

# MODELOS MATEMÁTICOS DE SIMULAÇÃO PLÚVIO-HIDROMÉTRICA, E UMA PROPOSIÇÃO PARA O ESTADO DO CEARÁ

CLOVIS EDUARDO DE ALENCAR  
MATOS NETO

## 1. INTRODUÇÃO

Em virtude de pertencer e atuar profissionalmente no semi-árido, mais especificamente no estado do Ceará, tenho observado um certo desconhecimento da hidrologia de superfície desta Região, hidrologia esta, tão característica da referida região.

É intenção nossa, através deste artigo, conceituar e classificar os modelos de simulação Hidro-pluviométrica, e no item final, lançarmos uma proposição para o estado do Ceará, proposição esta que será estudada pelo autor a curto prazo.

Durante muito tempo a transformação da precipitação em vazão, ficou limitada a técnicas estatísticas de correlação. Estas técnicas, exigem um levantamento ou verificação de correlação de dados para cada bacia em particular, e quando pretendia estimar a vazão em função da precipitação por um período relativamente longo, tornava-se muito demorado o processo.

Com o advento de computadores de grande capacidade de memória, e alta velocidade de processamento, as técnicas estatísticas de correlação foram substituídas por um enfoque físico do problema, no sentido de quantificar as diversas fases do ciclo hidrológico, e numa fase final, partindo-se da precipitação e dos diversos processos envolvidos tais como: evaporação, infiltração escoamento superficial etc. chegar-se a vazão" (1).

A bibliografia sobre o assunto indica que a primeira tentativa de desenvolvimento de modelos data de 1959 com Linsley e Crawford da Universidade de Stanford-EUA.

Outros pesquisadores como O'Donnell, D'Ayres, Grard, Cormary, apresentaram modelos semelhantes ao de Stanford com algumas simplificações. Podemos citar ainda a "MIT Catchment Model", desenvolvido no instituto americano com a principal finalidade de simular bacias urbanizadas.

É bem ressaltar que o presente artigo não tem pretensão de esgotar totalmente o tema, posto que a teoria sobre o assunto é por demais vasta.

## 2. CONCEITO E CLASSIFICAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS DE SIMULAÇÃO:

Antes de conceituarmos e classificarmos os modelos, cabe inicialmente definir "Sistema Hidrológico e modelo".

DODGE (1968) definia o que poderemos chamar de "Sistema Hidrológico". Segundo DODGE "Sistema Hidrológico" é o conjunto de processos (físicos, químicos e biológicos) numa dada área que atuando sobre uma variável (ou variáveis) de entrada a converte numa variável (ou variáveis) de saída. Uma variável é uma característica do sistema que pode ser observada e medida e que assume diferentes valores ao longo do tempo. Um "parâmetro" é uma quantidade que caracteriza o sistema (4).

Segundo Clark tem-se: um "Modelo", como meio de investigação científica, é um mecanismo abstrato ou físico que reproduz um fenômeno, de forma que sua utilização fornece as informações necessárias para o conhecimento mais completo desse fenômeno, bem como sua descrição quantitativa (5).

É bom ressaltar que as simulações hidro-pluviométricas objeto de estudo deste artigo, podem ser consideradas como um "modelo matemático", uma vez que o termo está consagrado na linguagem técnica; mas se fossemos exigentes não aceitaríamos, pois dispomos de conjunto de operações matemáticas definindo totalmente os sistemas hidrológicos dos modelos.

Podemos subdividir os modelos hidrológicos matemáticos em dois grandes grupos: modelos determinísticos e modelos estocásticos.

— Modelo determinístico: é aquele em que, para um mesmo estado inicial do sistema, qualquer que seja o valor da variável tempo, a resposta a uma dada "entrada" é sempre a mesma.

— Modelo estocástico: é aquele que, para uma mesma "entrada", podem ser obtidas "saídas" diferentes, seguindo uma certa distribuição de frequência e além disso, exista uma relação sequencial entre as ocorrências do fenômeno. É dessa forma, um tipo de model probabilístico.

Das definições acima podemos concluir, que para se construir um modelo determinista, precisamos conhecer o comportamento físico do sistema. Os modelos determinísticos se prestam para a simulação de processos contínuos no tempo (4).

Na construção de um modelo estocástico, a hidrologia do sistema, já que o modelo é probabilístico, não é aprofundada nos seus conhecimentos, precisando-se de muita teoria de probabilidade e estatística. Quando utiliza-se um modelo estocástico o que deseja-se não é uma simulação contínua no tempo, com a finalidade de uma série histórica, e sim, a geração de outras séries que tenham a mesma probabilidade de ocorrência que a histórica (4).

A subdivisão dos modelos determinísticos e estocástico nos leva a dois conceitos: o de modelo conceitual e o de modelo empírico.

— Modelo conceitual: é aquele que foi construído tratando de reproduzir uma imagem fiel de todos os processos físicos que se passam no interior do sistema, desde o recebimento da variável de entrada até a saída da resposta.

— Modelo empírico: é aquele constituído por um conjunto de algoritmos de qualquer natureza, permitindo a sintetização dos dados de saída em função dos dados de entrada.

Os modelos conceituais na literatura são chamados "modelos de caixa transparente" e os empíricos de "modelos de Caixa Preta" (5).

A bibliografia indica que os modelos matemáticos podem ainda ser classificados em: Modelos de sistema em blocos e modelos de sistema distribuído.

— Modelo de sistema em bloco: é aquele e no qual não levamos em conta a variação espacial da variável de entrada nem a dos parâmetros característicos do sistema.

— Modelo de sistema distribuído: é aquele no qual a variação espacial é considerada, quer em termos probabilístico quer em termos geométricos.

Outra subdivisão proposta aos modelos matemáticos é aquele que leva em conta sua "linearidade" e que pode ser abordada sob dois aspectos: o da teoria de sistemas e o da regressão estatística. Do ponto de vista da teoria de sistemas, um modelo é linear ou não, de acordo com o caráter do operador de transformação que for utilizado. De uma maneira geral, um operador é dito linear quando atuando sobre uma determinada entrada, produz uma saída proporcional à mesma.

O modelo é linear do ponto de vista da análise de regressão estatística, quando o é nos parâmetros a serem estimados.

Como vantagens dos modelos lineares sobre os não lineares podemos citar:

1. São mais simples, computacionalmente falando.
2. Permite um melhor entendimento do sistema.

Os modelos com características semelhantes às aquelas estudadas anteriormente, fazem parte do rol de modelos, escolhidos pelo autor para efetuar simulação para o Nordeste Brasileiro, em virtude como já foi mencionado anteriormente, dos poucos conhecimentos sobre a hidrologia das regiões semi-áridas, e em particular da região cearense.



AGUASOLOS CONSULTORA E ENGENHARIA LTDA.  
ESTUDOS \* PROJETOS \* CONSULTORIA  
ENGENHARIA DE SISTEMAS HIDRÁULICOS • IRRIGAÇÃO  
TELS.: 224.5081 e 224.6675

### 3. UMA PROPOSIÇÃO PARA O ESTADO DO CEARÁ:

Concluída uma pequena revisão bibliográfica sobre a teoria dos modelos de simulação, o autor neste item, pretende ançar uma proposição para o estado do Ceará, proposição esta, que será desenvolvida pelo autor a curto prazo.

A idéia inicial é de estudar a hidrologia de superfície do estado do Ceará, partindo-se da classificação do DNAEE, em que a bacia do Ceará é uma sub-bacia do Atlântico Norte-Nordeste.

A proposição do autor, é de dividir esta sub-bacia, em bacias menores, e a estas bacias menores, tentar calibrar modelos de simulação hidropluviométricas. Estes modelos seriam escolhidos em função da área da bacia.

Podemos dividir a bacia do estado do Ceará em três intervalos em função da área:

SUB-BACIA I	100 Km <sup>2</sup>	a	2.500 Km <sup>2</sup>
SUB-BACIA II	2.500 Km <sup>2</sup>	a	14.500 Km <sup>2</sup>
SUB-BACIA III	14.500 Km <sup>2</sup>	a	50.000 Km <sup>2</sup>

SUB-BACIA I	LOCAL	ÁREA DE DRENAGEM	MODELO DE SIMULAÇÃO
SÃO GONÇALO	CAUCAIA	433 Km <sup>2</sup>	(-)
ACARAU	SOBRAL	1.100 Km <sup>2</sup>	(*)
"	ST. QUITÉRIA	1.520 Km <sup>2</sup>	(-)
"	IPU	1.550 Km <sup>2</sup>	(*)
PIRANJI	CASCAVEL	2.000 Km <sup>2</sup>	(*)
JAGUARIBE	CARIUS	2.250 Km <sup>2</sup>	(-)

SUB-BACIA II	LOCAL	ÁREA DE DRENAGEM	MODELO DE SIMULAÇÃO
ACARAU	GROAIRAS	2.700 Km <sup>2</sup>	(**)
ARACATIAÇU	ITAPIPOCA	2.800 Km <sup>2</sup>	(**)
JAGUARIBE	MILAGRES	3.200 Km <sup>2</sup>	(**)
ACARAÚ	RERIUTABA	3.600 Km <sup>2</sup>	(**)
JAGUARIBE	CARIUS	3.700 Km <sup>2</sup>	(**)
COREAU	GRANJA	3.720 Km <sup>2</sup>	(**)
CHORÓ	PACAJUS	4.050 Km <sup>2</sup>	(**)
JAGUARIBE	SEN. POMPEU	5.200 Km <sup>2</sup>	(**)
JAGUARIBE	QUIXERAMOBIM	7.100 Km <sup>2</sup>	(**)
CURU	SÃO LUIS DO CURU	7.100 Km <sup>2</sup>	(**)
JAGUARIBE	LAVRAS DA MANGABEIRA	8.400 Km <sup>2</sup>	(**)
ACARAÚ	SOBRAL	11.160 Km <sup>2</sup>	(**)
JAGUARIBE	OCÓ	12.000 Km <sup>2</sup>	(**)

SUB-BACIA III	LOCAL	ÁREA DE DRENAGEM	MODELO DE SIMULAÇÃO
JAGUARIBE	MORADA NOVA	17.900 Km <sup>2</sup>	(***)
JAGUARIBE	IGUATU	21.000 Km <sup>2</sup>	(***)
JAGUARIBE	ALTO SNATO	44.500 Km <sup>2</sup>	(***)
JAGUARIBE	TAB. DO NORTE	48.200 Km <sup>2</sup>	(***)

- 1— DAEE. Diretoria de Planejamento e Controle Boletim Técnica. "Stanford Watzshed Model IV" — Um modelo de simulação hidrológica
  - 2— LINSLEY, Ray K. & FRANZINI, Joseph B. Engenharia de Recursos Hídricos. Brasil, McGraw - Hill, 1978. 798 p.
  - 3— PINTO, Nelson de Souza. et alii. Hidrologia Básica Brasil, Edagar Blucher, 1976. 278 p.
  - 4— SEPAHIM, Benedito José Zelaquett. Simulação plúvio-hidrométrica em bacias hidrográficas do nordeste brasileiro. Porto Alegre, UFRGS, 1976. Tese (Mestr. Hidrol. apl.). Inst. Pesq. Hidraul., UFRGS, Porto Alegre, 1976.
  - 5— SILVEIRA, Ruy Luiz da. Proposição de um modelo determinista de simulação hidrológicas para bacias hidrográficas com dados plúvio-hidrométricos escassos. Porto Alegre, UFRGS, 1974. Tese (Mestr. hidrol. Apl.). Inst. Pesq. Hidraul. UFRGS Porto Alegre, 1974.
  - 6— VILLELA, Swami Marcondes & Mattos Arthur. Hidrologia Aplicada. Brasil, McGraw - Hill, 1978. 245 p.
  - 7— WILKEN, Paulo Sampaio - Engenharia de Drenagem Superficial. Brasil CETESB, 1978. 245 p.
- \* Professor assistente do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade de Fortaleza.
- \* Aluno do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil área de concentração Recursos Hídricos em fase de elaboração de dissertação.

O objetivo da divisão da bacia do estado do Ceará, em sub-bacias, visa a simulação plúvio-hidrométrica ou seja, o cálculo dos escoamentos ao longo do tempo numa bacia hidrográfica, em função das precipitações ocorridas nessa bacia, objetivo fundamental da ciência hidrológica.

Um outro objetivo seria a utilização de modelos de simulação de aplicação simples, sem se desvincular do sentido físico das coisas.

Como vantagem deste procedimento, é que poderemos aplicar modelos de simulação, que exijam dados de entradas que estas sub-bacias possuem, pois como sabemos a maioria esmagadora das bacias hidrográficas não dispõem de redes hidrometeorológicas razoáveis, de forma, a permitir a aplicação dos modelos matemáticos de simulação mais sofisticados existentes que exigem um acervo de dados básicos grandes.

#### 4. CONCLUSÃO

Podemos concluir que ao calibrarmos e/ou propusermos um modelo de simulação, em função das sub-áreas descritas anteriormente, estaremos obtendo dados de vazões para determinada sub-bacia, a custo, e tempo, muito mais baixo, e em assim sendo dado nossa contribuição no sentido de esclarecer melhor a hidrologia de superfície desta região.

O presente artigo, como já foi esclarecido anteriormente, não tem pretensão de esgotar o assunto, daí o autor deixar os detalhes de aplicação dos modelos propostos, para um estudo posterior.

**celene**

**Companhia Eletrocerâmica do Nordeste**

MATERIAL ELÉTRICO PARA CONSTRUÇÃO CIVIL — ISOLADORES DE PORCELANA DE BAIXA TENSÃO — RECEPTÁCULOS, ROSETAS E CLEATS — CAIXAS DE EMBUTIR, ARMAÇÕES SECUNDÁRIAS

REFRATÁRIOS — PARA FORNOS E CALDEIRAS

TIJOLOS PARALELOS, ARCOS E CUNHAS — PEÇAS ESPECIAIS SOB ENCOMENDA — ARGAMASSAS, CIMENTOS E CONCRETOS

RODOVIA CE-021 — KM 06 — S/N — PAJUÇARA — DISTRITO INDUSTRIAL — CAIXA POSTAL. 1617 — CEASA — FONE: PBX 225.1366 — 60.000 — FORTALEZA — CEARÁ