



# Sistemas Complexos

## ■ Positivismo/Reduccionismo

- manteve-se como paradigma dominante na ciência durante bom tempo

## ■ Começo dos Problemas

- Algumas áreas do conhecimento apresentavam um desenvolvimento lento e sem progressos
  - | Biologia, Física Quântica, Estudo da Inteligência
- Dificuldade estaria na metodologia positivista/reducionista de desenvolver ciência

## ■ Abordagens Alternativas

- Biologia Teórica - Robert Rosen
  - | Fundamentals of Measurement (1978)
  - | Anticipatory Systems (1985)
  - | Life Itself (1991)

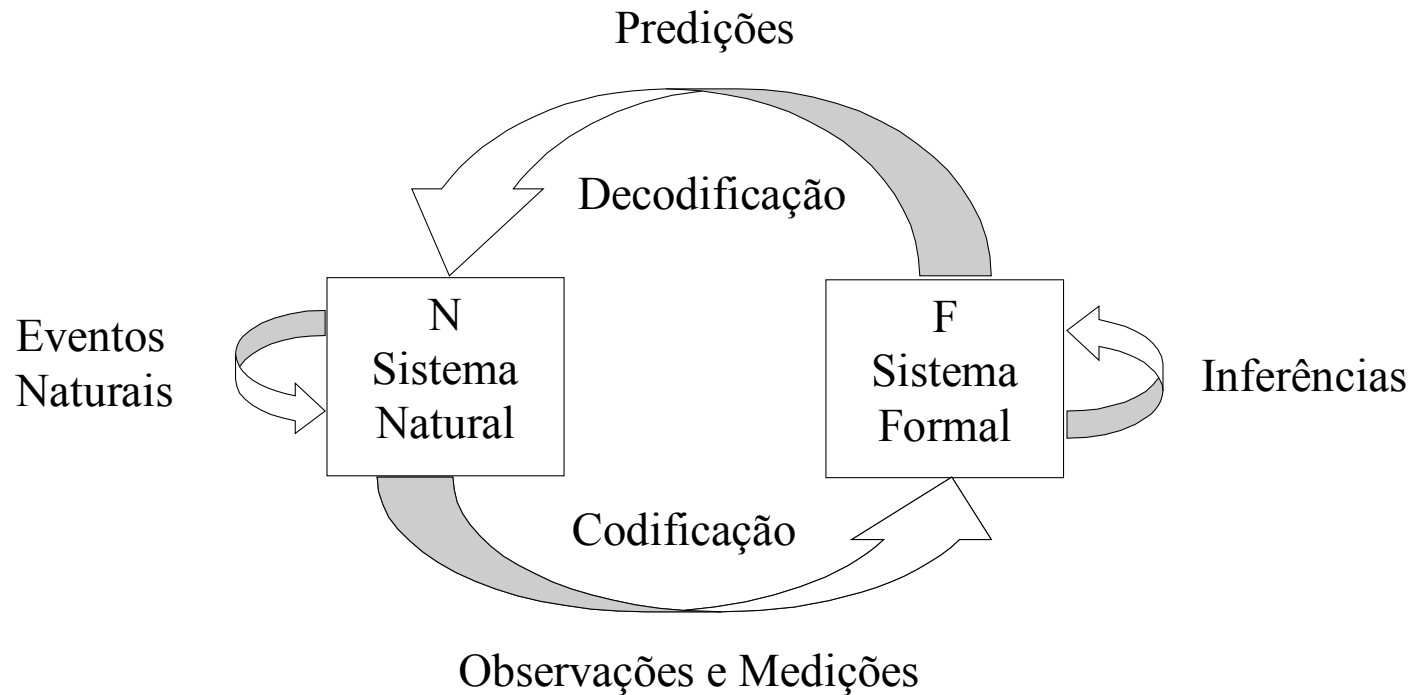


# Sistemas Complexos

- Organismo
  - O que é um organismo ?
  - Um organismo é um tipo de máquina ?
  - O que é uma máquina ?
- Relações de Implicação (Causa e Efeito)
  - origem do comportamento de máquinas
- Estudo de Máquinas
  - Autômatos - Comportamento Sofisticado
  - Seria um organismo um tipo sofisticado de autômato ?
- Como proceder ao estudo de máquinas/organismos
  - Modelos e Teorias de Modelagem
  - Máquina física e máquina formal



# Relação de Modelagem



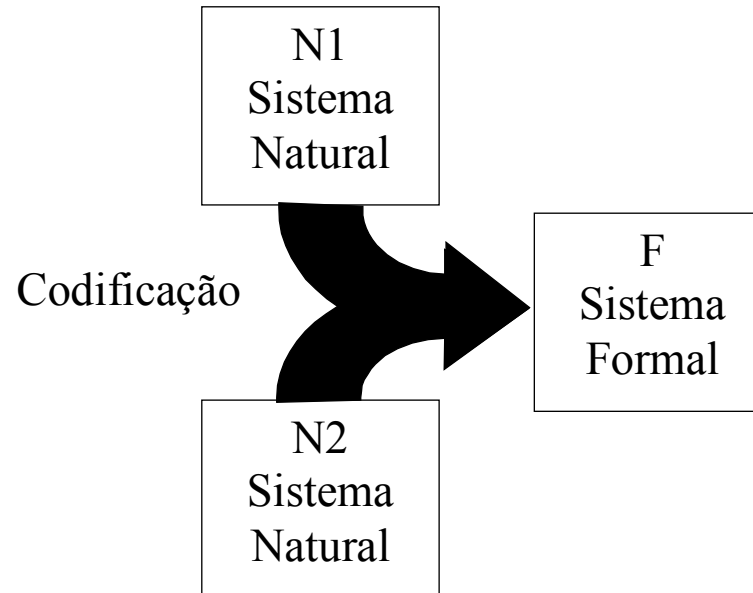


# Relação de Modelagem

- Função de Codificação (Observações e Medições)
  - função que mapeia  $N$  em  $F$
- Função de Decodificação (Predições)
  - função que mapeia  $F$  em  $N$
- Relação de Modelagem entre  $N$  e  $F$ 
  - $F$  modela  $N$  no que diz respeito às partes de  $N$  e  $F$  que são utilizadas como domínio/contra-domínio das funções de codificação e decodificação
- Se as funções de codificação e decodificação comutam
  - $F$  é dito um “modelo exato” de  $N$
- Caso contrário
  - $F$  é somente uma “simulação” de  $N$ , com respeito às funções de codificação e decodificação utilizadas



# Analogia e Similaridade





# Modelos Analíticos e Sintéticos

## ■ Modelos Analíticos

- interseção de funcionalidades
- modelagem funcional ou relacional

## ■ Modelos Sintéticos

- união de partes
- modelagem tradicional (positivismo/reducionismo)

## ■ Constatações

- Todo modelo sintético é também analítico
- Existem modelos analíticos que não são sintéticos
- Existem sistemas naturais que não podem ser modelados por modelos sintéticos
  - Sistemas Complexos



# Máquinas e Organismos

- Máquinas
  - sistemas naturais “simples” (admitem modelos sintéticos)
- Organismos
  - sistemas naturais “complexos” (não admitem modelos sintéticos)
  - demandam um tipo de modelagem analítica
- Modelagem Relacional
  - O que se preserva é a funcionalidade e o relacionamento entre os componentes do modelo, e não as componentes em si
- Organismos não são máquinas
  - portanto não podem ser estudados como máquinas
  - Biologia Relacional



# Sistemas Antecipativos

## ■ Sistema Antecipativo

- Sistema cujo estado atual é determinado por um estado futuro
- “A causa está no futuro” (cf. Robert Rosen)
- Muito comum em seres vivos
  - | ações do sistema visam um objetivo, um propósito implícito

## ■ Antecipação

- “Processo recursivo descrito por meio do funcionamento de um mecanismo em que estados do passado, presente e futuro permitem que o mesmo evolua de um estado inicial a um estado final que está implicitamente embutido no mecanismo” (cf. Mihai Nadin)

## ■ Como isso é possível ?

- Seria a causalidade final de Aristóteles ?





# Teoria Autopoiética

## ■ Circularidade Essencial

- Natureza de sistemas biológicos
  - | estrutural, temporal, manutenção de sua integridade física
- Experiência vivida por sistemas biológicos
  - | ciclo estímulo-resposta
- Exploração da cognição

## ■ Como estudar esta circularidade

- sem cair em pensamentos circulares ?
  - | Deduzindo X a partir da presunção de X por si mesmo
- Empregando um framework rigoroso para na análise destas circularidades
  - | Teoria Autopoiética (Maturana e Varela)
  - | Analisa as circularidades operacionais e configuracionais de sistemas biológicos



# Teoria Autopoiética

## ■ Campos de Aplicação

- imunologia, interfaces homem-computador, terapia familiar, sociologia, economia, filosofia pós-moderna, administração pública

## ■ Histórico

- 60-70: questionamento das noções correntes sobre cognição
- estudo de organismos - nova definição de sistema “vivo”
- autopoiese: a auto-produção dos componentes realizando a organização de um sistema
- organização: configuração processual definitiva
- sistema vivo: qualquer sistema exibindo autopoiese em um espaço físico



# Teoria Autopoiética

## ■ Principais Trabalhos

- Principles of Biological Autonomy [Maturana & Varela, 1979]
- Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living [Maturana & Varela, 1980]
- The Tree of Knowledge [Maturana & Varela, 1991]

## ■ Cognição

- Fenômeno Biológico
- consequência da circularidade e complexidade na forma de qualquer sistema cujo comportamento inclui a manutenção desta mesma forma
- mudança no foco: do “processo” de cognição para o “organismo” onde ocorre a cognição (approach “orientado a objeto”)



# Teoria Autopoiética

- Organismos
  - unidades capazes de auto-geração no espaço físico
- Características Operacionais
  - auto-regulação
  - auto-referência
- Teoria Autopoiética
  - Aspectos formais
  - Aspectos fenomenológicos
- Observador
  - tudo que é dito, é dito por um observador
  - sistema “vivo” capaz de distinguir e especificar aquilo que considera como sendo parte de si próprio ou uma entidade diferente de si próprio



# Teoria Autopoiética

## ■ Descrições

- estados internos do sistema que são derivados da experiência (interação com o ambiente)
- são basicamente dependentes de cada observador
- são dependentes da história do observador
- são dependentes de interações passadas com outros observadores
- observador atua em função das “descrições” que possui

## ■ Distinção

- separação de uma unidade do fundo no qual esta se acha inserida (inclusive o próprio observador)
- habilita o observador a operar como se estivesse externo ao ambiente em questão



# Teoria Autopoiética

- Atributos Fundamentais de um Sistema
  - Organização e Estrutura
- Organização
  - conjunto de relacionamentos entre componentes de um sistema
  - determina a forma do sistema em um dado momento
  - determina a identidade do sistema, que é mantida independente de mudanças dinâmicas na composição do sistema no tempo
- Organon (grego)
  - instrumento, ou ferramenta
  - denota a participação instrumental de cada componente na constituição de uma unidade



# Teoria Autopoiética

## ■ Estrutura

- instância particular e específica de uma organização
- realização sistêmica unitária de uma organização
- componentes atuais e as relações entre estes componentes para a constituição de uma unidade
- determina somente o espaço onde uma unidade existe e pode ser perturbada

## ■ Structo (latim)

- aquilo que se constrói

## ■ Uma organização

- pode ser “realizada” por diversas e diferentes estruturas
- cada uma delas seguirá o mesmo conjunto de relações que define a organização



# Teoria Autopoiética

## ■ Autopoiese

- 1972 - grego - auto + poiesis (criação, produção)

## ■ Sistema Autopoiético

- organizado (definido como uma unidade) como uma rede de processos de produção (transformação e destruição) de componentes que produzem os componentes que:
  - por meio de sua interação e transformação regeneram continuamente e realizam a própria rede de processos (relações) que os produziram
  - constituem-se de uma unidade concreta no espaço em que existem, por meio da especificação do domínio topológico de sua realização enquanto rede
- qualquer unidade atingindo estas especificações é um sistema autopoiético
- qualquer sistema autopoiético é um sistema “vivo”





# Teoria Autopoiética

- **Configuração particular de uma unidade**
  - sua estrutura - não é suficiente para defini-la enquanto unidade
  - a característica chave de um sistema “vivo” é a manutenção de sua organização - preservação da rede de relações que o define como uma unidade sistêmica
- **Outra definição (sistema autopoiético)**
  - sistema que opera como um sistema homeostático, tendo sua própria organização como variável crítica fundamental que deve permanecer constante
- **Autonomia e Autopoiese**
  - sistemas autopoiéticos são tipos de sistemas autônomos
  - sistemas autopoiéticos exibem a propriedade de autonomia



# Teoria Autopoiética

## ■ Sistemas Autônomos

- unidades composicionais definidas por uma rede de interação entre componentes que:
  - | por meio de sua interação recursiva, regeneram a rede de interações que os produziram
  - | realizam a rede como uma unidade no espaço onde seus componentes existem, constituindo e especificando as fronteiras do sistema em relação ao ambiente externo

## ■ Diferença entre Autonomia e Autopoiese

- sistemas autopoiéticos necessitam produzir seus próprios componentes, além de conservar sua organização

## ■ Fecho organizacional

- sistemas autônomos são “fechados em sua organização”



# Teoria Autopoiética

## ■ Domínio

- região ou esfera circunscrevendo
  - | a relação entre sistemas observados e as unidades (meio) com as quais estes interagem (domínio fenomenológico)
  - | próximo e todos os demais possíveis estados de relações ou atividades entre as dadas unidades (domínio de interações)

## ■ Diferentes Domínios

- de interações - todas as interações possíveis em um sistema
- de relações - todas as relações de uma entidade/observador
- fenomenológico - ações e interações
- cognitivo - todas as descrições possíveis de serem obtidas
- consensual - sequências de estados intertravados entre sistemas
- linguístico - interações comunicativas



# Teoria Autopoiética

## ■ Espaço

- contexto no qual as unidades são delineadas
- fundo estático referencial nos quais os sistemas são definidos
- espaço físico, com características ontológicas

## ■ Determinação Estrutural

- atual curso de mudanças de uma entidade sistêmica é controlado pela estrutura que compõe o sistema (ao contrário da influência direta de seu ambiente)
- comportamento do sistema é restringido por sua constituição
- mudanças potenciais no sistema são circunscritas pelo:
  - range de transformações estruturais potenciais do sistema
  - conjunto de perturbações potenciais afetando o sistema
- perturbações disparam mudanças estruturais, que são funções da própria organização e estrutura do sistema



# Teoria Autopoiética

- **Interação entre Sistemas**
  - história de influências mútuas na estrutura de dois (ou mais) sistemas, fruto da determinação estrutural, de modo que haja uma congruência estrutural entre os sistemas que estão interagindo
- **Acoplamento Estrutural**
  - resultado da interação entre sistemas
  - pode ser do sistema com seu ambiente ou com outro sistema
- **Acoplamento de um Sistema com o Meio**
  - resultado: adaptação do organismo ao meio
- **Acoplamento de um Sistema com outro Sistema**
  - resultado: domínio consensual