

MODELAGEM MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA APLICADA À HIDROGEOGRAFIA E AGROMETEOROLOGIA

RODRIGO LILLA MANZIONE¹

¹ *Campus Experimental de Ourinhos – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Ourinhos, SP. Avenida Renato Costa Lima, 451 - Ville de France, Ourinhos - SP, 19903-302. E-mail: rlmanzione@gmail.com*

1 RESUMO

Essa nota científica apresenta a transcrição na íntegra da prova escrita elaborada pelo autor como parte dos exames realizados durante o concurso de livre docência nas disciplinas de Hidrogeografia e Agrometeorologia no Campus de Ourinhos da UNESP em 07 de dezembro de 2016, cujo ponto sorteado foi “Modelagem matemática e estatística aplicada a hidrogeografia e agrometeorologia”. A nota traz conceitos e termos elementares da modelagem aplicada a essas duas áreas do conhecimento, reflexões sobre os elementos da modelagem e suas aplicações, e perspectivas sobre os usos presentes e futuros de técnicas de modelagem.

Palavras-chave: hidrologia, meteorologia, agricultura, ensino, pesquisa

MANZIONE, R. L.
MATHEMATICAL AND STATISTICAL MODELING APPLIED TO
HYDROGEOGRAPHY AND AGROMETEOROLOGY

2 ABSTRACT

This scientific note brings an integral transcription of the written test performed by the author as part of the exams for habilitation in the disciplines of Hydrogeography and Agrometeorology at the Ourinhos Campus of UNESP (São Paulo State University) on December 7, 2016, whose drawn subject was “Mathematical and statistical modeling applied to hydrogeography and agrometeorology”. The note presents elementary modeling concepts and terms applied to these two fields of knowledge, reflections on modelling elements and its applications, and perspectives on present and future uses of modeling techniques.

Keywords: hydrology, meteorology, agriculture, teaching, research

3 INTRODUÇÃO

Um modelo é uma representação de algum objeto ou sistema, numa linguagem ou forma de fácil acesso e uso, com objetivo de entendê-lo e buscar suas respostas para diferentes entradas. Ao se construir um modelo, faz-se uma tentativa de ganho de conhecimento sobre determinado fenômeno que não seja completamente esclarecido sob determinadas condições. Um modelo é uma abstração da realidade e deve ser entendido pelo analista como uma ferramenta e não como o objeto da investigação.

Recebido em 22/08/2017 e aprovado para publicação em 09/02/2018

DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2017v22n4p847-851>

Uma limitação importante quanto ao uso de modelos é a quantidade e a qualidade dos dados a serem utilizados. Se há grande disponibilidade de dados, com qualidade, talvez não seja necessário um modelo. Em contra partida, se existe um bom modelo que explique o fenômeno não seriam necessário muitos dados para construí-lo. Em estudos hidrológicos e agrometeorológicos, a grande variabilidade espacial e temporal dos fenômenos torna a modelagem muitas vezes complexa, necessitando de técnicas específicas para determinados problemas. Isso nos leva a outro ponto importante na modelagem: a dificuldade de formular matematicamente alguns processos. Além disso, muitas vezes o comportamento espacial de variáveis e fenômenos é negligenciado por fins práticos, deixando o modelo de refletir as características que se deseja conhecer. Os modelos não criam informação, apenas exploram as informações pré-existentes para melhorar o entendimento.

4 TERMINOLOGIA

Quando falamos de modelagem, é importante conhecer alguns termos. Por *risco* entende-se a chance aceita de que algo ocorra, um conceito totalmente probabilístico. Já a *incerteza* de um modelo refere-se às diferenças entre as estatísticas da amostra e da população, que pode ser devido à representatividade da amostra ou devido a erros de coleta e processamento dos dados da variável aleatória. As séries de dados são consideradas *estacionárias*, se suas estatísticas não se alteram com o tempo e *não estacionárias*, caso as estatísticas se alterem. Outro conceito fundamental diz respeito ao *princípio da parcimônia*, que prega a simplicidade do modelo: procurar explicar o fenômeno com o menor número de variáveis possíveis.

O sistema que se almeja modelar é entendido como qualquer *estrutura, esquema* ou *procedimento, real* ou *abstrato*, que num dado *tempo de referência* inter-relaciona-se com uma *entrada, causa* ou *estímulo* de energia ou informação, e uma *saída, efeito* ou *resposta* de energia ou informação. Por exemplo, uma bacia hidrográfica, um trecho de um rio, um aquífero, um campo agrícola, uma floresta, entre outros.

Um modelo ao representar um sistema pode ser entendido como *físico*, quando segue leis pré-definidas; *matemático*, quando representa a natureza do problema por meio de equações matemáticas; ou *analógico*, quando se vale da analogia das equações que regem diferentes fenômenos para modelar no sistema mais conveniente, o sistema desejado.

Os modelos podem ser classificados, por exemplo, quanto a sua *memória*, ou seja, o espaço de tempo, no passado, durante o qual a entrada afeta o estado presente do sistema. A memória é tida como *zero* quando a entrada afeta o sistema somente enquanto ela ocorre, *infinita* quando o sistema depende de todo seu passado, ou *finita* quando o sistema depende da entrada por determinado tempo. Por exemplo, uma bacia hidrográfica recebendo uma chuva que se infiltra e altera a vazão e os níveis freáticos. Os modelos podem ser lineares, quando aplicável o princípio da sobreposição, ou *não lineares*. *Contínuos*, quando observados sem interrupção e discretos, quando observados em intervalos. Mesmo variáveis contínuas podem ser observadas em intervalos devido a restrições econômicas, de pessoal, ou tempo. Podem ser *concentrados*, quando consideram somente o tempo como variável independente ou *distribuídos*, quando consideram o espaço e o tempo, podendo ser construídos em 1, 2 ou 3 dimensões. Também pode-se classificar os modelos como *estocásticos*, quando seguem leis da probabilidade, ou determinísticos, quando seguem leis definidas pelo formalismo matemático. Por fim, o modelo pode ser *conceitual*, quando considera processos físicos, ou *empírico*, quando utiliza funções sem qualquer relação com o fenômeno.

5 ELEMENTOS DA MODELAGEM

Os principais elementos da modelagem são os fenômenos em si, que são os processos físicos que provocam alteração no sistema, como a precipitação, a evapotranspiração, infiltração; a variável, que é o valor que descreve quantitativamente o fenômeno variante, no tempo e no espaço; e o parâmetro, que é o valor que caracteriza o sistema, por exemplo a rugosidade de um canal, a área de uma bacia hidrográfica, o índice de área foliar (IAF) de uma cultura.

As etapas da modelagem podem ser resumidas da seguinte forma:

- a) *Definição do problema*: por exemplo, flotação de cianobactérias, eutrofização de reservatórios, planejamento agrícola, extensão de séries hidrometeorológicas, regime hidrológico, cheias, previsão de safras, usos da água, estados alternativos, entre tantos outros.
- b) *Simplificação e formulação de hipóteses*: definindo o problema, busca-se quais variáveis adotar, quais os processos, qual a resposta de modelagem. Procura-se um ótimo de parâmetros entre a aproximação e a complexidade.
- c) *Dedução do modelo*: seguindo as leis da natureza que estão envolvidas.
- d) *Resolução do problema*: onde são definidos os métodos para tal (numéricos, estatísticos, analíticos), a discretização espacial e/ou temporal e a linguagem de programação para executá-lo.
- e) *Calibração e validação do modelo*: onde compara-se os valores calculados a valores observados, utilizando coeficientes estatísticos (erros médios, erros médios quadráticos) ou conjuntos de dados não utilizados no modelo.
- f) *Aplicação do modelo*: passa pela simulação dos seus resultados, começando pelo ajuste ou estimativa dos parâmetros, que pode ser por tentativa ou otimização, quando não se dispõe de dados históricos ou por amostragem; seguido pela verificação com os parâmetros estimados e pela previsão que seria a quantificação de respostas.

6 APLICAÇÃO DE MODELOS EM HIDROGEOGRAFIA E AGROMETEOROLOGIA

A evolução da aplicação de modelos a questões hídricas e agronômicas se deu a partir dos anos 1950 com o avanço da computação, passando para modelos distribuídos nas décadas de 1970 e 1980 e um grande salto tecnológico nos anos 1990 com o uso de sistemas de informações geográficas (SIG's) que permitiram a integração com modelos físicos, e diminuíram as limitações de escala. Isso até chegarmos ao que temos hoje no estado da arte em modelagem que são modelos hidrológicos e meteorológicos acoplados e em multiescalas.

Os modelos vêm sendo amplamente utilizados no gerenciamento de recursos hídricos, para avaliação de comportamento, realizar prognósticos a partir de diferentes entradas;

otimização, buscando encontrar as melhores respostas; e planejamento para avaliar condições globais. Como exemplos de modelos de comportamento podemos citar modelos hidrodinâmicos, chuva-vazão, vazão-vazão, qualidade de águas. Para modelos de otimização, redes de canais e condutos, operação de reservatórios, sistemas de irrigação. E para planejamento, gestão de sistemas múltiplos por exemplo. Seus tipos de uso vão desde extensão de séries hidrológicas, planejamento e projeto, previsão em tempo real e avaliação de impactos ambientais, podendo ser aplicados nas áreas de uso da água (para abastecimento público, geração de energia, navegação, irrigação), impactos sociais quanto a cheias e inundações, e impactos no meio ambiente oriundos de degradações ambientais, desmatamento, qualidade da água.

Na agricultura destacam-se os modelos de previsão de safras, amplamente disputados pelos mercados futuros de commodities agrícolas como soja, café, milho; modelos de crescimento de culturas, modelos de propagação de pragas e doenças, condições de plantio, operações de pulverização, aplicação de lâmina de irrigação, entre outros, passando desde o planejamento agrícola até a tomada de decisões nas rotinas cotidianas das propriedades.

7 PERSPECTIVAS DA MODELAGEM EM HIDROGEOGRAFIA E AGROMETEOROLOGIA

Com o atual cenário de mudanças e incertezas climáticas, o uso de modelos se torna uma ferramenta interessante para projeções atuais e futuras, elaboração de cenários mais agressivos ou mais conservadores sobre o potencial do meio natural e antrópico em lidar com a água e do potencial produtivo das áreas agrícolas.

Tornar nossas cidades mais preparadas, mais resilientes e minimizar o risco de desastres é o grande desafio dos gestores urbanos e está intimamente ligada a questão hídrica. Fornecimento de água com qualidade e em quantidade suficiente para as cidades em expansão também é um desafio à medida que as águas interiores encontram-se em avançado estado de degradação e os mananciais cada vez mais poluídos. Reverter essa situação não é tarefa fácil e os modelos hidrológicos podem auxiliar nesse processo.

Da mesma forma, com a atual população de oito bilhões de pessoas no globo e as projeções futuras (realizadas por modelos), a necessidade de se produzir alimento é urgente. Produzir mais, na mesma área, usando menos insumos, principalmente água (mais colheita por gota/*more crop der drop*). Há também a questão dos biocombustíveis que não pode ser negligenciada a medida que a queima de combustíveis fósseis tem impactado o clima e o meio ambiente.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Assim, fomentar o uso de modelos aplicados a questões hídricas e agronômicas é importante para que avancemos nos prognósticos realizados, auxiliando o planejamento e a tomada de decisão. Isso passa pelo ensino de graduação, com uma maior atenção a disciplinas como estatística e geotecnologias, realizar a interface com as disciplinas aplicadas e preparar aqueles que ingressam na pós-graduação para que estejam aptos a se desenvolverem nessas áreas e contribuam para um desenvolvimento sustentável em longo prazo.

9 AGRADECIMENTOS

O autor é grato a banca examinadora composta pelos membros Prof. Dr. Edson Luís Piroli (UNESP/Ourinhos – professor adjunto/presidente da banca), Prof. Dr. Edson Cezar Wendland (USP/EESC – professor titular), Prof. Dr. Jurandyr Sanchez Ross (USP/FCLCH – professor titular), Prof. Dr. Jorge Kazuo Yamamoto (USP/IGc – professor titular aposentado) e Prof. Dr. Paulo Milton Barbosa Landim (UNESP/IGCE-Rio Claro – professor emérito aposentado) pelas valorosas contribuições a sua carreira colocadas durante os dois dias de provas.

10 LITERATURA CONSULTADA

RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. **Modelos hidrológicos para gestão ambiental**: Relatório Técnico Parcial do Programa de Ciência e Tecnologia para Gestão de Ecossistemas - Ação "Métodos, modelos e geoinformação para a gestão ambiental". Brasília: MCTI/INPE, 2000. 60 p. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/geopro/modelagem/relatorio_modelos_hidrologicos.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2016.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. 2. ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2005. 678 p.