

ANÁLISE DE SISTEMAS E MODELAGEM AMBIENTAL

ESTU024-17

Prof.^a Andrea de Oliveira Cardoso

Plano da disciplina

Objetivos:

Transmitir ao aluno conceitos de modelagem de sistemas ambientais, tipos de modelos, aplicações e noções de formulação de modelos. Apresentar ferramentas úteis para o desenvolvimento e simulação de modelos, através da realização de exercícios práticos. Enfatizar a importância da modelagem ambiental para a pesquisa científica, o diagnóstico ambiental, para estudo, simulação e previsão de fenômenos, busca de soluções e desenvolvimento de tecnologias.

Ementa:

Introdução à Teoria Geral de Sistemas. Análise de sistemas ambientais. Modelagem de sistemas ambientais. Conceituação, desenvolvimento e aplicação. Programação Linear. Interfaces de utilização e aplicações práticas da modelação matemática em sistemas ambientais. Modelos de simulação aplicados a casos de cunho ambiental. Estudos de técnicas de simulação em situações e problemas ambientais.

Plano da disciplina

Bibliografia Básica:

CHRISTOFOLETTI, A. Modelagem de Sistemas Ambientais. São Paulo. Edgard Blucher. 1999, 256p.

TUCCI, Carlos E. M.; Modelos Hidrológicos. Editora UFRGS, 2005, 680 p.

VON SPERLING, M.; Estudos e modelagem da qualidade da água de rios. 1ª Edição. Ed. UFMG, 2007, 588p.

Bibliografia complementar:

BARNSLEY, Michael J.; Environmental modeling: a practical introduction. New York: CRC Press, c2007. 406 p. (Environmental Science and technology). Acompanha CD-ROM. ISBN 0415300541.

FORD, A.; Modeling the environment: an introduction to system dynamics modeling of environment systems. 1 ed. Island Press, 1999. 415p.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J.; Introdução à Pesquisa Operacional. São Paulo: McGrawHill, 2006. ISBN: 8586804681

JORGENSEN, S. E.; Fundamentals of Ecological Modelling, Developments in Environmental

Modelling, 9. New York, USA: Elsevier Science Publishing Company Inc., 1986.

ZILL, D. G.; Equações diferenciais com aplicações em modelagem. São Paulo. Pioneira Thompson Learning. 2003.

Plano da disciplina – Sistema de avaliação

A avaliação se dará através de uma prova, um trabalho de modelagem (texto escrito e apresentação oral) e atividades contínuas, contabilizados conforme:

P = nota da prova (todo o conteúdo, teórico e prático)

T = nota do trabalho escrito com apresentação (30% da nota do trabalho)

A = nota média de todas as atividades solicitadas

$$\text{Nota final (NF)} = P*0,5 + T*0,3 + A*0,2$$

Conceitos: A 8,5 a 10,0

B 7,1 a 8,4

C 6,1 a 7,0

D 5,0 a 6,0

F < 5,0



Com a Prova de Recuperação (PR) e a NF é obtida:

Conceitos: C > 6,0

D 5,0 a 6,0

F < 5,0

$$NFR = (NF + PR)/2$$

Sistema de Avaliação

Conforme o artigo 1º da **Resolução Consepe nº 182**, que regulamenta os mecanismos de avaliação de recuperação na UFABC, *“Além dos critérios estabelecidos pelo docente, fica garantido ao discente que for aprovado com conceito D ou reprovado com conceito F em uma disciplina o direito a fazer uso de um Mecanismo de Recuperação”*;

Prova de recuperação (PR):

Será aplicada somente aos alunos que obtiverem no final da disciplina os conceitos D ou F (reprovado), podendo o aluno atingir no máximo o conceito C após a prova de recuperação.

Presença:

A frequência mínima obrigatória para aprovação é de 75% das aulas ministradas e/ou atividades realizadas em cada disciplina. Portanto, fique atento às faltas.

Plano da disciplina - Cronograma

Dia da Semana	Data	Tema da aula
sexta-feira	18/09/2026	Apresentação da disciplina e introdução à modelagem.
sexta-feira	25/09/2026	Semana das Engenharias - participação
sexta-feira	02/10/2026	Métodos de validação e verificação de modelos e prática de avaliação.
sexta-feira	09/10/2026	Modelagem de perda de solo por erosão e testes de sensibilidade à variação de fatores.
sexta-feira	16/10/2026	Modelagem de qualidade da água. Prática de Aplicação do modelo Streeter Phelps.
sexta-feira	23/10/2026	Modelagem empírica, uso e aplicação. Prática com o modelo autoregressivo.
sexta-feira	30/10/2026	Prova - Avaliação do conteúdo (teórico e prático)
sexta-feira	06/11/2026	Introdução ao uso do software R como ferramenta de modelagem.
sexta-feira	13/11/2026	Modelo empírico de regressão linear múltipla, prática de desenvolvimento.
sexta-feira	20/11/2026	Feriado - Dia Nacional de Zumbi e da Consciência Negra
sexta-feira	27/11/2026	Outros tipos de modelos ambientais. Orientação sobre o trabalho. Início do estudo de modelagem.
sexta-feira	04/12/2026	Trabalho de modelagem - apresentação e entrega do texto
sexta-feira	11/12/2026	Prova de recuperação

**Acesso ao material, comunicação, realização e
submissão de atividades
pelo Moodle / UFABC da disciplina**

**DA1ESTU024-17SA - Análise de Sistemas e
Modelagem Ambiental 2026.3**

Introdução



O contexto de modelagem ambiental vem da preocupação quanto às mudanças causadas pelo homem no meio natural, sendo uma modelagem computacional aplicada a situações ligadas ao meio ambiente, a partir de diferentes métodos.

Conhecimento científico do problema ambiental

Modelagem e simulação dos processos

Subsídios científicos para a tomada de decisão

Assegurar a **proteção do Ambiente**

O que é modelo?

Para que são usados os modelos?

Modelo

Modelo é uma representação simplificada de um fenômeno, processo ou sistema, baseado no conhecimento científico atual.

Modelos ambientais são usados para:

- ❖ Compreender os processos que formam o meio ambiente (estudo, conhecimento);
- ❖ Prever o comportamento ou estado futuro (previsão);
- ❖ Simular cenários (simulação, prospecção);
- ❖ Apoiar a tomada de decisão (fornecer indicadores);
- ❖ Sustentar a definição de políticas públicas (bases científicas).

Os processos não são características observáveis, mas os seus efeitos e resultados são. Modelos podem ser usados para avaliar se os efeitos e os resultados são reprodutíveis, dado conhecimento científico atual (Richards, 1990).

Desenvolvimento de Modelo - Etapas

- i. Identificação do processo, fenômeno ou problema a ser modelado;
- ii. Formação de conhecimento científico (investigação, análises de dados);
- iii. Estabelecimento de metodologias para representar a estrutura do processo a ser modelado;
- iv. Formulação do modelo e montagem da base de dados;
- v. Simulação do modelo para calibração (ajustes), validação e verificação;
- vi. Operacionalização.

Processo cíclico de modelagem

tests

calibration
validation
verification

conception

scientific questions
(dependent variables)

explanatory factors

(expert knowledge,
field campaigns,
literature)

scenarios

model database
model rules

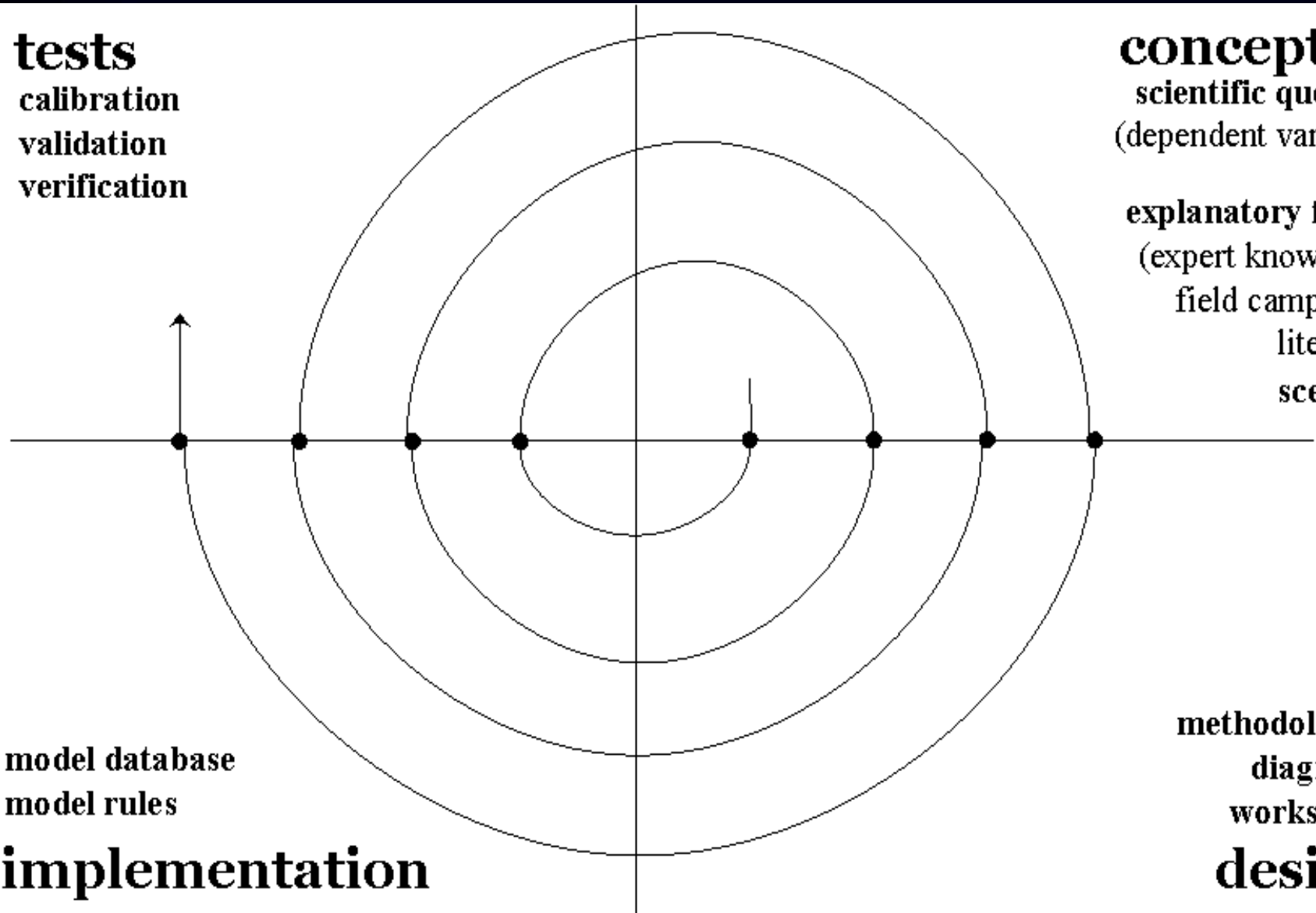
implementation

methodologies

diagrams

workshops

design



Processo de modelagem

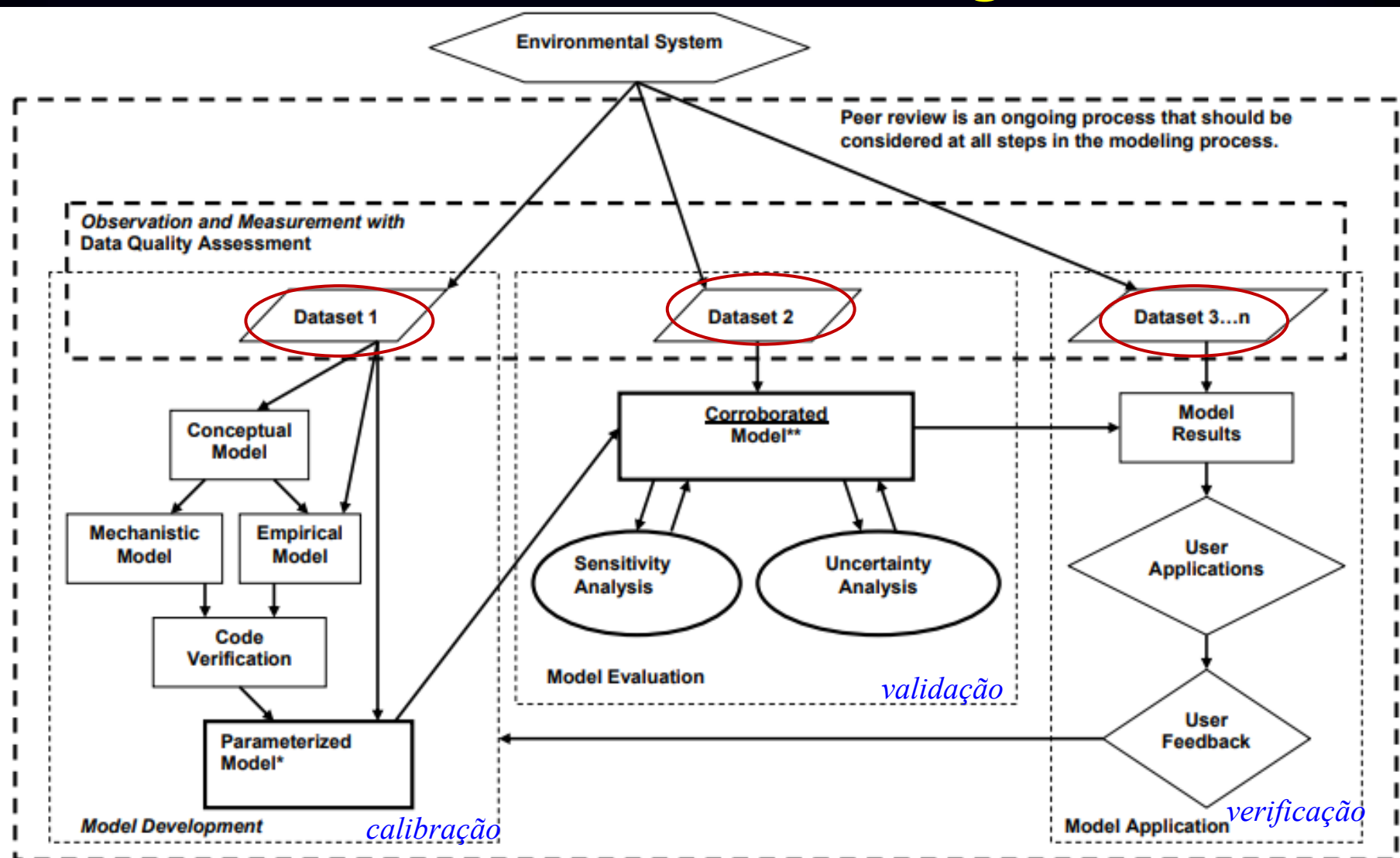


Figure D.1.1. The modeling process.

* In some disciplines parameterization may include, or be referred to as, calibration.

** Qualitative and/or quantitative corroboration should be performed when necessary.

A representação de fenômenos,
processos ou problemas através de

SISTEMAS

contribui para o desenvolvimento do

modelo

Sistema

Sistema é um conjunto organizado de elementos e de interações entre os elementos, que se pode encontrar ou definir alguma relação de funcionalidade. Quando se conceituam os fenômenos como sistemas, uma das principais atribuições e dificuldades está em identificar os elementos, seus atributos (variáveis) e suas relações.

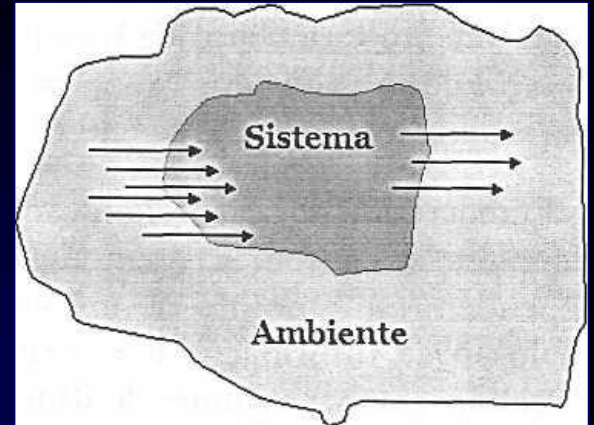
Componentes de um sistema de controle



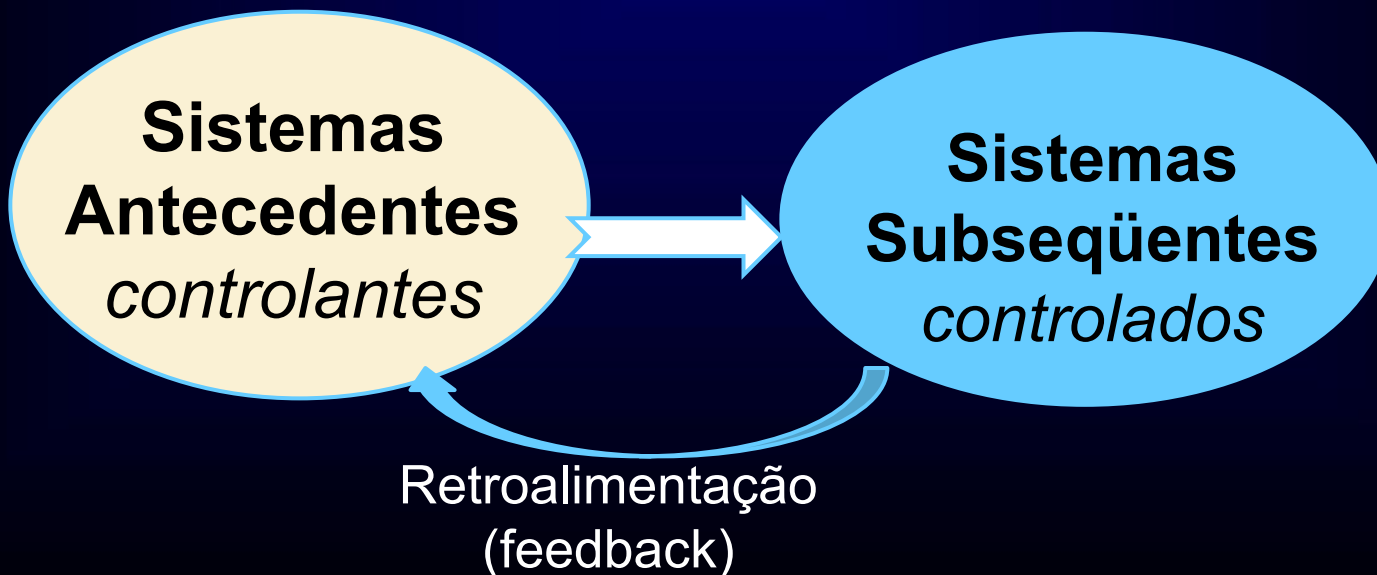
Sistema é um conjunto de elementos em interação recíproca.

Sistemas ambientais

Na análise ambiental, os sistemas envolvidos funcionam dentro de um ambiente, fazendo parte de um conjunto maior (universo).



UNIVERSO – compreende o conjunto de todos os fenômenos e eventos que são condicionantes no sistema focalizado.

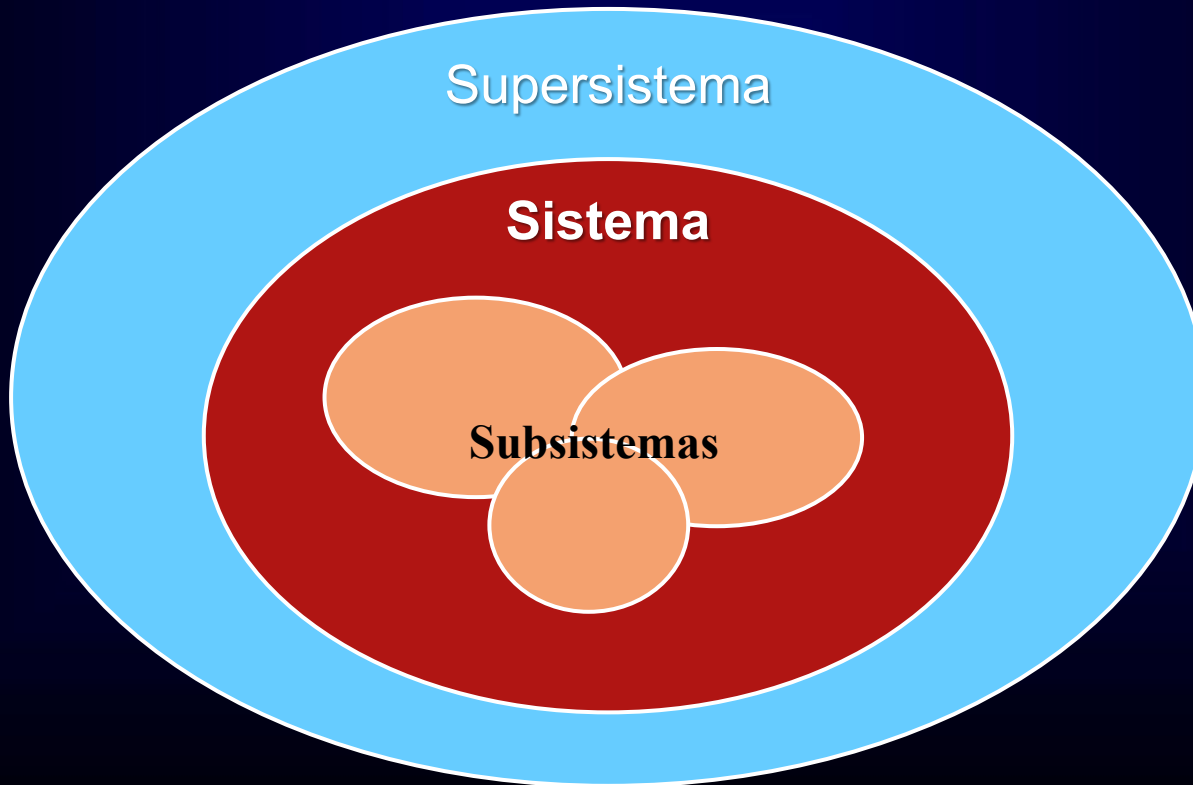


Hierarquia dos sistemas

Sistema: o objeto (foco) do estudo;

Subsistemas: são as partes que compõem o sistema;

Supersistema: sistema de hierarquia imediatamente superior ao sistema estudado (o que envolve o sistema).



Um modelo conceitual simplista da Sistema Terra

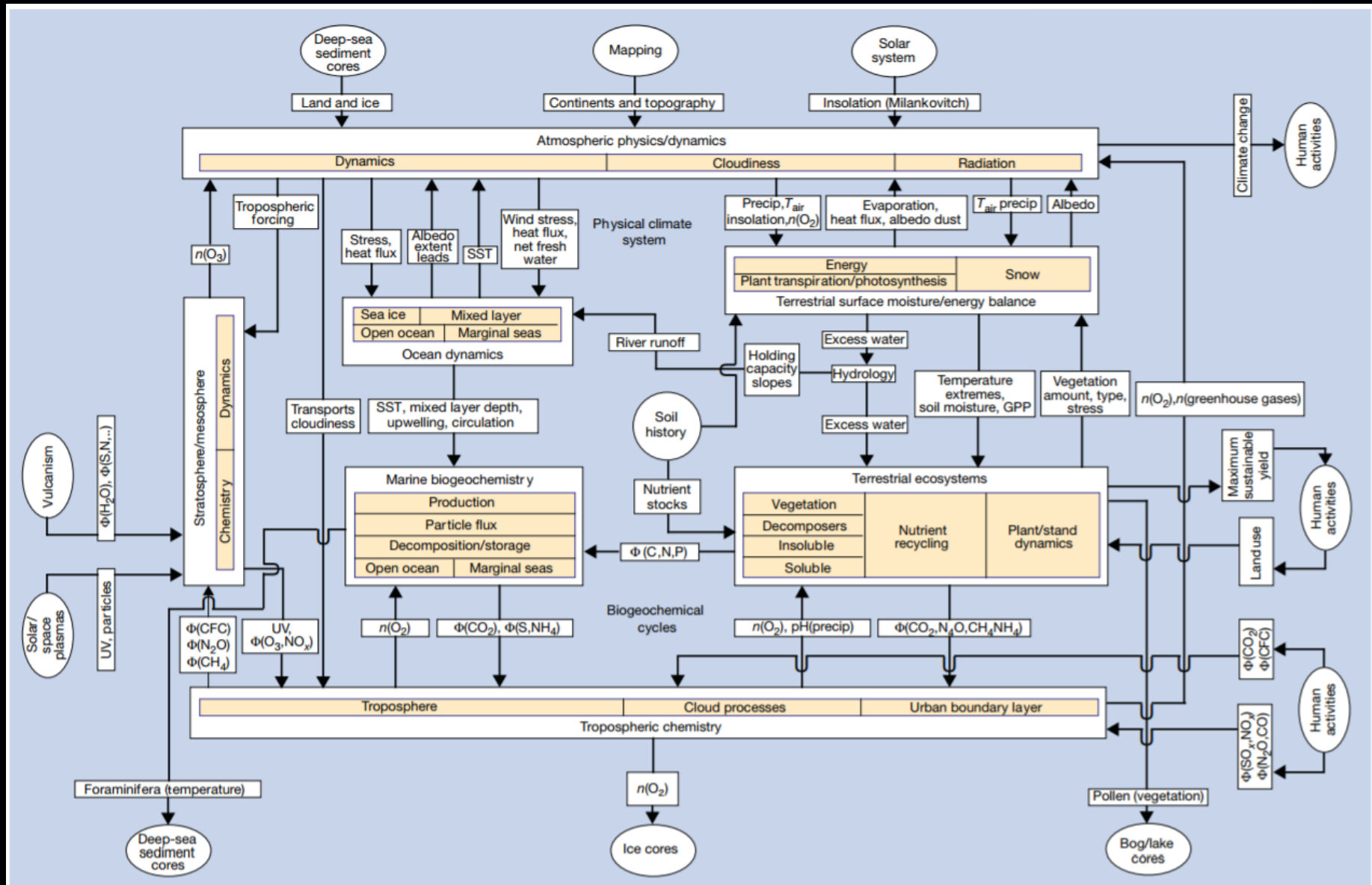


Diagrama de Bretherton adaptado - Schellnhuber (1999)

Características dos sistemas ambientais

- **Escala temporal e espacial:** integração através do tempo e do espaço, a fim de entender como estes parâmetros influenciam a natureza e o funcionamento do sistema estudado;
- **Multicomponentes:** envolve a interação entre múltiplos sistemas (bióticos e abióticos); + *componentes* = + *complexidade*
- **Sem controle laboratorial:** poucos sistemas ambientais podem ser criados e estudados sob condições controladas;
- **Multiescala:** sistemas ambientais usam escalas que vão desde um átomo a uma célula, população de objetos (diferentes dimensões);
- **Multivariados, não-lineares e complexos:** sistemas ambientais têm múltiplas variáveis, resultando em muitas relações entre elas, que podem ser não lineares e complexas.

Tipos de Sistemas

Isolados

São aqueles que dadas as condições iniciais, não sofrem mais nenhuma perda nem recebem energia ou matéria do ambiente que os circundam.

Ex: Ciclo de erosão, fenômenos de tratamento evolutivo histórico.

Não - Isolados

- Mantêm relações com os demais sistemas do universo no qual funcionam, sendo subdivididos:

- 1) **Fechados** – quando há troca de energia (recebimento e perda), mas não de matéria.

- *Ex: planeta Terra, ciclo hidrológico;*

- 2) **Abertos** – nos quais ocorrem constantes trocas de energia e matéria, tanto recebendo como perdendo. *Ex: bacia hidrográfica, vertente, homem, cidade, indústria, animal e muitos outros.*

Classificação de Sistemas

A nomenclatura depende:

- **Área de estudo;**
- **Estrutura do(s) sistema(s);**
- **Tipo de função de relação entre os componentes do(s) sistema(s) envolvido(s).**

Várias tipologias são apresentada em Christofolletti (1999)

Classificação de Sistemas – Tipologias

- Simples
- Sistemas Complexos e organizados
- Sistemas Complexos desorganizados

Complexidade

Wearwer (1958);
Wilson (1981);
Tornes e Ferguson
(1981); Huggett
(1985))

- Morfológicos
- Em seqüência ou encadeantes
- De processos-respostas
- Controlados

Estrutural

(Chorley e Kennedy, 1971)

✓ **Sistemas Simples**: Compostos por um conjunto de componentes conectados, agindo mutualmente sob determinadas leis.

Ex: Movimento dos planetas em torno do Sol, que pode ser previsto em função das leis newtonianas;

✓ **Sistemas Complexos e organizados**: Seus componentes são vistos como interagindo fortemente uns com os outros para formar um sistema complexo e de natureza organizada.

Ex: Muitos sistemas biológicos e ecossistemas (ciclos de nutrientes e fluxo de energia); Sistemas na superfície terrestre apresentam alto grau de regularidade e conexões fortes; Vertente, rios, solos e praias.

✓ **Sistemas Complexos desorganizados**: formados por um conjunto de componentes, mas os objetos são considerados com interagindo de maneira fraca ou acidental.

Exemplos:

- *Gás em um jarro: o sistema poderia consistir milhões de partículas, colidindo umas com as outras;*
- *Incontáveis partículas individuais de um regolito (camada de sedimentos resultantes da fragmentação de rochas subjacentes).*
- *Interação entre partículas são acidentais e muito numerosas para serem estudadas individualmente, de modo que medidas de agregação devem ser empregadas.*

✓ **Morfológicos**: Compostos pela associação das propriedades físicas dos sistemas e de seus elementos componentes, ligados com os aspectos geométricos e de composição (p. ex., comprimento, altura, largura, declividade, granulometria, densidade e outras). A coesão e a direção da conexidade entre tais variáveis são reveladas pela análise de correlação.

Exemplos da geomorfologia:

- *redes de drenagem;*
- *vertentes;*
- *praias;*
- *canais fluviais;*
- *dunas;*
- *restingas;*

Densidade de drenagem é uma resposta à hidrologia da área.

✓ **Em seqüência ou encadeantes:** Compostos por cadeias de subsistemas (com grandezas e localização espacial) dinamicamente relacionados por uma cascata de matéria e energia. O posicionamento dos subsistemas é contíguo, sendo a saída de matéria e energia de um subsistema, entrada do subsistema adjacente. Focalização analítica, pela relação entre a entrada e saída.

Exemplos:

- *Vertente* - água recebida pode ser armazenada nos poros das rochas ou ser transferida para o lençol subterrâneos ou para os rios;
- *Lençol subterrâneo* - água pode ser armazenada ou transferida para as plantas e os rios;
- *Vegetação* - água pode ser armazenada ou transferida para a atmosfera (evapotranspiração);
- *Rio* - carga de água e detritos pode ser armazenada, depositada no leito ou planície de inundações ou transferida para lagos e mares.

✓ **De processo-resposta:** Combinação de sistemas em sequência (indicam processo) e morfológicos (representa a forma). A ênfase maior está focalizada para identificar as relações entre o processo e as formas que dele resultam, caracterizando a globalização do sistema.

Exemplos:

- *Aumento (diminuição) da capacidade de infiltração -> Diminuição (aumento) do escoamento superficial;*
- *Diminuição (aumento) na declividade das vertentes -> Diminuição (aumento) do escoamento superficial -> Aumento (diminuição) do tempo de concentração (T_c) e Diminuição (aumento) das perspectivas dos picos de enchentes;*

✓ **Controlados**: Apresentam a atuação do homem sobre os sistemas de processo-resposta. É mais complexo, pela intervenção humana. Realiza-se a análise morfológica de sistemas, a análise dos processos em sistemas e a análise de interação formas-processos em sistemas.

Por exemplo:

- ✓ *Modificando a capacidade de infiltração de determinada área, o homem pode produzir modificações consideráveis na densidade de drenagem ou na geometria da praia;*
- ✓ *Introduzindo novas espécies vegetais ou novas atividades de uso do solo na organização regional de determinada área, são causados impactos antrópicos no sistema ambiental.*

Tipologia de Modelos

Há diferentes tipologias de modelos (*Christofoletti, 1999*), por exemplo:

- ✓ Geografia (Brunet, Ferras e Théry, 1993): modelos matemáticos; de sistemas; preditivos e gráficos.
- ✓ Geomorfologia (Chorley, 1967 e Woldenberg, 1885): modelos que sintetizam o sistema; modelos análogos naturais (histórico, espacial); e análogos abstratos (experimentais, matemáticos).
- ✓ Hidrologia (Singh, 1995): classificação baseada em processos; baseada em escalas (temporal e espacial); baseada em técnicas de resolução; de síntese e simulação; classificação descritiva.

Geografia

Forma de apresentação do modelo:

- ✓ **Modelos Matemáticos:** forma de equações;
- ✓ **Modelos de Sistemas:** esquemas lógicos, com estrutura de sistemas, que identificam os elementos, fluxos e retroalimentações;
- ✓ **Modelos Preditivos:** como imagem de sistemas, prevêm sua evolução pela modificação dos parâmetros (entrada, relações);
- ✓ **Modelos gráficos:** representa a estrutura de um espaço determinado de um campo geográfico.

Geomorfologia

✓ **Modelos que sintetizam sistemas:** estabelecem o grau de conhecimento sobre as partes dos componentes, interações entre os elementos e funcionamento interativo entre as entradas e saídas.

Caixa branca

Tentativa de especificação completa do sistema

Caixa cinza

Conhecimento parcial sobre o sistema

Caixa preta

A representação não identifica os processos internos

Geomorfologia

✓ **Modelos análogos naturais:** representação analógica simples de um fenômeno ou sistema, por meio:

Histórico

Agrupam os fenômenos nas seqüências controladas pelo tempo (seqüência de eventos reais e inter-relacionados).

Espacial

Relação de um conjunto de fenômenos, pressupondo que as observações de um processo em determinado lugar auxiliará na compreensão dos processos em outros lugares.

Geomorfologia

✓ **Modelos análogos abstratos:** fundamentam-se na análise da estrutura do sistema envolvido na problemática focalizada.

Experimentais

Experimentos visando simular concretamente as características e a composição dos sistemas ambientais

Matemáticos

Representação do fenômeno por uma expressão que contém variáveis, parâmetros e constantes matemáticas

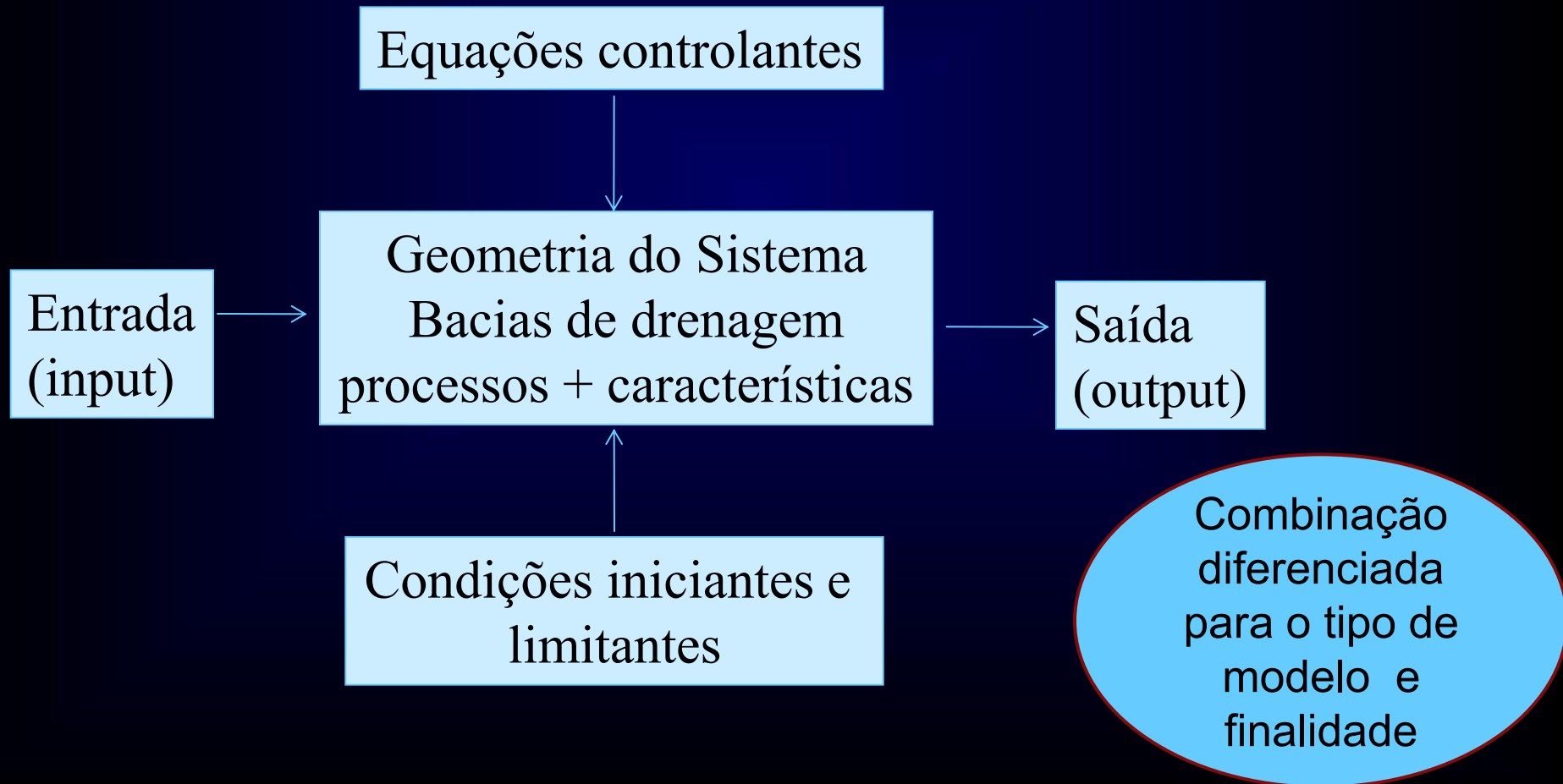
→ **Determinísticos:** relações previsíveis (base de matemática clássica)

→ **Probabilísticos ou estocásticos:** envolve componentes aleatórios

→ **Desenho experimental:** partes do sistema podem ser analisadas por um desenho experimental (regressões e relações)

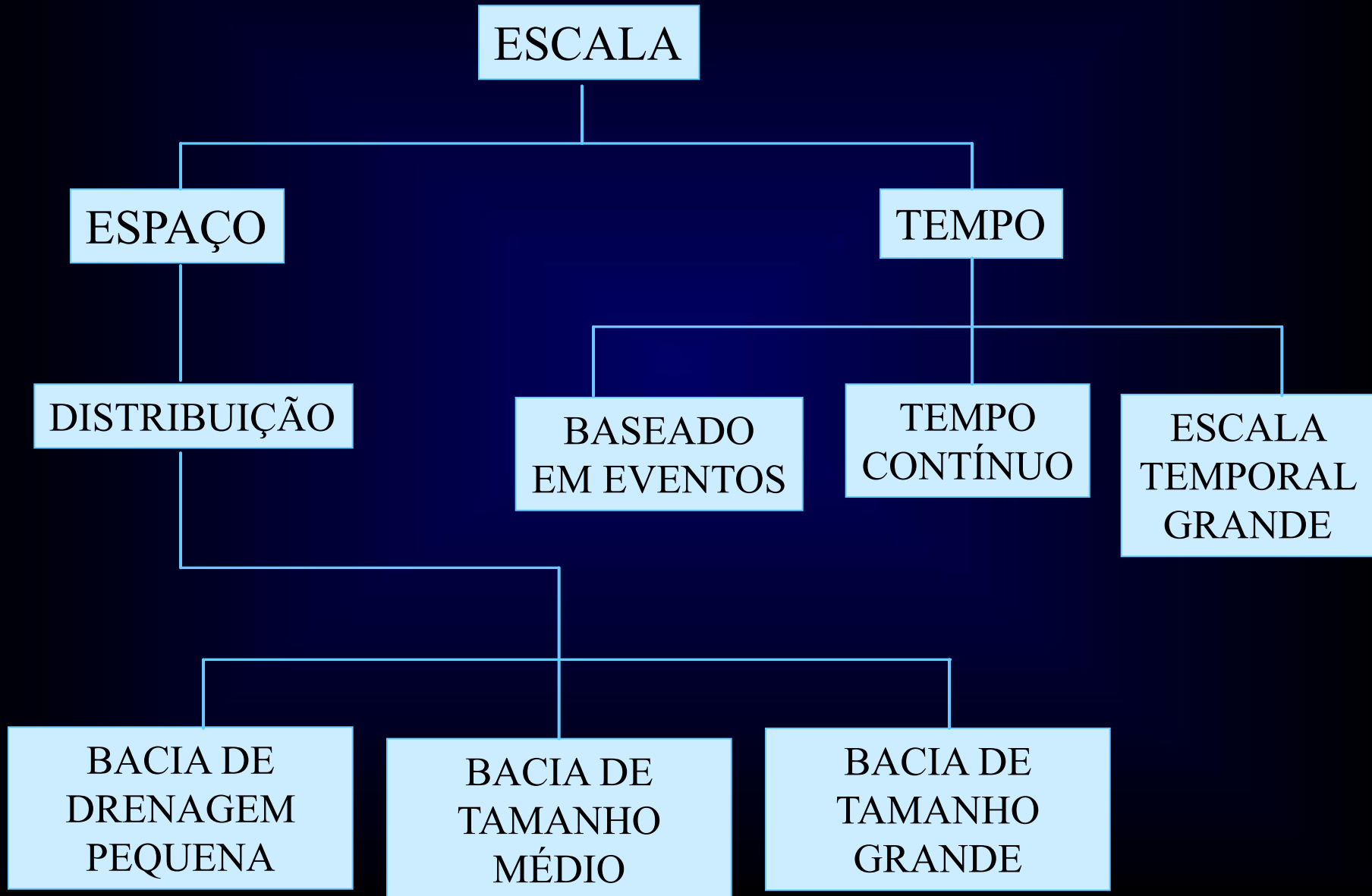
Hidrologia

✓ **Classificação baseada em processos:** sobre bacias hidrográficas, um modelo deve abranger cinco componentes.



Hidrologia

✓ Classificações baseadas em escalas temporais ou espaciais:



Classificação descritiva (Viessman Jr. e Lewis, 1996):

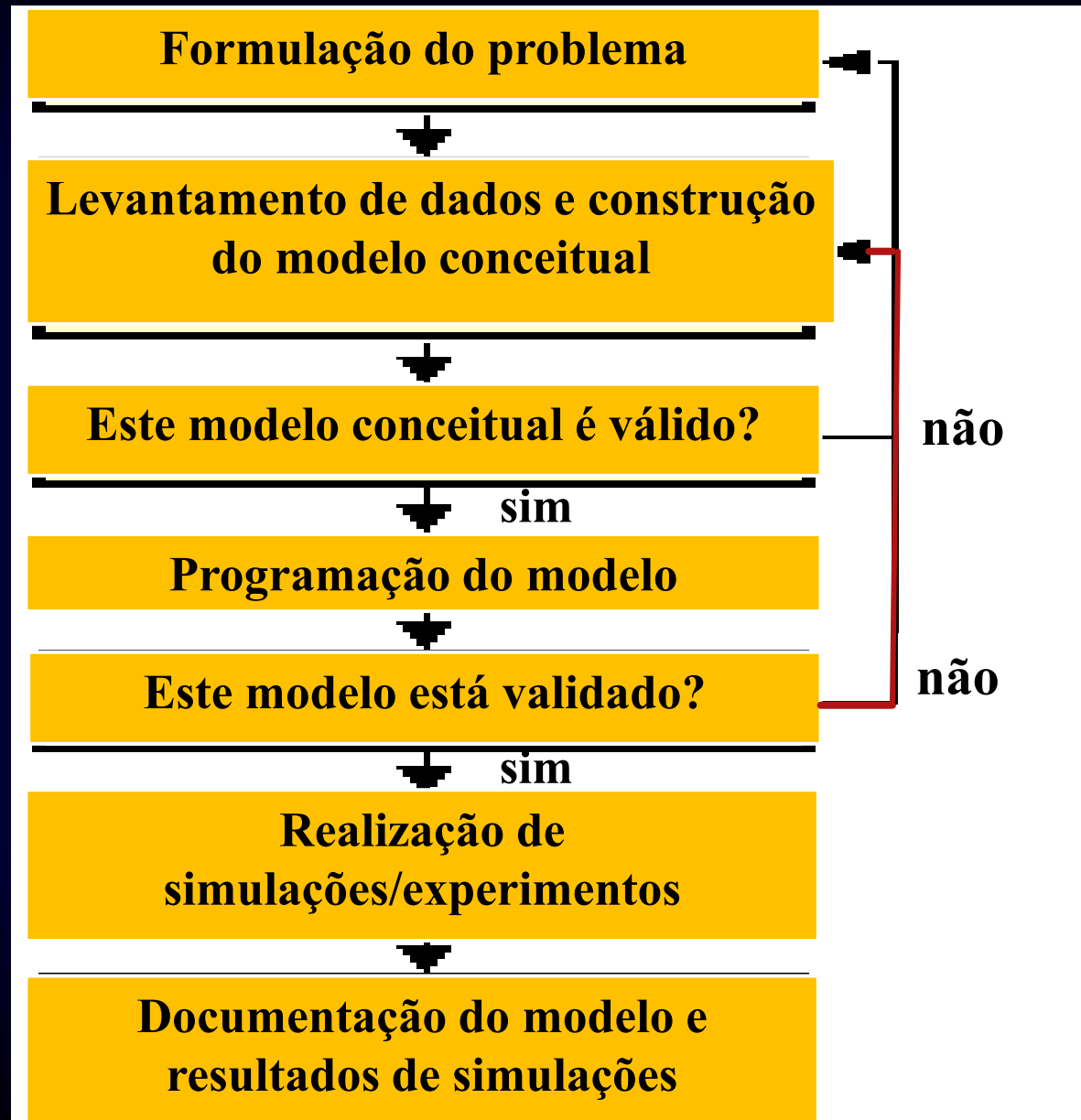
- ❖ *físicos* vs. *matemáticos*;
- ❖ *contínuos* vs. *discretos*;
- ❖ *dinâmicos* vs. *estáticos*;
- ❖ *descritivos* vs. *conceituais*;
- ❖ *genéricos* vs. *distribuídos*;
- ❖ *caixa preta* vs. *imitadores da estrutura*;
- ❖ *estocásticos* vs. *determinísticos*;
- ❖ *baseados em eventos* vs. *contínuos*;
- ❖ *balanço hídrico* vs. *preditivos*.

Construção de Modelos

Para construir um modelo, algumas questões devem ser respondidas:

- Qual é o problema?
- Quais os processos envolvidos?
- Qual é a fronteira física do problema e quais fluxos a atravessam?
- Qual a escala de tempo e espaço?
- Qual o nível de detalhe em tempo e espaço?

Passos para desenvolvimento de modelos



A1) Exercício em sala - atividade aula 1

Identifique um problema ambiental para ser modelado e aplique os conceitos apresentados, preenchendo as informações no quadro abaixo:

Problema

• _____

Sistema

- Tipo: _____
- Elementos: _____
- Variáveis: _____

Modelo

- Tipo: _____
- Finalidade: _____

Gerar um arquivo em pdf com as respostas e postar no Moodle até o prazo: **23h do dia 24/09/2026.**

Referências Bibliográficas:

Carneiro, T. G. S. (2009). A Evolução das Idéias na Modelagem e Simulação Ambiental. TerraLAB - Laboratório INPE/UFOP para simulação e modelagem dos sistemas terrestres. Curso do Modelo TerraME.

Christofolletti, A. Modelagem de Sistemas Ambientais. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

Mello, B. A. (2001) Modelagem e Simulação de Sistemas. In: <http://munif.com.br/munif/arquivos/ap-sim.pdf?id=319>. Acesso 2 de maio de 2011.

Richards, K.S. (1990) 'Real' geomorphology, *Earth Surface Processes and Landforms* 15, 195–197 [and discussion in vol. 19, 269f.].

Schellnhuber, Hans-Joachim. "'Earth system'analysis." *Nature* 402 (1999): C19-C23.