que se entenda o funcionamento dos sistemas e otimizar as suas finalidades.

Devemos notar que um modelo ou pode se referir a um sistema já existente, e queremos então melhorar o que existe, ou referir-se a um sistema a ser criado, quando se trata então de projeto. Neste caso, o usual é imaginar diversas configurações e, através dos respectivos modelos, comparar os resultados para decidir pelo melhor.

Que características devem ter os modelos que representam sistemas?

Uma ligeira excursão pela Teoria de Sistemas poderá proporcionar uma idéia clara sobre a natureza deste modelo.

II-2 - DA NATUREZA DO MODELO

A idéia de Sistema nasce da observação da existência de

conjuntos complexos, cujo comportamento não se pode derivar mediante o conhecimento do comportamento dos elementos que a ele pertencem.

Esta idéia é antiga. Aristóteles escreveu "O todo é mais as partes que o compõe" e Santo Agostinho lançava a seus discípulos o reto: "Querem saber o que é a alma? Olhai um corpo sem ela". Mais recentemente, Gustave Le Bon, em sua "Psicologia das Multidões", identificou comportamentos de grupos inteiramente inexplicáveis em termos dos indivíduos que o constituem.

Estas observações, e outros estudos muito mais profundos, sugerem que algo de novo se incorpora ao conjunto quando suas partes são postas em presença uma das outras.

A "coisa nova" que aparece é a interação entre as partes. Vejam bem, e este é um ponto bem estabelecido, que esta interação é diretamente proporcional à complexidade do conjunto, razão pela qual somente a sofisticação técnica a que nos referimos anteriormente veio evidenciá-la e justificar o desenvolvimento de teorias e técnicas para lidar com Sistemas.

Por outro lado, qualquer Sistema pode ser considerado como subsistema de outro maior. Portanto, é preciso traçar fronteiras para delimitar o interesse do estudo e determinar como o Sistema interage com o que se encontrar além dessas fronteiras.

Tudo isto junto possibilita ver um Sistema como uma "meta máquina", isto é uma máquina cujas "peças" sejam pessoas, máquinas, instalações, etc, e as respectivas interações, em que o produto ou produtos sejam a finalidade ou finalidades específicas do Sistema, e que é, de alguma forma, influenciada pela Ecologia que a circunda.

Então, modelar o funcionamento do Sistema equivale a modelar o funcionamento da correspondente meta-máquina, e a vantagem consiste em que, já tendo a humanidade uma longa tradição de lidar

quantitativamente com máquinas, esta metodologia pode ser, até certo ponto, transplantada para o reino das meta-máquinas.

É muito importante termos a exata medida do que significa a quantificação "até certo ponto", mencionada no parágrafo anterior.

O transplante metodológico antes referido, não é tão simples assim. De fato, as meta-máquinas não são tão tratáveis quanto as máquinas, pelo menos no que se refere à possibilidade de descrevê-las em termos de esquema simples e de meia dúzia de equações diferenciais.

Se pensarmos em termos de Estrutura, que é o arranjo das partes e a interação entre elas, de Ecologia, que consiste no estabelecimento das fronteiras e na interação através delas, e de Dinâmica, que compreende a resposta do sistema, no tempo, aos estímulos que recebe, podemos estabelecer um taxonomia dos Sistemas mais simples (quase-máquinas), o Ideal Mecânico, aos mais complexos, o Ideal Orgânico.

Os sistemas com que usualmente lidamos, estão, em algum ponto, entre estes dois extremos, e a classificação, segundo as três dimensões, permite a identificação do tipo de tratamento a ser dispensado a um particular Sistema que pretendemos modelar.

A Tabela I, adaptada de [5], exhibe a mencionada taxonomia.

TABELA I

	IDEAL MECÂNICO	IDEAL ORGÂNICO
ESTRUTURA	Componentes distribuídos de forma quase geométrica, com hierarquia observável e relações determinísticas.	Componentes distribuídos assimetricamente, com hierarquia não estável; relacionamento estatístico entre as partes variando "politicamente" com as circunstâncias.
ECOLOGIA	Existe dentro de fronteiras bem definidas e sofre muito pouca influência externa.	Altamente aberto a influências exógenas; fronteiras mal definidas e, possivelmente, tão distantes no espaço e/ou no tempo, que nem sempre podem ser observadas.
DINÂMICA	As componentes são altamente controladas e têm um repertório muito reduzido de respostas; as trajetórias são causais e os caminhos de interação fixos, controláveis e exclusivos; as forças que impulsionam o sistema são tangíveis e mensuráveis.	As componentes têm a capacidade de exibir comportamento oportunista ou estratégico como resposta à variação de parâmetros; as trajetórias não são fixas; muitas das forças que impulsionam o sistema não são tangíveis nem mensuráveis.

Independente do tratamento matemático que venha a ser empregado na modelagem do Sistema, e a isto nos referiremos brevemente mais adiante, certos requisitos devem estar presentes em qualquer modelo:

— Primeiro, o modelo deve ser "holístico", ou seja, deve considerar o Sistema como um todo, pois do contrário a interação desvanece e não se estaria mais modelando um Sistema, mas um

conjunto inanimado de partes;

— Segundo, o modelo deve ser interdisciplinar e usar livremente os métodos dedutivo e indutivo em sua construção. Isto diz respeito ao fato comprovado de que fenômenos suficientemente complexos quase nunca cabem dentro dos claros mas artificiais limites das disciplinas acadêmicas, e que, inclusive, muitas vezes se introduzem na terra de ninguém existente entre elas, sendo portanto preciso lançar mão de quaisquer resultados científicos relevantes, bem como usar o método lógico mais adequado;

— Terceiro, a modelagem deve procurar identificar explicitamente isomorfismos entre fenômenos. Com isto, queremos dizer que determinadas estruturas teóricas podem ser, se devidamente adaptadas, transplantadas do mundo das máquinas para o dos sistemas — Exemplos pululam, mas mencionaremos apenas o uso da teoria de hidráulica em modelagem de sistemas de tráfego ou o da teoria econômica em problemas de busca e detecção;

— Quarto e último, a modelagem deve permitir, o mais possível, a quantificação. Não vamos insistir aqui nas vantagens da quantificação, mas queremos apenas observar que, de acordo com a complexidade do Sistema, o "grau" de quantificação varia, desde casos em que se lida com precisões de várias decimais, até aqueles em que erros de 50% são perfeitamente aceitáveis. Mais ainda, quando estamos às voltas com Sistemas extremamente complexos, a quantificação torna-se puramente ordinal. Este fato, entretanto, é precioso se o nosso problema consistir em hierarquizar alternativas.

Sumarizando, os modelos são representações abstratas da entidade, o Sistema, descrevendo-o como uma meta-máquina (holismo), levando em conta os aspectos interdisciplinares, os isomorfismos com outros ramos da ciência e quantificando o mais possível, tudo com o propósito de entender como o sistema funciona, para poder, assim,

subsidiar quantitativamente a tomada de decisões que visam alguma espécie de otimização.

II-3 - DA CONSTRUÇÃO DO MODELO

Modelar é uma arte executada com os instrumentos da ciência. Não existe portanto nenhuma "receita" que permita habilitar qualquer pessoa a construir um modelo.

Existem, entretanto, determinados princípios gerais e certas técnicas que orientam os analistas em suas tarefas.

O propósito desta subseção é esboçar, dentro dos acanhados limites disponíveis, a natureza do processo de modelagem e das idéias que o orientam, não pretendendo, é claro, ensinar ninguém a fazer modelos, mas esperando transmitir um entendimento adequado das suas possibilidades e limitações.

O modelo existe porque a realidade que ele substitui é, via de regra, de alguma forma intratável.

Uma carta é um ótimo exemplo disto; por limitação da escala de nossos sensores, ser-nos-ia impossível ver ao mesmo tempo - e portanto ter noção de conjunto e conseguir nos orientar - a fração da superfície da Terra que a carta representa.

Entretanto, nenhuma carta é uma réplica perfeita da geografia real, mesmo porque, se fosse, terminaria tão intratável quanto ela.

Esta, então, é a primeira lição sobre modelos: nenhum modelo se propõe a reproduzir perfeitamente a realidade, não tendo cabimento avaliá-lo senão em termos dos aspectos que interessem ao estudo a fazer.

Um modelo é, portanto, uma ferramenta, não se aplicando a ele o conceito binário de certo ou errado, mas o conceito "contínuo" de grau de utilidade ou de grau de adequação.

Esta colocação é extremamente importante, pois a "qualidade" de um modelo é afetada por inúmeros fatores, entre eles os recursos (tempo, pessoal, computador, etc) disponíveis. Ora, se o melhor modelo que podemos fazer, dentro das restrições de recursos que, por motivos vários, nos são impostos, é útil como instrumento de análise e de decisão, então ele é, a todos os títulos, válido.

A primeira preocupação de quem está modelando um Sistema é examiná-lo sob as dimensões de Estrutura, Ecologia e Dinâmica antes referidas.

Este exame permitirá basicamente duas coisas:

- Primeiro, identificar certas características que orientarão a modelagem propriamente dita;
- Segundo, situar o grau de complexidade do Sistema dentro de uma taxonomia que esboçaremos mais adiante, e que indicará o tipo de tratamento a que ele pode ser submetido.

Examinemos o primeiro item:

Como vimos anteriormente, a abordagem deve ser holística e interdisciplinar. Conseqüentemente, ao modelista não interessa propriamente a natureza íntima do Sistema sob estudos, embora deva recorrer a especialistas de várias áreas, conforme o caso, para identificar e incorporar o que é relevante para seu modelo; isto é, a quem está modelando não interessa se o sistema é elétrico, mecânico, biológico, social, ou qualquer outro, a não ser no que concerne a obter, dos especialistas nas áreas envolvidas, informações que lhe permitem classificar o sistema em categorias tais como aberto ou fechado, linear ou não linear, com realimentação ou sem ela, etc.

O etc acima é enorme. De fato nele cabe toda uma teoria que nos permite, através do exame da Estrutura (mapa do Sistema ...), da Ecologia (fronteiras, inclusive internas entre os subsistemas...) e da Dinâmica (resposta aos estímulos ...), classificar o Sistema

segundo um grande número de categorias, como as poucas acima mencionadas, e construir um primeiro arcabouço de modelo.

O segundo item diz respeito a situar o Sistema conforme um critério de complexidade, o que nos permite escolher as ferramentas adequadas à sua modelagem.

É claro que uma certa teoria matemática, que pode ser aplicada quase diretamente a certos tipos de Sistemas, será completamente inadequada como instrumento na modelagem de um outro Sistema, cuja complexidade seja muito maior ou muito menor do que o primeiro.

Como exemplo, vamos considerar o problema de modelar uma oficina que repara cartões eletrônicos.

Se do exame do Sistema se conclui que a chegada dos cartões não é determinística, e que o tempo para repará-los também não, então um modelo estocástico calcado na Teoria das Filas seria razoavelmente empregado.

Entretanto, se os eventos fossem determinísticos, o uso de um modelo estocástico redundaria em pura perda de tempo e, dependendo do caso, também de precisão; tratar-se-ia de um sistema mais simples, que poderia ser modelado deterministicamente.

Por outro lado, se os usuários da oficina entregassem ou não os cartões, dependendo de fatores como expectativa de demora, preços, situação econômica geral, propaganda, etc, e se os empregados da oficina variassem o seu desempenho de acordo com incentivos positivos (ou negativos), tais como prêmios em dinheiro, ambiente de trabalho, expectativa de carreira e promoções etc, então um simples modelo de filas dificilmente seria capaz de modelar um tal Sistema, por excesso de complexidade.

Conforme vimos na Tabela I, a complexidade se manifesta segundo as três dimensões lá mencionadas; então, a posição do plano hachurado na Figura II é, intuitivamente, um indicador do grau e

complexidade que temos em mão.

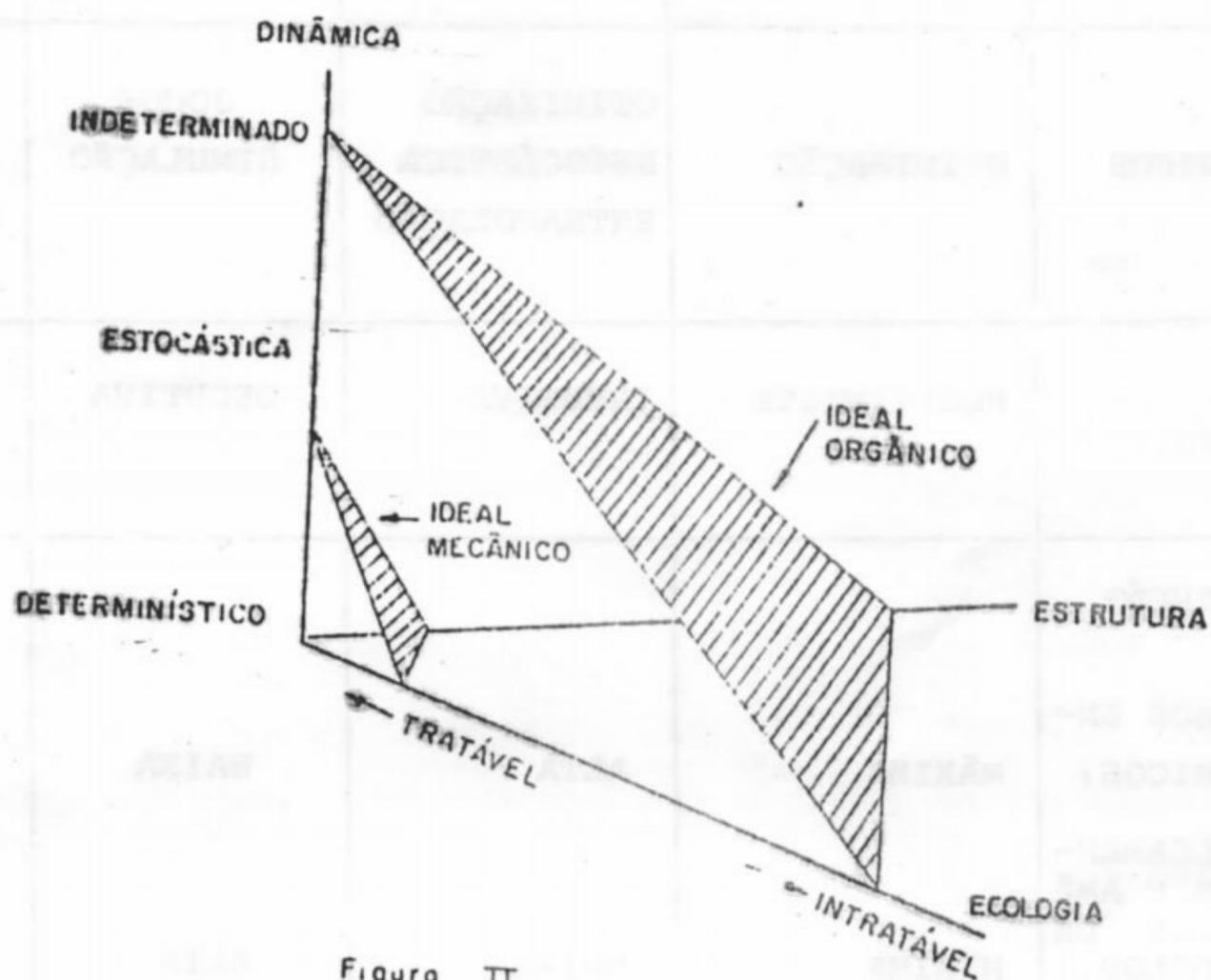


Figura II

Através de uma análise da posição deste plano, cujos detalhes omitiremos, é possível classificar os sistemas em quatro grandes categorias, que tabelamos a seguir, juntamente com exemplos e alguns possíveis métodos de ataque.

TIPO DE SISTEMA

	TIPO I DETERMINÍSTICO	TIPO II MODERADAMENTE ESTOCÁSTICO	TIPO III SEVERAMENTE ESTOCÁSTICO	TIPO IV INDETERMINADO
CARACTERÍSTICAS	CERTEZA	PROBABILIDADE	RISCO	ALTO RISCO
INSTRUMENTOS	OTIMIZAÇÃO	OTIMIZAÇÃO ESTOCÁSTICA EXTRAPOLAÇÃO	JOGOS SIMULAÇÃO	DELPHI HEURÍSTICA APRENDIZADO
BASE ANALÍTICA	POSITIVISTA	INDUTIVA	DEDUTIVA	META TEÓRICA
CONTRIBUIÇÃO DE: a) DADOS EM- PÍRICOS: b) JULGAMEN- TOS E ANÁ- LISES DE MODELOS:	MÁXIMA MÍNIMA	ALTA BAIXA	BAIXA ALTA	MÍNIMA MÁXIMA
EXEMPLOS:	SISTEMAS DE REPAROS SISTEMAS SIMPLES DE TRANSPORTE	SISTEMAS DE ARMAS DE UNIDADES (NAVIOS, ETC) SISTEMA DE APROVISIO- NAMENTO	SISTEMAS DE ARMAS DE GRUPOS DE UNIDADES SISTEMAS LOGÍSTICOS	SISTEMAS POLÍTICOS

TABELA II

Vencidos os passos acima, podemos desenvolver a tarefa de modelagem propriamente dita, que termina, geralmente, em um modelo a menos de parâmetros a determinar e que deve, ainda, ser validado.

Este é outro ponto importante, que não pode ser relevado em um trabalho como este.

Suponhamos um sistema de armas, cujo modelo foi feito tendo em vista uma certa ameaça e levando em conta um certo cenário.

É claro que, nesse modelo, determinados parâmetros, tais como a probabilidade de detecção dos sensores em função da distância, o tempo de resposta de operadores, a precisão de acompanhamento, etc, devem ser levados em conta.

Todavia, por causa do aspecto interação, geralmente não podemos usar os valores que se encontram em publicações e manuais, pois estes valores se referem a medidas feitas em componentes isolados, fora do sistema (e do cenário que, no caso, pertence a sua ecologia).

É então necessário levantar esses valores com o Sistema operando em condições tão reais quanto possível. O processo consagrado para fazê-lo é conhecido como Avaliação Operacional de Sistemas.

Ora, muitas vezes os dados obtidos ou as funções ajustadas contrariam o que era esperado do modelo, invalidando-o no todo ou em parte. Impõe-se, então, a revisão do modelo e, talvez, continuar com a Avaliação Operacional até que o modelo atinja o ponto de perfeição desejado.

De posse de um modelo julgado adequado, poderemos utilizá-lo como instrumento para obter conclusões e subsidiar decisões sobre o sistema que ele representa. Este é o objetivo da subseção seguinte.

II-4 - DO USO DO MODELO

A gama de usos possíveis de um modelo é vastíssima. A sua simples existência já permite que entendamos o funcionamento do Sistema e, conseqüentemente, que possamos agir racionalmente sobre ele

(este é um aspecto extremamente relevante, pois é comum vivermos às voltas com Sistemas altamente complexos, como os Sistemas Educacionais, os Sistemas Logísticos, entre outros, cujo funcionamento, por falta de um modelo, quase ninguém realmente entende, mas sobre os quais, quase todos têm opiniões cujo grau de desvario é uma variável aleatória uniformemente distribuída ...). Fica evidentemente difícil listar exaustivamente e comentar, para cada um dos usos, as técnicas e metodologia empregadas.

De um modo geral, entretanto, o que pretendemos é manipular de alguma forma as variáveis de decisão do modelo, ou sejam aquelas sobre as quais se tem controle, de modo a obter certos efeitos (idealmente, a otimização) sobre o "produto" final do Sistema.

As vezes isto é possível analiticamente, isto é, podemos escrever uma "função objetivo", que é uma descrição matemática do "produto" do Sistema, e, pelo uso de técnicas de Programação Matemática (pertencentes ao arsenal de Pesquisa Operacional), obter um máximo (ou um mínimo, se for o caso) desta função, respeitadas as possíveis restrições que pesem sobre as variáveis.

Outras vezes não podemos aplicar um tratamento analítico tão direto, ou porque as dificuldades matemáticas são insuperáveis, ou porque a própria natureza do modelo (ver Tabela II) não o permite; neste caso, o uso da simulação, do jogo, do método Delphi, de indicadores vários, sempre nos permitirá manipular as variáveis de decisão e se, nem sempre é possível otimizar, pelo menos podemos caminhar em direção ao ótimo.

De um maneira ou de outra é então possível fornecer aos escalões superiores, subsídios quantitativos, muitas vezes, inclusive, sob a forma de um leque de opções que lhes facilite as decisões.

Vejam bem que é comum pairar sobre a abordagem sistêmica a suspeita de que, uma vez que ela usa as ferramentas da Pesquisa

Operacional para otimizar funções objetivo, então nada resta ao escalão superior para decidir. Isso é em geral falso, não só porque, como vimos acima, nem sempre é possível reduzir a análise a pura e simplesmente otimizar uma função-objetivo, mas também porque, quando isto é possível, a definição de função-objetivo só é única em situações muito simples. Por exemplo, na modelagem de tráfego em uma rua (isto é bem simples ...), poderíamos pensar em maximizar o escoamento e teríamos uma função objetivo; ou em minimizar o risco das pessoas que atravessam e teríamos outra, e assim por diante.

Cabe, portanto, a quem decide, introduzir aspectos subjetivos e políticos, única maneira de poder escolher ou entre funções-objetivo, ou entre graus de afastamento do ótimo, fazendo-o, entretanto, à luz de todo o espectro possível de opções e perfeitamente consciente das conseqüências das decisões tomadas.

Uma técnica particularmente eficaz na análise de modelos de Sistemas Militares, e cujo uso exporemos aqui a título de exemplo, para encerrar esta subseção, é a que consiste em considerar que, sob qualquer circunstância, o "produto" final do Sistema é composto de três ingredientes: Desempenho, Aprestamento e Emprego.

Por Desempenho se entende a medida física daquilo que certo equipamento, ou subsistema, ou sistema de armas, ou navio, ou aeronave, etc, é capaz de fazer, se estiver em perfeitas condições de funcionamento e se for devidamente empregado.

Por exemplo, um certo sistema de armas é capaz de colocar 25 tiros por minuto, dentro de uma área retangular de 10 x 25 metros, dado que todos os equipamentos que o compõem (radar de direção de tiro, computador, canhão, interfaces, etc) estão funcionando dentro das tolerâncias devidas, que o pessoal que garante atende às qualificações necessárias e que está sendo empregado corretamente, o que pode ser entendido como estar a uma certa distância

do alvo, seguindo procedimentos de espotagem corretos, em cenário limpo de interferência eletromagnética, etc.

Por Aprestamento se entende o estado de funcionamento dos equipamentos, subsistemas, etc, aí incluído o pessoal que os opera. Duas são as medidas usualmente empregadas para Aprestamento: a Disponibilidade (A), e a Confiabilidade (R(t)).

A Disponibilidade é definida pela probabilidade de o objeto estar pronto para operar, dentro das suas especificações, quando dele se precisa. Exemplificando, seja uma aeronave cuja vida é de 5 anos. Considere-se que durante este período ela deve fazer manutenção preventiva que totaliza seis meses e que, durante um ano esteja inoperante para reparos, à espera de diagnóstico, de sobressalentes, etc. Ora, se este ano e meio em que a aeronave não está pronta para voar estiver uniformemente distribuído pelos seus cinco anos de vida, então é claro que a probabilidade de que, em um momento escolhido ao acaso durante a sua vida, ela esteja disponível, é de 70%.

Na realidade as coisas são mais complicadas, as revisões e as falhas não se distribuem uniformemente, e seria muito difícil que a aeronave fosse solicitada em um instante escolhido ao acaso. Não vamos descer aqui aos detalhes matemáticos deste problema. No entanto, deixaremos consignado que existe teoria, dentro da Pesquisa Operacional, para tratar do assunto.

Confiabilidade é definida como a probabilidade de o objeto funcionar corretamente até o fim da missão, dado, é evidente, que estava disponível no início.

Exemplificando novamente com a aeronave, pode-se supor uma missão de quatro horas e que a probabilidade de que ela passe mais do que quatro horas sem apresentar defeito seja de 99%; diz-se então que a Confiabilidade para quatro horas (Confiabilidade é

sempre uma função do tempo) é de 99%, ou, em símbolos:

$$R(4) = 0,99$$

Cabe acrescentar que o homem contribui para baixar tanto a Disponibilidade com a sua ausência (claro, sem piloto qualificado ...) e com a sua incompetência em realizar reparos, aumentando o tempo que o material está parado, quanto a Confiabilidade, através das chamadas falhas humanas, de que se ocupa a Ergonomia, ramo da Pesquisa Operacional.

Finalmente, o Emprego diz respeito ao uso adequado, ou possivelmente ótimo, dos meios disponíveis.

O Emprego varia desde o nível estratégico, até o nível de procedimentos internos das unidades, passando, é óbvio, pelo Emprego Tático.

A colocação acima pode ser posta em termos de uma equação, que, no entanto, nem sempre pode ser escrita de forma explícita, como abaixo:

$$\text{PRODUTO} = F \text{ (Desempenho, Prestamento, Emprego)}$$

ou visualizada como na Figura III.

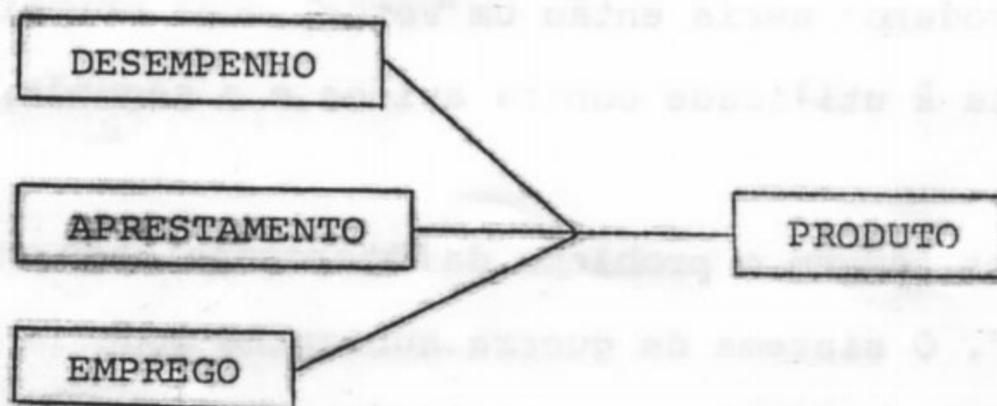


Figura III

Nada foi dito até agora sobre como medir o "produto". Realmente, nem sempre é fácil fazê-lo. Em princípio, o "produto" de qualquer sistema militar tem carácter de "utilidade", (esta palavra está usada no "strictu sensu" da Teoria Económica). Assim, um sistema de defesa aérea de ponto tem como "produto" o grau de imunidade que proporcionar ao ponto defendido de um ataque aéreo, e um sistema de guerra submarina pode ter como produto, um deles, talvez, o grau de redução do aprestamento de certa tropa inimiga sob o bloqueio.

Ora, a utilidade tem características ordinais. É possível dizer que o sistema A é mais útil que o sistema B, o que, se diga de passagem, já é importantíssimo para escolha e/ou comparação de sistemas, mas não é possível atribuir ao "produto" dos sistemas, números que preservam certas propriedades, como por exemplo, fazer certas relações entre utilidades e custos, estes sim, dolorosamente cardinais, e sair com respostas sensatas (ter cuidado com os estudos de custo/benefício!).

Além disto, raramente o produto é único. O sistema de defesa de ponto pode ter utilidades diferentes, dependendo, por exemplo, da ameaça: o sistema X pode ser superior ao Y se se tratar de defesa contra aviões, mas inferior em se tratando de defesa contra mísseis; o "produto" seria então um "vetor", cuja primeira coordenada se referiria à utilidade contra aviões e a segunda, contra mísseis.

Temos também o problema da heterogeneidade entre os diversos "produtos". O sistema de guerra submarina poderia ser usado também como sistema de alarme antecipado. Neste caso os produtos, redução de aprestamento e alarme antecipado, são claramente heterogêneos.

Finalmente, o problema da definição do "produto" que, em

muitos casos, escapa à Análise de Sistemas, é seríssimo. Por exemplo, um sistema que maximiza o número de submarinos inimigos destruídos não é necessariamente o mesmo que minimiza o número de navios mercantes amigos afundados.

Tudo isto posto, fica justificado o cuidado em lidar com o "produto" do sistema.

A maneira de abordar o problema da ordinalidade é substituir as medidas de utilidade pelas de eficácia, que se caracterizam por estar intimamente ligadas à utilidade, e fazê-la variar de maneira aproximadamente conhecida.

No caso do sistema de defesa de ponto, por exemplo, poderíamos usar como medida de eficácia a probabilidade de o sistema destruir o avião (ou o míssil) antes de chegar a uma distância X. É claro que, quanto maior for esta probabilidade, para cada distância X, mais útil será o sistema.

No caso de "produtos" múltiplos homogêneos, sempre se pode combinar, de alguma forma, as medidas de eficácia (médias, médias ponderadas, etc), se for necessário expressar o "produto" por uma medida única. No caso de "produtos" múltiplos heterogêneos, o máximo a fazer é comparar os vetores.

A propriedade da definição do "produto" muitas vezes pode ser percebida do exame do modelo e, conforme o caso, realimentado para quem de direito o questionamento da definição.

Ainda, devemos notar que a função:

PRODUTO = Eficácia = F (Desempenho, Aprestamento, Emprego) tem carácter multiplicativo. Portanto, se qualquer dos argumentos for a zero, a Eficácia também irá.

Daí, obviamente, concluirmos que de nada adianta possuir engenhos sofisticadíssimos (Desempenho) se não pudermos mantê-los

(Aprestamento) ou não soubermos operá-los convenientemente (Emprego). Mas também, se conclui que é possível, dentro de certos limites, efetuar trocas entre os argumentos da função, procurando manter a Eficácia global constante.

II-5 - COMENTÁRIOS FINAIS

Sumarizando o acima exposto, vimos que os sistemas se caracterizam pela interação, e a interação, usualmente, acompanha a complexidade.

Duas conclusões são imediatas:

Primeiro, o enfoque reducionista, isto é, separar (ou reduzir ...) as coisas em partes mais simples, examinar as propriedades destas partes e compô-las para obter as propriedades do todo, fracassa à medida que os sistemas vão se tornando complexos, porque a interação escapa; ou seja, nem sempre se pode explicar (ou modelar ...) de baixo para cima.

Segundo, a complexidade crescente da sociedade e, em nosso caso particular, da Guerra Naval, exige abordagem sistêmica, em vários setores, para subsidiar aqueles que decidem, pois, de outra forma, seriam deixados ao desamparo, em meio à multidão de peças de um quebra-cabeças desarrumado, que é um problema de Decisão mal posto; só um modelo de sistema poderá arrumar as peças, reconstituir a figura, permitir que se enxergue o essencial entre a imensidão de detalhes e que se hierarquize as linhas de ação, segundo critérios racionais.

Entretanto, se a abordagem sistêmica presta tais serviços à decisão, como se relaciona ela com os métodos tradicionais (EEM) de decisão e com a área técnica? Valendo-nos outra vez de /3/, e não julgando necessário fazer para os métodos clássicos de decisão militar o mesmo exame que fizemos para a abordagem sistêmica, diríamos que o método tradicional é essencialmente analítico, de grande inspira-

ção cartesiana e parte de um problema precisamente enunciado e através de um processo dedutivo, condicionado por Premissas, que funcionam como os axiomas de uma teoria lógica, e por Fatos Pertinentes que, utilizando outra vez a analogia com a lógica, são como verdades já anteriormente demonstradas, chega a um elenco de soluções para o Problema, soluções estas que, passando pelos crivos de executabilidade e de adequabilidade, devem ser hierarquizadas por critérios de aceitabilidade.

Trata-se, portanto, de uma abordagem profundamente lógica, mas muito pouco quantitativa (e isto, no caso, não é um defeito!) que resolve um Problema sem ter que examinar um modelo (ou porque o modelo não existe, ou porque já foi examinado anteriormente, e deste exame podem resultar Premissas, Fatos Pertinentes e Critérios de Aceitabilidade) e apresenta as soluções em termos de descrição verbal.

Sumarizando, é uma abordagem "top - down", características das ciências dedutivas, cujos resultados, se corretamente estabelecidos, têm o "status" de teoremas demonstrados.

Cabe comentar, inclusive, que seria um campo de alto interesse acadêmico, e quem sabe prático, o exame da estrutura formal de raciocínio subjacente a um Estudo de Estado-Maior.

Apresentada assim, em rápidas pinceladas, a natureza do método tradicional, e tendo presente a exposição feita da abordagem sistêmica, vamos percorrer o espectro dos estudos militares navais, para verificar onde cada um deles é mais apropriado.

Estes estudos começam em alto nível, pelo enunciado de um Conceito Estratégico, que é um expressão de vontade, coerente, é claro, com uma Estratégia mais ampla, a Estratégia Militar.

Da necessidade de implementar o conceito decorrem vários Problemas, cujas soluções são Políticas, ou seja, instrumentos que

devem direcionar condutas e atividades para atingir certos propósitos.

Vejamos bem que, até aí, não há nenhuma oportunidade de modelagem. Trata-se de, a partir de uma expressão de vontade, obter as conseqüências decorrentes, sob a moldura axiomática das Premissas impostas por instrumentos mais amplos, como a Política do País, a Estratégia Militar, etc, e usando devidamente os Fatos Pertinentes, identificados na realidade nacional, como o orçamento, por exemplo, ou na Conjuntura Internacional, e que funcionam, como já mencionamos, como teoremas adrede demonstrados. Ora, isto só pode ser feito, dedutivamente, por um exercício de lógica formal.

Então, a nível de ponto de partida, a predominância é claramente, a nosso ver, dos métodos tradicionais.

De passagem, seria interessante notar que boa parte das críticas à abordagem sistêmica, em seus primórdios, deveram-se possivelmente ao fato de ter sido empregada em nível excessivamente alto, precedendo juízos militares, necessários como ponto de partida. Como vimos na seção anterior, a abordagem sistêmica necessita de uma definição bastante precisa sobre a natureza do "produto" do Sistema que está sendo modelado. Esta definição deve ser originada de um Estudo de Estado-Maior, embora possa ser aperfeiçoada por interação entre os modelistas e o Estado-Maior, pois, do contrário, é bem provável que terminemos modelando e analisando em direção contrária à vontade de quem decide, e que obtenhamos, como produto final de nossos estudos, uma solução em busca de um problema!

Quando os estudos de alto nível chegam a termo, as soluções encontradas terão implicações operativas, logísticas, administrativas, técnicas, etc. Elas se referirão a pessoal, equipamentos, instalações, procedimentos, a coisas concretas, enfim, mas o farão de maneira ampla, abrangente e implícita e, principalmente, em ter-

mos de propósitos a alcançar.

Começamos então, neste ponto, a ter Sistemas com Produtos definidos.

Se usarmos como exemplo navios lançadores de mísseis, como parte de um Sistema de Guerra de Superfície, podemos imaginar que a criação de tal sistema tenha sido decorrente de um Estudo de Estado-Maior, que concluiu pela necessidade de obter, em certa área do oceano, determinada capacidade anti-superfície. O estudo dos possíveis Sistemas que atenderiam a um tal propósito, este sim, cabria perfeitamente dentro da abordagem sistêmica, pois, como é fácil imaginar, a complexidade envolvida — navios, aviões, meios de detecção, comunicações, sobressalentes, manutenção e reparo, adestramento de pessoal, comando, controle e coordenação, procedimentos táticos, etc — pediria a construção de um modelo, necessariamente de inspiração sintética (a análise de uma coisa assim, sem se dispor primeiro da síntese — o modelo — seria o caminho mais curto para o caos), o qual fosse passível das manipulações analíticas necessárias que requereriam, certamente, sofisticado instrumental matemático e técnico.

Uma vez decidido que sistema deveria ser implantado, o problema de implementá-lo passaria a ser predominantemente técnico.

Devemos notar que este tipo de encadeamento ocorre em vários níveis. Um exemplo seria o estudo do desenvolvimento de tática para sistemas já existentes, tarefa que requer sempre modelagem e Análise de Sistemas, mas que não pode começar sem uma formulação operativa que, como sabemos, origina-se em Estudos de Estado-Maior.

Por outro lado, devemos notar que os Departamentos Técnicos têm uma espécie de dependência em relação à Análise de Sistemas idêntica a que esta tem em relação a Estudos de Estado-Maior. Realmente, só as definições precisas que advêm de uma concepção a

nível de Sistema permitem a partida ordenada de certas atividades técnicas.

Ainda, na área operativa, é muito difícil, senão impossível, o uso direto da abordagem sistêmica em problemas de decisão.

Não é razoável supor que um comandante operativo disponha de analistas, de computadores científicos, enfim, de toda a parafernália necessária à Análise de Sistemas, para poder decidir sobre os problemas que têm em mãos. E mesmo que tivesse, não disporia de tempo.

Então, a nível de quem comanda as operações, novamente os métodos tradicionais predominam.

Devemos todavia notar que, principalmente neste caso, a abordagem sistêmica pode prestar dois serviços inestimáveis ao estudo necessário à decisão operativa: primeiro, pode ter estabelecido, anteriormente, de forma quantitativa, boa parte dos Fatos Relevantes; segundo, pode fornecer critérios quantitativos para a comparação de Aceitabilidade.

Vemos, então, que a abordagem sistêmica se situa a meio do caminho que liga o mais alto nível de comando aos comandos operativos e à direção técnica. Esta posição encontra-se representada na Figura V.

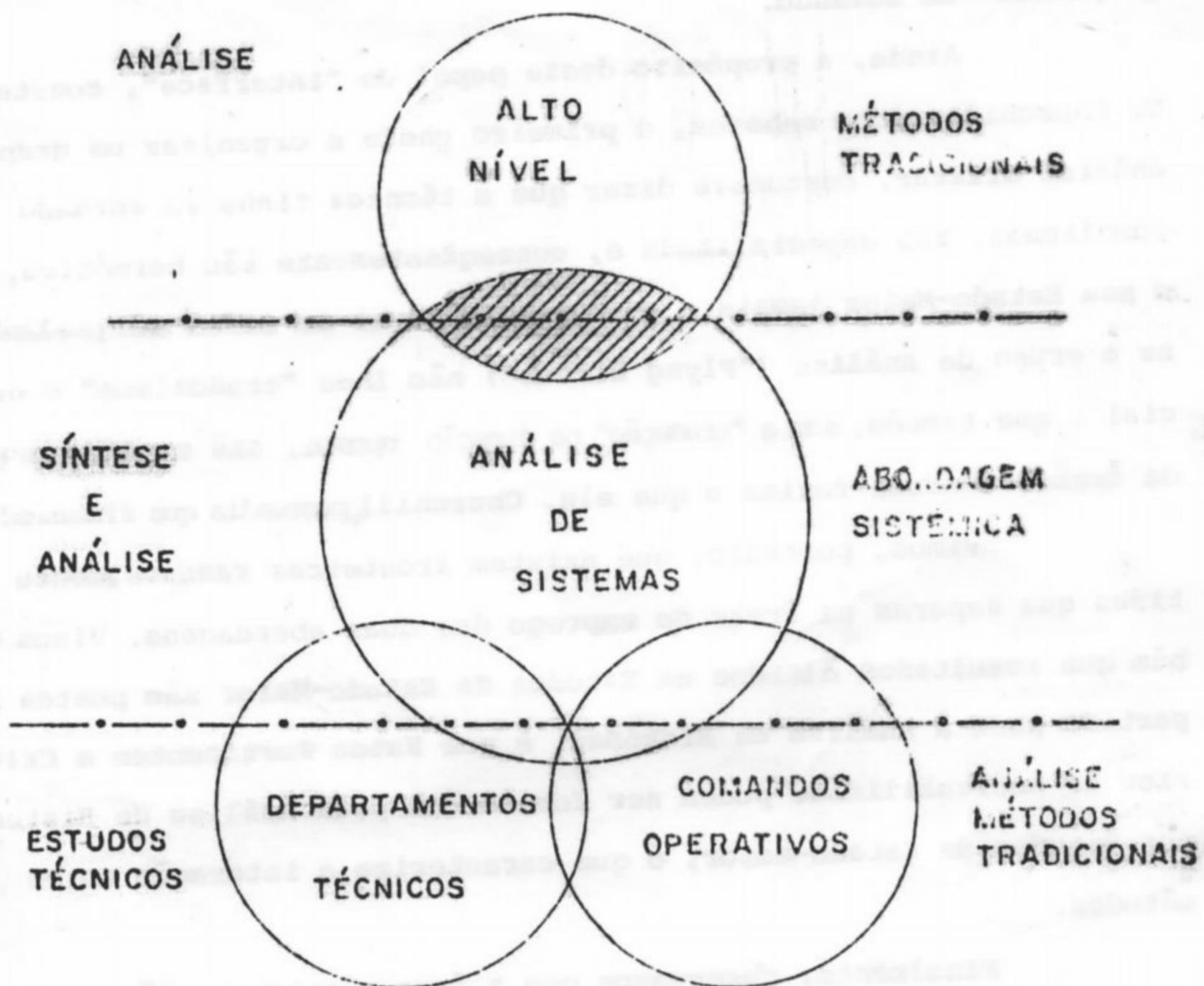


Fig. V

Então, a abordagem sistêmica ocupa um lugar intermediário, podendo ser vista como um prolongamento de Estudos de Estado-Maior — fornece modelos que sintetizando a complexidade oriunda da análise, ajudam a compreensão; fornece números que subsidiam decisões — e como um interface endre o Estado-Maior e os órgãos técnicos, isto no sentido de levar ao Estado-Maior os "inputs" técnicos imersos no contexto de um modelo que lhe permite apreciá-los no nível adequado — nem resolver problemas de engenharia, nem transferir problemas de Es-

tado-Maior para os engenheiros - e de prover aos órgãos técnicos, na linguagem apropriada, definições suficientemente precisas sobre os propósitos do comando.

Ainda, a propósito deste papel de "interface", consta que W. Churchill, como sabemos, o primeiro chefe a organizar um grupo de análise militar, costumava dizer que a técnica tinha se tornado tão complicada, tão especializada e, conseqüentemente tão hermética, que o seu Estado-Maior jamais a conseguiria levar em conta ~~adquirir~~ se o grupo de análise ("Flying Circus") não lhes "traduzisse" o essencial e que também, sem a "tradução" na direção oposta, até eventualmente os órgãos técnicos faziam o que ele, Churchill, pretendia que fizessem.

Vimos, portanto, que existem fronteiras razoavelmente nítidas que separam as áreas de emprego das duas abordagens. Vimos também que resultados obtidos em Estudos de Estado-Maior são pontos de partida para a Análise de Sistemas, e que Fatos Pertinentes e Critérios de Aceitabilidade podem ser fornecidos pela Análise de Sistemas aos Estudos de Estado-Maior, o que caracteriza a interação entre os métodos.

Finalmente, observamos que a área técnica também se beneficia dos resultados de Análise de Sistemas, pois os usa como ponto de partida e moldura de seus projetos.

Julgamos que a colocação feita evidencia a essencialidade de ambos os métodos e aponta para a necessidade de aprofundar estudos na direção de compatibilizá-los cada vez mais, estudos estes que talvez devam ser começados pela normalização da terminologia, de vez que os argumentos a favor de aparentes oposições e incompatibilidades que nos exibiram aqui e ali, fundem-se numa babel de palavras diferentes para significar a mesma coisa, e de coisas iguais identificadas por palavras diferentes.

III - FORMALIZAÇÃO LÓGICO-MATEMÁTICA

É possível formalizar as noções expostas no capítulo anterior (e outras que omitimos ...) de diversas maneiras.

Existem abordagens de Lógica pura, baseadas em definições linguísticas, abordagens baseadas em topologia ou em Análise Funcional, abordagens puramente algébricas e, finalmente, uma abordagem fundamentada em teoria dos conjuntos. Ao que tudo indica, o uso da teoria dos conjuntos, por ser bastante geral, suficientemente simples e por não excluir as demais onde for necessário e aplicável, parece ter prevalecido.

Vamos colocar então alguns tópicos sobre o assunto que, como dissemos na introdução, pretendem apenas ilustrar, pois o tema não caberia no âmbito deste trabalho.

Realmente vamos nos limitar a trabalhar sobre uma definição formal de sistema, que é um bom exemplo para mostrar o que pretendemos.

Para fazê-lo, é preciso recordar os conceitos de produto cartesiano e de Relação.

Sejam A e B dois conjuntos, por exemplo:

$$A = \{1, 2, 3, 4\}$$

$$B = \{2, 4, 6\}$$

O produto cartesiano de A por B, denotado $A \times B$, é o conjunto formado pelos pares ordenados tais que o primeiro elemento pertence a A e o segundo pertence a B (portanto, em geral, $A \times B \neq B \times A$).

No caso do exemplo:

$$A \times B = \{(1,2), (1,4), (1,6), (2,2), (2,4), (2,6), (3,2), (3,4), (3,6), (4,2), (4,4), (4,6)\}.$$

Uma Relação entre A e B (ou de A em B), denotada por $A \mathcal{R} B$, é qualquer subconjunto de $A \times B$; por exemplo:

$$R_1 = \{(1, 2)\}$$

$$R_2 = \{(2, 2), (3, 2), (4, 2), (4, 4)\}$$

$$R_3 = \{(1, 2), (2, 4), (3, 6)\}$$

$$R_4 = \{(2, 4), (4, 2)\}$$

Vejam que é possível emprestar sentido "físico" a uma relação e, portanto, identificar este conceito matemático com a acepção usual da palavra; por exemplo:

A relação R_1 pode ser vista como "os números que se relacionam através da menor soma possível";

A relação R_2 poderia significar os casos de prevalência do conjunto A sobre o conjunto B, pois em todos os pares a componente oriunda de A é maior ou igual que a de B;

R_3 seria uma relação de dobro e R_4 poderia significar parentesco, por exemplo se 2 é irmão de 4, então 4 é irmão de 2.

Ainda, é interessante notar que o conceito matemático usual, de função, é um caso particular de relação; de fato, por exemplo, a relação:

$$R_5 = \{(1, 2), (2, 4), (3, 6), (4, 6)\}$$

é uma função, enquanto R_2 , também por exemplo, não o é, de vez que ao mesmo elemento, "4", em A, correspondem outros dois elementos, "2" e "4", em B.

O conjunto A é domínio da relação, o conjunto B é o contra-domínio.

Dado um certo par $(3, 2)$, por exemplo, em R_2 , diz-se que 2 é a imagem de 3 por R_2 ; o conjunto dos elementos que são imagem é o conjunto imagem do domínio pela relação considerada — note-se que o conjunto imagem é um subconjunto do contra-domínio; em R_1 , por

exemplo, apenas o elemento "2" é imagem.

Consideremos agora uma caixa preta, tal que, do ambiente (ecologia ...) que a circunda, está sujeita a uma série de inputs.

Seja A a coleção de todos estes "inputs".

Ora, a caixa preta responde, de alguma forma, aos inputs que recebe.

Seja B a coleção de todas as respostas da nossa caixa; então a relação S, subconjunto de $A \times B$, é o sistema "caixa preta", em estudo.

Notem que, dada a mesma caixa preta, o mesmo conjunto de entrada e o mesmo conjunto de saída, poderíamos definir diversos sistemas diferentes, variando a escolha do subconjunto de $A \times B$.

Notem ainda que um sistema é então definido em termos de relação entre características observadas e não em termos da natureza íntima destas características — a humilde caixa preta que serviu de exemplo, podia ser biológica, mecânica, elétrica, econômica ou qualquer outra coisa mais; o sistema S, entretanto, é uma relação, $A \rightarrow B$, entre A e B e, portanto, independente da natureza da caixa preta, se a relação é a mesma, o sistema é o mesmo e só isto determina o tratamento que recebe! Todavia, se a natureza da caixa preta persistir, mas a relação mudar, o sistema mudou e, com ele, a maneira de abordagem.

Então, julgamos que aqui ficou completamente claro o que dissemos antes acerca de grau de abstração; ao usar o enfoque sistêmico, o que buscamos é estabelecer relações e não descrever a natureza das partes! A abordagem sistêmica se caracteriza pelo nível macro que, embora seja condicionado pelo nível micro, não pode ser por ele explicado e, usualmente, o condiciona muito mais.

Também ficou claro o uso da analogia como método; se apenas o que importa é a relação, um certo resultado científico terá que ser validado apenas face a ela, sendo portanto aplicável para todas as

relações semelhantes (que são sistemas semelhantes), independente das possíveis diferenças de natureza íntima de cada um.

Cominhando na direção de tornar mais perfeita a definição, vamos considerar que cada elemento de A e de B é uma função, cujo domínio é um conjunto linearmente ordenado (o que, em linguagem pouco precisa, significa uma ordem semelhante à da linha reta ...). Ora, um conjunto com esta propriedade pode representar o tempo, então, embora as funções presentes na relação sejam as mesmas, o valor que assumem é função do tempo.

Como exemplo, sejam:

$$A = \{f_1(t); f_2(t)\}$$

$$B = \{f_3(t); f_4(t)\}$$

$$A \times B = \{(f_1(t), f_3(t)); (f_1(t), f_4(t)); (f_2(t), f_3(t)); (f_2(t), f_4(t))\}$$

Onde:

$$f_1(t) = \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{n} \operatorname{sen} \frac{n \pi t}{2}$$

$$f_2(t) = \begin{cases} (-1)^t & \text{se } t \in \{0, 1, 2, \dots\} \\ 0 & \text{se } t \notin \{0, 1, 2, \dots\} \end{cases}$$

$$f_3(t) = I(x) = \begin{cases} \text{Ligado} & \text{se } x > 0 \\ \text{Desligado} & \text{se } x < 0 \\ \text{Stand-by} & \text{se } x = 0 \end{cases}$$

$$f_4(t) = J(x) = \begin{cases} \text{vermelho} & \text{se } 0 \leq x < 0,5 \\ \text{Azul} & \text{se } 0,5 \leq x < 1 \\ \text{Verde} & \text{se } 0 > x \geq -0,5 \\ \text{Amarelo} & \text{se } -0,5 > x \geq -1 \end{cases}$$

e "x" é o valor do primeiro elemento do par ordenado, que será x_1 ou x_2 se vier de $f_1(t)$ ou $f_2(t)$ respectivamente

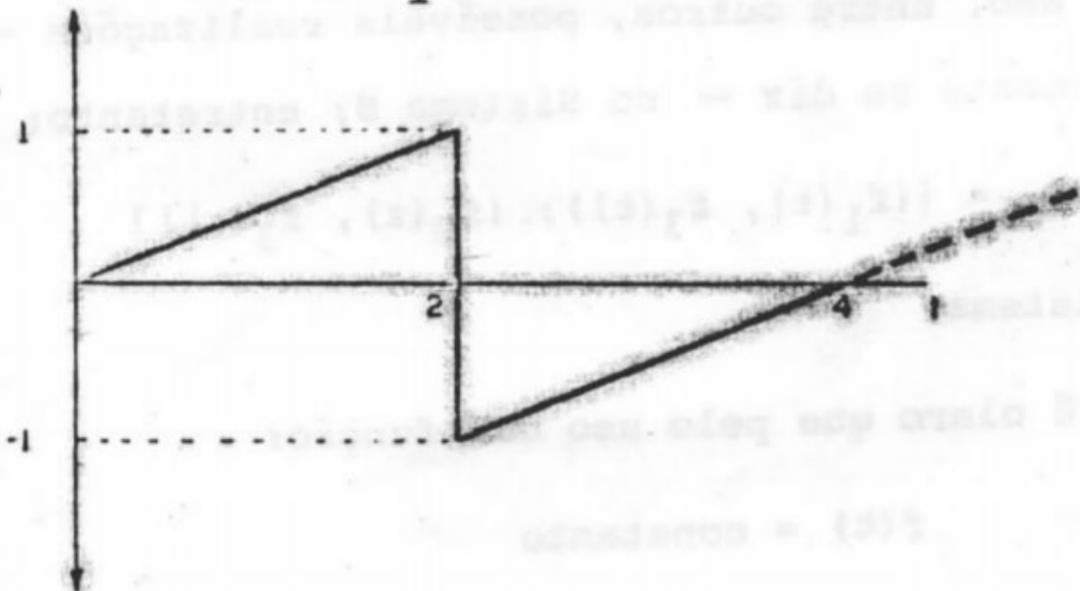
Então o sistema (ou a Relação):

$$S = \{(f_1(t); f_4(t)), (f_2(t); f_3(t))\}$$

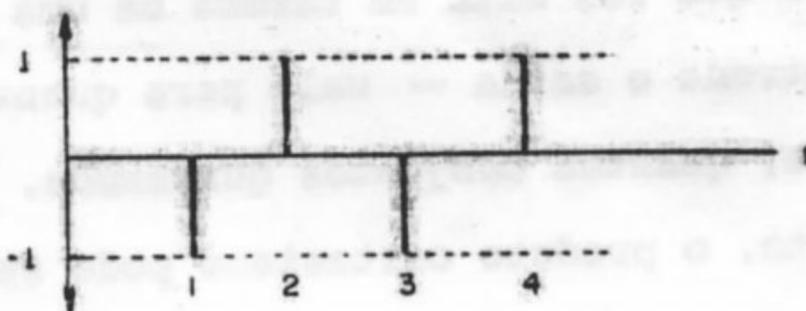
poderia ser posto como:

$$S = \{(x_1; J(x)), (x_2; I(x_2))\}$$

ora, x_1 vem de uma função, $f_1(t)$, dente de serra como abaixo:



e x_2 de uma função de impulsos, $f_2(t)$, como abaixo:



Logo, o sistema S , ao invés de caixa preta, será uma caixa vermelha, azul, verde ou amarela, sucessiva e periodicamente, a medida que o tempo passa e os dentes de serra são percorridos; e, ligará e desligará algo, todas as vezes que o tempo for número inteiro, permanecendo em stand-by, nos intervalos.

Fica à imaginação do leitor o número imenso de coisas diferentes que este modelo pode representar; coisas que vão desde a química, a cor tendo a ver com uma dosagem e o ligado/desligado/stand-by com acidez/alcalinidade/neutralidade, até a navegação, a cor seria a da luz de um farol e ligado/desligado/stand-by seria uma emissão qualquer para orientar o navegante.

É importante notar que embora S varie com o tempo, ele pre

serva a sua identidade, uma vez que as funções que figuram em seus são as mesmas; ou seja

$$\{(0; \text{vermelho}); (1, \text{ligado})\}$$
$$\{(0,4; \text{vermelho}); (0; \text{stand-by})\}$$

São, entre outros, possíveis realizações — ou Estados como tecnicamente se diz — do Sistema S; entretanto:

$$S_1 = \{(f_1(t), f_3(t)); (f_2(t), f_3(t))\}$$

é outro sistema.

É claro que pelo uso da função:

$$f(t) = \text{constante}$$

podemos levar em conta coisas que não variam com o tempo.

Tudo o que foi dito em termos de uma caixa preta e dois conjuntos — entrada e saída — vale para quantos subsistemas e, conseqüentemente, quantos conjuntos quisermos.

De fato, o produto cartesiano pode ser definido para um número arbitrário de conjuntos e, da mesma forma, é aplicável o conceito de relação.

Então, definindo quantos subsistemas (ou as caixas pretas que, intuitivamente, os representam) quisermos e seus conjuntos de entrada e saída, poderemos capturar, através do conceito de relação, a interação entre as partes (até a sua distribuição física, se necessário) e conseqüentemente a Estrutura do Sistema; o uso de funções do tempo, anteriormente exposto, permite introduzir a Dinâmica do Sistema e, ainda, a definição do conjunto de "inputs" para o sistema como um todo, define a Ecologia.

Poderíamos acrescentar que relações probabilísticas podem (e quase sempre o são) ser introduzidas para configurar os sistemas

moderada e acveramente estocásticos e relações nebulosas ou puramente verbais figuram na definição dos sistemas indeterminados.

Fixada, como em linhas gerais acima vimos, a definição de Sistema, é possível construir sobre ela uma teoria matemática, que permite a abordagem ordenada dos Sistemas que são objeto de estudo nas aplicações práticas.

Embora outros detalhes desta teoria não sejam pertinentes em um trabalho como este, a definição de Sistema como relação, nos parece preciosa para ajudar no entendimento deste assunto e, consequentemente, contribuir para o propósito destas linhas: Colocar o conceito de Sistema, sem o qual é impossível entender as possibilidades e as limitações da abordagem sistêmica e, menos ainda, utilizá-la adequadamente, como atividade de modelagem e de quantificação, fundamentalmente a serviço de Estudos de Estado-Maior.



REFERÊNCIAS

- 1 - KOESTLER, A - JANO
- 2 - MARITAIN, J - LES DEGRÉS DU SAVOIR
- 3 - BRAGA, M.J.F. - ANÁLISE DE SISTEMAS E DECISÕES MILITARES
- 4 - MESAROVIC & TAKAHARA - GENERAL SYSTEMS THEORY: MATHEMATICAL FOUNDATIONS
- 5 - SUTHERLAND J. - SYSTEMS.

Braga, Mario Jorge Ferreira

Sobre o conceito de sistema

6-C-36

(2652/91)

