

Hidrologia Agrícola

Shakib Shahidian
Rita Cabral Guimarães
Carlos Miranda Rodrigues
António Chambel
Carlos A. Alexandre
Francisco L. Santos
Gottlieb Basch
José A. Andrade
Renato Coelho

Título: Hidrologia Agrícola

Editores: Shakib Shahidian
Rita Cabral Guimarães
Carlos Miranda Rodrigues

Primeira Edição

ISBN: 978-989-97060-4-0

Depósito Legal: 353505/13

Uma edição conjunta:

Escola de Ciência e Tecnologia da Universidade de Évora
e
ICAAM - Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas

Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas (ICAAM)
Escola de Ciência e Tecnologia da Universidade de Évora
Universidade de Évora
Núcleo da Mitra
Apartado 94
7002-774 Évora

© 2012 Os autores

Edição electrónica: Ana Martelo
Impresso pela Publidisa
Novembro 2012

Hidrologia Agrícola

Shakib Shahidian
Rita Cabral Guimarães
Carlos Miranda Rodrigues
António Chambel
Carlos A. Alexandre
Francisco L. Santos
Gottlieb Basch
José A. Andrade
Renato Coelho

PREFÁCIO

Uma disciplina de Hidrologia é naturalmente tão fundamental como a água, que é o seu objeto de estudo e conhecimento. Impunha-se, no curso de Agronomia, o estudo profundo, tanto quanto possível, desta ciência, naturalmente na medida em que o agrónomo precisa de conhecer e perceber o ciclo hidrológico, pois nele tem de intervir a cada passo da sua atividade, na mesma medida de essencialidade em que as plantas usam a água e são elas próprias parte do mesmo ciclo. Chamou-se a esta unidade curricular Hidrologia Agrícola, para a situar no plano da formação agronómica indispensável.

De facto, é indispensável a qualquer agrónomo perceber bem o papel da água nas funções fisiológicas das plantas, percebendo o papel das plantas no ciclo hidrológico. Só percebendo, com profundidade científica, os fenómenos e o seu enquadramento natural, as suas causas e os seus efeitos, será o técnico capaz de fazer as escolhas fundamentais, de decidir as opções convenientes de gestão dos recursos e fatores de produção, das atividades a desenvolver e das oportunidades para as promover, contribuindo assim para a sustentabilidade – ambiental e económica - da atividade agrícola.

Em boa hora, pois, foi esta disciplina inserida no novo curso de Agronomia da Universidade de Évora, na reformulação curricular decorrente da implementação do processo de Bolonha. Terão pois os responsáveis pela referida reformulação curricular entendido bem – pelo menos no caso da presente disciplina – a necessidade de o conhecimento tecnológico ser cientificamente fundamentado, não se promovendo a aplicação empírica de soluções tabeladas ou padronizadas para os problemas agronómicos. De facto, tendo o processo de Bolonha reduzido a 3 anos o ciclo inicial de formação superior, em quase todos os domínios da formação, tecnológica ou não, é grande a tentação de considerar, para essa formação mais curta, os mesmos objetivos curriculares das antigas formações longas, de cinco ou seis anos. É um erro grosseiro, que a Universidade não pode cometer. Por outro lado, não competem à

Universidade, em cursos de 1º ciclo, formações aplicativas de natureza politécnica, em que os temas e os problemas são conhecidos de forma essencialmente parcial e as soluções que se lhes apontam, de caráter aplicativo imediato, se fundamentarão mais num conhecimento empírico que num enquadramento científico. Por mais aliciante e útil que seja (como se reconhece que é) esta formação politécnica, ela é da responsabilidade do ensino politécnico. À Universidade cabe um papel e uma responsabilidade substancialmente diferentes: proporcionar aos seus alunos as competências para, compreendendo os problemas no seu enquadramento global, fundamentando-os cientificamente, lhes procurar soluções otimizadas e inovadoras, num processo que engloba não só o projeto dos sistemas de produção, mas também a promoção de decisões e soluções de desenvolvimento. Para cumprir este seu papel essencial, a Universidade deve proporcionar aos seus alunos, desde o 1º ciclo, hábitos de rigor conceptual e percetivo, de pensamento cientificamente estruturado e informado, que conferem a competência para o desenvolvimento de soluções sustentáveis para os problemas tecnológicos.

É neste caminho que a disciplina de Hidrologia Agrícola se estruturou. O presente texto, em 9 capítulos elaborados pelos professores que os têm lecionado, é uma concretização evidente dos objetivos definidos para esta unidade curricular. Ele facilitará ao estudante a aquisição de conhecimentos e competências que são bases para a gestão da água na Agricultura, facilitando também a ligação a outras disciplinas, em especial a de Recursos Hídricos e Regadio, que é sequente no plano de estudos do curso, mas também às optativas Sistemas e Equipamentos de Rega e Drenagem e Conservação do Solo e da Água - que de alguma forma continuam, aplicam e complementam a Hidrologia Agrícola. Deve no entanto sublinhar-se aqui que o interesse desta unidade curricular transcende a formação imediata de 1º ciclo, em que se insere, para conferir conhecimentos científicos e competências para a atividade agronómica mais vasta.

Este programa abrange o conhecimento geral do ciclo da água, incluindo o balanço hídrico do solo, e a caracterização da bacia hidrográfica, unidade geomorfológica da gestão dos recursos hídricos. Por se tratar de um programa da Hidrologia Agrícola, dá-se grande relevo a aspetos do clima, aos fatores da sua formação e à sua classificação, salientando-se a dependência que a agricultura tem em relação ao clima e, no sentido contrário, os impactos que as atividades humanas, nomeadamente as agrícolas, têm sobre o clima. Estudam-se depois, individualmente, os componentes hidrológicos fundamentais - a precipitação, o escoamento

superficial e subterrâneo, a evaporação e a evapotranspiração - elementos para a quantificação numérica dos recursos hídricos e a avaliação da sua disponibilidade, nomeadamente para a Agricultura. Complementarmente, estudam-se ainda dois componentes hidroagrícolas extremamente relevantes, por se tratar de uma disciplina do curso de Agronomia: são as relações solo - água - planta e a gestão da água no regadio.

Trata-se de um excelente programa, bem adequado à natureza do tema e ao objetivo agronómico do seu estudo. O presente livro, com o desenvolvimento que dá ao programa, constituirá por certo uma ferramenta preciosa no apoio ao trabalho dos estudantes. Deve contudo notar-se que o tratamento dado ao tema da Hidrologia Agrícola ao longo dos diferentes capítulos, equilibrando sabiamente o aprofundamento científico de cada um dos temas específicos com a apresentação sóbria e a exposição clara e com a orientação para a compreensão efetiva dos problemas hidroagrícolas e agronómicos, confere a este livro interesse muito grande para estudantes de outras disciplinas afins ao estudo dos recursos hídricos e para técnicos e profissionais interessados na vastíssima problemática da Hidrologia e dos Recursos Hídricos.

Universidade de Évora, Novembro de 2012.

Ricardo Paulo Serralheiro

Professor Catedrático

Índice

Capítulo 1 Ciclo Hidrológico

1. Conceitos gerais	1
2. Equação clássica da hidrologia	2
3. Distribuição da água na Terra	3
4. Referências Bibliográficas	4

Capítulo 2 Bacia hidrográfica

1. Conceitos gerais	5
2. Delimitação de uma bacia hidrográfica	7
3. Caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica	7
3.1 Características geométricas	8
3.1.1. Área de drenagem	8
3.1.2. Forma da bacia	8
Coeficiente de compacidade	9
Fator de forma	9
3.2 Características do sistema de drenagem	10
3.2.1. Constância do escoamento	10
3.2.2. Classificação dos cursos de água	11
Classificação decimal	11
Classificação Horton-Strahler	12
3.2.3. Densidade de drenagem	13
3.3 Características do relevo	13
3.3.1. Altitude média	14
3.3.2. Altura média	14

3.3.3. Curva hipsométrica	14
3.3.4. Retângulo equivalente	16
3.3.5. Índice de declive da bacia	17
3.3.6. Perfil longitudinal do curso de água	18
3.3.7. Declive médio do curso de água	18
3.4. Tempo de concentração	18
3.5. Geologia, solos e coberto vegetal	19
4. Exemplo de aplicação	20
5. Referências Bibliográficas	21

Capítulo 3

Clima e estado do tempo. Fatores e elementos do clima.

Classificação do clima

1. Sistema climático, clima e estado do tempo	23
2. Cartas Sinópticas e normais Climatológicas	24
3. Variabilidade do tempo e do clima	25
4. Fatores do clima	27
4.1. Fatores externos ao sistema climático	28
4.1.1. Variação orbital da Terra	28
4.1.2. Atividade solar	30
4.1.3. Impacto de meteoritos	31
4.1.4. Deriva dos continentes e a tectónica de placas	31
4.1.5. Atividade vulcânica	32
4.2. Fatores internos ao sistema climático	32
4.2.1. Albedo	33
4.2.2. Composição atmosférica e variação da concentração dos seus componentes	34
4.2.3. Intercâmbio de energia entre massas de água e atmosfera	36
4.2.4. Circulação da atmosfera/massas de ar	37
4.2.5. Correntes marítimas	39
4.2.6. Continentalidade / Maritimidade	40
4.2.7. Fisiografia	41
4.2.8. Vegetação	41
4.2.9. Impactes antropogénicos	42
5. Elementos Climáticos	46
5.1. Generalidades	46
5.2. Radiação solar global e radiação líquida	46

5.3. Insolação e Nebulosidade	48
5.4. Temperatura do ar	49
5.5. Precipitação	50
5.6. Humidade do Ar	51
5.7. Evaporação e evapotranspiração	54
5.8. Pressão atmosférica	55
5.9. Vento	57
6. Classificações climáticas	58
6.1. Tipos de Classificações	58
6.2. Classificação Climática de Köppen	60
6.3. Classificação Racional dos Climas de Thornthwaite	66
7. Exercícios	69
8. Referências Bibliográficas	71
ANEXOS	74
LISTA DE SIMBOLOS	78

Capítulo 4 Precipitação

1. Generalidades	81
2. Classificação das precipitações	83
2.1 Precipitações convectivas	83
2.2 Precipitação orográficas	83
2.3 Precipitações ciclónicas ou frontais	84
3. Medição da precipitação	85
3.1 Aparelhos de medição da precipitação	86
3.2 Rede udométrica	89
3.3 Precipitação em área	91
4. Distribuição espaço-temporal da precipitação	93
4.1 Estruturas espaço-temporais da precipitação	94
4.2 Tendência da variação espacial	95
4.3 Postos udométricos virtuais.	97
5. Preenchimento de falhas nos registos	98
5.1 Média aritmética	99
5.2 Rácio médio (U.S. Weather Bureau)	99
5.3 Inverso da distância	99
5.4 Correlação	99

6. Análise da qualidade dos dados	100
6.1 Verificação da consistência	100
6.2 Verificação da homogeneidade	103
7. Distribuição temporal da precipitação	105
7.1 Análise de séries de precipitação anual	105
7.2 Análise das séries de precipitação mensal	106
8. Precipitações intensas	108
8.1 Introdução	108
8.2 Curvas de possibilidade udométrica	110
8.3 Relação entre a precipitação, duração e a área	111
8.4 Hietograma de projeto	112
9. Referências Bibliográficas	118

Capítulo 5

Escoamento Superficial

1. Conceitos gerais	119
2. Processo de escoamento	120
3. Componentes do escoamento	122
4. Fatores do escoamento	123
4. 1. Fatores climáticos	123
Fatores relativos à precipitação	123
Fatores condicionantes da evapotranspiração	123
4. 2. Fatores fisiográficos	124
5. Medição do escoamento de superfície	124
5.1. Método da secção - velocidade	125
5.2. Método estrutural	128
6. Curva de Vazão	128
7. Registo dos níveis hidrométricos	130
7.1. Estabelecimento de uma rede hidrométrica	130
7.2. Estimção do escoamento na ausência de medições hidrométricas	131
8. Exemplos de aplicação	132
9. Referências Bibliográficas	132

Capítulo 6

Águas Subterrâneas e Agricultura

1. Introdução	133
2. Caracterização dos aquíferos	136
3. Características hidráulicas dos recursos hídricos subterrâneos	138
4. Uso da água subterrânea na agricultura	141
5. Qualidade da água subterrânea para rega	144
6. Contaminação de águas subterrâneas por atividades agrícolas	146
6.1 Comportamento hidroquímico do azoto (N)	147
7. Conclusões	150
8. Exercícios	151
9. Referências Bibliográficas	151

Capítulo 7

Relações Solo-Água-Planta

1. Introdução	153
2. Água, solo e planta	153
2.1 Molécula e propriedades da água	154
2.2 Arquitetura do solo	155
2.2.1 Textura	158
2.2.2 Estrutura	161
2.2.3 Massa volúmica real, aparente e porosidade do solo	163
2.3 Arquitetura da planta	167
3. Indicadores de teor de água	171
3.1 Teor de água no solo	172
3.1.1 Humidade gravimétrica	173
3.1.2 Humidade volumétrica	174
3.1.3 Grau de saturação	174
3.1.4 Perfil hídrico e volume de água armazenado no perfil do solo	175
3.2 Teor de água na planta	176
3.2.1 Percentagem de água	177
3.2.2 Conteúdo hídrico relativo	177
4. Indicadores do estado energético da água	177

4.1	Potencial energético da água no solo	178
4.1.1	Potencial e carga hidráulica	178
4.1.2.	Potencial e carga hidráulica em meio poroso saturado	180
4.1.3	Potencial e carga hidráulica em meio poroso não saturado	180
4.1.3.1	Relações entre teores de humidade e potencial de água no solo	181
4.1.3.2	Valores especiais de humidade e de potencial	183
4.2	Potencial energético da água na planta	183
4.2.1	Potencial Osmótico	185
4.2.2	Potencial de Pressão	186
4.2.3	O Potencial Hídrico	186
5.	Fluxos e transporte de água	190
5.1	Conceitos	190
5.2	Fluxos por difusão – Processos de absorção e transpiração	191
5.3	Fluxos de massa	196
5.3.1	Movimento de água em solo saturado	196
5.3.2	Movimento de água em solo não saturado	197
5.3.3	Movimento de água no xilema e no floema	199
6.	Referências Bibliográficas	203

Capítulo 8

Evaporação e evapotranspiração

1.	Definições	205
2.	Fatores intervenientes	207
2.1	Fatores climáticos	207
2.2	Fatores físicos	208
2.3	Fatores da vegetação	208
2.4	Fatores do solo	209
3.	Medição da evaporação e da evapotranspiração	209
3.1	Evaporímetros de tina ou de tanque	209
3.2	Atmómetros	211
4.	Cálculo da evaporação por meio de balanço hidrológico	213
5.	Medição da evapotranspiração	213
6.	Fórmulas empíricas para determinação da evapotranspiração	214
6.1	Fórmula de Thornthwaite	214
6.2	Fórmula de Turc	216
6.3	Método de Penman Modificado	217

6.4 Método de Penman-Monteith	220
7. Evapotranspiração cultural	222
8. Evapotranspiração real	222
9. Referências Bibliográficas	223

Capítulo 9

Gestão da água no Regadio

1. Introdução	225
2. Gestão com base na evapotranspiração	226
2.1. Recolha de informação para gestão com base na evapotranspiração	228
2.2. Cálculo do Kc com base em índices de vegetação	229
3. Gestão com base no teor de água no solo	230
3.1. Gestão baseada no balanço hídrico do solo	230
3.2. Gestão baseada na medição direta de água no solo	234
3.3. Gestão baseada na medição indireta de água no solo	234
Bolbo de porcelana e tensiómetros	235
Condutividade elétrica: Watermark	236
Sondas TDR e Capacitivas	236
4. Gestão com base no estado hídrico da planta	237
Tensão da água na planta, ψ_w	237
Temperatura folhar	238
5. Exercícios	241
6. Referências Bibliográficas	243
ANEXOS	243

Capítulo 1

Ciclo Hidrológico

Rita Cabral Guimarães

ICAAM - Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas,
Escola de Ciência e Tecnologia
Universidade de Évora

1. Conceitos gerais

Hidrologia é a ciência que estuda as águas da Terra, a sua ocorrência, circulação e distribuição, as suas propriedades físicas e químicas e as suas interações com o meio, incluindo a relação com os seres vivos (US Federal Council for science and Technology, Committee for Scientific Hydrology, 1962, in Chow *et. al*, 1988). Assim, a hidrologia abrange o estudo da água dos continentes, atmosfera e oceanos, no entanto, é usual a hidrologia referir-se apenas ao estudo do ramo terrestre, deixando para a meteorologia o estudo do ramo aéreo e para a oceanografia o estudo do ramo oceânico.

O objeto de estudo da hidrologia é o ciclo hidrológico que pode ser definido como uma sequência fechada de fenómenos naturais pelos quais a água passa da atmosfera ao globo terrestre, na fase líquida ou sólida, e volta novamente a ela, na fase de vapor (Figura 1.1). A energia necessária para que o ciclo hidrológico se mantenha provém da energia solar.

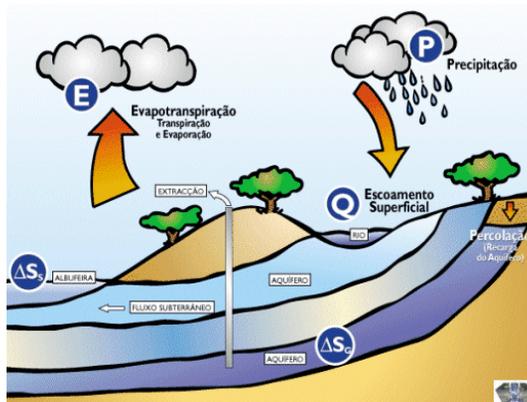


Figura 1.1. Ciclo hidrológico (INAG, SNIRH).