

MÉTODOS ESTATÍSTICOS

Conteúdo programático:

1. Introdução
2. Correlação linear
3. Análise de regressão linear simples
4. Análise de regressão múltipla (2 variáveis)
5. Análise de dados de classificação simples e dupla

Unidade 1. Introdução

- 1.1. Ciência, método científico, pesquisa científica e métodos de pesquisa
- 1.2. Variáveis hidrológicas e métodos de pesquisa hidrológica



1.1.1 Ciência, método científico e pesquisa científica

Fontes de conhecimento

- O homem comum pode adquirir conhecimento de diversas maneiras.
- O homem do campo, por exemplo, tem conhecimento das plantas que cultiva, da época de semear e de plantar, da forma de tratar a terra, dos meios de proteção contra insetos e pragas.
- Esse conhecimento tem origem na imitação, nas informações e instruções transmitidas por antecessores e familiares, na educação formal e na experiência pessoal.



- Esse homem também pode possuir conhecimento gerado por pesquisas conduzidas por instituições científicas, que lhe é transmitido através de meios de comunicação e de treinamento.

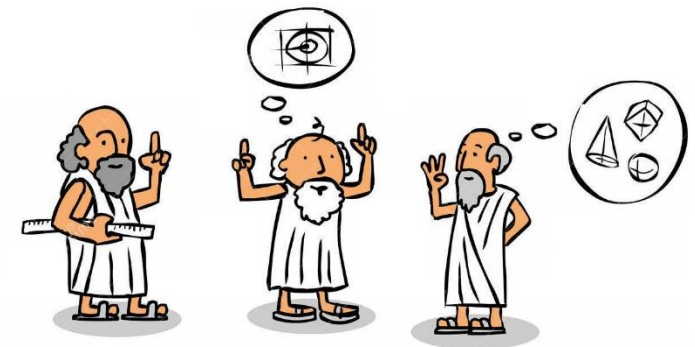


- O homem também pode adquirir conhecimento científico de modo mais racional, através de educação formal de nível superior e, ainda, aperfeiçoá-lo em cursos de pós-graduação.



Origem da ciência

- A descoberta de que a natureza é governada por um esquema inteligível ocorreu na Grécia antiga, por volta do século VI a.C.
- O conhecimento científico (ou ciência) tem suas raízes nas contribuições de filósofos gregos.
- Toda a teoria grega se dedica à descrever:
 - o universo das **ideias**, na filosofia de **Platão**
 - o universo das **formas**, na geometria de **Euclides**
 - o universo da **natureza**, na física de **Aristóteles**
- Mas, apesar deste início na Grécia, somente no século XVII a ciência moderna teve origem.



Ciência moderna

- A **ciência moderna** é um processo lógico de investigação para solucionar problemas e buscar respostas a questões referentes a fenômenos naturais.
- Os cientistas tentam construir um corpo de conhecimento livre de crenças, percepções, valores, atitudes e emoções pessoais.
- Isso é obtido verificando ideias e crenças empiricamente por procedimentos abertos à inspeção pública.
- A confiabilidade do conhecimento científico resulta de sua base em evidências providas por observação objetiva.
- O conhecimento científico não é absoluto e definitivo. Ele tende a se aperfeiçoar, criar novos métodos, técnicas e procedimentos mais adequados e convenientes.

Objetivo da Ciência

- A ciência não se propõe a um objetivo definido e final, como a construção completa do conhecimento sem falhas.
- O objetivo da ciência é mais propriamente **o aperfeiçoamento contínuo de seus produtos** (teorias) **e meios** (técnicas)
- Em última instância, o objetivo da ciência é a **compreensão da realidade**. Mas há uma diferença essencial entre o nível de compreensão requerido pela ciência e o nível de compreensão obtido pelo conhecimento ordinário. A compreensão por parte do indivíduo comum consiste da habilidade de explicar, mesmo que superficialmente, a ocorrência de algum fenômeno, por exemplo, a chuva. A ciência, por sua vez, não se satisfaz com critérios superficiais, ela demanda o exame detalhado de um fenômeno.
- Um fenômeno é considerado conhecido apenas quando é descrito e explicado com elevada acurácia, de modo que possa ser predito e, se possível, controlado.
- No aprimoramento do conhecimento, a ciência persegue quatro objetivos sucessivos: **descrição, explicação, predição e controle**.

Divisão da Ciência segundo seus objetivos

- A ciência tem objetivo duplo:
 - o incremento do conhecimento (intrínseco ou cognitivo)
 - o aumento do bem estar do homem e seu domínio sobre a natureza (extrínseco ou derivado)
- **Ciência pura** → objetivo puramente cognitivo: descrever e explicar. Exemplos: a matemática, a física, a química, a biologia, a psicologia.
- **Ciência aplicada** ou **tecnologia** → aplica o método geral da ciência pura com fins práticos: predizer e controlar. Exemplos: as engenharias, a bioquímica, a agronomia, a medicina, a pedagogia.
- Essa divisão explica as diferenças de atitude e motivação entre o cientista que busca entender melhor a realidade e o cientista que busca melhorar o domínio sobre ela.

Conceito de Ciência

- A ciência é frequentemente definida como uma **acumulação de conhecimentos sistemáticos**.
- Essa definição inclui três termos básicos da caracterização da ciência, mas é inadequada, pois ressalta o conteúdo da ciência em vez de sua característica fundamental que é seu método de operação ou **método científico**.
- Esse enfoque é inadequado porque o conteúdo da ciência está mudando constantemente, dado que conhecimento considerado científico hoje pode tornar-se não científico ou obsoleto amanhã. Além disso, a demarcação entre **ciência** e **não ciência** não é óbvia. Realmente, ela não é uma linha nítida, mas uma área móvel e sujeita a debates.
- A ciência visa à **compreensão do mundo** em que o homem vive, o conhecimento da realidade. Assim, ela é fundamentalmente um método de aproximação do mundo empírico, isto é, do mundo suscetível de experiência pelo homem.

Ciência e Método científico

- O consenso em relação aos atributos e processos essenciais do método da ciência permite uma conceituação funcional da ciência através de seu método:
“A **ciência** é um **método** objetivo, lógico e sistemático de análise dos fenômenos, criado para permitir a acumulação de conhecimento fidedigno.”
- O **método científico** é o **procedimento geral** da ciência para aquisição de conhecimento.

Pesquisa científica

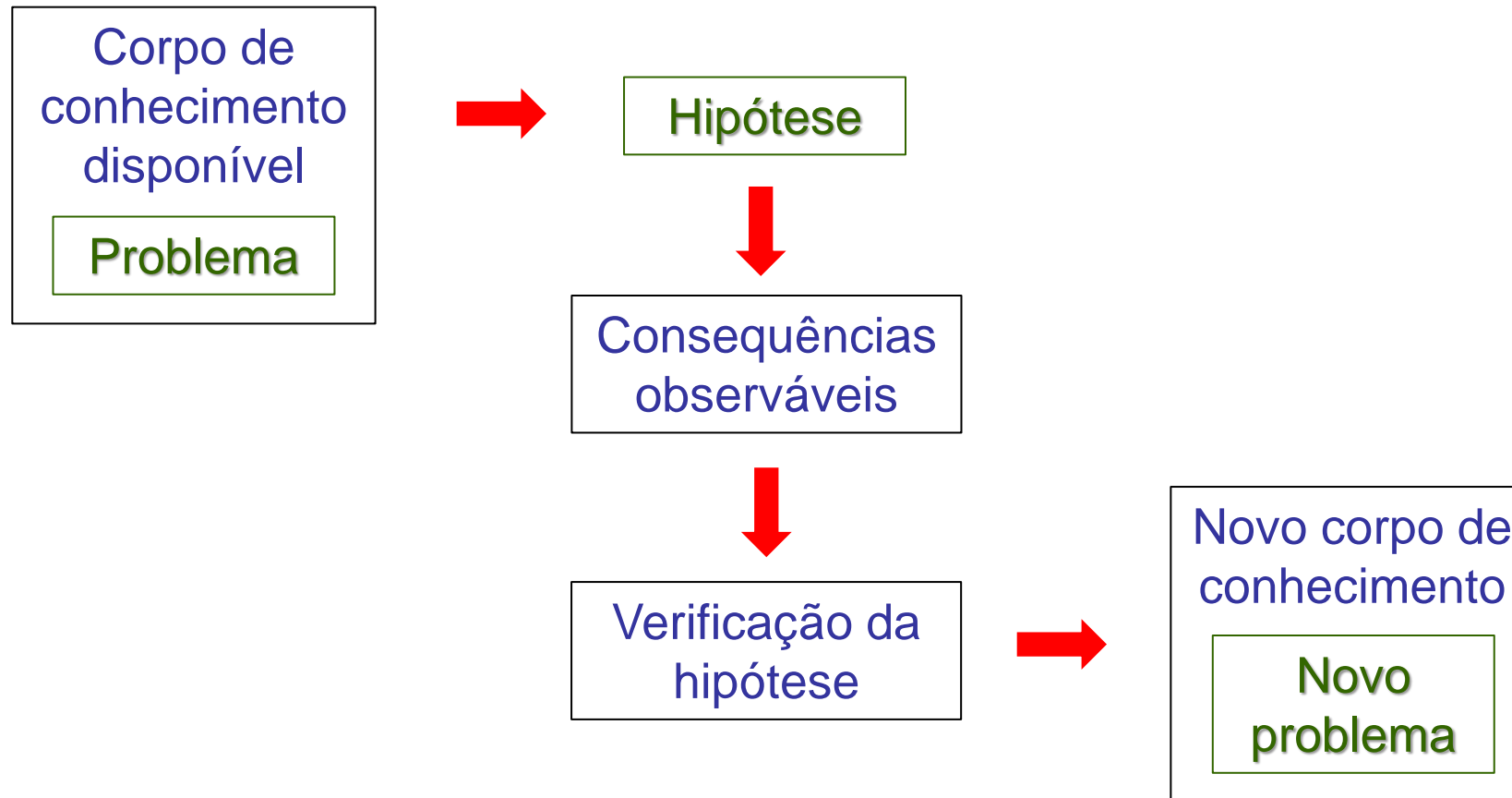
- Implementação do método científico para produção de conhecimento;
- Investigação crítica e exaustiva de fenômenos naturais através do método científico com o objetivo de descobrir novos fatos e interpretá-los corretamente.

Método científico

Compreende a seguinte **sequência ordenada de operações**:

- 1) Enunciação de perguntas bem formuladas e férteis – **problemas científicos**.
- 2) Formulação de hipóteses bem fundamentadas que possam ser submetidas à prova através de experiência, para responder as perguntas – **hipóteses científicas**.
- 3) Derivação de consequências lógicas das hipóteses.
- 4) Verificação empírica das hipóteses.
- 5) Análise e interpretação dos resultados da verificação das hipóteses – **avaliação da pretensão de verdade das hipótese**.
- 6) Determinação dos domínios para os quais valem as hipóteses, incorporação do novo conhecimento científico ao corpo de conhecimento disponível, e formulação de novos problemas originados da pesquisa.

- O processo fundamental do método científico pode ser descrito como uma repetição cíclica das fases de **síntese**, **análise** e **síntese**



- Em geral, se uma pesquisa for cuidadosa e imaginativa, a solução do problema que a originou suscitará um novo conjunto de problemas.

Ciência e Filosofia

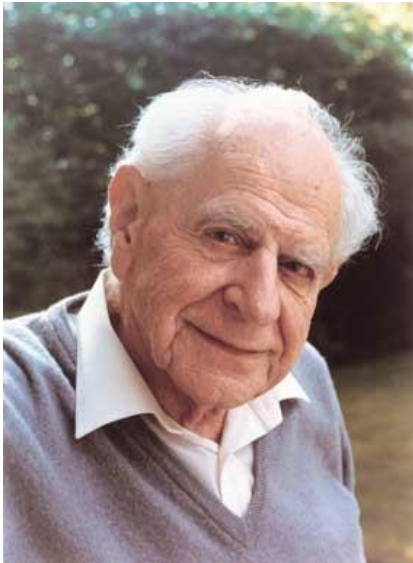
- O método científico é algumas vezes contrastado com outras abordagens para a geração de conhecimento.
- Surge a questão natural da credibilidade do conhecimento científico, em contraste com conhecimento de outras origens. São questionados o caráter filosófico e a estrutura lógica do conhecimento científico.
- Deve-se ressaltar que a **ciência é um método e não uma filosofia**. Portanto, não está comprometida com qualquer teoria ou filosofia particular de conhecimento.
- A ação do cientista pode revelar certas preferências mentais ou consistências de seu método que são relacionadas com escolas filosóficas: racionalismo, empirismo, positivismo lógico, pragmatismo e determinismo.

Filosofia da ciência → estuda os fundamentos, pressupostos e implicações filosóficas da ciência, incluindo as ciências naturais (física e biologia) e as ciências sociais (psicologia e economia).

A filosofia da ciência tenta problematizar os seguintes aspectos:

- a natureza das afirmações e conceitos científicos
- a forma como são produzidos
- os meios para determinar a validade da informação
- como a ciência explica, prediz e, através da tecnologia, domina a natureza
- a formulação e uso do método científico
- os tipos de argumentos usados para chegar a conclusões
- as implicações dos métodos e modelos científicos para a sociedade e para as próprias ciências

Filósofos da ciência: as visões de Popper e Kuhn



Karl Popper
(1902-1994)

Defendia que o que garante a verdade do discurso científico é a sua condição de **refutabilidade**.

Obra → **A lógica da descoberta científica** (1934)

“Um conhecimento só é científico se ele traz dentro dele a possibilidade de **refutação**. Quando uma teoria resiste à refutação é corroborada, e somente a corroboração indica quais teorias descrevem o mundo real.”

Acreditava que o progresso da ciência se dá por meio de **paradigmas** (visão de mundo expressa por uma teoria).

Obra → **Estrutura das revoluções científicas** (1962)

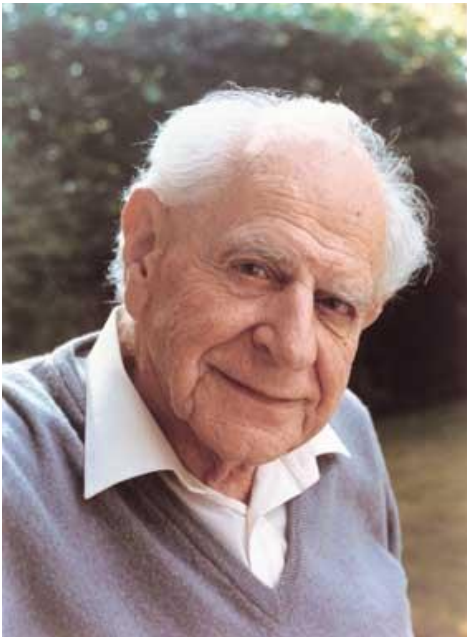
“A ciência possui *fases normais e fases de crise*. Na fase de crise o **paradigma** já não resolve uma série de inconsistências acumuladas, tornando-se necessária uma revolução.”



Thomas Kuhn
(1922-1996)

Corrente filosófica

- O eixo central da estatística moderna é a filosofia de Karl Popper
- Popper combateu o positivismo e o método indutivo em ciências naturais propondo a substituição do **verificacionismo** pelo **falsificacionismo**



Karl Popper
(1902-1994)

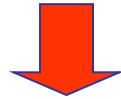
Verificacionismo → consiste em criar uma teoria tomando como base aquilo que se observa: a partir dos “fatos” observados, por indução, chega-se a formulações gerais na forma de leis

Falsificacionismo → propõe que, em vez de procurar *confirmar, corroborar* nossas teorias, devemos, pelo contrário, tentar *falseá-las*, ou seja, submetê-las a testes

Fundamento da teoria Popperiana (Falsificacionismo)



Não se pode provar nada, apenas refutar.



Uma única observação que contrarie uma hipótese é suficiente para rejeitá-la, entretanto, nenhuma quantidade de confirmação provará que ela é correta.

Teorias não refutadas podem ser aceitas,
provisoriamente, enquanto resistirem aos testes.



1.1.2 Métodos de pesquisa Científica

Métodos de pesquisa científica

- ⇒ Censo
- ⇒ Levantamento por amostragem
- ⇒ Estudo observacional
- ⇒ Experimento

Métodos de pesquisa científica

- Pesquisa em que as características de interesse são inerentes às unidades e se manifestam **sem interferência** do pesquisador.

Censo: todas as unidades da população são observadas.

Levantamento por amostragem: as unidades podem ser escolhidas por processo aleatório (sorteio) ou não.

Estudo observacional: as unidades são incluídas no estudo segundo as circunstâncias. Comum na medicina e nas ciências sociais.

→ Possibilitam estabelecer apenas associação entre variáveis

- Pesquisa em que **há intervenção** do pesquisador na amostra.

Experimento: Os tratamentos são impostos às unidades da amostra com propósito de avaliar seus efeitos comparativamente.

→ Permite estabelecer relação de causalidade entre variáveis

Estudo observacional

Exemplo 1: Estudo da relação entre teores de ferro no corpo e risco de ataque cardíaco (Revista *Circulation*, setembro/1992)

- ⇒ Realizado na Finlândia, rastreou 1931 homens por 5 anos
- ⇒ Resultado: mostrou associação estatisticamente significativa entre os níveis de ferro e a incidência de ataque cardíaco
- ⇒ Amostra não aleatória: os pesquisadores apenas rastrearam os homens ao longo do tempo
- ⇒ Nesses estudos é difícil identificar causalidade porque a diferença observada entre grupos pode ser devida a outros fatores que não foram controlados nem equalizados pela aleatorização
- ⇒ Exemplo: a diferença entre os grupos poderia ser atribuída a diferentes níveis de ferro ou outros fatores que explicariam os resultados observados, como nível de colesterol ou hipertensão

Estudo observacional

Exemplo 2: Coorte de nascidos em Pelotas

⇒ A coorte de nascimentos com seguimento regular mais longo em um país em desenvolvimento tem sido conduzida pelo Centro de Pesquisas Epidemiológicas da Universidade Federal de Pelotas.

⇒ A investigação monitorou todas as crianças nascidas vivas na cidade de Pelotas, nos anos de 1982, 1993, 2004 e 2015. Nas três primeiras fases do estudo, foram realizadas visitas no terceiro e 12^o mês de idade. Eram aplicados questionários às mães, além de medidas e avaliações do desenvolvimento das crianças.

⇒ Os participantes continuam sendo acompanhados até o presente, e questões como mortalidade infantil, desnutrição, crescimento, sexualidade, gravidez na adolescência e hipertensão têm sido exploradas na pesquisa.

Os métodos de pesquisa mais utilizados na Engenharia são:

⇒ Estudo observacional

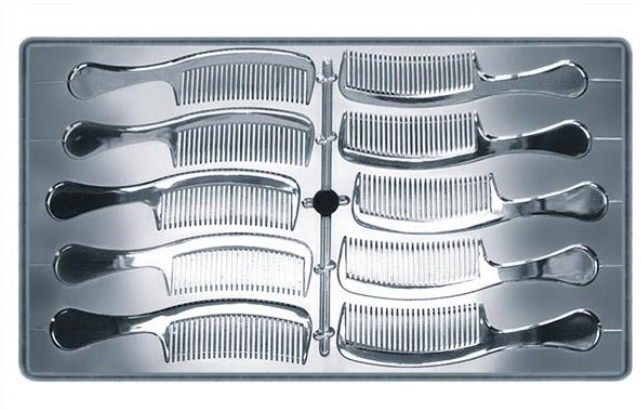
O engenheiro observa um processo ou sistema → os dados são obtidos à medida em que se tornam disponíveis

⇒ Experimento

O engenheiro faz variações propositalis nas variáveis controláveis de um processo ou sistema, observa os dados de saída e faz inferências sobre quais variáveis são responsáveis pelas mudanças observadas

Estudo observacional (na Engenharia)

Exemplo: Avaliação do desempenho de um processo de fabricação de componentes plásticos através da injeção em molde



- ⇒ Características do produto: espessura da parede, encolhimento ou resistência da peça
- ⇒ Características do processo: temperatura do molde, conteúdo de umidade da matéria-prima, tempo do ciclo
- ⇒ Em geral, há interesse em usar os dados para construir um modelo do sistema ou do processo → **modelos empíricos**

Experimento (na Engenharia)

Exemplo: Um experimento foi conduzido com o objetivo de aumentar a adesão de produtos de borracha.

Problema: O novo aditivo aumenta a adesão do produto de borracha?
A temperatura tem efeito sobre a adesão do produto?

⇒ Há interesse em testar a adesão do produto com e sem o aditivo e em quatro temperaturas diferentes.

Planejamento do experimento:

- ⇒ Oitenta unidades do produto de borracha serão produzidas
- ⇒ As combinações de adesivo e temperatura serão sorteadas às unidades
- ⇒ O conjunto de dez unidades do produto constitui uma amostra aleatória e representativa da população (todas as peças que serão fabricadas)
- ⇒ Será avaliada a adesão de cada unidade produzida

1.2. Variáveis hidrológicas e métodos de pesquisa hidrológica

Métodos de pesquisa hidrológica

Hidrologia → geociência que investiga os fenômenos que determinam a distribuição espaço-temporal da água no planeta sob os atributos de quantidade, de qualidade e de interação com as sociedades humanas

Hidrologia aplicada → utiliza os princípios da hidrologia para planejar, projetar e operar sistemas de aproveitamento e controle de recursos hídricos

Fenômenos hidrológicos:

- precipitação
- escoamento e armazenamento superficiais
- evapotranspiração
- infiltração
- propriedades físico-químicas e biológicas da água
- conformações geomorfológicas
- transporte de sedimentos

Fenômenos hidrológicos

A intensidade dos fenômenos hidrológicos apresenta grande variabilidade ao longo do tempo e do espaço, decorrentes de:

- variações (regulares e irregulares) dos climas global e regional
- particularidades regionais e locais, sob os aspectos meteorológicos, geomorfológicos, de propriedades e uso do solo

Assim, as **intensidades dos processos hidrológicos** podem ser expressas como **funções do tempo**, ou do espaço, ou de ambos, em escalas geográficas que vão desde a global até a local, passando pela escala usual da bacia hidrográfica

Uma **bacia hidrográfica** ou **de drenagem** de um curso de água é o conjunto de terras que fazem a drenagem da água das precipitações para esse curso de água e seus afluentes.

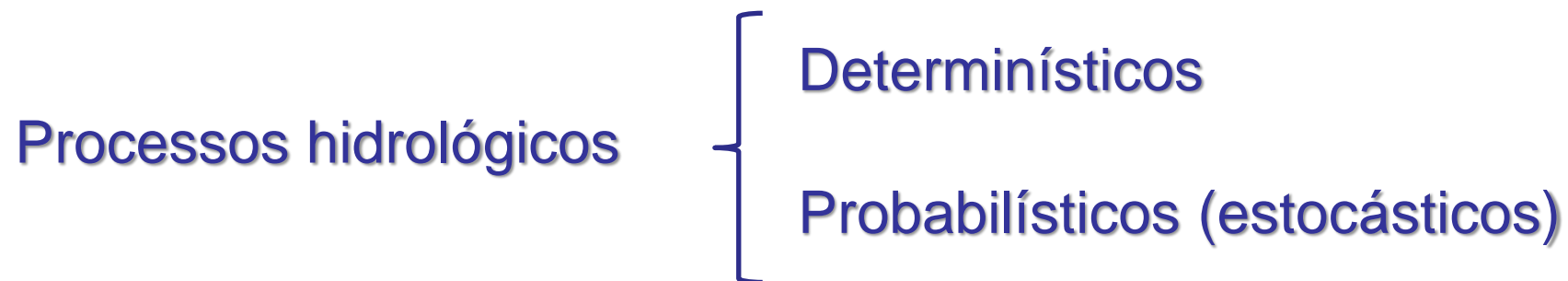


Processos hidrológicos

Processos hidrológicos → funções do tempo (ou espaço) que descrevem a evolução de um fenômeno hidrológico

Exemplo: A função do tempo que descreve a evolução contínua das vazões que atravessam uma certa seção fluvial

Classificação de processos hidrológicos



Classificação de processos hidrológicos

Processos hidrológicos determinísticos → variações espaço-temporais completamente explicadas por um número limitado de variáveis, a partir de relações funcionais unívocas

Exemplo (raro): A resposta hidrológica de uma superfície completamente impermeável, de geometria simples e totalmente definida, a um pulso conhecido, uniforme e homogêneo de precipitação.

- * Em rios naturais, com leitos móveis ou controle hidráulico variável, esta situação é de ocorrência muito improvável, estando a cota descarga sujeita à complexa interferência de uma infinidade de fatores aleatórios.

Classificação de processos hidrológicos

Processos hidrológicos probabilísticos (aleatórios ou estocásticos)

→ governados por leis de probabilidades, contém componentes aleatórios que se superpõem a regularidades eventualmente explicitáveis (estações do ano)

Exemplos: a precipitação, a evapotranspiração, os escoamentos superficial e sub-superficial, os afluxos de sedimento em suspensão, as concentrações de oxigênio dissolvido, as conformações do leito fluvial, as temperaturas da água, as capacidades de infiltração, etc.

- * Rigorosamente, pela forçosa existência de componentes aleatórios, inexistem relações funcionais e unívocas entre as variáveis características de processos hidrológicos.

Processos hidrológicos probabilísticos

Outro exemplo: Enchentes em uma bacia hidrográfica



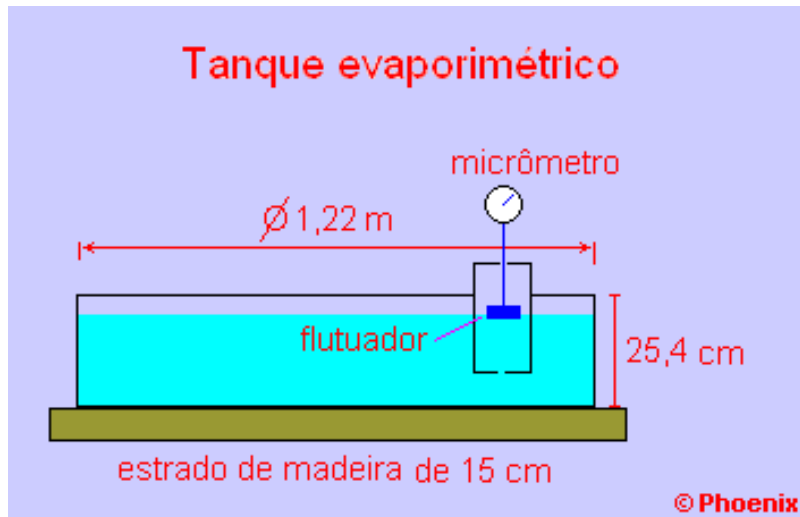
Nota-se a presença de forte aleatoriedade nas **características relevantes das enchentes** em uma bacia hidrográfica, pois nem todos os fatores causais e/ou influentes, tampouco suas interdependências nas escalas espacial e temporal, podem ser precisamente explicitados e determinados.

Variáveis hidrológicas

- ⇒ Descrevem as flutuações temporais e/ou espaciais dos fenômenos do ciclo da água
- ⇒ Podem ser quantificadas, ou categorizadas, por meio de observações ou medições executadas de modo sistemático e de acordo com padrões nacionais ou internacionais
- ⇒ Por estarem associadas a processos probabilísticos, são consideradas variáveis aleatórias e são descritas por distribuições de probabilidade

Variáveis hidrológicas - Exemplos

Variações dos **totais diários de evaporação** de um lago



Mede a evaporação em milímetros (mm) pela diminuição do nível da água



Obtidas pelas leituras dos níveis de um tanque evaporimétrico local, tomadas regularmente às 9 horas da manhã

Variáveis importantes em fenômenos hidrológicos

Fenômeno	Variável	Unidade de medida
Precipitação	Altura	mm, cm
	Intensidade	mm/h
	Duração	h, min
Evaporação / Evapotranspiração	Intensidade	mm/dia, mm/mês
	Total	mm, cm
Infiltração	Intensidade	mm/h
	Altura	mm, cm
Escoamento total	Fluxo	l/s, m ³ /s
	Volume	m ³ , 10 ⁶ m ³ , (m ³ /s).mês
	Altura equivalente (Deflúvio)	mm ou cm sobre uma área
Escoamento subterrâneo	Fluxo	l/min, l/h, m ³ /dia
	Volume	m ³ , 10 ⁶ m ³

Classifique as variáveis hidrológicas abaixo, indicando a escala de medida:

- número anual de dias consecutivos sem precipitação num local
- intensidade máxima anual da chuva com duração de 30 minutos ($\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$)
- vazão média anual de uma bacia hidrográfica ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)
- total diário de evaporação de um reservatório (mm)
- estado do tempo, entre as opções {bom, chuvoso e nublado}
- nível de armazenamento de um reservatório, entre as opções
{excessivamente alto, alto, médio, baixo e excessivamente baixo}
- temperaturas da água ($^{\circ}\text{C}$)
- concentração de oxigênio dissolvido em um lago ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)

Séries hidrológicas

As variáveis hidrológicas e hidrometeorológicas têm sua variabilidade registrada por meio de séries temporais

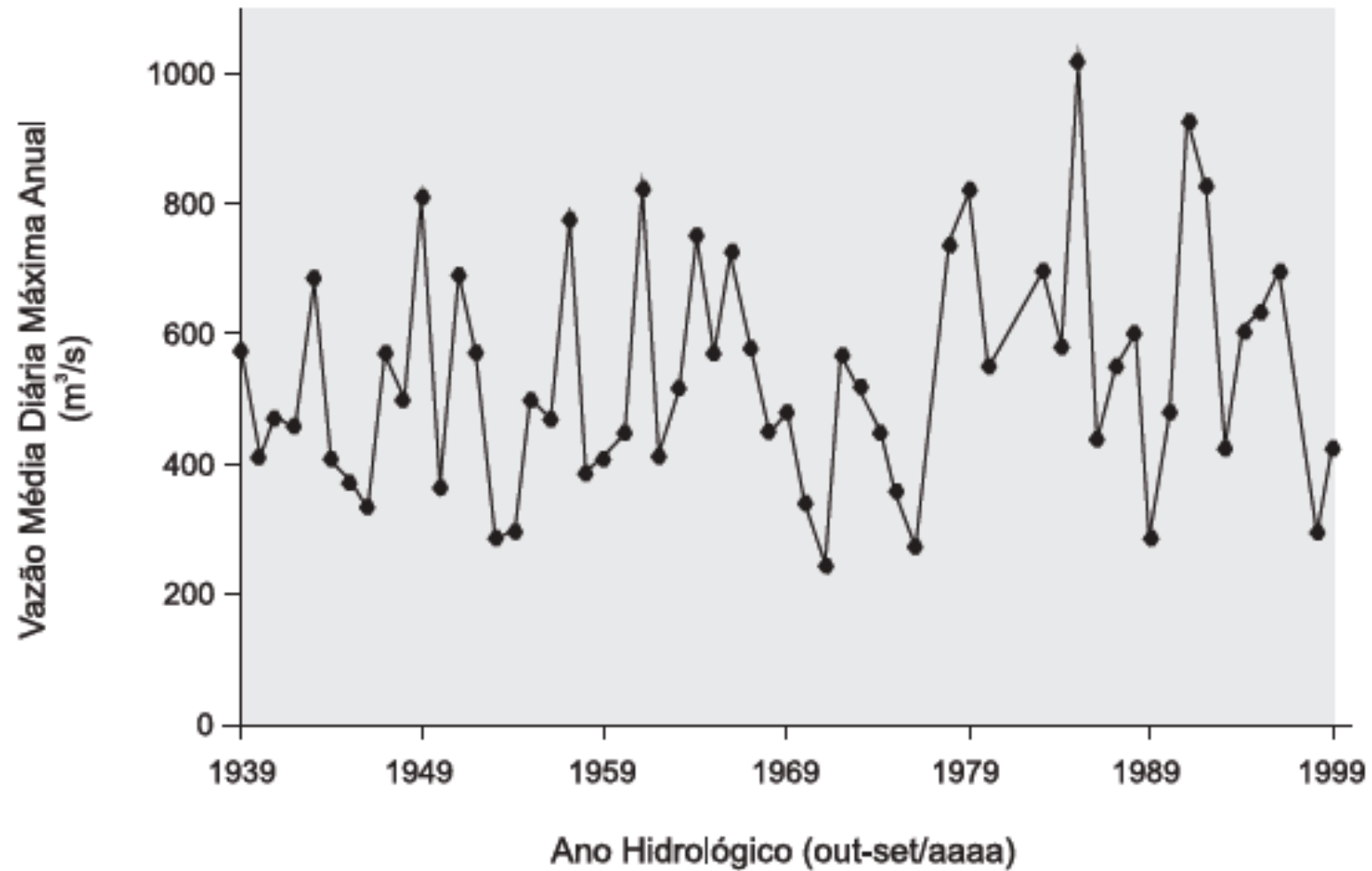
Série temporal → reúne as observações ou medições de uma variável, organizadas no modo sequencial de sua ocorrência no tempo

⇒ Variáveis hidrológicas apresentam variações instantâneas ou contínuas ao longo do tempo

⇒ Limitações dos processos de medição ou observação → os registros são separados por determinados intervalos de tempo

⇒ Em geral, os intervalos são equidistantes, mas existem séries com registros tomados em intervalos irregulares

Exemplo: A série de máximos anuais do Rio Paraopeba



População e amostra

População (estatística) → reúne todas as possíveis realizações de um processo hidrológico; pode ser um conjunto discreto ou contínuo → **espaço amostral da variável**

Amostra → conjunto das observações tomadas em tempos ou locais diferentes; contém um número limitado de realizações da variável

Hidrologia Estatística

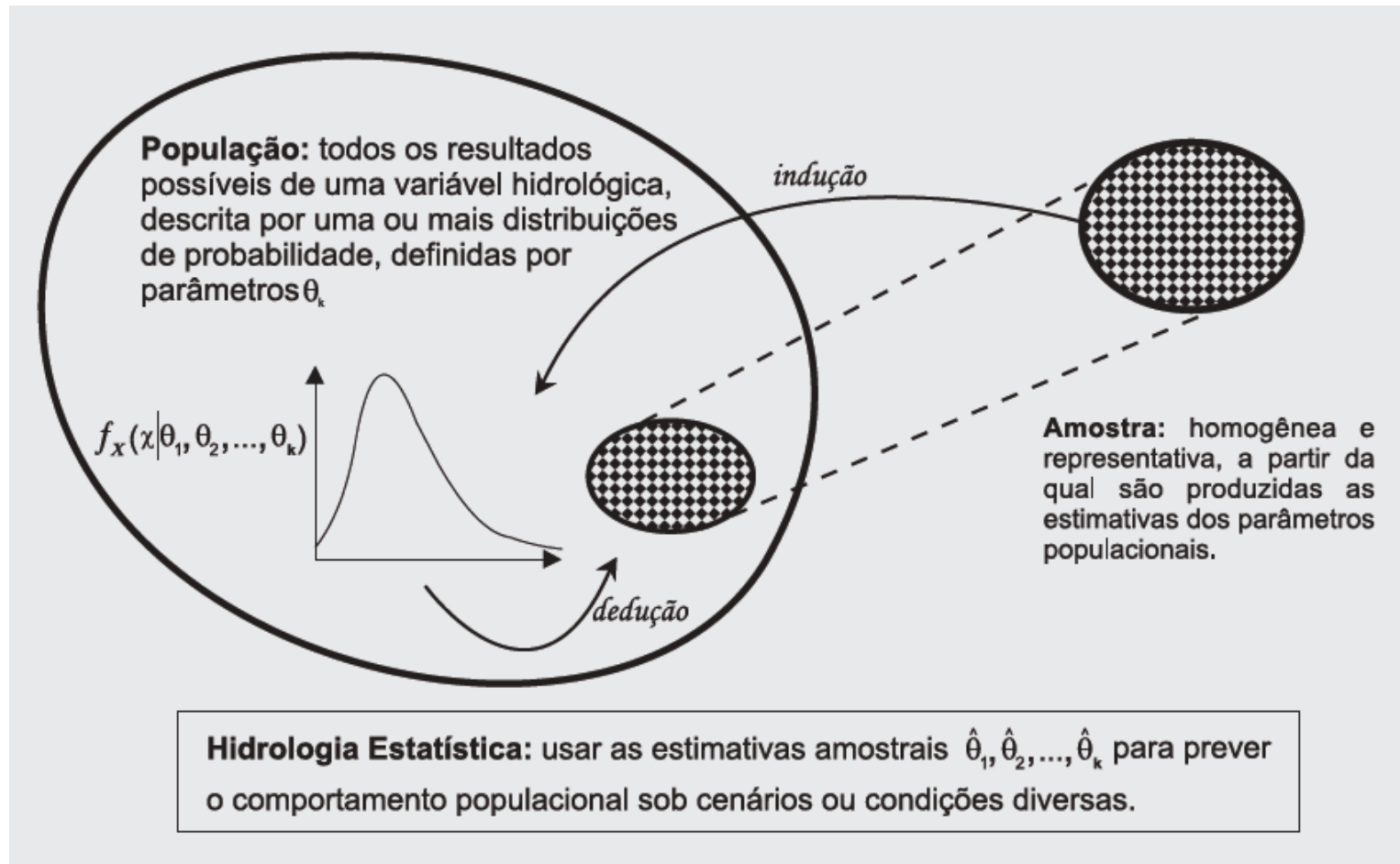
Objetivo principal: extrair da amostra os elementos suficientes para obter conclusões válidas e confiáveis sobre um processo hidrológico.

⇒ O raciocínio subjacente à hidrologia estatística inicia-se com a proposta de um **modelo matemático** plausível para a distribuição de freqüências das **realizações populacionais**. Nesse caso, trata-se do **raciocínio dedutivo**, no qual faz-se uma tentativa de propor uma idéia geral válida para quaisquer casos particulares.

⇒ Tal modelo matemático possui parâmetros que devem ser estimados a partir dos valores amostrais. Uma vez estimados os seus parâmetros e, portanto, particularizado para um local ou situação, o modelo matemático pode ser usado para inferir sobre probabilidades de cenários não observados.

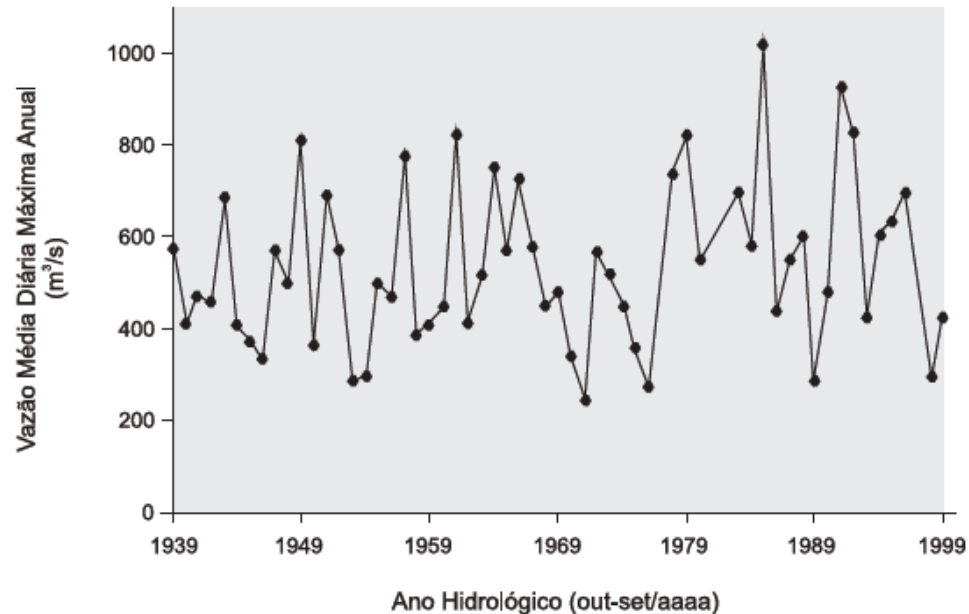
Hidrologia Estatística

A figura abaixo ilustra as etapas do raciocínio inerente à hidrologia estatística.



Fonte: Naghettini e Pinto (2007).

Exemplo: A série de máximos anuais do Rio Paraopeba



É possível inferir sobre:

- a probabilidade de ocorrer um valor de vazão superior a $900 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

→ $P(Q \geq 900) = ?$

- a vazão média diária máxima local, cuja probabilidade de ser igualada ou superada é de apenas 1% → $P(Q \geq x) = 0,01$, $x = q_{.99}?$

Nesse caso, trata-se do **raciocínio indutivo**, no qual se prevê o comportamento populacional a partir da amostra

Bibliografia consultada

MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C.; HUBELE, N.F. **Estatística Aplicada à Engenharia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Editora LTC. 2004. 335p.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. de A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552 p.

Sistema Galileu de Educação Estatística. Disponível em:
<http://www.galileu.esalq.usp.br>