



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"



Av. Pádua Dias, 11 – Cep 13418-900 – Piracicaba, SP – Brasil  
Fone (19) 3429-4283 – Fax (19) 3429-4439  
<http://www.esalq.usp.br>

## **Modelagem do Fluxo de Água e Transporte de Solutos em Solos e Águas Subterrâneas (LEB5038-2)**

**Modeling water flow and solute transport in soil and groundwater**

**2º Semestre de 2020**

**Piracicaba, 02 de setembro de 2020**

### **Docente Responsável:**

Prof. Jarbas Honorio de Miranda (LEB/ESALQ/USP)

Email: [jhmirand@usp.br](mailto:jhmirand@usp.br)

### **Docentes convidados:**

Prof. Dr. Martinus Th. van Genuchten

(<https://www.pc-progress.com/en/Default.aspx?rien-van-genuchten>)

Prof. Dr. Carlos Faúndez Urbina (University of O'Higgins, Chile) (Agricultural Engineer M.Sc., Ph.D. at Wageningen University)

Prof. Dr. Renato Paiva de Lima

Federal Rural University of Pernambuco | Department of Agricultural Engineering

**Local das Aulas: Remotas: [meet.google.com/dvm-cxky-rbn](https://meet.google.com/dvm-cxky-rbn)**

**Horário das Aulas:** Quartas-feiras (08:30 - 12:00) (02/09/2020 a 09/12/2020)

### **Objectives:**

To present a theoretical and practical introduction to computational models applied to soil water and solute dynamics under saturated ((groundwater) and unsaturated conditions.

### **Justification:**

The movement of water and solute in the soil is a growing concern, as many contaminants are of agricultural origins, resulting from the application of lime, fertilizers, pesticides or animal waste, to



unsaturated soils. Such applications often result in concomitant processes such as surface runoff (runoff), leaching, chemical degradation, and soil adsorption. There is, therefore, a need for professionals who are familiar with tools for understanding the soil water dynamic, and who are able to characterize and predict possible short, medium and long-term impacts of the application of chemical products to the soil. To achieve this goal, it is essential that students are exposed to the physical concepts involved in flow and transport processes, and practical experience in numerical modeling and numerical simulation to forecast the fate of water and the transport of solutes in unsaturated soil.

#### **Contents:**

Course material will be presented through classes, along with discussions and critical analysis of relevant scientific papers, published here and abroad. Topics covered will include:

- (1) Physical concepts - fundamental physical greatness applied to the hydrological cycle;
- (2) Solving equations (use of MathCad, VBA Excel) (bisection method, secant and Newton-Raphson);
- (3) Soil physical properties;
- (4) Transport in balance (equation of convection-dispersion / diffusion);
- (5) Soil water retention curve (application of RETC model and exercises in EXCEL) (method of least squares adjustment of soil water retention curve);
- (6) Applications STANMOD model (CFITIM) (adjustment of breakthrough curves (numerical methods);
- (7) Introduction to MIDI model (Miranda, 2001);
- (8) Introduction to the HYDRUS 1D model (Infiltration Problems);
- (9) Application of MIDI and HYDRUS 1D and 2D to problems in water and solute dynamic; and
- (10) Model Application-Hydrus 1D for solving inverse problems.

#### **Evaluation method:**

Weekly exercises, Weekly assignments, Report of practical classes and computer programs and routines (30%), Exams (1 and 2) (20%). Weighted average grades.

Note: Knowledge on soil water dynamics, irrigation management and applied mathematics to biosystems engineering, as well as programming notions, will prepare the student for this course.



### Conteúdo Programático:

- 02 de setembro:** Introdução, Conceitos Físicos Aplicados ao Ciclo Hidrológico
- 09 de setembro:** Métodos da Bissecção, Secante e Newton-Raphson (VBA Excel and Visual Basic)
- 16 de setembro:** Propriedades Físicas do Solo (Dinâmica da Água e Solutos no Solo) (Aplicação de Modelos)
- 23 de setembro:** Propriedades Físicas do Solo (Dinâmica da Água e Solutos no Solo) (Aplicação de Modelos)
- 30 de setembro:** ***Aplicativo ajuste de curvas de retenção (Prof. Renato Lima/UFRPE)***
- 07 de outubro:** Elaboração de *Breakthrough Curves* (Aplicação de Modelos / Ajuste Numérico)
- 14 de outubro:** Elaboração de *Breakthrough Curves* (Aplicação de Modelos / Ajuste Numérico) (**Prova 1**)
- 21 de outubro:** Elaboração de *Breakthrough Curves* (Aplicação de Modelos / Ajuste Numérico)
- 04 de novembro:** Modelos Aplicados à Dinâmica da Água e Solutos no Solo
- 11 de novembro:** ***Aplicação do Modelo Hydrus 1D (Dr. Carlos F. Urbina)***
- 18 de novembro:** Introdução ao Modelo MIDI (Dinâmica de água e solutos no solo)
- 25 de novembro:** Introdução ao Modelo MIDI (Dinâmica de água e solutos no solo)
- 02 de dezembro:** ***Aplicação do Modelo Hydrus 1D (Prof. Martinus Th. van Genuchten)***
- 09 de dezembro:** Aplicação do Modelo Hydrus 1D (Métodos Numéricos) (**Prova 2**)

### Plano de Trabalho da Disciplina

Número de Créditos: 8

Carga Horária				
Teórica (por semana)	Prática (por semana)	Estudos (por semana)	Duração	Total Gasto Aulas + Estudos
4 horas	0 horas	2 horas	15 semanas	90 horas



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"



Av. Pádua Dias, 11 – Cep 13418-900 – Piracicaba, SP – Brasil  
Fone (19) 3429-4283 – Fax (19) 3429-4439  
<http://www.esalq.usp.br>

**Relatórios das atividades práticas:**

Para cada experimento será exigido, ao final de cada um deles, um relatório individual, o qual:

- Deverá ser elaborado segundo o formato de um artigo científico: Introdução (Revisão de Literatura), Material e Métodos, Resultados e Discussão, Conclusões e Referências Bibliográficas.
- Deverá ser entregue dentro do período máximo de 14 dias após o término do experimento.

Atividade	Peso
Prova 1	1,0
Prova 2	1,0
Exercícios e Relatórios	3,0

Ao término do curso, portanto, os alunos receberão uma nota que será a média ponderada das notas dessas atividades. Como, de acordo com a legislação em vigor, a avaliação final deverá ser feita pelo conceitos A, B, C, ou D. No caso da presente disciplina:

Conceito A: média final de 8,4 a 10,0

Conceito B: média final de 6,5 a 8,4

Conceito C: média final de 5,0 a 6,5

Conceito D: média final menor que 5,0

**Bibliografia Recomendada:**

ANSARI, K.A. An Introduction to Numerical Methods Using Mathcad; Schroff Development Corp.: Spokane, WA, USA, 2007.

BEAR, J. Dynamics of fluids in porous media. New York: American Elsevier, 1972. 764 p.

BURDEN, R. L.; FAIURES, J. D. Numerical Analysis, Brooks/Cole, 6th ed., 1997.

CUNHA, C. Métodos Numéricos para as Engenharias e ciências aplicadas. UNICAMP, 1993, 265 p.

CURTIS, G.F.; WHEATLEY, P.O. Applied Numerical Analysis. California Polytechnic State University, 1999, 322 P.

HILLEL, D. Introduction to Environmental Soil Physics. Elsevier Science, San Diego, 2004. 485p.



KREYSZIG, E. Advanced Engineering Mathematics. John Wiley & Sons, 1993, 1271p.

MIRANDA, J.H. Modelo para simulação da dinâmica de nitrato em colunas verticais de solo não saturado. 2001. 79 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

PREVEDELLO, C.L. Física do solo com problemas resolvidos. Curitiba: SAEAFS, 1996. 446p.

RADCLIFFE D. E.; Šimůnek, J. Soil Physics with HYDRUS: Modeling and Applications. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, ISBN: 978-1-4200-7380-5, pp. 373, 2010.

REICHARDT, K. Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas. 2. ed. Piracicaba: ESALQ, 1996. 513p.

SKAGGS, T. H., LEIJ, F. J. Solute transport. In: Dane, J. H., and Topp, G. C., eds. "Methods of Soil Analysis, Part 4: Physical Methods." Soil Science Society of America, Madison, WI. 2002.

THOMPSON, J.A.; COYNE, M.S. Math for Soil Scientists. 1st ed. Thompson-Delmar. ISBN-13 9780766842687, 2006.

van GENUCHTEN. Determining transport parameters from solute displacement experiments. Research Report. 1980.

WARRICK, A. W. Soil water dynamics. Oxford University Press, 2003, 391 p.

#### **Artigos / Periódicos de Interesse:**

Bresler, E. (1973). Simultaneous transport of solutes and water under transient unsaturated flow conditions. Water Resour. Res. 9, 975–986.

Jury, W. A. (1982a). Simulation of solute transport with a transfer function model. Water Resour. Res. 18, 363–368.

Jury, W. A. (1982b). Use of solute transport models to estimate salt balance below irrigated cropland. In: Hillel, D., ed. "Advances in Irrigation," Vol. I. Academic Press, New York.

Jury, W. A., and Sposito, G. (1985). Field calibration and validation of solute transport models for the unsaturated zone. Soil Sci. Soc. Am. J. 49, 1331–1341.

van Genuchten, M. Th., and Shouse, P. J. (1989). Solute transport in heterogeneous field soils. In: Allen, D. T., Cohen, Y., and Kaplan, I. R., eds., "Intermedia Pollutant Transport: Modeling and Field Measurement." Plenum Publishing Corp., New York.



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"



Av. Pádua Dias, 11 – Cep 13418-900 – Piracicaba, SP – Brasil  
Fone (19) 3429-4283 – Fax (19) 3429-4439  
<http://www.esalq.usp.br>

van Genuchten, M. Th., and Wierenga, P. J. (1974). Simulation of one-dimensional solute transfer in porous media. Agric. Exp. Stn. Bulletin 628, New Mexico State Univ., Las Cruces, NM.

van Genuchten, M. Th., and Wierenga, P. J. (1976). Mass transfer studies in sorbing porous media: I. Analytical solutions. Soil Sci. Soc. Am. J. 40: 473–479.

van Genuchten, M. Th., and Alves, W. J. (1982). Analytical solutions of the onedimensional convective – dispersive solute-transport equation. USDA Tech. Bull. 1661.

van Genuchten, M. Th., Tang, D. H., and Guennelon, R. (1984). Some exact solutions for solute transport through soils containing large cylindrical macropores. Soil Sci. Soc. Am. J. 20, 1303–1310.

SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA JOURNAL

JOURNAL OF IRRIGATION AND DRAINAGE ENGINEERING

JOURNAL OF SOIL & WATER CONSERVATION

TRANSACTIONS OF THE ASABE

Piracicaba, 02 de setembro de 2020

  
Prof. Jarbas Honorio de Miranda  
Departamento de Engenharia de Biosistemas  
ESALQ/USP  
e-mail: [jhmirand@usp.br](mailto:jhmirand@usp.br)

Resume: <http://lattes.cnpq.br/6331638530557900>

**Professores Convidados/Colaboradores:**

- Rien van Genuchten  
Email: [rvangenuchten@hotmail.com](mailto:rvangenuchten@hotmail.com) ou [M.T.vanGenuchten@uu.nl](mailto:M.T.vanGenuchten@uu.nl)
- Dr. Carlos Faúndez Urbina  
Email: [cfaundezu@ug.uchile.cl](mailto:cfaundezu@ug.uchile.cl)
- Prof. Dr. Renato Paiva de Lima  
Email: [renato\\_agro@hotmail.com](mailto:renato_agro@hotmail.com)  
Federal Rural University of Pernambuco | Department of Agricultural Engineering