

RECURSOS HIDRICOS E IRRIGACAO)

SUMÁRIO

IRRIGACAO	3
HISTÓRICO E DESENVOLVIMENTO	3
A IRRIGAÇÃO NO BRASIL E NO MUNDO	6
A IRRIGAÇÃO E O MEIO AMBIENTE	13
CONTAMINAÇÃO DOS MANANCIAIS HÍDRICOS.....	14
COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO	16
TIPOS DE SISTEMAS	17
CRITÉRIOS PARA A SELEÇÃO DO MÉTODO.....	18
VANTAGENS DA IRRIGAÇÃO	18
ESTUDOS CLIMÁTICOS.....	19
EVAPOTRANSPIRAÇÃO	19
CONCEITOS FUNDAMENTAIS	21
FATORES INTERVENIENTES NO PROCESSO DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO	21
EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL DAS CULTURAS E A DE REFERÊNCIA.....	22
QUANTIFICAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO	25
ESTUDOS PEDOLÓGICOS	50
A ÁGUA NO SOLO	50
TEXTURA DO SOLO.....	50
ESTRUTURA DO SOLO.....	52
PRÁTICAS AGRÍCOLAS QUE ALTERAM A ESTRUTURA DO SOLO	52
RELAÇÕES DE MASSA E VOLUME DOS CONSTITUINTES DO SOLO.....	52
RETENÇÃO DE ÁGUA PELO SOLO.....	56
INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO	64
RESOLUÇÃO DA EQUAÇÃO DE INFILTRAÇÃO UTILIZANDO O MÉTODO NUMÉRICO DE NEWTON-RAPHSON	72
SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO.....	72
FATORES QUE INFLUENCIAM NA ESCOLHA DO MÉTODO DE IRRIGAÇÃO	77
IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO	78
IRRIGAÇÃO POR PIVÔ CENTRAL	5
IRRIGAÇÃO POR AUTOPROPELIDO	9
IRRIGAÇÃO POR SULCOS DE INFILTRAÇÃO	14
ÁGUA COMO ELEMENTO NATURAL	31
DEGRADAÇÃO DAS ÁGUAS.....	32
HIDROGRAFIA DO BRASIL	35

EVOLUÇÃO CRONOLÓGICA DA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL	40
DOMÍNIO DAS ÁGUAS BRASILEIRAS	47
COMPETÊNCIA LEGISLATIVA E MATERIAL SOBRE RECURSOS HÍDRICOS	49
A BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE PLANEJAMENTO	57
REFERENCIAS	60

IRRIGACAO

A técnica da irrigação pode ser definida como sendo a aplicação artificial de água ao solo, em quantidades adequadas, visando proporcionar a umidade adequada ao desenvolvimento normal das plantas nele cultivadas, a fim de suprir a falta ou a má distribuição das chuvas.

Dessa forma, o objetivo que se pretende com a irrigação é satisfazer as necessidades hídricas das culturas, aplicando a água uniformemente e de forma eficiente, ou seja, que a maior quantidade de água aplicada seja armazenada na zona radicular à disposição da cultura. Este objetivo deve ser alcançado sem alterar a fertilidade do solo e com mínima interferência sobre os demais fatores necessários à produção cultural.

Os fatores necessários para prover as culturas de água necessária para máxima produtividade, são principalmente: energia, água, mão-de-obra e as estruturas de transporte da água, devendo existir uma completa inter-relação entre eles de tal forma que se um deles não se encontrar bem ajustado, o conjunto ficará comprometido, prejudicando o objetivo a ser alcançado que é a máxima produtividade.

HISTÓRICO E DESENVOLVIMENTO

Na literatura, nota-se que a irrigação foi uma das primeiras modificações no ambiente realizadas pelo homem primitivo. As primeiras tentativas de irrigação foram bastante rudimentares, mas a importância do manejo da água tornou-se evidente na agricultura moderna. Tribos nômades puderam estabelecer-se em determinadas regiões, irrigando terras férteis e, assim, assegurando produtividade suficiente para a sua subsistência.

Dados históricos das sociedades antigas mostram a sua dependência da agricultura irrigada, onde grandes civilizações desenvolveram-se nas proximidades de grandes rios como o rio Nilo, no Egito, por volta de 6000 A.C, rio Tigre e Eufrates, na Mesopotâmia, por volta de 4000 a.C., e Rio Amarelo, na China, por volta de 3000 a.C. Na Índia, há indícios da prática da irrigação em 2500 a.C. Nas civilizações antigas, a irrigação era praticada fazendo-se represamentos de água cercados por diques. Com o avanço da tecnologia e divulgação das mesmas, a irrigação espalhou-se por várias partes do mundo.

Todos os anos, as águas do Nilo, engrossadas pelas chuvas que caem em setembro/outubro nas cabeceiras, cobriam as margens e se espalhavam pelo Egito. Quando baixavam, deixavam uma camada de húmus extremamente fértil, onde os camponeses plantavam trigo e seus animais pastejavam. Havia, entretanto, um grave inconveniente: se a cheia era muito alta, causava devastação; se fosse fraca, restavam menos terras férteis para semear e os alimentos escasseavam - eram os anos de vacas magras. Tornava-se vital controlar essas cheias. Sob o comando do faraó Ramsés III, os egípcios construíram diques que prensaram o rio em um vale estreito, elevando suas águas e represando-as em grandes reservatórios, de onde desciam aos campos através de canais e comportas, na quantidade desejada. O homem começava a dominar a ciência da irrigação e se dava conta de sua importância para o progresso. Experiências semelhantes ocorriam em outras partes do mundo de então. A maioria das grandes civilizações surgia e se desenvolvia nas bacias dos grandes rios.

Na Índia, os métodos de irrigação nos vales dos rios Indo e Ganges são conhecidos e praticados desde os tempos memoriais. Na China, sua imensa população sempre teve que realizar muitos esforços para cultivar arroz. Com muito engenho, o camponês chinês elevava a água, por processo manual, até os terraços que construíam nas escarpas das montanhas e, de lá, distribuía-na cuidadosamente, quadra por quadra, com total aproveitamento do líquido e do solo.

A irrigação no México e América do Sul foi desenvolvida pelas civilizações Maias e Incas há mais de 2000 anos. A técnica da irrigação continua a ser utilizada nessas terras, em algumas com sistemas de condução e distribuição de água bem antigos. No Irã, Ganats, túneis com 3000 anos conduzem água das montanhas para as planícies. Barragens de terra construídas para irrigar arroz no Japão, bem como tanques de irrigação em Sri Lanka, datam 2000 anos e se encontram em pleno uso.

Nos EUA, a irrigação já era praticada pelos índios da região sudoeste a 100 A.C. Exploradores espanhóis encontraram evidências de canais de irrigação e derivações ao longo de vários pontos dos rios. Os espanhóis também introduziram aos índios novos métodos de irrigação e novas culturas irrigadas, tais como frutíferas, vegetais, oliveira, trigo e cevada. Como em outras áreas do mundo a irrigação permitiu que índios se estabelecessem e desfrutassem de fonte mais segura de alimentos.

Os pioneiros na região oeste dos EUA não foram diferentes do que os povos das civilizações antigas. Os agricultores desenvolveram técnicas de irrigação que

eram empregadas através de cooperativas. O desenvolvimento da agricultura irrigada no oeste americano teve apoio do governo através dos atos: Desert Land Act em 1877 e do Carey Act em 1894. Nas regiões sudoeste da Califórnia e Utah, a irrigação não expandiu rapidamente até o ato Reclamation Act, em 1902. O desenvolvimento da irrigação deveu-se ao apoio do governo, fornecendo crédito, e técnicos especializados para a construção da infraestrutura de distribuição e armazenamento de água para irrigação. Depois da Segunda Guerra Mundial, a agricultura irrigada expandiu rapidamente na região Central das Grandes Planícies e na região Sudoeste. Nos últimos anos, a expansão das áreas irrigadas tem diminuído bastante em função dos baixos preços em commodities, da alta dos custos de energia e da menor disponibilidade dos recursos hídricos.

O Japão, a Indonésia e outros países do Oriente adotaram sistemas parecidos. Aqui na América do Sul, os Maias, Incas e Astecas deixaram vestígios de suas obras de irrigação onde hoje se localizam o México, Peru, norte do Chile e Argentina. Na Espanha e na Itália ainda sobrevivem redes de canais e aquedutos dos tempos dos dominadores árabes e romanos.

Israel e Estados Unidos constituem exemplos a parte. Sem a irrigação, a agricultura seria impossível em Israel, com seu solo pedregoso, ausência severa de chuvas e um único rio perene, o Jordão. Aproveitando de forma extremamente racional o pequeno Jordão, construindo imenso aqueduto do lago Tiberíades até o deserto de Neguev, extraíndo água dos mananciais subterrâneos e aplicando modernos processos científicos no uso econômico da água, a nação israelense consegue não só abastecer-se como exportar cereais, frutas e laticínios. Já os Estados Unidos dispensam comentários na condição de maior produtor mundial de alimentos, e devem muito de sua prosperidade aos gigantescos e numerosos projetos de irrigação que implantaram em vários pontos de seu território.

O desenvolvimento de várias civilizações antigas pode ser traçado através do sucesso da irrigação. A irrigação antiga teve como consequência dois grandes impactos: suprimento de alimento e aumento de população. Através da irrigação foi possível estabelecer uma fonte mais estável de alimentos, fibras e suportar populações mais densas. O insucesso de civilizações pode ser notado através de aspectos físicos e sociais ligados ao desenvolvimento da irrigação. Entre os aspectos físicos podemos citar a inabilidade em lidar com inundações e salinidade. Em outra instância, a falta de cooperação entre povos que desenvolviam e operavam sistemas

de irrigação. Problemas semelhantes ainda acontecem nos dias de hoje em áreas com agricultura irrigada em expansão.

O planeta conta atualmente com cerca de 220 milhões de hectares de terras irrigadas. Ainda é pouco; representam menos de 5% das áreas disponíveis para a agricultura. No entanto, alimentam mais da metade da população que vive sobre a Terra. Esta desproporção é uma prova das vantagens da cultura irrigada sobre a lavoura de sequeiro.

O Brasil é um país iniciante e tem dois desafios: o do Nordeste, onde há clima seco, problemas de salinidade da água e poucos rios perenes, como o São Francisco, e o do restante do país, com suas más distribuições pluviométricas e outros fatores.

A IRRIGAÇÃO NO BRASIL E NO MUNDO

A irrigação no Brasil depende de fatores climáticos. No semiárido do Nordeste, é uma técnica absolutamente necessária para a realização de uma agricultura racional, pois os níveis de chuva são insuficientes para suprir a demanda hídrica das culturas. Nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, pode ser considerada como técnica complementar de compensação da irregularidade das chuvas. A irrigação supre as irregularidades pluviométricas, chegando a possibilitar até três safras anuais. É o caso do município de Guaíra (SP), onde operam mais de uma centena de equipamentos do tipo pivô central. Na Amazônia, o fenômeno é inverso, pois há excesso de chuvas; neste caso, deve-se retirar água do solo, através de drenagem. É o que ocorre na Fazenda São Raimundo (Pará), parte do projeto Jari.

Na safra de 1987/1988, a agricultura irrigada foi responsável por 16% da produção brasileira de grãos. Ela abastece todo o mercado de verduras e legumes dos grandes centros populacionais, colabora ativamente no fornecimento de frutas para o mercado interno e para a exportação. O mesmo ocorre com a produção de flores. Também é significativa sua participação na produção de sucos cítricos para exportação, pois eleva a produtividade média de duas para seis e até dez caixas de laranja por pé. Esta produtividade foi alcançada na Fazenda 7 Lagoas, em Mogi Guaçu (SP), com o uso de equipamento autopropelido, e na região de Bebedouro (SP), com irrigação localizada. A iniciativa privada é responsável por 94% dessa irrigação, e os 6% restantes são projetos públicos.

A distribuição da irrigação no Brasil pode ser dividida em três grupos:

- Irrigação "obrigatória" no Nordeste;
- Irrigação "facilitada" no Rio Grande do Sul;
- Irrigação "profissional" nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e parte da região Sul.

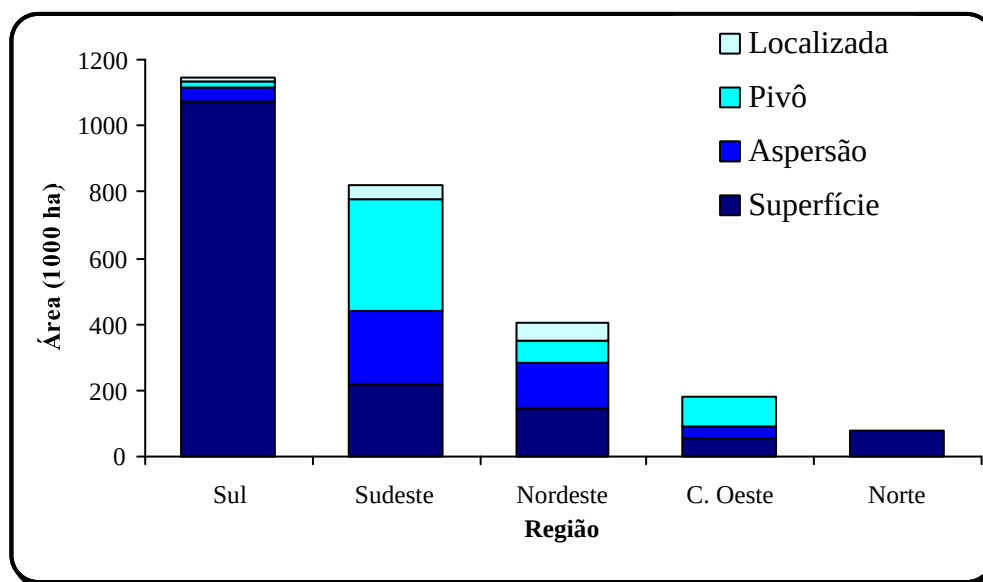


Figura - Métodos de irrigação por região no Brasil.

No Rio Grande do Sul, vastas extensões de áreas planas e uma boa disponibilidade de água facilitaram a implantação de grandes tabuleiros que produzem arroz irrigado. O projeto Camaquã é um exemplo a ser lembrado. O método predominante é a inundação, com baixo nível tecnológico. Abrange mais de 40% de área irrigada no país, apresentando interessantes exemplos de canais de distribuição de água explorados por particulares.

A irrigação "profissional" deve ser entendida como aquela em que o agricultor investe na tecnologia de irrigação, buscando garantir, aumentar ou melhorar sua produção. É praticada principalmente nos Estados de São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Paraná e Santa Catarina. Adotam-se, em geral, duas safras anuais em culturas de maior retorno econômico, como feijão, frutas, produção de sementes selecionadas, tomate e flores. Predomina o método da aspersão, com uma tendência para a utilização de equipamentos do tipo pivô central, que são automatizados e cobrem grandes áreas (em média 50 a 60, chegando a mais de 120 hectares por um único equipamento). Tal irrigação desenvolveu-se a partir de 1980, impulsionada por

programas de incentivo e pela implantação da indústria nacional de equipamentos. Disponibilidade restrita de recursos hídricos e de energia elétrica no meio rural são empecilhos para a sua maior expansão. A região dos cerrados do Brasil Central é considerada de grande potencial para a adoção da agricultura irrigada, podendo transformar-se em enorme celeiro de produção de grãos.

A partir de 1995, houve um crescimento significativo da irrigação no país, com a implementação de projetos particulares e a diversificação dos métodos de irrigação. Em 1996, na implantação de projetos privados, foram incluídos aproximadamente 10 mil hectares em 3.100 operações de investimentos, envolvendo, aproximadamente, US\$ 23,2 milhões (média de US\$ 7.480 por ha), com a seguinte participação regional:

- Norte: 2,4%;
- Nordeste: 26,4%;
- Centro-oeste: 34,1%;
- Sudeste: 25,6%; e
- Sul 11,5%.

A história da irrigação no Nordeste está vinculada à luta contra a falta de água no polígono das secas. Desde o Segundo Império, é constante a promessa de irrigar a região com a política de construção de açudes e resultados práticos muito localizados. Condições adversas de clima, solos em geral inadequados, falta de infraestrutura, sérios problemas na estrutura fundiária, práticas agrícolas de baixo nível tecnológico e questões políticas são alguns problemas existentes. A implantação de um perímetro irrigado envolve custos muito elevados, de 6 mil a 20 mil dólares por hectare. Os projetos particulares consomem entre 600 a 3.500 dólares. O perímetro deve ser suprido com rede de energia elétrica, escolas, hospitais, estradas, habitações, treinamento etc.

Alguns projetos públicos foram instalados sob o enfoque de uma "solução social". Existem também problemas de salinização do solo devido ao manejo inadequado da irrigação e falta de drenagem. Chapman (1975) estimou em mais de 25 mil hectares de área total salinizada nessa região do Brasil. Sob esse aspecto, devem ser considerados os projetos Morada Nova e Curu-Paraipava, ambos no Ceará, dentre outros. A iniciativa privada soube ser mais eficiente, tirando proveito da infraestrutura, bem como dos resultados positivos das próprias iniciativas governamentais, e vem obtendo sucesso com a irrigação, principalmente nos Estados

do Ceará, Rio Grande do Norte, Bahia e Pernambuco. Pode ser destacado o projeto do Grupo Maisa (Mossoró Agroindustrial S.A.), em Mossoró (RN), que abastece praticamente todo o país com melão produzido sob irrigação localizada e com uso de água subterrânea.

No Vale do São Francisco, região favorecida pela insolação e pela disponibilidade de água, floresce auspiciosamente, no pólo Petrolina-Juazeiro, a agricultura irrigada (merecem destaque os projetos Tourão, Nilo Coelho e do grupo Milano). Baseada na infraestrutura governamental e ligada à iniciativa privada, essa agricultura irrigada abastece uma agroindústria recém implantada e fornece frutas para o mercado interno e para exportação. Em termos de extensão, toda a região nordestina contribui com menos de 300.000 ha do total irrigado no país.

De acordo com dados da FAO (Food and Agriculture Organization), a China possui a maior área irrigada do planeta, sendo esta superior a 52 milhões de hectares. O Brasil ocupa a 17ª posição, com mais de 2,6 milhões de hectares irrigados. A maioria da área irrigada no mundo teve seu desenvolvimento recentemente. Em 1961 era cerca de 137 milhões de hectares, que se expandiu a uma taxa de 2% ao ano. Atualmente esta expansão caiu para uma taxa de 1% ao ano.

A área irrigada nos EUA era de aproximadamente 7,5 milhões de hectares em 1945. Nesta época essas áreas eram distribuídas na região sudoeste (2,3 milhões de ha), nos estados montanhosos (2,5 milhões de ha) e a região noroeste (1,4 milhões de ha). A seca da década de 1950 estimulou a irrigação nas Grandes Planícies (Nebraska, Iowa, Oklahoma, Kansas, etc) com água subterrânea bombeada do vasto aquífero Ogallala. Com o surgimento do sistema de irrigação por aspersão por Pivô Central e a água subterrânea prontamente disponível, a irrigação expandiu rapidamente nas décadas de 60 e 70. A área irrigada expandiu na região úmida do Sudeste também nas décadas de 60 e 70. O total de área irrigada essencialmente se estabilizou na década de 80, em função do baixo preço de commodities, do alto preço da energia e do escasseamento dos recursos hídricos. Em 1987, a área irrigada nos EUA era estimada em 19 milhões de ha.

Tabela - Relação dos vinte primeiros países com maiores áreas irrigadas no mundo

País	Área (1000 ha)	País	Área (1000 ha)	País	Área (1000 ha)
------	----------------	------	----------------	------	----------------

China	52.800	Uzbequistão	4.281	Itália	2.698
Estados Unidos	21.400	Turquia	4.200	Japão	2.679
Irã	7.562	Bangladesh	3.844	Brasil (17°)	2.656
México	6.500	Espanha	3.640	Ucrânia	2.454
Indonésia	4.815	Iraque	3.525	Austrália	2.400
Tailândia	4.749	Egito	3.300	Afeganistão	2.386
Federação Russa	4.663	Romênia	2.880	Mundo	271.432

Fonte: FAO, 2000. Dados referentes ao ano de 1998.

BRASIL: Área cultivada / Área Irrigada

4%

Produção

16%

Divisas

25%

ÁREA IRRIGADA E MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO UTILIZADOS NAS DIFERENTES REGIÕES DO BRASIL

A irrigação no Brasil apresenta características diferentes no Nordeste e no Sul. Ainda que tenham surgido nas duas regiões simultaneamente, no início do século, a irrigação desenvolveu-se com características bem diferenciadas. Enquanto no Nordeste as iniciativas nasceram do poder público, no Sul a iniciativa foi predominantemente particular. Com os dados recebidos de órgãos estaduais, em 1996, a Secretaria de Recursos Hídricos do MMA (SRH/MMA) contabilizou cerca de 2,63 milhões de hectares irrigados no Brasil. A região Sul se destacou como a mais irrigada, com cerca de 1,15 milhões de hectares, seguida da região Sudeste, com mais de 800 mil hectares. A região Nordeste vem a seguir, com mais de 400 mil, depois a Centro-Oeste, com aproximadamente 200 mil hectares e, finalmente, a região Norte, com 80 mil hectares irrigados, como ser observado na Tabela e Figura.

Apesar do esforço da SRH/MMA em obter informações recentes sobre a irrigação no Brasil, estima-se em, aproximadamente, 3 milhões de hectares a extensão da área irrigada no Brasil. Entretanto, isto representa apenas 4% da área cultivada, percentagem considerada muito baixa, frente aos valores médios de 15% fornecidos pela FAO.

A história da irrigação praticamente se confunde com a história da humanidade. Já foi possível comprovar, por exemplo, que há 4.500 a.C., essa prática agrícola foi

usada no continente asiático e mais tarde, por volta de 2000 a.C., também pelos chineses e depois indianos (1000 a.C.).

Na África, às margens do histórico rio Nilo, os Egípcios foram seus precursores. Na Europa, foram os espanhóis, gregos e italianos, e na América, os Incas (Peru), e os Astecas (México).

No Brasil credita-se aos padres jesuítas, na antiga fazenda Santa Cruz, no estado do Rio de Janeiro, por volta de 1589, a primazia de terem sido os pioneiros na implantação de sistemas de irrigação para fins agrícolas.

Os anos se passaram e a irrigação, de prática rudimentar, se estruturou em bases técnico-científicas a tal ponto que, hoje, é tida como verdadeira ciência. Pesquisas realizadas pela FAO mostram que 50 % da população mundial alimenta-se de produtos agrícolas cultivados em áreas irrigadas.

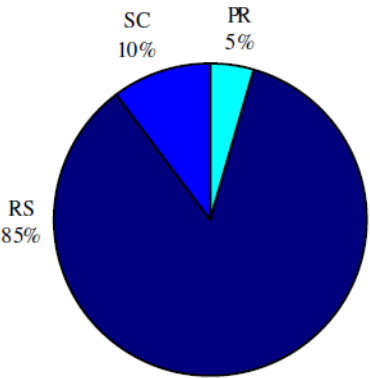
Tabela - Áreas irrigadas, plantadas e métodos de irrigação utilizados no Brasil

Estado	Região	Superf. (ha)	Aspers. (ha)	Pivô (ha)	Localiz. (ha)	Totais (ha)	Região (%)	País (%)	Área plantada (x 1000 ha)	Irrig/Plant (%)
PR		20.000	10.000	20.000	5.000	55.000	4,8	2,1	7.745,7	0,71
RS		950.000	19.000	19.000	5.000	974.000	84,9	37	7.393,1	13,17
SC		105.000	12.600		1.200	118.800	10,4	4,5	3.138,4	3,79
Região Sul		1.075.000	41.600	20.000	11.200	1.147.800		43,7	18.277,2	6,28
%Região		93,7	3,6	1,7	1					
ES		8.760	24.400	6.000	360	39.520	4,8	1,5	800	4,94
MG		96.000	68.400	80.000	15.620	260.020	31,70	9,9	4.450,5	5,84
RJ		40.000	28.000		4.000	72.000	8,8	2,7	345,2	20,86
SP		75.000	100.000	250.000	25.000	450.000	54,8	17,1	6.900	6,52
R. Sudeste		219.760	220.800	336.000	44.980	821.540		31,2	12.495,7	6,57
%Região		26,7	26,90	40,9	5,5					
AL		7.200	300			7.500	1,9	0,3	585,2	1,28
BA		42.060	41.090	38.980	18.480	140.610	35	5,3	3.800	3,7
CE		29.848	26.388	17.772	3.025	77.033	19,2	2,9	2.316	3,33
MA		22.400	10.600	2.100	4.900	40.000	10	1,5	1.874,8	2,13
PB		112	635			747	0,2	0	1.059,1	0,07
PE		29.120	40.000	8.900	6.980	85.000	21,2	3,2	1.419,8	5,99
PI		10.824	4.250	790	2.325	18.189	4,5	0,7	1.500	1,21
RN		3.090	2.734	480	8.184	14.488	3,6	0,6	632,4	2,29
SE		1.080	9.758		7.200	18.038	4,5	0,7	1.041,6	1,73
R. Nordeste		145.734	135.755	69.022	51.094	401.605		15,3	14.228,9	2,82
%Região		36,3	33,8	17,2	12,70					
DF		460	3.500	5.800	150	9.910	5,5	0,4	222,7	4,45
GO		9.000	27.500	70.000		106.500	59,1	4,1	2.662,8	4
MT		3.000	2.100	3.000		8.100	4,5	0,3	3.121,8	0,26
MS		39.000	2.900	12.500	1.200	55.600	30,9	2,1	1.738,3	3,2
R. C. Oeste		51.460	36.000	91.300	1.350	180.110		6,8	7.745,6	2,33
%Região		28,6	20	50,70	0,7					

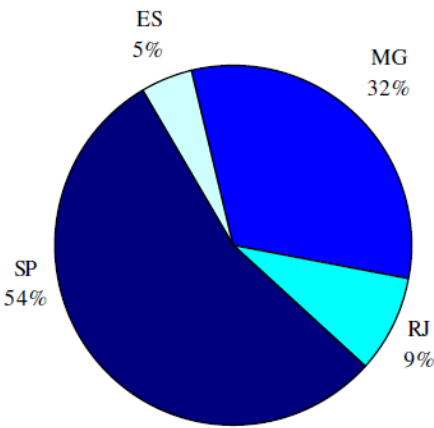
AC	600				600	0,8	0	120,4	0,5
AP	100				100	0,1	0	3,5	2,87
AM	700	500			1.200	1,5	0	75,9	1,58
PA	6.260				6.260	8	0,2	965,7	0,65
RO		100			100	0,1	0	801,4	0,01
RR	4.800	200			5.000	6,4	0,2	27,4	18,27
TO	64.150	950			65.100	83,1	2,5	220,4	29,54
R. Norte	76.610	1.750			78.360		3	2.214,6	3,54
%Região	97,8	2,2							
Brasil	1.568.564	435.905	516.322	108.624	2.629.415			54.962	4,78
% País	59,7	16,6	19,6	4,1					

Fonte: Christopidis (1997) e Telles (1999).

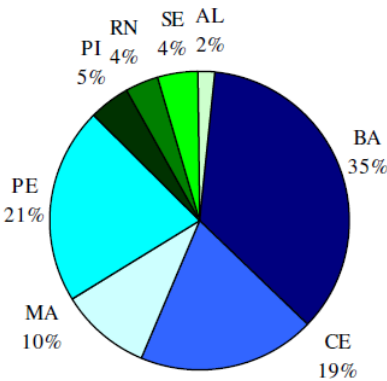
Áreas irrigadas – Região Sul



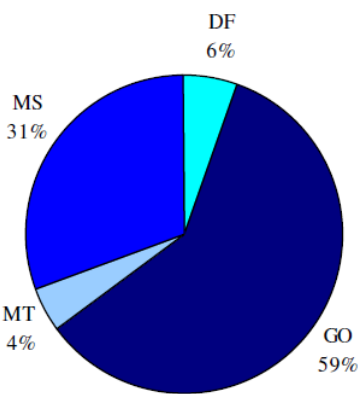
Áreas irrigadas – Região Sudeste



Áreas irrigadas – Região Nordeste
Oeste

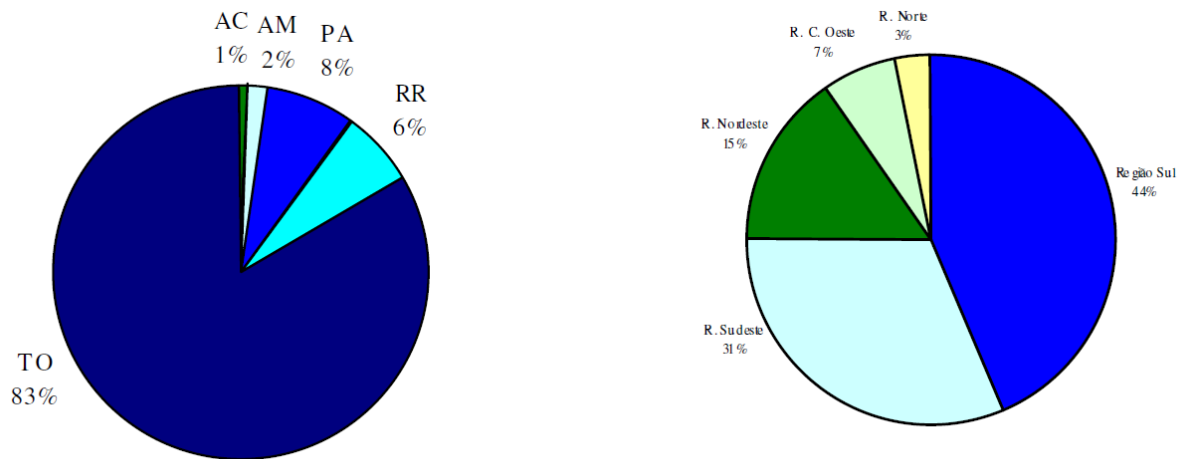


Áreas irrigadas – Região Centro



Áreas irrigadas – Região Norte

Áreas irrigadas – Brasil



Figura– Distribuição das áreas irrigadas por Estados e Regiões.

A IRRIGAÇÃO E O MEIO AMBIENTE

Os impactos positivos da atividade agrícola, como geração de empregos, oferta de alimentos, produtos essenciais à vida humana, fixação do homem no campo ou em pequenos centros, são evidentes, amplamente reconhecidos e de grande importância. Mas, de certa forma a sociedade tem sido complacente com os danos ambientais provocados pelas atividades agrícolas, em favor dos benefícios gerados pelo setor. No entanto, é irracional e injustificável que, para produzirmos o alimento de hoje, comprometamos os recursos naturais de amanhã.

O impacto ambiental é definido pela resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 001/86 (CONAMA, 1992), como qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que direta ou indiretamente afetam:

- A saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- As atividades sociais e econômicas;
- A biota;
- As condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e,
- A qualidade dos recursos ambientais.

É importante ressaltar que o conceito de impacto ambiental abrange apenas os efeitos da ação humana sobre o meio ambiente, isto é não considera os efeitos oriundos de fenômenos naturais, e ainda dá ênfase principalmente aos efeitos destes impactos no homem, demonstrando uma conotação antropocêntrica dessa definição.

Existem muitas evidências no mundo de que, após os benefícios iniciais da irrigação, grandes áreas têm-se tornado impróprias à agricultura. Apesar de seus imensos benefícios, ela tem criado impactos ambientais adversos no solo, à disponibilidade e qualidade da água, à saúde pública, à fauna e flora e, em alguns casos, às condições socioeconômicas da população local.

Em geral os grandes projetos de irrigação incluem barragens, lagos, unidades de bombeamento, canais e tubulações, sistema de distribuição de água nas parcelas e sistemas de drenagem. Assim, para analisar os efeitos da irrigação sobre o meio ambiente, devem ser considerados os diversos tipos de impactos ambientais inerentes aos projetos de irrigação, ou seja, impactos ambientais nas áreas inundadas, impactos ambientais a jusante das barragens e impactos ambientais propriamente dito.

Não se pode concordar com aqueles que preconizam a paralisação do desenvolvimento de novos projetos de irrigação por causa de possíveis problemas ecológicos, mas também não se pode concordar com os que desconsideram totalmente os impactos ambientais relacionados com os novos projetos e se apoiam somente na relação custo-benefício. Ambos analisam, exclusivamente, uma única face do problema. Acredita-se que, na maioria dos casos, é possível compatibilizar desenvolvimento e proteção do meio ambiente.

O insumo água é tão importante quanto qualquer outro, mas pouco se tem feito quanto ao seu uso racional. A partir daí nos deparamos com as técnicas de manejo da irrigação. Conhecendo-se as características físico-hídricas do solo, o clima, a cultura e os princípios de funcionamento dos equipamentos de irrigação, pode-se propor um uso racional da água e, conseqüentemente, sem danos ao meio ambiente (Folegatti, 1996).

CONTAMINAÇÃO DOS MANANCIAIS HÍDRICOS

Muitas vezes, devido à necessidade de controle de sais do solo, baixa eficiência do sistema de irrigação ou mesmo à falta de um manejo criterioso da irrigação, a quantidade de água aplicada pode ser bastante superior àquela necessária. O

excesso de água aplicada que não é evapotranspiradas pelas culturas retorna aos rios e córregos, por meio do escoamento superficial e subsuperficial, ou vai para os lençóis subterrâneos, por percolação profunda, arrastando consigo sais solúveis, fertilizantes (principalmente nitratos), resíduos de defensivos e herbicidas, elementos tóxicos, sedimentos, etc. A contaminação dos recursos hídricos causa sérios problemas ao suprimento de água potável, tanto no meio rural como nos centros urbanos.

A contaminação de rios e córregos é mais rápida e acontece imediatamente após a aplicação da água de irrigação por meio dos sistemas por superfície, ou seja, nas modalidades por sulcos de infiltração, por faixas ou por inundação. No Brasil, tem-se verificado sérios problemas devido à aplicação de herbicidas na irrigação por inundação do arroz, uma vez que parte da vazão aplicada sempre circula pelos tabuleiros e retorna aos córregos. Na irrigação por sulcos, grande parte da vazão aplicada no início escoar no final dos sulcos. Essa água escoada transporta sedimentos, em virtude da erosão no início do sulco, e os diversos químicos aplicados na agricultura. No final da parcela, esta é coletada pelo dreno que a conduz aos córregos, causando contaminação.

A contaminação de rios e córregos também pode ocorrer de modo mais lento, por meio do lençol freático subsuperficial, que arrasta os elementos citados, exceto os sedimentos. Essa contaminação pode ser agravada se no perfil do solo que está sendo irrigado houver sais solúveis, pois a água que se movimentará no perfil do solo arrastará tanto os sais trazidos para a área irrigada pela água de irrigação como os sais dissolvidos no perfil do solo. Um exemplo clássico desse caso é um projeto implementado na bacia do Rio Colorado, EUA.

A contaminação da água subterrânea é mais lenta. O tempo necessário para a água percolada atingir o lençol subterrâneo aumenta com o decréscimo da permeabilidade do solo, com a profundidade do solo e com a profundidade do lençol freático. Dependendo da permeabilidade do solo, para atingir um lençol freático situado a aproximadamente 30 m de profundidade, o tempo necessário pode variar de 3 a 50 anos, o que torna o problema mais sério devido ao longo tempo para se conscientizar de que a água subterrânea está sendo poluída. Na poluição subterrânea, os sais dissolvidos, os nitratos, os pesticidas e os metais pesados são as substâncias químicas mais preocupantes.

Quanto maiores forem as perdas por percolação e por escoamento superficial na irrigação, maiores serão as chances de contaminação dos mananciais e do lençol subterrâneo. Assim, torna-se cada vez mais necessário dimensionar e manejar os sistemas de irrigação com maior eficiência, bem como evitar o uso descontrolado de químicos na irrigação por inundação, utilizando-os cautelosamente na irrigação por sulco e por faixa. Antes de implementar um projeto de irrigação, principalmente de irrigação por superfície, é de suma importância fazer um estudo geológico da região para evitar áreas com alto potencial de contaminação dos recursos hídricos, em razão da existência de grandes concentrações de sais solúveis no perfil do solo.

No Brasil, atualmente, a agricultura irrigada tem descarregado seu excedente de água diretamente no sistema hidrológico da bacia. Contudo, à medida que a área irrigada aumentar, os conflitos sobre o uso de água se agravarão, uma vez que a população está se conscientizando sobre a importância da qualidade dos mananciais.

COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

Na irrigação, existe muita perda de água devido, principalmente, à baixa eficiência dos sistemas e falta de um monitoramento da quantidade de água necessária e aplicada. Todavia, estas causas não justificam as perdas, visto que estas podem ser minimizadas pelo uso de um sistema de irrigação mais eficiente e de técnicas de manejo adequadas. Com isso, pode-se dizer que a principal causa dos desperdícios de água na agricultura é que o seu uso não é cobrado. Com a introdução da cobrança pelo uso da água é de se esperar um uso mais racional, com consequente redução no consumo.

A cobrança pela utilização dos recursos hídricos vêm sendo um dos temas mais polêmicos no que se refere à análise da viabilidade econômica da irrigação. A experiência estrangeira revelou que em muitos países, como a França, Alemanha, Inglaterra, entre outros, a cobrança pela utilização da água foi a maneira encontrada para enfrentar o desafio de melhorar as condições de aproveitamento, recuperação e conservação dos recursos hídricos.

Neste sentido, vem sendo implantado em nosso país a Política Nacional de Recursos Hídricos. A Lei nº 9433 de 8 de janeiro de 1997 instituiu a Política e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, cujos fundamentos são baseados no fato de que a água é um recurso natural limitado, dotado de valor

econômico. A racionalização dos recursos hídricos é um dos objetivos principais da Política Nacional de Recursos Hídricos.

A cobrança pelo uso da água deverá estimular o agricultor irrigante a adotar medidas para evitar perdas e desperdícios e, também, constituir receitas que possam viabilizar financiamentos para a aplicação em projetos e obras hidráulicas e de saneamento. Os valores a serem cobrados levarão em conta diversos fatores, dentre os quais destacam-se: a vazão captada e sua variação, o consumo efetivo, a finalidade a que se destina, a carga poluidora lançada e sua variação, a existência de obras hidráulicas de regularização de vazões e outros.

Alguns dos projetos existentes no semiárido do Brasil já vêm realizando a cobrança há algum tempo, com preços de até R\$ 0,06 por metro cúbico de água utilizado. Blanco et al. (1999) realizaram simulações dos efeitos da cobrança pelo uso da água sobre a viabilidade de implantação de um sistema de irrigação para a cultura da manga, em Petrolina (PE), e verificaram haver uma necessidade de aumento na produção de 40, 60 e 80%, em média, para viabilizar a irrigação, caso o preço cobrado pela utilização da água fosse de US\$ 0,00, 0,03 e 0,06, respectivamente. De acordo com os dados apresentados na literatura, os autores concluíram que este aumento de produção poderia ser alcançado e a cobrança pelo uso da água não inviabilizou a implantação do sistema, independentemente do valor cobrado.

Embora necessária, a cobrança pela utilização dos recursos hídricos poderá causar, em curto prazo, impactos negativos na agricultura. Estima-se que a redução no número de lavouras irrigadas no Estado de São Paulo possa ser de 50%, com consequente redução no número de empregos, migração do homem do campo para as cidades e redução no volume de negócios das empresas do setor de irrigação. Por outro lado, a irrigação será encarada com maior seriedade, obrigando o agricultor irrigante a realizar um manejo adequado da irrigação para que a relação custo/benefício seja minimizada. Além disso, por ocasião da outorga de utilização dos recursos hídricos, é necessária a apresentação de um projeto de irrigação no qual deve ser explicitado o método de controle da irrigação, sendo que a outorga pode ser cancelada se, em sua vigência, tal controle não for realizado.

TIPOS DE SISTEMAS

Os sistemas de irrigação são divididos em três grupos:

- Irrigação por superfície: compreende os métodos de irrigação nos quais a condução da água do sistema de distribuição (canais e tubulações) até qualquer ponto de infiltração, dentro da parcela a ser irrigada, é feita diretamente sobre a superfície do solo;
- Irrigação por aspersão: é o método de irrigação em que a água é aspergida sobre a superfície do terreno, assemelhando-se a uma chuva, por causa do fracionamento do jato d'água em gotas; e,
- Irrigação localizada: é o método em que a água é aplicada diretamente sobre a região radicular, com pequena intensidade e alta frequência.

CRITÉRIOS PARA A SELEÇÃO DO MÉTODO

A seleção do método de irrigação tem a finalidade de estabelecer a viabilidade técnica e econômica, maximizando a eficiência e minimizando os custos de investimento e operação, e ao mesmo tempo, mantendo as condições favoráveis ao desenvolvimento das culturas. Entre os critérios mais utilizados, destacam-se: topografia, características do solo, quantidade e qualidade da água, clima, cultura e considerações econômicas.

VANTAGENS DA IRRIGAÇÃO

Entre as inúmeras vantagens do emprego racional da irrigação, podem-se citar as seguintes:

- a) Suprimento em quantidades essenciais e em épocas oportunas das reais necessidades hídricas das plantas cultivadas podendo aumentar consideravelmente o rendimento das colheitas;
- b) Garante a exploração agrícola, independentemente do regime das chuvas;
- c) Permite o cultivo e/ou colheita duas ou mais vezes ao ano (milho, feijão, batata, frutas, etc) em determinadas regiões;

d) Permite um eficaz controle de ervas daninhas (inundação e gotejamento); e,

e) Por meio da fertirrigação, facilita e diminui os custos da aplicação de corretivos e fertilizantes hidrossolúveis; etc.

ESTUDOS CLIMÁTICOS

EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A transferência de água para a atmosfera, no estado de vapor, quer pela evaporação de superfícies líquidas, quer pela evaporação de superfícies úmidas ou pela transpiração vegetal, constitui importante componente do ciclo hidrológico.

O termo evaporação designa a transferência de água para a atmosfera sob a forma de vapor que se verifica em um solo úmido sem vegetação, nos oceanos, lagos, rios e outras superfícies de água. De maneira geral, o termo evapotranspiração é utilizado para expressar a transferência de vapor d'água que se processa para a atmosfera proveniente de superfícies vegetadas. Fundamentalmente, a evapotranspiração é proveniente de duas contribuições: a evaporação da umidade existente no substrato (solo ou água) e a transpiração resultante das atividades biológicas dos vegetais.

A mudança de fase da água consome ou libera grande quantidade de energia. A passagem do gelo para o estado líquido e vice-versa, envolve aproximadamente 80 cal g⁻¹ e de líquido para vapor e vice-versa, envolve cerca de 590 cal g⁻¹. Como o vapor é transportado na atmosfera, podendo condensar e precipitar a grande distância da sua origem, a mudança de fase de líquido para vapor e vapor para líquido representa o principal mecanismo para a redistribuição da energia em todo o globo terrestre.

Segundo a teoria cinética dos gases, a passagem da água para a fase gasosa se dá como resultado do aumento de energia cinética das moléculas, requerendo assim o dispêndio de uma certa quantidade de calor, que é chamado calor latente de vaporização. Dessa forma, a transformação de fase líquido-vapor depende do saldo de energia disponível à superfície-fonte, bem como de sua temperatura. Sendo assim,

se essa camada estiver saturada, a quantidade de moléculas que passa ao estado gasoso, em um certo intervalo de tempo, torna-se igual à quantidade das que retornam ao estado líquido no mesmo intervalo. Nessas circunstâncias, a evaporação virtualmente cessa. Somente quando a camada atmosférica adjacente não está saturada é que a quantidade de moléculas de água que se desprendem da superfície-fonte é superior a das que retornam a ela. O vapor d'água produzido é, por conseguinte, removido pelo vento, evitando, com isso, que a atmosfera adjacente se sature.

Um outro aspecto importante a ser considerado é que com o aumento da velocidade do vento, há aumento de turbulência, fazendo com que se processe uma aceleração da difusão vertical do vapor d'água gerado na interface superfície-atmosfera. Como consequência, o fluxo vertical de vapor d'água para a atmosfera está condicionado pelo saldo de energia disponível, pela velocidade do vento e pelo teor de umidade presente na camada de ar próxima à superfície evaporante.

Em superfícies de água livre, tal como ocorre nos rios, lagos e oceanos, a evaporação sofre influência das propriedades físicas da água. Em se tratando de solo úmido, sem vegetação, as propriedades físicas do solo condicionam a evaporação. Dentre estas propriedades destacam-se a coloração do solo, que interfere no coeficiente de reflexão e, em decorrência, no balanço de energia, e a rugosidade, que interfere na turbulência das camadas de vento que se deslocam próximo à superfície.

Quando a superfície-fonte é vegetada, os fatores intervenientes no processo de evapotranspiração aumentam, uma vez que diversos fatores passam a interferir neste. Dentre estes fatores destacam-se a fase de desenvolvimento da cultura, o índice de área foliar, as condições fitossanitárias e as condições de umidade do solo.

Informações da quantidade de água evaporada e ou evapotranspiradas são necessárias em diversos estudos hidrológicos e para adequado planejamento e manejo. O conhecimento da evapotranspiração é essencial para estimar a quantidade de água requerida para irrigação. O conhecimento do consumo de água nas diversas etapas de desenvolvimento das plantas cultivadas permite que a administração da irrigação seja feita de forma mais racional, de acordo com a real exigência da cultura. Esse conhecimento também tem a sua importância na agricultura não irrigada, pois permite o planejamento de épocas de semeadura em função da disponibilidade hídrica média da região considerada, permitindo maior eficiência no aproveitamento das precipitações.

CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Com o objetivo de propiciar melhor entendimento dos termos que serão utilizados no texto, serão definidos na sequência aqueles de maior importância.

Evapotranspiração (ET) - é o processo combinado pelo qual a água é transferida da superfície terrestre para a atmosfera envolvendo a evaporação da água da superfície do solo e a água interceptada pelas plantas, e a transpiração proporcionada por elas.

Evapotranspiração potencial da cultura (ET_{pc}) - é a evapotranspiração que ocorre em uma cultura em que o solo não apresenta restrição de umidade e, portanto, não há restrição para a taxa de evapotranspiração.

Evapotranspiração real (ET_{rc}) - é a evapotranspiração de uma determinada cultura sob condições normais de manejo, isto é, sem a obrigatoriedade de o teor de umidade permanecer sempre próximo à capacidade de campo. Dessa forma, concluiu-se que $ET_{rc} \leq ET_{pc}$.

Evapotranspiração da cultura de referência (ET_o) - é a evapotranspiração que ocorre em uma cultura de referência quando o solo não apresenta restrição de umidade. Como cultura de referência normalmente é utilizada a grama ou a alfafa. No presente estudo, considerar-se-á a grama como cultura de referência e, dessa forma, segundo Doorenbos e Pruitt (1977) a ET_o é definida como sendo a evapotranspiração que se processa em um solo coberto totalmente por grama, com crescimento ativo e uniforme, sem deficiência hídrica e com altura entre 8 e 15 cm. Esse parâmetro é utilizado como base agrometeorológica para a estimativa da evapotranspiração das culturas de interesse comercial (ET_{pc}).

FATORES INTERVENIENTES NO PROCESSO DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A ocorrência do processo de evapotranspiração além de depender dos elementos climáticos, também é dependente dos fatores fisiológicos das plantas. Como a evaporação do solo e a transpiração das plantas ocorrem simultaneamente na natureza, em áreas vegetadas é comum considerar-se a evapotranspiração de forma única, uma vez que as perdas que se processam devido à transpiração dos vegetais componentes de uma bacia hidrográfica é de determinação difícil, visto que,

além da presença de vegetais com características diferentes cobrindo o solo, eles também estão submetidos a condições completamente diferenciadas no que diz respeito a solo e seu teor de umidade, e vários outros fatores que interferem na transpiração.

A grande maioria dos métodos elaborados para a estimativa da evapotranspiração tem aplicação mais específica para áreas agrícolas e para culturas de interesse comercial. Em uma bacia hidrográfica, independentemente de sua área, existem diversos vegetais que vão desde pequenas plantas até grandes árvores, ocasionando com isso uma heterogeneidade acentuada de perda de água por evapotranspiração, uma vez que é impossível a individualização deste parâmetro para cada cultura. A utilização de técnicas como a fotogrametria e fotointerpretação, como também o geoprocessamento, permite uma aproximação mais efetiva da estimativa da evapotranspiração em bacias hidrográficas, pois é possível identificar os diferentes grupos de vegetais presentes na bacia. Dessa forma, por meio de aproximações e comparações com culturas agrícolas mais bem estudadas, é possível uma estimativa mais criteriosa da evapotranspiração provável.

EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL DAS CULTURAS E A DE REFERÊNCIA

A quantidade de água evapotranspiradas depende da planta, do solo e do clima. O fator clima predomina sobre os demais.

A evapotranspiração varia de cultura para cultura como também nos diferentes estádios de desenvolvimento delas. Isto é atribuído, em parte, à arquitetura foliar (ângulo da folha, altura e densidade), em parte às características das folhas (números dos estômatos e período de abertura), além da duração do ciclo e época de plantio. A Tabela apresenta a relação da quantidade de água necessária durante o ciclo para algumas culturas:

Tabela– Necessidade total de água para algumas culturas

Culturas	Quantidade de água (mm)
Algodão	550 - 1100

Milho	400 - 800
Soja	400 - 800
Feijão	300 - 600
Verduras em geral	250 - 500

Doorenbos e Pruitt (1977), na publicação conhecida como boletim FAO-24, propuseram uma metodologia para determinar a evapotranspiração das diferentes culturas por meio de duas etapas: primeiramente, a estimativa da evapotranspiração da cultura de referência (ET_o) e, segundo a eleição de um coeficiente de cultura (K_c), tabelado, e distinto para cada cultura e para cada estágio de desenvolvimento. O produto de ET_o pelo K_c selecionado, estima a evapotranspiração da cultura de interesse. Assim,

$$ET_{pc} = ET_o \times K_c$$

$ET_{pc} = ET_o \times K_c$

O conceito de DOORENBOS e PRUITT (1977) tornou-se o mais aceito mundialmente e, praticamente, todos os projetos passaram a utilizar essa metodologia para estimar a evapotranspiração de uma cultura.

Com referência ao coeficiente de cultura (K_c), segundo Pereira (1997) ele representa a integração dos efeitos de três características que distinguem a evapotranspiração de qualquer cultura da de referência: a) a altura da cultura (h) que afeta a rugosidade e a resistência aerodinâmica; b) a resistência da superfície relativa ao sistema soloplanta, que é afetada pela área foliar (determinando o número de estômatos), pela fração de cobertura do solo pela vegetação, pela idade e condição das folhas, e pelo teor de umidade à superfície do solo e, c) o albedo da superfície soloplanta, que é influenciado pela fração de cobertura do solo pela vegetação e pelo teor de umidade à superfície do solo, e influencia o saldo de radiação disponível à

superfície, R_n , que é a principal fonte de energia para as trocas de calor e de massa no processo de evaporação.

Durante o período vegetativo, o valor de K_c varia à medida que a cultura cresce e se desenvolve, do mesmo modo que varia com a fração de cobertura da superfície do solo pela vegetação, e à medida que as plantas envelhecem e atingem a maturação. Essa variação pode ser representada por uma curva dos valores de K_c , que caracteriza tipicamente o desenvolvimento de uma cultura anual, desde o plantio até à colheita, sendo que as mudanças na forma da curva acompanham o desenvolvimento e a senescência da cultura.

Uma vez que a ETo representa um índice climático associado à evaporação, o K_c varia essencialmente de acordo com as características da cultura, traduzindo em menor escala a variação dos fatores climáticos. Este fato torna possível a transferência de valores padrão dos K_c 's de um local para outro e de um clima para outro. A Tabela apresenta valores de K_c para algumas culturas em seus diferentes estádios de desenvolvimento.

Tabela - Valores médios do coeficiente K_c para algumas culturas

CULTURA	ESTÁDIOS DE DESENVOLVIMENTO DA CULTURA					PERÍODO TOTAL DE CRESCIMENTO
	(I)	(II)	(III)	(IV)	(V)	
Banana						0,70 – 0,80
- tropical	0,4 – 0,50	0,70 – 0,85	1,00 – 1,10	0,90 – 1,00	0,75 – 0,85	0,85 – 0,95
- subtropical	0,5 – 0,65	0,80 – 0,90	1,00 – 1,20	1,00 – 1,15	1,00 – 1,15	
Feijão						0,85 – 0,90
- verde	0,30 – 0,40	0,65 – 0,75	0,95 – 1,05	0,90 – 0,95	0,85 – 0,95	0,70 – 0,80
- seco	0,30 – 0,40	0,70 – 0,80	1,05 – 1,20	0,65 – 0,75	0,25 – 0,30	
Repolho	0,40 – 0,50	0,70 – 0,80	0,95 – 1,10	0,90 – 1,00	0,80 – 0,95	0,70 – 0,80
Algodão	0,40 – 0,50	0,70 – 0,80	1,05 – 1,25	0,80 – 0,90	0,65 – 0,70	0,80 – 0,90
Amendoim	0,40 – 0,50	0,70 – 0,80	0,95 – 1,10	0,75 – 0,85	0,55 – 0,60	0,75 – 0,80
Milho						0,80 – 0,95
- verde	0,30 – 0,50	0,70 – 0,90	1,05 – 1,20	1,00 – 1,15	0,95 – 1,10	0,75 – 0,90
- grãos	0,30 – 0,50	0,80 – 0,85	1,05 – 1,20	0,80 – 0,95	0,55 – 0,60	
Cebola - seca	0,40 – 0,60	0,70 – 0,80	0,95 – 1,10	0,85 – 0,90	0,75 – 0,85	0,80 – 0,90
- verde	0,40 – 0,60	0,60 – 0,75	0,95 – 1,05	0,95 – 1,05	0,95 – 1,05	0,65 – 0,80

Ervilha	0,40 – 0,50	0,70 – 0,85	1,05 – 1,20	1,00 – 1,15	0,95 – 1,10	0,80 – 0,95
Pimenta	0,30 – 0,40	0,60 – 0,75	0,95 – 1,10	0,85 – 1,00	0,80 – 0,90	0,70 – 0,80
Batata	0,40 – 0,50	0,70 – 0,80	1,05 – 1,20	0,85 – 0,95	0,70 – 0,75	0,75 – 0,90
Arroz	1,10 – 1,15	1,10 – 1,50	1,10 – 1,30	0,95 – 1,05	0,95 – 1,05	1,05 – 1,20
Açafrão	0,30 – 0,40	0,70 – 0,80	1,05 – 1,20	0,65 – 0,70	0,20 – 0,25	0,65 – 0,70
Sorgo	0,30 – 0,40	0,70 – 0,75	1,00 – 1,15	0,75 – 0,80	0,50 – 0,55	0,75 – 0,85
Soja	0,30 – 0,40	0,70 – 0,80	1,00 – 1,15	0,70 – 0,85	0,40 – 0,50	0,75 – 0,90
Beterraba	0,40 – 0,50	0,75 – 0,85	1,05 – 1,20	0,90 – 1,00	0,60 – 0,70	0,80 – 0,90
Cana-de-açúcar	0,40 – 0,50	0,70 – 1,00	1,00 – 1,30	0,75 – 0,80	0,50 – 0,60	0,85 – 1,05
Fumo	0,30 – 0,40	0,70 – 0,80	1,00 – 1,20	0,90 – 1,00	0,75 – 0,85	0,85 – 0,95
Tomate	0,40 – 0,50	0,70 – 0,80	1,05 – 1,25	0,80 – 0,95	0,60 – 0,65	0,75 – 0,90
Melancia	0,40 – 0,50	0,70 – 0,80	0,95 – 1,05	0,80 – 0,90	0,65 – 0,75	0,75 – 0,85
Trigo	0,30 – 0,40	0,70 – 0,80	1,05 – 1,20	0,65 – 0,75	0,20 – 0,25	0,80 – 0,90
Alfafa	0,30 – 0,40				1,05 – 1,20	0,85 – 1,05
Citros						0,85 – 0,90

Primeiro número: UR > 70% e velocidade do vento < 5 m s⁻¹

Segundo número: UR < 20% e velocidade do vento > 5 m s⁻¹

Caracterização dos estádios:

- Estádio I – emergência até 10% do desenvolvimento vegetativo (DV)

- Estádio II – 10% do DV até 80% do DV

- Estádio III – 80% do DV até 100% do DV (inclusive frutos formados)

- Estádio IV – maturação

- Estádio V – colheita

Fonte: Doorenbos e Kassan. Efectos del agua en el rendimiento de los cultivos.

QUANTIFICAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A quantificação da água necessária a ser aplicada às plantas, ou seja, àquela referente à evapotranspirada pelo sistema solo-planta, é fator primordial para o planejamento, dimensionamento e manejo adequados de uma área agrícola irrigada.

Em toda a literatura especializada, diversos métodos para a estimativa da evapotranspiração são citados, constituindo-se basicamente dois grupos: o dos métodos diretos e o dos indiretos ou empíricos. Os métodos diretos caracterizam-se pela determinação da evapotranspiração diretamente na área, onde se destacam os diferentes tipos de lisímetros, ou mesmo pelo método do balanço de água no solo. Os indiretos são caracterizados pelo uso de equações empíricas ou modelos matemáticos, que se utilizam de dados meteoro-climático-fisiológicos para a sua aplicação. Estes, por se tratarem de uma estimativa, têm inúmeros problemas de precisão, principalmente quando aplicados em condições climáticas diferentes das quais foram elaborados.

Diversos pesquisadores em todo o mundo propuseram métodos para a estimativa da evapotranspiração com as mais diferentes concepções e número de variáveis envolvidas.

A utilização dos diferentes métodos para se estimar a evapotranspiração para um certo local de interesse fica na dependência da disponibilidade dos elementos climáticos. Em termos práticos, antes de se eleger o método a ser utilizado, é necessário saber quais os elementos climáticos que estão em disponibilidade. A partir disso, verifica-se quais os que podem ser aplicados.

Um fato importante a considerar é que nem sempre o método que apresenta o maior número de parâmetros em sua estrutura é o mais eficiente para um certo local. Para se saber aquele que melhor se adapta ao local de interesse, é necessário que se procedam a testes *in loco* para tal fim. Para que isto seja levado a efeito, há necessidade de se contar com informações confiáveis de medições diretas da evapotranspiração, situação está que é extremamente rara.

Vários são os métodos de estimativa da ETo e a literatura sobre o assunto é bastante vasta, entre eles Camargo (1962), Doorenbos & Pruitt (1977); Berlato & Molion (1981); Ometto (1981); Rosenberg et al. (1983); Villa Nova & Reichardt (1989) e Pereira et al. (1997).

Dentre os vários métodos de estimativa da ETo, muitos tem grande aceitação, enquanto outros são bastante criticados e até desprezados (Pereira et al., 1997). Segundo o autor, os critérios de rejeição, muitas vezes, não são claros ou acham-se

associados à má interpretação do conceito de ETo e ao uso de lisímetros mal expostos, sem a devida área tampão, usados para o teste dos métodos.

Muitos trabalhos como os de Stanhill (1961), Camargo (1966), Hashemi & Habibian (1979); Samani & Pessarakli (1986), e mais recentemente Soriano & Pereira (1993), Santos et al. (1994) e Camargo & Sentelhas (1997), em diferentes partes do Brasil e do mundo, vem avaliando o desempenho de diferentes métodos de estimativa da ETo. As conclusões, no entanto, variam muito segundo a condição do autor, o que dificulta ao técnico, ligado à irrigação, decidir sobre a conveniência de utilizar determinado método (Camargo & Sentelhas, 1997).

Métodos diretos

A medição direta da evapotranspiração é feita por meio de lisímetros, ou mesmo pelo método do balanço de água no solo.

Lisímetros

Estes equipamentos são tanques enterrados, contendo uma amostra representativa do solo e da vegetação que se deseja estudar, e devem representar com bastante fidelidade as condições reais de campo. As plantas dentro do lisímetro têm que ser similares às que as rodeiam em todos os aspectos agrônômicos, o que inclui: variedade, estágio de desenvolvimento, condições fitossanitárias, adubação, etc.

Existem diferentes tipos de lisímetros: os de drenagem e o de pesagem mecânica ou eletrônica.

No presente estudo, vamos destacar os lisímetros de drenagem. Esses equipamentos permitem a determinação da evapotranspiração pela diferença, para um dado período de tempo, entre a água fornecida e a água percolada.

A sua estrutura básica é composta por um tanque de alvenaria que possui no fundo um dreno que possibilita o escoamento da água percolada que é recolhida por um recipiente.

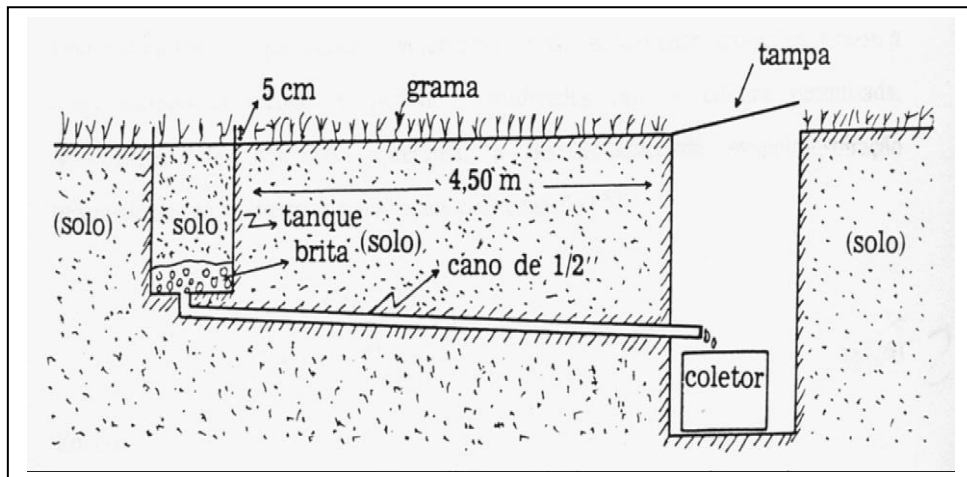


Figura - Esquema de um lisímetro de drenagem ou de percolação.



Figura– Bateria de lisímetros de drenagem em operação.

Antes de se colocar o solo no tanque, há necessidade de alguns procedimentos importantes para que ele funcione adequadamente. As paredes devem receber o tratamento de um impermeabilizante para evitar fuga de água pelas laterais do tanque. Na parte inferior é necessária a instalação de um filtro, com uma espessura de 10 a 15 cm, que é feito com materiais de diferentes granulometrias. Comumente, utiliza-se camadas superpostas de britas nº 0 ou nº 1, cascalho fino, areia grossa e areia fina. Para se evitar aprisionamento do ar no fundo do tanque, deve-se instalar um tubo de pequeno diâmetro, junto à parede lateral, do fundo até a parte superior do tanque.

Depois de preparado, o lisímetro deverá ser preenchido com solo. Na escavação, o solo deverá ser separado segundo seus horizontes para que seja transferido para o lisímetro obedecendo à ordem do seu perfil natural. É recomendável que os níveis do solo no interior do lisímetro e fora dele sejam iguais. Em geral, recomenda-se aguardar aproximadamente um ano para se trabalhar efetivamente com o lisímetro para acomodamento do solo em seu interior.

Na operação com este tipo de lisímetro, adiciona-se água com um volume suficiente que permita drenagem. Quando cessar a drenagem, pode-se garantir que o teor de umidade do solo no interior do tanque encontra-se na sua capacidade máxima de retenção. Após um certo intervalo de tempo, adiciona-se água no tanque, também com um volume que permita drenagem. Encerrado o processo de drenagem, contabiliza-se o volume aplicado e o volume percolado; a diferença representa o volume que foi necessário para reconduzir o solo à sua capacidade máxima de retenção.

Como a evapotranspiração é normalmente expressa em milímetros por dia, basta dividir o volume retido pela área superficial do tanque, obtendo-se a lâmina equivalente, uma vez que 1 milímetro equivale a 1 litro por metro quadrado. Dividindo a lâmina equivalente ao volume retido pelo tempo entre medições, tem-se a evapotranspiração média no período considerado para a cultura pesquisada. Matematicamente, pode-se representar a evapotranspiração, utilizando-se um lisímetro de percolação, pela Equação.

$$ET_{pc} = \frac{\frac{(V_a - V_p)}{A} + P}{T}$$

em que:

ET_{pc} = evapotranspiração média da cultura [mm d^{-1}];

V_a = volume de água aplicado [L];

V_p = volume de água percolado [L];

A = área do tanque [m^2];

T = intervalo entre medições [dia]; e

P = precipitação ocorrida no período considerado [mm].

Para culturas de pequeno porte, é comum a utilização de tanque de cimento amianto ou de plástico com volume de 1 m³, o mesmo que é utilizado como caixa d'água em residências.

Parcelas experimentais no campo

Pela dependência de vários fatores, este método só deve ser utilizado para a determinação da evapotranspiração total, durante todo o ciclo da cultura, e nunca a ETpc diária ou semanal, pois, nestes casos, os erros seriam grandes. A água necessária, durante todo o ciclo da cultura, é calculada pela soma da quantidade de água aplicada nas irrigações, precipitações efetivas, mais a quantidade de água armazenada no solo antes do plantio, menos a quantidade de água que ficou retida no solo após a colheita.

Métodos indiretos

A estimativa da evapotranspiração por meio de equações matemáticas constitui-se no processo mais comum e mais usual para obter a perda de água que se observa em uma área vegetada.

Viu-se, anteriormente, que os métodos diretos (lisímetros), quando bem conduzidos, permitem a determinação da evapotranspiração de uma área vegetada com bastante confiabilidade, mas necessitam de uma infraestrutura muito específica e até certo ponto muito complexa para o fim a que se propõem, além de demandarem um tempo relativamente grande para que as medições realizadas possam ser tomadas como referência para o planejamento e manejo de uma área. Via de regra, os lisímetros são equipamentos que ficam muito restritos a centros de pesquisas e tem a sua importância fundamental na calibração dos métodos indiretos para se estimar a evapotranspiração. Dificilmente um equipamento deste tipo é instalado em áreas agrícolas para o seu manejo. Em virtude deste fato, a adoção dos métodos indiretos faz-se necessária pela sua maior facilidade de operação, podendo oferecer bons resultados quando utilizados criteriosamente.

Dos métodos indiretos disponíveis para a estimativa da evapotranspiração, vamos destacar os seguintes: tanque evaporimétrico “Classe A”, método de Thornthwaite, método de Blaney-Criddle modificado, método da radiação, método de Hargreaves-Samani e método de Penman-Monteith-FAO.

Tanque evaporimétrico “Classe A”

Para a estimativa da evapotranspiração de uma certa cultura, o modelo de tanque evaporimétrico mais utilizado em todo o mundo e adotado pela FAO (Food and Agriculture Organization) é o “Classe A”. Essa estimativa é feita por meio de dois passos: o primeiro é a estimativa da evapotranspiração de referência utilizando a Equação, e o segundo, é a estimativa da evapotranspiração da cultura de interesse, por meio da Equação.

$$ET_o = E_v \times K_t$$

Em que:

ET_o = evapotranspiração da cultura de referência [mm d^{-1}];

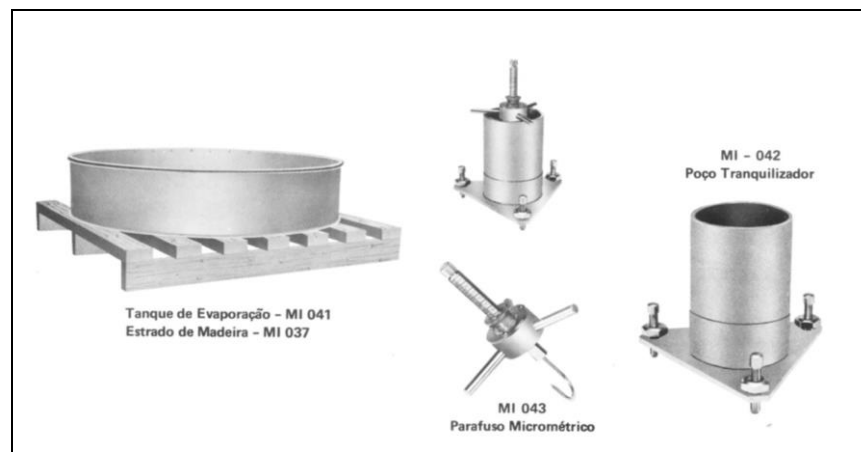
E_v = evaporação medida no tanque “Classe A” [mm d^{-1}]; e

K_t = coeficiente do tanque [adimensional].

Para se determinar a evaporação ocorrida no tanque, utiliza-se um micrômetro de gancho, e as leituras são feitas em um poço tranquilizador instalado em seu interior, que tem por finalidade evitar perturbações na superfície líquida, principalmente pequenas ondas formadas por ventos e, dessa forma, possibilitar a estabilidade do nível da água quando da realização das leituras. Cuidado especial deve ser tomado com a localização do poço tranquilizador dentro do tanque. Para isso, é comum marcar com tinta no fundo do tanque a posição que deve ser mantido o poço tranquilizador, o qual deve ser nivelado para evitar erros de leituras.



Figuras a e b – Tanque evaporimétrico “Classe A”.



Figura– Detalhes do micrômetro de gancho e poço tranquilizador.

A seleção do coeficiente do tanque depende basicamente das características climáticas da região e do meio no qual está instalado.

O K_t é dependente das condições de umidade relativa (UR, em %), velocidade do vento (U , em km d^{-1}) e do comprimento da bordadura (L , em m), nas quais o tanque está instalado. Para determiná-lo, podemos utilizar a Tabela, segundo Doorenbos e Pruitt (1977), ou por meio da equação proposta por Snyder.

$$K_t = 0,482 + 0,024 \times \ln(L) - 0,000376 \times U + 0,0045 \times UR$$

Pereira et al. (1995), utilizando o método de Penman-Monteith, aplicando a um gramado e ao Tanque Classe A, propuseram um modelo alternativo para K_t , representado pela Equação.

$$K_t = K_{t_{\max}} \times \frac{\delta + \gamma}{\delta + \gamma \times \left(1 + \frac{r_c}{r_a}\right)}$$

em que:

$K_{t_{\max}}$ = valor máximo de K_t , igual a 0,85;

r_c = resistência do dossel (gramado), igual a 69 sm^{-1} ;

r_a = resistência aerodinâmica ao transporte de vapor d'água,;

δ = declividade da curva de pressão de vapor, em $\text{kPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$;

γ = constante psicrométrica ($0,0622 \text{ kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$).

$$r_a = \frac{208}{U}$$

$$\delta = \frac{4098 \times e_a}{(T + 237,3)^2}$$

Em que e_a é a pressão de vapor de saturação, determinada pela Equação.

$$e_a = 0,6108 \times e^{\left(\frac{17,27 \times T}{T + 237,3}\right)}$$

Esse método de estimativa de E_{To} é bastante utilizado no manejo da irrigação, sendo recomendado pela FAO (Doorenbos & Pruitt, 1977), pois é de fácil determinação e de relativo baixo custo. Sua utilização, no entanto, apresenta algumas limitações, entre elas:

a) para a obtenção dos valores de K_t são necessários dados de velocidade do vento na altura do tanque;

b) a leitura do nível da água é dificultada quando a aquisição dos dados não é automatizada;

c) o tanque deve estar protegido quanto ao acesso de animais na área;

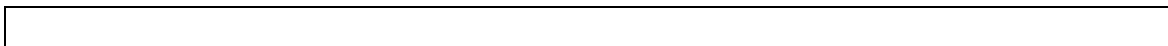
d) o local de instalação em área irrigadas é problemático (dentro ou fora?);

e) normalmente o método apresenta superestimativas de ETo em comparação a outros métodos e medidas.

Para a operação adequada do tanque é necessário que o nível de água em seu interior oscile entre 5 e 7,5 cm da borda. Quando o nível da água estiver próximo de 7,5 cm da borda, o tanque deverá ser reabastecido após a leitura, elevando o nível aos 5 cm.

Tabela - Valores dos coeficientes do tanque “Classe A” (Kt)

Vel. do vento (U) (m s ⁻¹)	Posição do tanque R (m)	Exposição A Tanque circundado por grama			Exposição B Tanque circundado por solo nu		
		UR média(%)			UR média(%)		
		Baixa 40%	< Média 40 - 70%	Alta > 70%	Baixa 40%	< Média 40 - 70%	Alta > 70%
Leve < 2	1	0,55	0,65	0,75	0,70	0,80	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	0,60	0,70	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	0,50	0,60	0,70
Moderado 2 - 5	1	0,50	0,60	0,65	0,65	0,75	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	0,55	0,65	0,70
	100	0,65	0,75	0,80	0,50	0,60	0,65
	1000	0,70	0,80	0,80	0,45	0,55	0,60
Forte 5 - 8	1	0,45	0,50	0,60	0,60	0,65	0,70
	10	0,55	0,60	0,65	0,50	0,55	0,65
	100	0,60	0,65	0,75	0,45	0,50	0,60
	1000	0,65	0,70	0,75	0,40	0,45	0,55
Muito forte > 8	1	0,40	0,45	0,50	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	0,45	0,50	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	0,40	0,45	0,50
	1000	0,55	0,60	0,65	0,35	0,40	0,45



OBS:

Para áreas extensas de solo nu, reduzir os valores de K_t em 20% em condições de alta temperatura e vento forte, e de 5 a 10% em condições de temperatura, vento e umidade moderados.

R (m) representa a menor distância do centro do tanque ao limite da bordadura (grama ou solo nu).

Método de Thornthwaite

Este método foi proposto por Thornthwaite (1948) para estimativa da evapotranspiração potencial (ETP), ou de referência (ET_o), mensal de um gramado, em posto meteorológico, visando sua utilização em uma classificação climática mais racional. De acordo com Pereira et al. (1997), a ETP é tida como a chuva ideal, para que uma dada região não apresente nem excesso nem deficiência hídrica durante o ano.

O método de Thornthwaite é baseado num conjunto de equações elaboradas a partir de balanços hídricos em bacias hidrográficas e em medidas realizadas em lisímetros. O método utiliza somente a temperatura do ar como variável condicionante do processo de evapotranspiração, sendo por isso muito criticada (Pereira & Camargo, 1989). No entanto, segundo os mesmos autores ela funciona muito bem desde que sejam asseguradas as condições de contorno para a ETP, ou seja, extensa área gramada e sem restrição hídrica, funcionando, assim, muito bem em regiões de clima úmido e em meses chuvosos, onde tais condições são satisfeitas.

O emprego deste método para fins de projeto e manejo de irrigação acaba limitado, haja vista que a irrigação é utilizada em locais e períodos que fogem das condições de contorno de ETP, ou seja, em períodos secos, além da sua confiabilidade a nível diário ser restrita, funcionando melhor na escala mensal, e de haver necessidade de se conhecer os dados normais de temperatura do local para a determinação dos índices de calor (I e a). Abaixo segue a formulação do método de Thornthwaite, para um mês padrão (ETP_p), de 30 dias, sendo todos os dias com fotoperíodo igual a 12 horas:

$$ETP_p = 16 \times \left(10 \frac{T_i}{I} \right)^a \quad T_i > 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$a = 6,75 \times 10^{-7} \times I^3 - 7,71 \times 10^{-5} \times I^2 + 1,7912 \times 10^{-2} \times I + 0,49239$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_i}{5} \right)^{1,514} \quad T_i > 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Em que t_i é a temperatura média de cada mês ($^\circ\text{C}$).

Para a conversão da ETP_p em ETP, procede-se a correção para dias do mês e fotoperíodo, conforme Equação.

$$ETP = ETP_p \times \frac{N}{12} \times \frac{ND}{30}$$

Em que

N = fotoperíodo, em horas; e

ND = número de dias do mês.

Esse método vem sendo largamente empregado em várias partes do mundo e do Brasil, sendo que sua utilização é mais indicada na caracterização climática e no planejamento agrícola, inclusive a irrigação, devido à sua simplicidade no tocante ao número de variáveis necessárias. No entanto, seu emprego na escala diária para manejo da irrigação também é possível, devendo o usuário estar ciente de suas limitações. Abaixo segue a aplicação do método para determinação da ETP.

Método de Blaney-Criddle modificado

A equação original de Blaney-Criddle é relativamente antiga (1950) e uma das mais empregadas para a estimativa da evapotranspiração para regiões de clima semi-árido. Com o objetivo de melhor definir os efeitos do clima sobre a evapotranspiração, o boletim nº 24 da FAO, em 1977, apresentou modificações substanciais no método original visando aprimorar a estimativa da evapotranspiração com determinações a

partir de um grande número de medições em climas distintos, como também considerar o efeito da umidade do ar, insolação e velocidade do vento. Dessa forma, Frevert et al. (1983), apresentaram a última modificação da equação modificada pela FAO e a sua forma geral é apresentada como segue:

$$ET_o = a + b \times p \times (0,46 \times T + 8,13)$$

$$a = 0,0043 \times UR_{\min} - \left(\frac{n}{N} \right) - 1,41$$

$$b = 0,81917 - 0,0041 \times UR_{\min} + 1,0705 \times \frac{n}{N} + 0,06565 \times U_2 - 0,00597 \times UR_{\min} \times \frac{n}{N} - 0,000597 \times UR_{\min} \times U_2$$

Em que:

p = percentagem mensal de horas de luz solar em relação ao total anual.

T = temperatura média do período, em °C;

URmin = umidade relativa mínima do período, em %;

n = insolação do período (número real de horas de brilho solar);

N = fotoperíodo (número máximo de horas de brilho solar); e,

U2 = velocidade do vento a 2 m, em m s⁻¹.

Apesar de aparentemente simples, esse método envolve uma série de variáveis que acaba limitando seu emprego.

Condições ideais para utilização do método:

- a) Só deve ser utilizado quando se tem os valores das temperaturas medidas;
- b) Deve se restringir a períodos não inferiores a um (1) mês;
- c) Se não houver possibilidades de se comprovar as condições de umidade relativa do ar média das mínimas, insolação e ventos, as determinações de ETo são de pouca confiança;

Tabela - Duração máxima de insolação diária média (N), em diferentes meses e latitudes

LAT	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
10° N	11,6	11,8	12,1	12,4	12,6	12,7	12,6	12,4	12,2	11,9	11,7	11,5
8° N	11,7	11,9	12,1	12,3	12,5	12,6	12,5	12,4	12,2	12,0	11,8	11,6
6° N	11,8	11,9	12,1	12,3	12,4	12,5	12,4	12,3	12,2	12,0	11,9	11,7
4° N	11,9	12,0	12,1	12,2	12,3	12,4	12,3	12,2	12,0	12,0	11,9	11,9
2° N	12,0	12,0	12,1	12,2	12,2	12,2	12,0	12,0	12,1	12,1	12,0	12,0
00	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1
2° S	12,2	12,2	12,1	12,1	12,0	12,0	12,0	12,0	12,1	12,1	12,2	12,2
4° S	12,3	12,2	12,1	12,0	11,9	11,8	11,9	12,0	12,1	12,2	12,3	12,4
6° S	12,4	12,3	12,1	12,0	11,9	11,7	11,8	11,9	12,1	12,2	12,4	12,5
8° S	12,5	12,4	12,1	11,9	11,7	11,6	11,7	11,9	12,1	12,3	12,5	12,6
10° S	12,6	12,4	12,1	11,9	11,7	11,5	11,6	11,8	12,0	12,3	12,6	12,7
12° S	12,7	12,5	12,2	11,8	11,6	11,4	11,5	11,7	12,0	12,4	12,7	12,8
14° S	12,8	12,6	12,2	11,8	11,5	11,3	11,4	11,6	12,0	12,4	12,8	12,9
16° S	13,0	12,7	12,2	11,7	11,4	11,2	11,2	11,6	12,0	12,4	12,9	13,1
18° S	13,1	12,7	12,2	11,7	11,3	11,1	11,1	11,5	12,0	12,5	13,0	13,2
20° S	13,1	12,8	12,2	11,6	11,2	10,9	11,0	11,4	12,0	12,5	13,2	13,3
22° S	13,4	12,8	12,2	11,6	11,1	10,8	10,9	11,3	12,0	12,6	13,2	13,5
24° S	13,5	12,9	12,3	11,5	10,9	10,7	10,8	11,2	11,9	12,6	13,3	13,6
26° S	13,6	12,9	12,3	11,5	10,8	10,5	10,7	11,2	11,9	12,7	13,4	13,8
28° S	13,7	13,0	12,3	11,4	10,7	10,4	10,6	11,1	11,9	12,8	13,5	13,9
30° S	13,9	13,1	12,3	11,4	10,6	10,2	10,4	11,0	11,9	12,8	13,6	14,1
32° S	14,0	13,2	12,3	11,3	10,5	10,0	10,3	10,9	11,9	12,9	13,7	14,2
34° S	14,2	13,3	12,3	11,3	10,3	9,8	10,1	10,9	11,9	12,9	13,9	14,4
36° S	14,3	13,4	12,4	11,2	10,2	9,7	10,0	10,7	11,9	13,0	14,0	14,6
38° S	14,5	13,5	12,4	11,1	10,1	9,5	9,8	10,6	11,8	13,1	14,2	14,8
40° S	14,7	13,6	12,4	11,1	9,9	9,3	9,6	10,5	11,8	13,1	14,3	15,0

Método da radiação

Esse método, à exemplo do de Blaney-Criddle modificado, também é de fácil utilização. Foram elaborados quatro grupos de gráficos correlacionando a ETo com o produto $W R_s$, onde W é o índice de ponderação, valor tabelado que depende da temperatura e da altitude, e R_s é a radiação solar. Esta correlação tem a interferência direta da umidade relativa do ar média mensal em quatro níveis, e quatro níveis de velocidade do vento. Esses gráficos estão apresentados na Figura.

$$R_s = R_a \left(0,25 + 0,50 \frac{n}{N} \right)$$

Em que:

R_s = radiação solar expressa em equivalente de evaporação [mm d^{-1}];

R_a = radiação no topo da atmosfera, expressa em equivalente de evaporação, valores tabelados, Tabela, [mm d^{-1}].

Tabela - Valores do índice de ponderação (W) para os efeitos da radiação sobre a ETo em diferentes temperaturas e altitudes

Temperatura (°C)	Altitude (m)					
	0	500	1000	2000	3000	4000
2	0,43	0,45	0,46	0,49	0,52	0,55
4	0,46	0,48	0,49	0,52	0,55	0,58
6	0,49	0,51	0,52	0,55	0,58	0,61
8	0,52	0,54	0,55	0,58	0,61	0,64
10	0,55	0,57	0,58	0,61	0,64	0,66
12	0,58	0,60	0,61	0,64	0,66	0,69
14	0,61	0,62	0,64	0,66	0,69	0,71
16	0,64	0,65	0,66	0,69	0,71	0,73
18	0,66	0,67	0,69	0,71	0,73	0,76
20	0,68	0,70	0,71	0,73	0,75	0,78
22	0,71	0,72	0,73	0,75	0,77	0,79

24	0,73	0,74	0,75	0,77	0,79	0,81
26	0,75	0,76	0,77	0,79	0,81	0,83
28	0,77	0,78	0,79	0,81	0,82	0,84
30	0,78	0,79	0,80	0,82	0,84	0,85
32	0,80	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86
34	0,82	0,82	0,83	0,85	0,86	0,88
36	0,83	0,84	0,85	0,86	0,88	0,89
38	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,90
40	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90

Tabela - Valores da radiação extraterrestre (R_a), mm d^{-1} , para diferentes latitudes e meses do ano

at. Sul	an	ev	ar	br	ai	un	ul	go	et	ut	ov	ez
0°	7,5	4,7	0,9	,0	,2	,1	,5	,5	,9	2,9	6,5	8,2
8°	7,6	4,9	1,2	,5	,7	,5	,0	,0	,3	3,2	6,6	8,2
6°	7,7	5,1	1,5	,9	,2	,0	,4	,5	,7	3,4	6,7	8,3
4°	7,8	5,3	1,9	,4	,7	,4	,9	,9	0,2	3,7	6,7	8,3
2°	7,8	5,5	2,2	,8	,1	,9	,4	,4	0,6	4,0	6,8	8,3
0°	7,9	5,7	2,5	,2	,6	,3	,9	,9	1,0	4,2	6,9	8,3
8°	7,9	5,8	2,8	,6	,1	,8	,3	,3	1,4	4,4	7,0	8,3
6°	7,9	6,0	3,2	0,1	,5	,3	,8	,8	1,7	4,6	7,0	8,2
4°	7,8	6,1	3,5	0,5	,0	,8	,2	,2	2,0	4,9	7,1	8,2
2°	7,8	6,2	3,8	0,9	,5	,3	,7	,6	2,4	5,1	7,2	8,1
0°	7,8	6,4	4,0	1,3	,9	,9	,1	0,1	2,7	5,3	7,3	8,1
8°	7,7	6,4	4,3	1,6	,3	,2	,6	0,4	3,0	5,4	7,2	7,9

6°	7,6	6,4	4,4	2,0	,7	,7	,1	0,9	3,2	5,5	7,2	7,8
4°	7,5	6,5	4,6	2,3	0,2	,1	,5	1,2	3,4	5,6	7,1	7,7
2°	7,4	6,5	4,8	2,6	0,6	,6	0,0	1,6	3,7	5,7	7,0	7,5
0°	7,3	6,5	5,0	3,0	1,0	0,0	0,4	2,0	3,9	5,8	7,0	7,4
8°	7,1	6,5	5,1	3,2	1,4	0,4	0,8	2,3	4,1	5,8	6,8	7,1
6°	6,9	6,4	5,2	3,5	1,7	0,8	1,2	2,6	4,3	5,8	6,7	6,8
4°	6,7	6,4	5,3	3,7	2,1	1,2	1,6	2,9	4,5	5,8	6,5	6,6
2°	6,6	6,3	5,4	4,0	2,5	1,6	2,0	3,2	4,7	5,8	6,4	6,5
0°	6,4	6,3	5,5	4,2	2,8	2,0	2,4	3,5	4,8	5,9	6,2	6,2
°	6,1	6,1	5,5	4,4	3,1	2,4	2,7	3,7	4,9	5,8	6,0	6,0
°	5,8	6,0	5,6	4,7	3,4	2,8	3,1	4,0	5,0	5,7	5,8	5,7
°	5,5	5,8	5,6	4,9	3,8	3,2	3,4	4,3	5,1	5,6	5,5	5,4
°	5,3	5,7	5,7	5,1	4,1	3,5	3,7	4,5	5,2	5,5	5,3	5,1
°	5,0	5,5	5,7	5,3	4,4	3,9	4,1	4,8	5,3	5,4	5,1	4,8

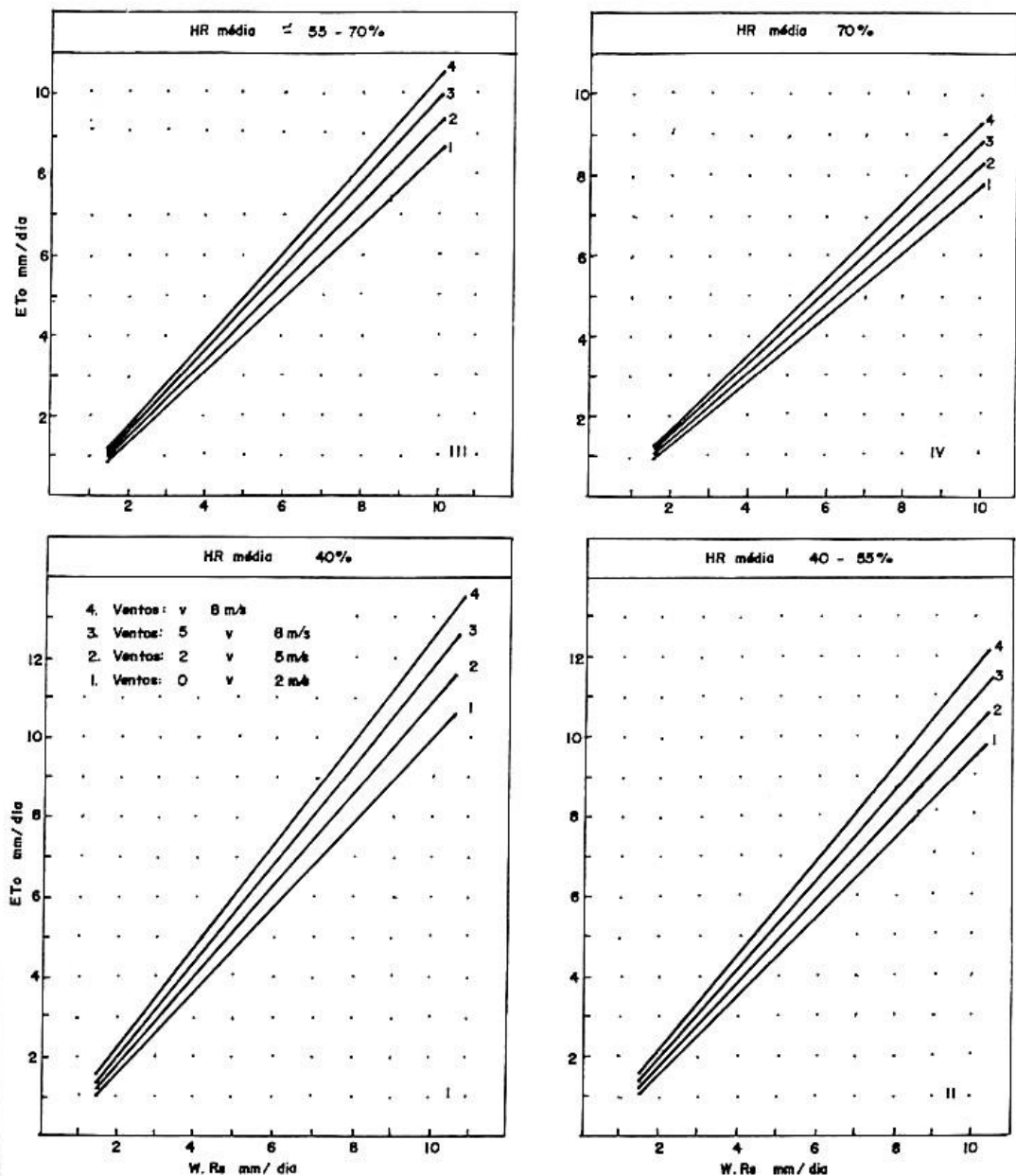


Figura - Estimativa da E_{To} a partir de valores calculados de $W.Rs$ e do conhecimento da umidade relativa média e ventos diurnos.

Método de Hargreaves - Samani

A equação geral para o cálculo da evapotranspiração de referência por este método, é representada pela Equação.

$$ET_o = 0,0023 \times R_a \times (T + 17,8) \times \sqrt{T_{\max} - T_{\min}}$$

em que:

ET_o	= evapotranspiração de referência [mm d^{-1}];
R_a	= radiação no topo da atmosfera [$\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$];
T	= temperatura média [$^{\circ}\text{C}$];
$T_{\max}$	= temperatura média das máximas [$^{\circ}\text{C}$];
$T_{\min}$	= temperatura média das mínimas [$^{\circ}\text{C}$];

.

A determinação de R_a é feita pela Equação

$$R_a = 37,586 \times d_r \times (\omega_s \times \sin \varphi \times \sin \delta_s + \cos \varphi \times \cos \delta_s \times \sin \omega_s)$$

Em que:

d_r = distância relativa Terra-Sol [rad];

ω_s = ângulo horário do por-do-sol [rad];

φ = latitude do lugar [rad]; e

δ_s = declinação solar [rad].

A determinação de d_r é feita de acordo com a Equação:

$$d_r = 1 + 0,033 \times \cos \left(\frac{2\pi}{365} J \right)$$

Em que J é o número do dia do ano.

Para valores mensais, J pode ser determinado como:

$$J = \text{inteiro } (30,42 \times M - 15,23)$$

Em que M é o número do mês (1 a 12).

A Equação estima o ângulo horário do pôr-do-sol.

$$\omega_s = \arccos (-\tan \varphi \times \tan \delta_s)$$

OBS: Na Equação, para o Hemisfério Norte a latitude tem sinal positivo e, para o Hemisfério Sul, tem sinal negativo.

A declinação solar é determinada pela Equação.

$$\delta_s = 0,4093 \times \sin \left(\frac{2\pi}{365} J - 1,405 \right)$$

Método de Penman-Monteith-FAO

Para padronização dos procedimentos de cálculo da evapotranspiração da cultura de referência, baseando-se na equação de Penman-Monteith, a FAO propôs a seguinte notação, que passou a ser conhecida como equação de Penman-Monteith-FAO:

$$ET_o = \frac{\delta}{\delta + \gamma \left(1 + \frac{r_c}{r_a} \right)} \times \frac{(R_n - G)}{\lambda} + \frac{\gamma}{\delta + \gamma \left(1 + \frac{r_c}{r_a} \right)} \times \frac{900}{T + 273,15} \times U_2 \times DPV$$

Em que:

ET_o = evapotranspiração da cultura de referência [mm d^{-1}];

δ = declividade da curva de pressão de vapor de saturação [$\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$];

- λ = calor latente de evaporação [MJ kg^{-1}].
 r_c = resistência do dossel da planta [s m^{-1}];
 r_a = resistência aerodinâmica [s m^{-1}];
 R_n = saldo de radiação à superfície [$\text{MJ m}^{-2} \text{s}^{-1}$];
 G = fluxo de calor no solo [$\text{MJ m}^{-2} \text{s}^{-1}$];
 γ = constante psicrométrica [$\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$];
 T = temperatura média do ar [$^\circ\text{C}$];
 U_2 = velocidade do vento a 2 m de altura [m s^{-1}];
 DPV = déficit de pressão de vapor [kPa]; e
 900 = fator de transformação de unidades.

Os componentes da Equação, de acordo com SMITH (1991), podem ser obtidos conforme descrito a seguir.

- Declividade da curva de pressão de vapor (δ),
- Calor latente de evaporação (λ)

$$\lambda = 2,501 - 2,361 \times 10^{-3} T$$

- Constante psicrométrica (γ)

$$\gamma = 0,0016286 \times \frac{P}{\lambda}$$

Em que P [kPa] é pressão atmosférica à altitude Z [m], calculada pela Equação.

$$P = 101,3 \times \left(\frac{293 - 0,0065 \times Z}{293} \right)^{5,25}$$

- Pressão parcial de vapor (e_d)

$$e_d = e_a \times \frac{UR}{100}$$

Em que UR é a umidade relativa média do ar [%].

- Déficit de pressão de vapor (DPV)

$$DPV = e_a - e_d$$

- Saldo de radiação (Rn)

A determinação do saldo de radiação é feita pela Equação.

$$R_n = R_{ns} - R_{nl}$$

Em que:

R_{ns} = saldo de radiação de ondas curtas [$\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$]; e

R_{nl} = saldo de radiação de ondas longas [$\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$].

- Saldo de radiação de ondas curtas (R_{ns})

O saldo de radiação de ondas curtas é a radiação efetivamente recebida pelo dossel da cultura, levando-se em consideração as perdas por reflexão. A Equação é a que representa a determinação desse componente.

$$R_{ns} = (1 - \alpha) \times R_s$$

Em que:

α = coeficiente de reflexão da superfície do dossel para a radiação solar de ondas curtas (albedo). O valor médio para grama é de 0,23; e

R_s = radiação solar incidente [$\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$], calculada pela Equação.

OBS: A radiação solar no topo da atmosfera (R_a), a ser utilizada na Equação II.16, terá que ser calculada de acordo com o procedimento apresentado no método de HargreavesSamani. Além disso, o número máximo possível de horas de insolação para um dado local (N) deverá ser calculado por meio da Equação:

$$N = \frac{24}{\pi} \times \omega_s$$

Em que ω_s é calculado pela Equação .

- Saldo de radiação de ondas longas (R_{nl})

A radiação térmica da vegetação e do solo para a atmosfera, bem como a refletida da atmosfera e da nuvem, pode ser representada pela Equação.

$$R_{nl} = \left(0,9 \times \frac{n}{N} + 0,1 \right) \times \left(0,34 - 0,14 \times \sqrt{e_d} \right) \times \sigma \times \left(T_{kx}^4 + T_{kn}^4 \right) \times \frac{1}{2}$$

Em que:

σ = constante de Stefan-Boltzmann [$4,903 \times 10^{-9} \text{ MJ m}^2 \text{ K}^{-4} \text{ d}^{-1}$];

T_{kx} = temperatura máxima diária [K]; e,

T_{kn} = temperatura mínima diária [K].

- Velocidade do vento (U_2)

Para ajustar os dados de velocidades do vento obtidos de instrumentos instalados em diferentes alturas do padrão de 2 m, para o qual a equação de PM-FAO tem sido calibrada, a Equação pode ser usada.

$$U_2 = \frac{4,868}{\text{LN}(67,75 z - 5,42)} \times U_z$$

Em que:

U_z = velocidade do vento à altura z [m s^{-1}];

U_2 = velocidade do vento a 2 m de altura [m s^{-1}]; e

z = altura da medição da velocidade do vento [m].

- Fluxo de calor no solo (G)

Como consequência do calor armazenado no solo, pode haver a ocorrência de algum fluxo de calor. Para estimar esse fluxo, para um dado período, a Equação pode ser usada.

$$G = 0,38 \times (T_n - T_{n-1})$$

Em que:

G = fluxo de calor no solo [$\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$];

T_n = temperatura do dia n [$^{\circ}\text{C}$]; e,

T_{n-1} = temperatura do dia $n - 1$ [$^{\circ}\text{C}$].

OBS: se a estimativa for mensal, T_n será a temperatura média do mês em questão; T_{n-1} a temperatura média do mês anterior.

- Resistência do dossel da planta

Considerando a grama como cultura de referência, o valor de r_c foi parametrizado para uma altura da cultura de 0,12 m. Dessa forma, seu valor é 69 s m^{-1} .

- Resistência aerodinâmica (r_a) estimada pela Equação.

ESTUDOS PEDOLÓGICOS

Com o objetivo de tornar possível uma melhor compreensão da inter-relação solo-irrigação, apresentaremos a seguir uma revisão dos conceitos fundamentais de física de solos necessários ao estudo da irrigação.

A ÁGUA NO SOLO

Sob o ponto de vista agrícola, o solo é o produto da intemperização e fragmentação da crosta terrestre por meio de processos físicos, químicos e biológicos, sendo, portanto, um sistema heterogêneo, trifásico, disperso e poroso.

As proporções das três fases do solo, ou seja, sólida (matriz do solo), líquida (solução do solo) e gasosa (atmosfera do solo), variam continuamente e dependem das variáveis tempo, vegetação e manejo, dentre outras. As condições ideais de um solo dependem do equilíbrio entre as fases líquida e gasosa.

Quando a solução do solo começa a ocupar todo o espaço poroso, temos um problema de drenagem, ocasionando falta de oxigênio para o desenvolvimento das plantas. No caso da fase gasosa começar a ocupar o espaço da solução do solo, temos um problema de déficit hídrico, ocasionando deficiência de água para o desenvolvimento das plantas.

As variações das três fases em um solo são dependentes de suas propriedades físicas.

TEXTURA DO SOLO

A textura do solo refere-se à distribuição das partículas que o compõem em termos de tamanho e porcentagem de ocorrência. A importância do tamanho das partículas diz respeito ao número delas por unidade de volume ou de peso, e a superfície que elas expõem. A superfície exposta determina as propriedades de retenção de água e de nutrientes.

A classificação textural de um solo é a correspondente às combinações das três principais frações sólidas que formam a sua matriz, ou seja, as frações areia, silte

e argila. Normalmente, esta classificação é baseada no triângulo de classificação textural que é compreendido de 13 classes.

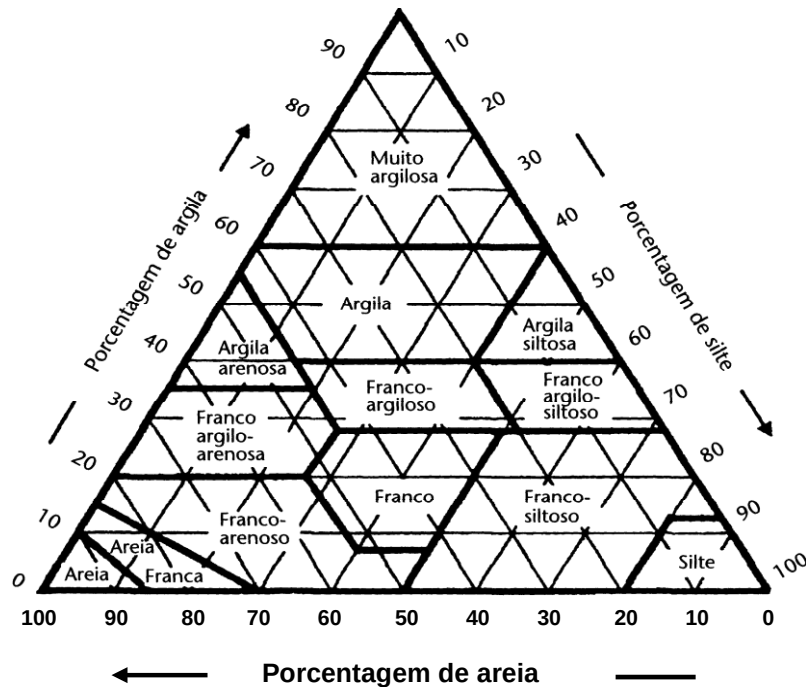


Figura - Triângulo de classificação textural.

Das 13 classes texturais, destacam-se 7 classes como as mais importantes, cuja caracterização será apresentada a seguir.

- 1 - Arenoso: solo solto em grãos individuais, que podem ser vistos e sentidos pelo tato, apresentando teores maiores que 85% da fração areia.
- 2 - Areno-barrento ou areno-franco: tem menos fração areia que a categoria anterior, apresentando teores de silte e argila acima de 15%.
- 3 - Barro-arenoso ou franco-arenoso: ainda é uma categoria que apresenta teores relativamente altos de areia – acima de 52% – mas com teores de silte e argila acima de 30%.
- 4 - Franco: esta categoria é a que apresenta maior equilíbrio entre as porcentagens das três frações granulométricas. normalmente possui menos de 52% de areia, entre 7 e 27% de argila e de 28 e 50% de silte.
- 5 - Franco-siltoso: apresenta-se com pouca areia e pouca argila (entre 12 e 27% de cada uma), com predominância absoluta da fração silte (acima de 50%).

6 - Franco-argiloso: solos que se apresentame muitos duros quando secos e altamente plásticos quando úmidos. é composto de 27 a 40% de argila, 20 a 40% de areia e a fração restante de silte.

7 - Argiloso: também são solos que se apresentam muitos duros quando secos e altamente plásticos quando úmidos. é composto de mais de 40% de argila, menos de 45% de areia e a menos de menos de 40% da fração silte.

ESTRUTURA DO SOLO

A estrutura do solo refere-se ao arranjo das partículas e a adesão de partículas menores na formação de agregados. Dessa forma, é uma propriedade meramente qualitativa.

É importante salientar que em áreas agrícolas, a estrutura é totalmente modificada próximo á superfície, em decorrência do preparo do solo. Ela se mantém caracterizada para as diferentes formações de solos nas camadas mais profundas, sem interferência de práticas culturais.

A estrutura, ao contrário da textura, pode ser totalmente modificada. Caso não seja adequada para exploração agrícola, pode ser alterada com práticas agrícolas específicas (rotação de culturas, incorporação de matéria orgânica, etc).

Solos bem estruturados, com alta quantidade de agregados de forma granular, são os melhores para fins agrícolas por ter maior permeabilidade e melhores condições de aeração.

PRÁTICAS AGRÍCOLAS QUE ALTERAM A ESTRUTURA DO SOLO

- Ciclos de irrigação melhoram a estrutura (molhamento e secamento);
- Preparo de solo com umidade elevada é altamente nocivo a estrutura devido à sua compactação;
- Uso de água salina por meio da irrigação: agregados irão se desmanchar devido a dispersão das argilas pela presença de sais (principalmente os de Na^+). Estes solos tornam-se extremamente impermeáveis.

RELAÇÕES DE MASSA E VOLUME DOS CONSTITUINTES DO SOLO

A Figura constitui-se numa representação esquemática de um solo hipotético e mostra as massas e os volumes das três fases em uma amostra representativa.

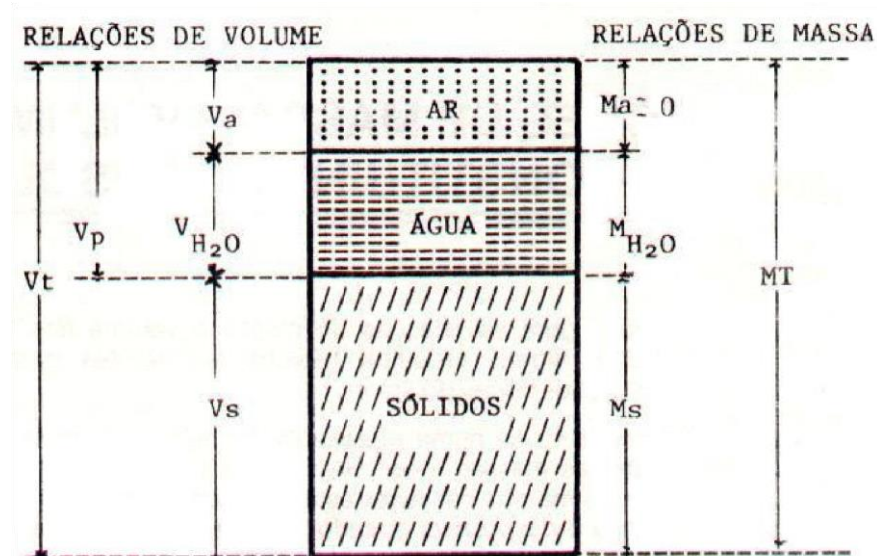


Figura - Diagrama esquemático do solo como um sistema trifásico.

Com base na Figura, definiremos alguns indicadores usados para expressar de forma quantitativa, as inter-relações dos três constituintes primários do solo.

1. Densidade dos sólidos ou densidade real (d_r): define a relação entre a massa de sólidos e o volume de sólidos, sendo representada pela Equação.

$$d_r = \frac{M_s}{V_s}$$

A densidade real é uma propriedade física bastante estável porque depende exclusivamente da composição da fração sólida do solo. Pode ser alterada pelo manejo do solo ao longo do tempo, caso haja modificação significativa do conteúdo de matéria orgânica. Na maior parte dos solos minerais a d_r varia de 2,6 a 2,7 g cm⁻³. É comum a adoção de 2,65 g cm⁻³ como valor médio.

Aplicações da densidade real:

- Avaliação da porosidade total do solo;

- Avaliação do tempo de sedimentação de uma partícula em um fluido;
- Critério auxiliar na classificação de solos; e,
- Estudos mineralógicos na separação de minerais leves e minerais pesados.

2. Densidade do solo ou densidade global (d_s): representa a relação entre a massa de sólidos e o volume total do solo, incluindo o espaço ocupado pela água e pelo ar. É representada pela Equação.

$$d_s = \frac{M_s}{V_T}$$

A densidade do solo é uma propriedade física que reflete o arranjo das partículas do solo, que por sua vez define as características do sistema poroso. Ela é função da textura, estrutura e grau de compactação do solo. Aos valores mais comuns para d_s são: solos de textura grossa, de 1,3 a 1,8 g cm⁻³; solos de textura fina, de 1,0 a 1,4 g cm⁻³; e solos orgânicos, de 0,2 a 0,6 g cm⁻³.

A determinação de d_s é feita utilizando-se um cilindro de aço com a borda inferior biselada, com o objetivo de facilitar sua penetração no solo sem afetar significativamente a estrutura. As dimensões desses cilindros variam de 3 a 10 cm de diâmetro e de 2 a 10 cm de altura.

Para determinação de d_s , coleta-se a amostra de solo no campo e, no laboratório, é retirado o excesso de solo de tal sorte que o cilindro fique completamente ocupado pelo solo. Em seguida, coloca-se o cilindro com solo em estufa a 105 ° até que se verifique peso constante. Com o peso de sólidos e o volume do cilindro tem-se a d_s .

3. Umidade com base em volume ou volumétrica (θ): expressa em cm³ de água por cm³ de solo.

$$U = \frac{M_u - M_s}{M_s} \quad \therefore \quad U = \frac{M_a}{M_s}$$

4. Porosidade do solo (η): refere-se à relação entre o volume de vazios e o volume total.

$$\theta = \frac{V_a}{V_T}$$

Na Equação, substituindo-se V_a e V_T em função da densidade da água ($d_a = 1 \text{ g m}^{-3}$) e da densidade do solo, teremos:

$$\theta = \frac{\frac{M_a}{d_a}}{\frac{M_s}{d_s}} \quad \therefore \quad \theta = \frac{M_a}{M_s} \times \frac{d_s}{d_a} \quad \therefore \quad \theta = \frac{M_a}{M_s} \times \frac{d_s}{1} \quad \therefore \quad \theta = \frac{M_a}{M_s} \times d_s \quad \therefore \quad \theta = U \times d_s$$

Expressa em cm^3 de água por cm^3 de solo.

5. Porosidade livre de água (ϵ): é a relação entre o volume de ar e o volume total.

$$\eta = \frac{V_v}{V_T}$$

Sabendo-se que: $V_v = V_{ar} + V_a$, tem-se:

$$\eta = \frac{V_{ar} + V_a}{V_T} \quad \therefore \quad \eta = \frac{V_T - V_s}{V_T} \quad \therefore \quad \eta = 1 - \frac{V_s}{V_T}$$

Expressando-se V_s em função de d_r , e V_T em função de d_s , tem-se:

$$\eta = 1 - \frac{d_s}{d_r}$$

Considerando-se valores médios de d_s de $1,3 \text{ g cm}^{-3}$ e d_r igual a $2,65 \text{ g cm}^{-3}$, indicam porosidade de 0,5; ou seja, o volume ocupado pelo ar e água está ao redor de 50%.

6. Porcentagem de saturação (P_s): reflete diretamente qual a porcentagem da porosidade do solo ocupado com água.

$$\varepsilon = \frac{V_{ar}}{V_T} \quad \therefore \quad \varepsilon = \frac{V_v - V_a}{V_T}$$

Relação importante:

$$\varepsilon = \eta - \theta$$

Esta relação tem grande importância no controle da água em projetos de irrigação e drenagem. No que diz respeito à irrigação, quando se aplica uma determinada lâmina é necessário que se avalie quanto tempo será necessário para que uma porcentagem de poros do solo esteja na condição de não saturação, ou seja, qual a porosidade livre de água. Para a maioria das culturas 6% de porosidade livre permite o aproveitamento do oxigênio pelo sistema radicular.

7. Porcentagem de saturação (P_s): reflete diretamente qual a porcentagem da porosidade do solo ocupado com água.

$$P_s = \frac{V_a}{V_v} \quad \therefore \quad P_s = \frac{\theta}{\eta}$$

RETENÇÃO DE ÁGUA PELO SOLO

A retenção de água no solo é afetada fundamentalmente pela textura do solo, uma vez que ela determina a área de contato entre a matriz do solo e a água e os diferentes tamanhos de poros.

Secundariamente, a estrutura do solo também interfere na retenção, por condicionar o arranjo das partículas, que por sua vez vai determinar a distribuição de poros.

Um fator importante a ser considerado quanto à textura é a característica cristalográfica das argilas da matriz do solo em análise. Como têm suas propriedades diferentes, consequentemente possuem capacidades de retenção diferenciadas.

Argilas montmoriloníticas, vermiculíticas e ílíticas têm excelente capacidade de retenção. Já com as caulíníticas e as gibsíticas acontece o contrário.

Matéria orgânica coloidal também apresenta excelente capacidade de retenção. A adição continuada de esterco à solos com baixa capacidade de retenção é uma prática comum para reverter essa condição.

ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO

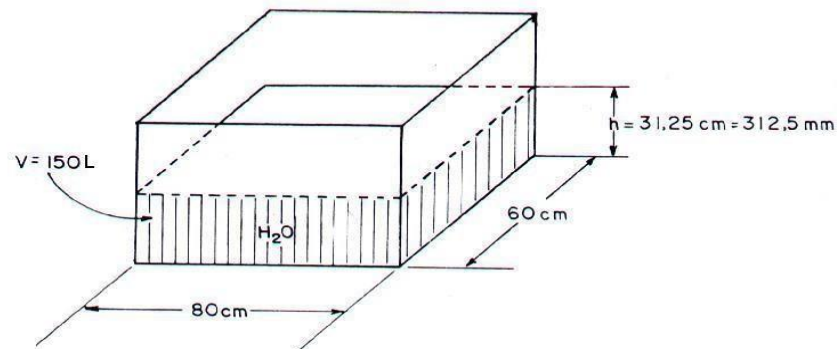
A interceptação de água pelo solo, como já visto, é função de sua textura, sua estrutura e das propriedades mineralógicas dos minerais argílicos que compõem a matriz do solo.

A capacidade de retenção de umidade pelo solo é função direta da macroporosidade, uma vez que é nos macroporos que a água fica retida.

Em termos práticos, a quantidade de água a ser aplicada ao solo, equivalente a uma certa umidade retida, é dada em termos de lâmina d'água. Volumetricamente, a lâmina aplicada multiplicada pela área de interceptação da lâmina, nos fornecerá o volume equivalente. Assim, define-se: 1mm de altura de água é equivalente a um volume de 1 litro distribuído em uma área de 1 m². Como consequência:

$$1\text{mm} = 1 \text{ L m}^{-2} = 10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$$

A Figura a seguir ilustra um recipiente que recebeu um volume de 150 L em uma área de 4800 cm² (0,48 m²). Com isso, a lâmina equivalente será de 312,5 mm ou 3125 m³ ha⁻¹.



Figura– Representativa para a determinação da lâmina de irrigação.

DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO SOLO PARA IRRIGAÇÃO

A água no solo teoricamente considerada disponível para as plantas é aquela armazenada entre a capacidade de campo (Cc) e o ponto de murchamento (Pm). Em termos de potencial matricial, a água disponível se encontra entre 0,1 - 0,3 atm e 15 atm. Diz-se teoricamente disponível porque, para a maioria das plantas, muito antes do solo atingir o Pm, a água já deixa de ser disponível, ou seja, a planta já não consegue absorver a quantidade de água necessária para o seu metabolismo e sua transpiração. Porém, o conceito clássico de água disponível nos fornece um critério para caracterizar o solo quanto à sua capacidade de armazenamento. De modo geral, um solo raso e/ou de textura grossa, apresenta uma menor capacidade de retenção e, conseqüentemente, exige irrigações mais frequentes.

A capacidade de campo (Cc) representa a quantidade de água retida pelo solo em condições de campo contra a força da gravidade. O ponto de murchamento (Pm) representa o teor de umidade de equilíbrio, entre a força de coesão, exercida pelas partículas do solo sobre a película de água aderente às mesmas e a força de sucção exercida pelas raízes das plantas. Em um solo no qual o Pm tenha sido atingido, ainda contém certa percentagem de umidade, a qual, entretanto, não pode ser utilizada pelas plantas, por estar fortemente retida pelo mesmo.

De acordo com a equação que representa o armazenamento de água no solo, o cálculo da água disponível a uma determinada profundidade é facilmente realizado desde que se conheçam os teores de umidade correspondentes à Cc e Pm, a densidade do solo (ρ_s) e a profundidade de interesse (z).

Primeiramente, pode-se calcular a disponibilidade total de água (DTA) no solo:

$$DTA = \frac{C_c - P_m}{100} \times d_s$$

Onde DTA é expressa em mm de água por mm de solo.

A disponibilidade total de água geralmente aumenta a medida que a textura do solo vai diminuindo. Na Tabela são apresentados os limites comumente encontrados nas texturas básicas.

A capacidade real de água (CRA), leva em consideração a profundidade de interesse, que normalmente corresponde à profundidade efetiva do sistema radicular (Pef) – Tabela. Sendo assim:

$$CRA = DTA \times P_{ef}$$

Onde a Pef é expressa em mm.

Tabela - Limites de DTA para solos de diferentes texturas

Textura	Disponibilidade total de água	
	mm por cm de solo	m ³ ha ⁻¹ por cm de solo
Grossa	0,4 a 0,8	4 a 8
Média	0,8 a 1,6	8 a 16
Fina	1,2 a 2,4	12 a 24

A CRA não está igualmente disponível para as plantas em todo o seu intervalo, o que, em termos práticos, resulta na possibilidade do solo limitar a evapotranspiração das culturas em sua taxa máxima. Assim, adota-se uma faixa do CRA que irá constituir-se na disponibilidade real de água (DRA) e espera-se ainda que ela possibilite a ocorrência da evapotranspiração no seu nível máximo. A DRA é função do tipo da cultura e da demanda evapotranspirométrica. Dessa forma:

$$DRA = CRA \times f$$

Onde f é denominado fator de disponibilidade hídrica, tabelado em função da cultura. A seguir será feita uma explanação mais detalhada sobre este fator.

A evapotranspiração máxima (ET_m) é o consumo hídrico necessário para manter uma cultura sem deficiência. À medida que se esgota a água disponível no solo, em um determinado ponto (umidade crítica), a demanda hídrica da cultura torna-se inferior à ET_m . A fração da água total disponível que pode ser utilizada sem que a ETr seja inferior à ET_m , é definida como fator de disponibilidade hídrica (f). Assim, quando a evapotranspiração é pequena, a água do solo pode estar disponível à níveis bem baixos de umidade. Inversamente, à níveis de demanda muito elevados, a água do solo pode não estar disponível às culturas em umidades próximas da capacidade de campo. Então, todas as vezes que o conteúdo de água do solo for inferior à umidade crítica, haverá deficiência hídrica da cultura.

Tabela - Profundidade efetiva do sistema radicular de algumas culturas

Culturas	Profundidade (cm)
A - Hortaliças	• Alface 15 - 30
	• Batata 25 - 60
	• Cebola 25 - 60
	• Ervilha 50 - 70
	• Melão 20 - 40
	• Milho Doce 30 - 50
	• Pepino 35 - 50
	• Tomate 25 - 70
B - Cereais	• Cereais Menores 50 - 100
	• Feijão 20 - 40
	• Milho 30 - 60
	• Trigo 20 - 40

C - Frutas - Banana - Citros - Morango - Videira	30 – 50 60 – 150 20 - 40 50 - 100
D - Forrageiras - Alfafa - Pastagens de Gramíneas - Sorgo	40 - 70 40 - 100 50 - 100
E - Plantas Industriais - Algodão - Cana de Açúcar - Soja - Tabaco	50 - 110 50 - 120 40 - 70 30 - 60

(Adaptado de RAPOSO, 1980)

O valor de f é estimado em função do solo, da cultura e das condições climáticas (Bailey, 1990 e Doorenbos & Kassam, 1979a). Algumas culturas, como a maioria das hortaliças, necessitam constantemente de solos relativamente úmidos para que não haja déficit hídrico. Outras culturas, como o algodão e o sorgo, podem utilizar muito mais a água do solo antes que a E_{Tr} seja inferior à E_{Tm} . As culturas podem ser agrupadas de acordo com as suas especificidades fisiológicas e, dessa forma, em função do grupo a que pertence e a sua evapotranspiração máxima, seleciona-se fator f . A margem de tolerância desse fator é estreita para as culturas que têm a parte colhida carnosa ou fresca (frutas, hortaliças e forragens) e é mais ampla naquela cuja parte colhida é seca (cereais para grãos, algodão e oleaginosas). O valor de f pode variar com o período vegetativo e geralmente é maior na fase de maturação devido à baixa evapotranspiração.

Tabela– Profundidade efetiva do sistema radicular de algumas culturas e a percentagem da presença de raízes com efetiva absorção de água

Cultura	Profundidade efetiva
---------	----------------------

	(cm)	(%)
Abacaxi	20	95
Amendoim	70	85
Algodão	30	83 – 89
Arroz	10	93
Arroz-várzea	15 - 20	80 – 90
Batata	15 – 20	90
Cacau	40	85
Café	50	80
Cana-de-açúcar	70	80
Citrus	50	80
Feijão	20 – 30	81 – 98
Mamão	50	85
Milho	50	80
Morango	10	85 – 94
Pessegueiro	50	87
Pepino	30	88
Quiabo	20	90
Soja	50	82
Tomate	50	68 – 81
Trigo	35	85
Hortaliças	10 – 15	80
Cereais	15 – 35	80
Fruteiras	50	80

A água do solo se transmite e é absorvida pelo sistema radicular das culturas mais facilmente em solos de textura mais grossa que nos de textura mais fina, devido às diferenças na condutividade hidráulica. Por esse motivo, normalmente, os valores de f são maiores nos solos de textura mais grossa do que nos de textura mais fina.

Tabela - Grupos de culturas de acordo com a influência da redução de água do solo, na redução da ET_m

GRUPO	CULTURAS
1	cebola, pimenta, batata
2	banana repolho, uva, ervilha, tomate
3	alfafa, feijão, cítricas, amendoim, abacaxi, girassol, melancia, trigo
4	algodão, milho, azeitona, açafrão, sorgo, soja, beterraba, cana-de-açúcar, fumo

Tabela - Valores de f para diferentes grupos de cultura e valores de evapotranspiração máxima diária

GRUPO	ET _m (mm d ⁻¹)								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,50	0,425	0,35	0,30	0,25	0,225	0,20	0,20	0,175
2	0,675	0,575	0,475	0,40	0,35	0,325	0,275	0,25	0,225
3	0,80	0,70	0,60	0,50	0,45	0,425	0,375	0,35	0,30
4	0,875	0,80	0,70	0,60	0,55	0,50	0,45	0,425	0,40

Considerando a irrigação real necessária (IRN) como sendo a quantidade de água que se necessita aplicar por irrigação, apresentam-se dois casos:

a) Irrigação total: quando toda a água necessária à cultura for suprida pela irrigação; neste caso, IRN = DRA. Para os sistemas de irrigação por sulcos de infiltração ou aspersão, IRN = DRA. Quando se utiliza os sistemas de irrigação por pivô central, auto-propelido ou localizados, IRN < DRA, pois a automação, inerente a estes métodos, permite se irrigar com maior frequência. Dessa forma, a IRN será estimada pela Equação.

$$IRN = \frac{C_c - P_m}{100} \times ds \times P_{ef} \times f$$

b) Irrigação suplementar: quando parte da água necessária à cultura for suprida pela irrigação e a outra parte pela precipitação. Como nem toda a água precipitada é utilizada no suprimento às culturas, denomina-se precipitação efetiva (P_e), aquela parte da precipitação que fica retida na zona radicular e é efetivamente utilizada pela cultura. A irrigação real necessária será então estimada pela Equação.

$$IRN = \left(\frac{C_c - P_m}{100} \times ds \times P_{ef} \times f \right) - P_e$$

Normalmente a precipitação efetiva não é considerada ao se dimensionar um projeto de irrigação. Entretanto, a fim de compensar a não inclusão desse parâmetro no cálculo da demanda máxima de irrigação, pode-se dimensionar os projetos em 100 % da ET_{pc} para a região nordeste, e em 80 % da ET_{pc} para as outras regiões do país.

Para se calcular a quantidade total de água a ser aplicada por irrigação (ITN), é necessário se estabelecer a eficiência aplicação do sistema de irrigação (E_a) a ser utilizado. Esses valores são atribuídos em função do sistema de irrigação empregado e será tema para discussão ao se estudar sistemas de irrigação.

$$ITN = \frac{IRN}{E_a}$$

INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO

A infiltração é o processo pelo qual a água penetra no solo através de sua superfície. Após a passagem da água pela superfície do solo, ou seja, cessada a infiltração, a camada superior atinge um “alto” teor de umidade, enquanto que as camadas inferiores se apresentam ainda com “baixos” teores de umidade. Há então, uma tendência de um movimento descendente da água provocando um molhamento das camadas inferiores, dando origem ao fenômeno que recebe o nome de redistribuição.

Os fenômenos infiltração e redistribuição caracterizam a capacidade de infiltração do solo, que por sua vez, vai comandar a velocidade de infiltração (V_i) da

água aplicada à uma determinada taxa (taxa de aplicação). A V_i condiciona o tempo de irrigação necessário para a aplicação da quantidade de água desejada como também determina a escolha do melhor método de irrigação. A medida que se vai adicionando água no solo, a frente de umedecimento vai atingindo uma profundidade cada vez maior, diminuindo a diferença de umidade entre essa frente e a camada superficial, que vai se tornando cada vez mais úmida. Com isto, a V_i vai se reduzindo substancialmente até atingir um valor constante, característico de cada tipo de solo, e que recebe o nome de velocidade de infiltração básica (V_{ib}).

Normalmente, solos arenosos apresentam grandes valores de V_i e, conseqüentemente, podem ocorrer grandes perdas por percolação, sendo, dessa forma, impróprios para a irrigação por superfície. Por outro lado, a V_{ib} é usada no momento da escolha do aspersor, já que a intensidade de aplicação, típica de cada um deles, deve ser menor ou igual a ela.

Se não solo com baixa capacidade de infiltração aplicarmos água a uma taxa elevada, a velocidade de infiltração será correspondente à capacidade de infiltração daquele solo. Poderá haver escoamento superficial daquela água aplicada na taxa excedente à sua capacidade de infiltração. A V_i pode ser expressa em termos de altura de lâmina d'água ou volume d'água por unidade de tempo por unidade de área (mm h^{-1} ou $\text{m}^3 \text{min}^{-1} \text{m}^{-1}$).

Portanto, a V_i depende diretamente da textura e estrutura do solo e, para um mesmo solo, depende do teor de umidade na época da irrigação, da sua porosidade, do tipo de argila predominante e da existência de camada menos permeável (camada compactada) ao longo do perfil.

Outro termo muito utilizado é a infiltração acumulada (I), que é a quantidade total de água infiltrada, durante um determinado tempo. Geralmente é expressa em mm ou cm (altura de lâmina de água infiltrada na superfície do solo).

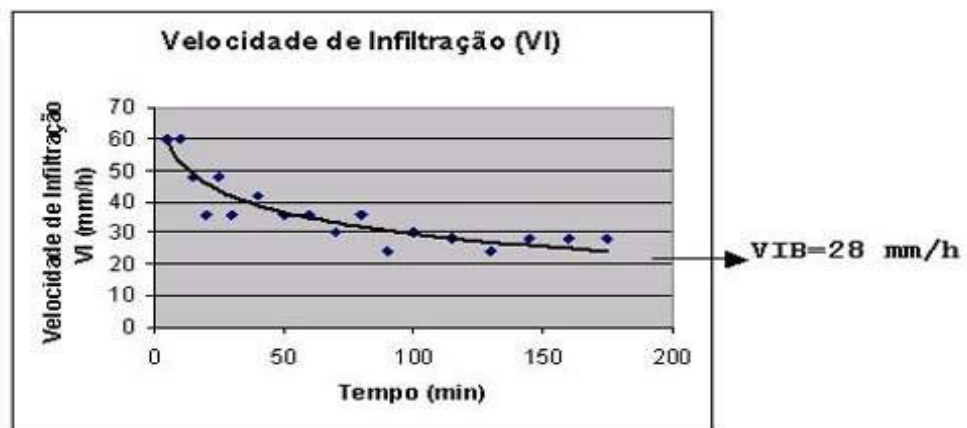


Figura - Curva típica de velocidade de infiltração, para diferentes tipos de solo e conteúdo de umidade.

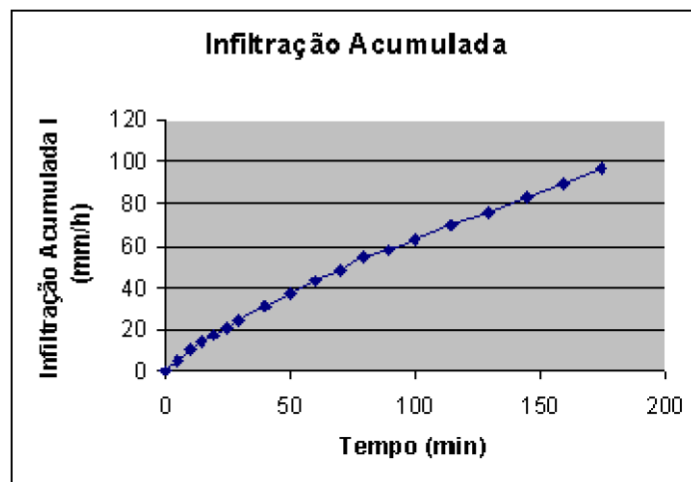


Figura - Curva típica de infiltração acumulada.

Equações representativas da infiltração

A infiltração acumulada de água no solo (I) pode ser descrita por meio de várias equações, onde serão apresentadas as duas mais utilizadas.

Equação tipo potencial

A equação potencial mais conhecida é denominada equação de Kostiakov, representada abaixo.

$$I = k \times T^a$$

em que:

I = infiltração acumulada [cm, mm];

k = constante dependente do solo [adimensional];

T = tempo de infiltração [horas, min]; e

a = constante dependente do solo [adimensional], variando de 0 a 1 em valor absoluto.

Essa equação descreve bem a infiltração para pequenos tempos de irrigação, comuns na aplicação de lâminas de água médias e pequenas.

Para se determinar a equação que representa a velocidade de infiltração instantânea (V_{inst}) é necessário derivar a equação de infiltração acumulada em relação ao tempo. Sua forma será então:

$$V_{inst} = \frac{dI}{dT} = k \times a \times T^{a-1}$$

A equação de Kostiakov possui limitações para longos tempos de irrigação. Rearranjando a Equação, teremos:

$$V_{inst} = \frac{k \times a}{T^{1-a}}$$

Verifica-se na equação que, à medida que o tempo de infiltração vai-se tornando muito grande, a velocidade de infiltração tende para zero. Essa situação não é real uma vez que, na realidade, a velocidade tende para a V_{ib} , cujo valor é diferente de zero.

A equação que representa a velocidade de infiltração média (V_{im}) é obtida pela divisão da equação de I pelo tempo T .

$$V_{im} = \frac{I}{T} = \frac{k \times T^a}{T} = k \times T^{a-1}$$

A determinação dos coeficientes a e b é feita utilizando-se o método analítico (regressão linear) ou o método gráfico (uso de papel log-log).

a) Método analítico

Como o método da regressão linear só pode ser aplicado para equações lineares, inicialmente a equação de infiltração, que é uma equação exponencial, deverá ser transformada em uma equação linear. Para isso, basta aplicar as operações logarítmicas correspondentes à equação de infiltração. Assim,

$$\text{Log } I = \text{Log } k + a \text{ Log } T$$

Dessa forma, verifica-se que essa apresentação da equação de infiltração nada mais é que uma equação da reta do tipo $Y = A + B X$, em que:

- $Y = \text{Log } I$
- $A = \text{Log } k$
- $B = a$
- $X = \text{Log } T$

No método da regressão linear, os valores de A e B são determinadas pelas seguintes expressões:

$$A = \frac{\sum X \times \sum XY - \sum X^2 \times \sum Y}{(\sum X)^2 - m \times \sum X^2}$$

$$B = \frac{\sum X \times \sum Y - m \times \sum XY}{(\sum X)^2 - m \times \sum X^2}$$

Em que m é o número de pares de dados I e T.

Os pares de valores $I \times T$ são obtidos por meio de teste de campo. Essas determinações serão assuntos discutidos a seguir.

Obtidos os valores de A e B, determina-se k e a, ou seja, retorna-se a equação exponencial de origem. O valor de k é encontrado aplicando o antilog A, e a é o próprio valor de B.

b) Método gráfico

Os dados de I e T são plotados em um papel Log-Log e traça-se a linha reta de melhor ajuste dos pontos. O ponto de intercessão do prolongamento da reta com o eixo das ordenadas (relativo aos valores do tempo T), será o valor de k, e a declividade da reta será o valor de a.

Métodos de determinação de V_i e I

Os métodos usados para se determinar a velocidade de infiltração da água no solo, podem ser classificados em dois grupos:

- Métodos que representam a infiltração praticamente na vertical: ocorre nas irrigações por inundação e por aspersão;
- Métodos que representam a infiltração tanto na direção vertical como na horizontal, que é o caso da irrigação por sulcos e gotejamento (infiltração radial).

Método do infiltrômetro de anel

Esse tipo de infiltrômetro é formado por dois cilindros de chapa de aço ou de ferro com 1/8" de espessura, com 30 cm de altura e diâmetros de 25 e 50 cm, sendo que as bordas inferiores dos cilindros são biseladas em ângulo de 30° para facilitar a introdução no solo.

Para a instalação dos cilindros, inicialmente escolhe-se o local para a execução do teste, de modo que ele seja representativo da área total, evitando-se locais pedregosos, elevações e depressões.



Figura– Infiltrômetro de anel em operação.

Os cilindros são cravados no solo, concentricamente e em nível, até uma profundidade de 15 cm, por meio de golpes com uma marreta sobre um pranchão de madeira assentado sobre eles, evitando-se assim que as bordas superiores amassem.

As medições serão realizadas no cilindro de menor diâmetro; o de maior diâmetro tem como finalidade fazer com que a água contida no interior do menor cilindro infiltre o mais verticalmente possível.

Para a execução do teste, coloca-se, inicialmente, uma folha de plástico no interior do cilindro de prova, forrando-o totalmente. Logo após, adiciona-se água nos dois cilindros, de modo que os níveis se igualem. Anota-se, com uma régua, a carga hidráulica no cilindro interno, retirando-se imediatamente o plástico para que se inicie a infiltração da água. Dessa forma, mede-se a altura de água infiltrada a intervalos de tempo. À medida que o tempo avança a velocidade de infiltração diminui e, sendo assim, os intervalos de tempo deverão ser cada vez maiores entre duas medições. Quando se atingir intervalos de tempo de 60 min, mantém-se este intervalo até que se verifique a mesma altura infiltrada nesse tempo.

Durante o teste, os cilindros deverão ser reabastecidos todas as vezes que a carga hidráulica se situar próximo de 5 cm. A cada reabastecimento, deverá ser anotada a nova altura de referência. A relação entre a lâmina infiltrada e o tempo necessário para esta infiltração nos dará a velocidade de infiltração instantânea. A soma das lâminas infiltradas durante o teste nos dará a infiltração acumulada.

Com os dados obtidos no teste, construiremos uma tabela onde teremos os valores equivalentes à variação da velocidade de infiltração ao longo do tempo, bem como todos os valores da infiltração acumulada durante o teste. Dessa forma, serão determinados os parâmetros da equação de infiltração.

Método do infiltrômetro de sulco

Consiste em represar a água em um pequeno sulco aberto no solo, em geral de 1 m, e ir acrescentando água, à medida que ela for se infiltrando. Permite-se uma variação máxima de 2 cm no nível de água dentro do sulco. Deve-se utilizar dois sulcos ao lado como bordadura.

Com uma trena, mede-se um trecho de 1,0 m de sulco, delimitando-o com duas chapas de ferro cravadas em cada extremidade. Coloca-se no meio do sulco um piquete para se fazer o controle do nível de água dentro do infiltrômetro. Em seguida, o sulco é preenchido rapidamente com água até o nível de referência, iniciando-se o teste. Ao ocorrer a infiltração, a água deve ser repostada até o nível de referência. Entretanto, ao invés de se medir h , como no método anterior, acrescenta-se água ao sulco através de um recipiente de volume conhecido, de forma que se saiba qual o volume infiltrado no solo no momento das leituras.

Embora este método represente a condição de infiltração bidimensional (como ocorre na irrigação por sulcos), ele não representa as condições dinâmicas da irrigação (remoção do selamento), subestimando a infiltração, além de se fazer uma pequena amostragem espacial. Uma outra característica deste método é que, o efeito de cargas distintas (nível d'água no sulco) diminui com o passar da irrigação, mas não é totalmente eliminado, pois quando se aumenta a carga, não apenas o gradiente é aumentado mas também o perímetro molhado do sulco (área de infiltração).

Método da entrada e saída da água no sulco

Consiste em colocar um medidor de vazão (calhas medidoras) no início do sulco e um outro afastado de 20 a 40 m do primeiro. Essa distância é função do tipo de solo, sendo recomendado o maior valor para solos argilosos e o menor para arenosos.

O método apresenta a grande vantagem de ser dinâmico, simulando as condições reais de escoamento da água na superfície do sulco. Além disso, é mais representativo, pois utiliza uma maior área para a realização do teste. A desvantagem apresentada é que necessita de um maior volume de água e é mais trabalhoso que

os demais. Este método, de modo geral, superestima a infiltração, pois não considera a variação do volume de água armazenado na superfície, o qual acaba sendo contabilizado como infiltração.

Quando a vazão no final do sulco atingir um valor constante, a Vib pode ser determinada pela diferença entre a vazão aplicada no início do sulco (Q_e) e a que escoou no seu final (Q_s), dividida pela área do sulco ($L \times E$).

$$Vib = \frac{Q_e - Q_s}{L \times E}$$

Ao se fazer a irrigação por sulcos, a velocidade de infiltração deve ser determinada pelo método de entrada e saída ou pelo infiltrômetro de sulco.

Resolução da equação de infiltração utilizando o método numérico de NewtonRaphson

A equação de infiltração é resolvida normalmente tendo o tempo de oportunidade como incógnita. Apesar de ser um parâmetro explícito da equação, sua determinação só pode ser feita por meio de um método numérico, uma vez que a solução não é algebricamente direta.

Se houver possibilidade de se utilizar uma calculadora programável, a solução é simples em função dos recursos disponíveis nessas calculadoras, ou seja, qualquer que seja a marca, elas possuem em sua estrutura solução para esse tipo de determinação numérica. Quando se dispuser apenas de calculadoras que não possuem o recurso de estrutura de programação, a solução para equações que se assemelham à de infiltração (Kostiakov-Lewis), normalmente tem que ser feita por tentativas, processo este que, por vezes, pode ser extremamente demorado.

SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

Sistemas de irrigação é um conjunto de técnicas da Engenharia Agrícola que visa distribuir água às plantas cultivadas em quantidades adequadas para promover um desenvolvimento vegetal adequado, com um mínimo de perdas de água.

Basicamente, um projeto de irrigação é composto por dois sistemas: o sistema de irrigação e o de drenagem, quando necessário.

O sistema de irrigação é composto essencialmente pelos seguintes subsistemas:

Subsistema de captação

A captação de água pode ser feita de duas maneiras: por bombeamento ou por gravidade. A captação por bombeamento é a mais comum, uma vez que a maioria dos casos, a fonte de água se encontra em cota inferior a área a ser irrigada. Como as fontes de água para irrigação podem ter diferentes origens (rios, nascentes, reservatórios, poços, etc), poucos são os casos onde a captação pode ser por gravidade. Em rios, por exemplo, é possível a captação por gravidade, desde que a cota do nível da água se encontre acima do terreno a ser irrigado. Nesse caso, um canal parte diretamente do rio, transportando a água para a distribuição na área. Está tomada é conhecida como “a fio d’água”, mas é pouco comum, uma vez que, na época de necessidade de irrigação, o nível de água dos rios é baixo. Essa tomada é muito comum em reservatórios.

Subsistema de condução

Compreende o conjunto de estruturas hidráulicas responsável pela condução e distribuição da água em toda a área a ser irrigada. Cada método de irrigação tem o seu conjunto específico de estruturas. Esse assunto será estudado detalhadamente a medida que for sendo discutido cada método de irrigação.

Subsistema de aplicação

A forma de aplicação de água é dependente dos diferentes métodos de aplicação. Cada método tem sua especificidade de aplicação. Como exemplo, no método de irrigação por aspersão, a aplicação da água é feita por meio de aspersores; no método por sulcos de infiltração, são utilizados sifões que derivam a água de um canal de distribuição para os sulcos. O estudo e dimensionamento desses equipamentos serão vistos posteriormente.

O sistema de drenagem, comum aos métodos de irrigação por superfície, é o responsável pela eliminação dos excessos inevitáveis de água de irrigação e precipitação. Os métodos de irrigação por aspersão e localizados, salvo em situações especiais, dispensam o sistema de drenagem, devido às altas eficiências de aplicação que possuem, pois permitem maiores condições para incorporar ao solo a quantidade de água necessária, com muita pouca perda, desde que o manejo se processe de maneira eficiente.

PARÂMETROS PARA O DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

- Evapotranspiração de referência (ET_o): estimada por meio de um dos métodos empíricos já estudados anteriormente.
- Lâmina de irrigação ou irrigação real necessária: estimada por meio da Equação. Normalmente é expressa em mm ou m³ ha⁻¹.
- Necessidade de irrigação: frequentemente é expressa em termos de vazão característica, correspondendo ao mês de máxima demanda. É determinada por meio da Equação.

$$q_c = \frac{V_m \times 10^3}{N \times 30 \times 3600}$$

Em que:

q_c = vazão característica, em L s⁻¹ ha⁻¹;

V_m = volume mensal de irrigação, correspondente ao mês de máxima demanda, em m³ ha⁻¹; e,

N = número de horas de irrigação por dia. Se N for igual a 24 horas, a vazão característica é chamada de vazão contínua.

Turno de rega: representa o intervalo entre irrigações.

$$T_R = \frac{IRN}{ETPc}$$

É expresso em dia, uma vez que IRN é expressa em mm e ETPc em mm d⁻¹. Ao se determinar o TR, é comum encontrar valor fracionário, mas, como só podemos usá-lo com valor inteiro, aproximamos para o imediatamente inferior. Exemplo: se TR = 4,4 dias, adotaremos 4 dias e ajustamos o IRN em função do TR e da ETPc.

Equação de infiltração da água no solo: representada por meio da Equação.

Número de irrigações diárias:: é a relação entre o número de horas disponíveis por dia para se proceder às irrigações e o tempo de irrigação.

$$N_i = \frac{N}{T_i}$$

- A determinação do tempo de irrigação é função do método de irrigação utilizado. Informações detalhadas serão dadas quando do estudo de métodos de irrigação. Um outro fator que interfere na determinação de N é o tempo necessário para mudança dos equipamentos entre as irrigações. A exemplo do tempo de irrigação, esse fator é função do método de irrigação e do manejo adotado.
- Eficiência de irrigação: é função da quantidade de água mobilizada para a irrigação e a realmente incorporada ao solo. Esse valor varia em função do método de irrigação empregado. A eficiência total de irrigação é função das eficiências de condução, de distribuição e a de aplicação.
- Eficiência de condução (Ec): representa todas as perdas que ocorrem desde a tomada d'água até os limites da área a ser irrigada. É variável em função do tipo de conduto utilizado para o transporte da água, que pode ser um canal em terra ou revestido, ou mesmo uma tubulação. Para fins de anteprojeto, podem ser utilizados os seguintes valores:

- Canais em terra: 75% para os não revestidos e 85% para os revestidos;

- Tubulações: 95%.

- Eficiência de distribuição (E_d): representa todas as perdas que ocorrem na distribuição de água por toda a área. Podem ser utilizados os mesmos valores referentes à eficiência de condução.
- Eficiência de aplicação (E_a): representa todas as perdas que ocorrem durante a aplicação de água por toda a área. Varia de 65 a 90%, dependendo do método de irrigação empregado.

A eficiência total de irrigação (E_i), será então determinada pela Equação.

$$E_i = E_c \times E_d \times E_a$$

Normalmente, os valores de e_i são os seguintes:

- Para métodos de irrigação por superfície: 40 a 60%; - para métodos de irrigação por aspersão: até 85%; - para métodos de irrigação localizados: até 95%.

- Vazão de projeto: é função da necessidade hídrica máxima mensal para a(s) cultura(s), e da área a ser irrigada.

$$Q_p = ETP_{c_{m\acute{a}x}} \times A$$

A $ETP_{c_{m\acute{a}x}}$ é expressa em $m^3 \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$, e a área de projeto em ha. A vazão total de projeto é determinada em função da eficiência de irrigação do método de irrigação utilizado. Todos os cálculos referentes à esse parâmetro será objeto de estudo em dimensionamento de sistemas de irrigação.

CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

- Sistemas por superfície ou por gravidade
 - Sulcos de infiltração
 - Inundação ou submersão
 - Faixas
 - Subirrigação (elevação do nível do lençol freático)
- Sistemas por aspersão
 - Aspersão convencional
 - Montagem direta
 - Pivô central
 - Autopropelido
 - Sistema linear

Sistemas localizados

- Microaspersão
 - Gotejamento
- Sistemas não convencionais
 - Xique-xique
 - Outros

FATORES QUE INFLUENCIAM NA ESCOLHA DO MÉTODO DE IRRIGAÇÃO

- Água
 - Vazão da fonte
 - Frequência da disponibilidade
 - Custo
 - Qualidade
- Solos
 - Textura
 - Salinidade
 - Profundidade

- Cultura

- Hábitos de crescimento
- Característica da parte comercial
- Especificidade quanto a doenças

Topografia

- Declividade

Clima

Mecanização e tratos culturais

Mão-de-obra

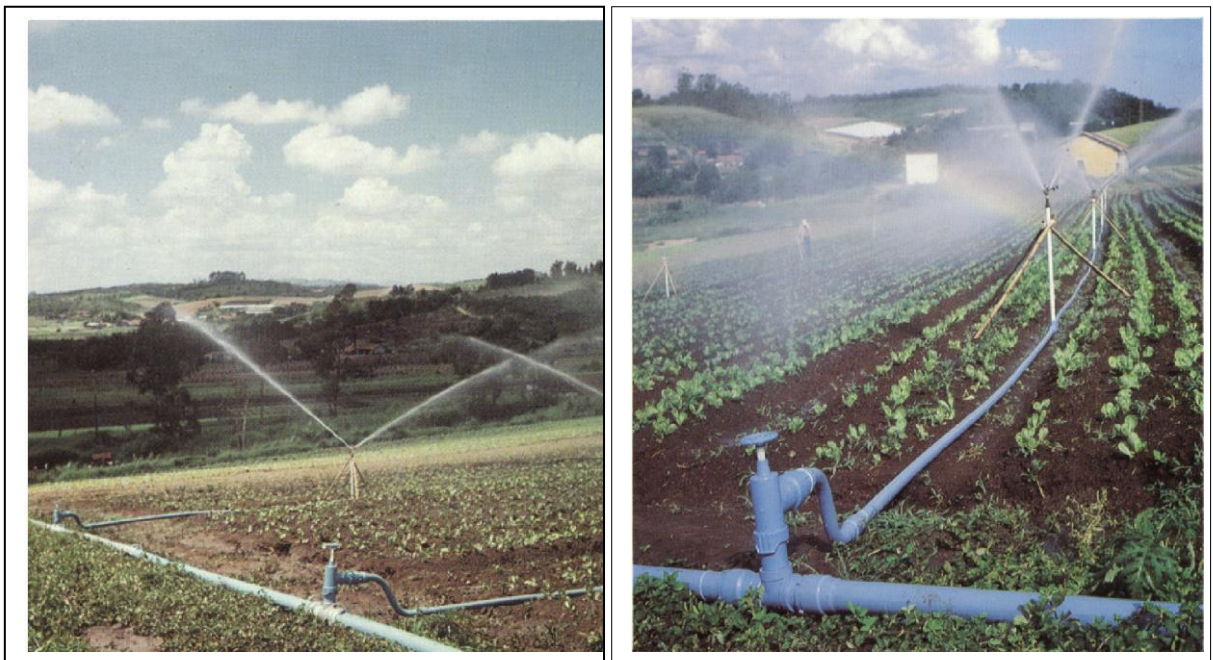
Aspectos econômicos

Desejo do proprietário

IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

Forma de aplicação da água

Neste método de irrigação a água é aplicada ao solo sob a forma de uma chuva mais ou menos intensa e uniforme sobre a superfície, com o objetivo de que a infiltração se processe no ponto o qual ela alcança. O processo de aplicação de água por um aspersor consiste em um jato d'água emitido a grande velocidade que se dispersa no ar em um conjunto de gotas, distribuindo-se sobre a superfície do terreno, com o objetivo de se conseguir uma distribuição uniforme entre vários aspersores. As Figuras ilustram um sistema de irrigação por aspersão em operação.



Figuras– Sistema de irrigação por aspersão em operação, apresentando a linha principal, linhas laterais e registro de controle de entrada de linha lateral. Adaptabilidade do sistema

Solos

Este sistema se adapta a qualquer tipo de solo no que diz respeito à textura e estrutura. Solos com textura que possibilita alta velocidade de infiltração, permite a utilização de aspersores com maior intensidade de aplicação, permitindo menor tempo de irrigação por posição e, conseqüentemente, maior número de irrigações diárias para uma mesma lâmina de aplicação. Dessa forma, maior número de irrigações diárias proporciona menor área irrigada por posição, diminuindo a quantidade de equipamentos necessários ao projeto e menor custo de implantação, mas, em contrapartida, exige maior utilização de mão-de-obra. Maiores detalhes sobre esta questão serão discutidos no tópico sobre projeto de sistemas de irrigação por aspersão.

Topografia

Com relação à declividade, a irrigação por aspersão é comumente utilizada em terrenos planos, de encosta, terraços e platôs mais elevados. Terrenos com

declividades muito acentuadas dificultam a adoção do sistema, uma vez que, nesses casos, é quase impossível que as linhas laterais tenham espaçamentos constantes entre si, situação essa que é desejável para que o sistema apresente uma uniformidade de distribuição dentro de limites aceitáveis.

Clima

Como o sistema por aspersão é caracterizado pela aplicação de água simulando uma chuva, o vento, a umidade relativa do ar e a temperatura são os parâmetros climáticos que exercem grande influência na distribuição de água. Ventos com velocidades elevadas provocam má distribuição da água na superfície do solo, provocada pelo desvio do jato d'água, ou seja, a água lançada por um certo aspersor não é aplicada efetivamente na área de domínio desse aspersor conforme as características operacionais testadas pelo fabricante do equipamento. Com os outros dois parâmetros climáticos, baixa umidade relativa e altas temperaturas do ar provocam considerável evaporação durante a operação do sistema. Regiões com ventos fortes, baixas umidades relativas e altas temperaturas, não são indicadas para utilização dos sistemas por aspersão.

Culturas

O sistema por aspersão adapta-se a maioria das culturas, exceto para algumas, como, por exemplo, o tomate, uma vez que, devido a característica da aplicação da água, pode favorecer o desenvolvimento de doenças fúngicas. Especial cuidado deve ser levado em conta quanto aos tratamentos fitossanitários, pois a forma de aplicação da água propicia a lavagem de algum produto químico aplicado na planta, diminuindo sua eficiência, além de poluir o solo e o subsolo e, conseqüentemente, o lençol freático. É preciso estabelecer uma adequada programação das irrigações para evitar estas interferências.

VANTAGENS E LIMITAÇÕES DO SISTEMA

As vantagens da irrigação por aspersão são derivadas principalmente de dois aspectos fundamentais:

- 1) o controle da irrigação só está limitado pelas condições atmosféricas; e,
- 2) a uniformidade de aplicação da água é independente das características hidrofísicas do solo.

Dessa forma, as principais vantagens do sistema são:

- a) Uma vez que a dose de rega é dependente do tempo de aplicação, o sistema pode se adaptar tanto a pequenas quanto a grandes doses;
- b) Não há necessidade de sistematização do terreno, adaptando-se a topografias onduladas, permitindo preservar a fertilidade natural do solo;
- c) Adapta-se perfeitamente à rotação de culturas. Neste caso, o dimensionamento deve ser feito para o cultivo mais exigente em termos de necessidade de água; para cultivos de menor exigência hídrica, o manejo é feito unicamente com o controle do tempo de aplicação;
- d) Permite menor uso de mão-de-obra quando comparado aos sistemas de irrigação por superfície;
- e) Permite a aplicação de fertilizantes e tratamentos fitossanitários como também é muito eficiente contra o efeito de geadas nos cultivos;
- f) Uma vez que toda a rede hidráulica é pressurizada, não há perda de área útil para construção de canais ou outras estruturas hidráulicas;
- g) É o método mais eficiente para a lixiviação de sais por originar um movimento de água no solo em subsaturação, obrigando-a a circular pelos poros menores e, portanto, mais em contato com a solução do solo;

As principais limitações de uso do sistema são as seguintes:

- a) É possível a aspersão propiciar a propagação de pragas e doenças em algumas culturas;

- b) Pode causar problemas de sanidade na parte aérea da planta quando se utiliza água salina ou residual para a irrigação;
- c) São fortemente afetada pela ação dos ventos;
- d) Maior custo de implantação e manutenção ao ser comparado com os sistemas de irrigação por superfície.

COMPONENTES DO SISTEMA

Um sistema de irrigação por aspersão é composto basicamente por: estação de bombeamento, uma ou mais linhas principais, linhas laterais ou ramais, aspersores e acessórios da rede hidráulica. A seguir será feita uma abordagem geral sobre os componentes do sistema.

Aspersores

Em geral, os aspersores podem ser classificados com base em distintos aspectos, a saber: velocidade de rotação, mecanismo de rotação e pressão de serviço.

Classificação quanto a velocidade de rotação

De alta rotação: velocidade acima de 6 rpm; são usados em jardins, hortas e viveiros;

De baixa rotação: velocidade de 1/4 até 3 rpm; são os de uso geral em agricultura. Para uma mesma pressão, os de baixa rotação conseguem maior alcance que os de alta rotação, permitindo que os aspersores tenham maior espaçamento entre eles.

Classificação quanto ao mecanismo de rotação

De reação: quando a inclinação do bocal de saída origina a rotação; de turbina: quando o jato de água emitido pelo aspersor incide sobre uma turbina, originando a rotação; e,

De choque: quando o jato incide sobre um braço mecânico com uma mola, que faz girar o aspersor de forma intermitente. O aspersor pode ser de rotação completa ou, mediante um mecanismo especial pode mover-se somente em um setor circular; são chamados de aspersores setoriais.

Classificação quanto à pressão de serviço do aspersor

De baixa pressão (menos de 250 kPa): são aspersores com diâmetro de bocal menor que 4 mm, com vazão menor que $1 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, com rotação por choque. São adequados para operarem com 12 m de espaçamento entre eles, e utilizados em jardinagem, irrigação de hortaliças e para irrigação em fruteiras operando sub-copa, aplicando água bem próximo à superfície do solo. Também podem ser utilizados em sistemas de cobertura total anti-gelada;

De média pressão (de 250 a 400 kPa): são aspersores com um ou dois bocais com diâmetros entre 4 e 7 mm, emitindo vazões entre 1 e $6 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$; e,

De alta pressão (acima de 400 kPa): são aspersores tipo canhão com 1, 2 ou 3 bocais e vazões entre 6 e $40 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, estando disponíveis canhões que podem superar $200 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. O mecanismo de rotação pode ser de choque ou de turbina, com alcance entre 25 e 70 m. Os de longo alcance podem apresentar baixa uniformidade de distribuição ao ser afetado por ventos. Um outro detalhe importante é que esses aspersores de grande porte ficam limitados à pouquíssimas culturas devido ao tamanho da gota e a grande altura de queda pode causar danos ao solo nu ou à cultura.

OBS: $1 \text{ atm} = 1 \text{ kg cm}^{-2} = 10,33 \text{ mca} = 101,3 \text{ kPa}$.

Tubulações

Os materiais utilizados nas tubulações para um sistema de irrigação por aspersão são quase que totalmente em PVC rígido. Somente na linha principal do sistema pode haver a necessidade de se utilizar em algum trecho da rede tubos em aço zincado ou aço galvanizado quando se necessitar de diâmetros superiores à 4

polegadas. Atualmente só estão disponíveis no mercado nacional tubos em PVC rígido em 2, 3 e 4 polegadas com conexão por engate rápido e com comprimento padrão de 6 m. No dimensionamento das linhas laterais ou ramais, só se utilizam tubos em PVC, principalmente em sistemas semifixos ou móveis. Somente em casos especiais e por conveniência do projeto, pode-se pensar na possibilidade da utilização de tubos em aço nas linhas laterais.

Moto-bomba

O conjunto moto-bomba utilizado na irrigação por aspersão é formado por bombas de pressão ou centrífugas de eixo horizontal ou do tipo turbina, e por motores elétricos ou de combustão. Os detalhes sobre a seleção do conjunto que melhor se adapta às necessidades do projeto já foi objeto de estudo na disciplina de hidráulica, pré-requisito para o estudo de irrigação.

Acessórios

Os acessórios utilizados em um sistema de irrigação por aspersão são aqueles inerentes a qualquer instalação hidráulica, ou seja, são necessários registros, válvulas, manômetros, curvas, têes ou cruzetas para derivação, tubo de subida para o aspersor com tripé, tampão final (para o fechamento no final da tubulação), e outros que se fizerem necessários.

CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS POR ASPERSÃO

A classificação mais geral que é feita para o sistema de irrigação por aspersão é em função da mobilidade dos diferentes elementos que compõem o sistema. Sendo assim, tem-se:

Sistemas fixos

Neste caso eles podem ser fixos permanentes ou fixos temporários. Nos permanentes, todos os elementos da rede hidráulica são fixos durante a vida útil do

sistema; nos temporários, todo o sistema é instalado no início do plantio e deslocados para outra área quando do final da exploração agrícola no local onde estava.

Sistemas móveis ou portáteis

Nesta modalidade todos os elementos da instalação são móveis, incluindo o conjunto moto-bomba. Por esta razão, é mais comum o uso de motores de combustão interna, pois a exigência de instalação elétrica em cada ponto de tomada do equipamento é inviável por razões de ordem econômica.

Em áreas agrícolas é muito comum a implantação de sistemas de aspersão com o uso de moto-bombas com motor a diesel, devido a infraestrutura elétrica, na maioria absoluta dos casos, ser monofásica. Até há pouco tempo o motor de maior potência monofásico se restringia à 12,5 CV. Recentemente, a empresa EBERLE lançou no mercado um motor de 50 CV monofásico, o que, por certo, fez com que se aumentasse o uso de motores elétricos para aspersão, pois são mais eficientes, ao invés dos movidos à combustível.

Sistemas semifixos

Esta modalidade é ainda a mais empregada no Brasil em irrigação por aspersão. Consiste na instalação da moto-bomba e da(s) linha(s) principal (is) fixos e as linhas laterais ou ramais totalmente móveis. À cada irrigação, as linhas laterais, onde estão acoplados os aspersores, são desmontadas e remontadas nas posições seguintes para uma nova irrigação. Tem um custo de instalação menor que o sistema fixo, mas exige maior mão-de-obra.

DISPOSIÇÃO DOS ASPERSORES NO CAMPO

Em quadrado: o espaçamento entre aspersores (EA) é igual ao espaçamento entre linhas laterais (EL);

Em retângulo: o espaçamento entre aspersores (EA) é menor que o espaçamento entre linhas laterais (EL);

Em triângulo: o espaçamento entre aspersores (EA) é menor que o espaçamento entre linhas laterais (EL).

FATORES QUE AFETAM O DESEMPENHO DE UM ASPERSOR

Bocais dos aspersores

Dependendo da categoria do aspersor, ele pode se apresentar com 1, 2 ou 3 bocais. Os aspersores agrícolas mais comuns possuem dois bocais, sendo um deles para longo alcance e o outro para se proceder a distribuição da água próximo do aspersor, funcionando como espalhador do jato. Nos aspersores de apenas um bocal, este tem dupla função, ou seja, emite água à longo alcance e a espalha, intermitentemente. Já os de três bocais, um é para longo alcance e dois são espalhadores.

Pressão de serviço dos aspersores

A pressão de serviço do aspersor exerce grande influência na sua operação, uma vez que a vazão emitida é dependente do diâmetro dos bocais e da pressão de serviço. Quando da seleção do aspersor que melhor se adapta ao projeto em desenvolvimento, por meio do catálogo do fabricante do equipamento, a pressão de serviço vem especificada dentro de limites recomendados. Tanto pressões acima como abaixo do limite recomendado vão provocar uma distribuição irregular de água e, conseqüentemente, baixa uniformidade de aplicação. Isto se deve ao fato de que, pressões muito altas pulverizam o jato d'água em demasia proporcionando maiores perdas por evaporação e deriva e, pressões muito baixas não são suficientes para fracionar o jato de modo a proceder à aspersão de maneira adequada.

Superposição

Considerando que a aplicação de água por um aspersor se processa de modo circular, se projetarmos os aspersores com espaçamento tal que o alcance de um jato apenas interfaceie o outro, haverá, por consequência, área entre os aspersores que não receberão água. Dessa forma, é imprescindível que haja superposição dos jatos d'água para que nenhuma área fique sem água. O espaçamento entre aspersores é definido no catálogo do fabricante e a percentagem de superposição é dependente do

tipo de aspersor selecionado; algumas modificações devem ser procedidas em função da intensidade do vento na área a ser trabalhada.

Ventos

Os ventos influem diretamente na uniformidade de aplicação uma vez que provocam a mudança na direção do jato d'água. Quanto maior a velocidade do vento e menor o diâmetro de gotas maior a interferência e menor a uniformidade de aplicação. A recomendação mais apropriada quanto à interferência se ventos é a seguinte:

Velocidade do vento (m s ⁻¹)	Espaçamento entre aspersores (m)
Sem vento	65 a 70% do Dc do aspersor
0 – 2	55 a 65% do Dc do aspersor
2 – 4	45 a 55% do Dc do aspersor
> 4	30 a 45% do Dc do aspersor

Os principais procedimentos utilizados para melhorar consideravelmente a uniformidade de distribuição na presença de ventos são: diminuir o espaçamento entre aspersores; usar aspersores de baixa pressão; as LL devem se localizar perpendiculares à direção predominante dos ventos; e, implantar barreiras quebra-ventos.

VAZÃO DOS ASPERORES

$$Q_a = C_d \times A \sqrt{2 \times g \times P_s}$$

Em que:

Q_a = vazão do aspersor, em m³ s⁻¹;

C_d = coeficiente de descarga (0,96);

A = área dos bocais, em m²;

g = aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m s}^{-2}$);

P_s = pressão de serviço do aspersor, em (mca).

INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO DOS ASPERSORES

$$I_p = \frac{Q_a}{EA \times EL}$$

Em que:

I_p = intensidade de precipitação, em m s^{-1} ;

Q_a = vazão do aspersor, em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$;

EA = espaçamento entre aspersores, em m; e,

EL = espaçamento entre linhas laterais, em m.

OBS: a unidade usual de I_p , utilizada em catálogos de fabricantes, é mm h^{-1} .

SELEÇÃO DO ASPERSOR

A intensidade de precipitação deverá ser, no máximo, igual a velocidade de infiltração básica do solo.

$$I_p \leq V_{ib}$$

DIMENSIONAMENTO DAS TUBULAÇÕES

Linhas laterais

A Figura ilustra uma linha lateral derivando-se de uma linha principal.

• Critério para dimensionamento: a variação de vazão entre o primeiro e o último aspersor não poderá ser maior que 10%, ou seja:

$$Q_1 = 1,1 Q_n$$

Como consequência: $Ps_1 = 1,21 Ps_n$

Vamos verificar essa consequência. Considerando a equação para determinação da vazão de bocais (Eq. V.1), vamos ter:

Primeiro aspersor:

$$Q_1 = Cd \times A \times \sqrt{2g \times Ps_1}$$

Último aspersor:

$$Q_n = Cd \times A \times \sqrt{2g \times Ps_n}$$

Dividindo Q_1 por Q_n , teremos:

$$\frac{Q_1 = Cd \times A \times \sqrt{2g \times Ps_1}}{Q_n = Cd \times A \times \sqrt{2g \times Ps_n}}$$

Como $Q_1 = 1,1 Q_n$:

$$\frac{1,1 Q_n = Cd \times A \times \sqrt{2g \times Ps_1}}{Q_n = Cd \times A \times \sqrt{2g \times Ps_n}}$$

$$1,1 = \frac{\sqrt{Ps_1}}{\sqrt{Ps_n}} \qquad 1,21 = \frac{Ps_1}{Ps_n} \qquad Ps_1 = 1,21 Ps_n$$

Com essa conclusão, pode-se então concluir que para um limite de variação de vazão de 10% entre o primeiro e o último aspersor de uma linha lateral de aspersão, a pressão de serviço tem um limite de variação equivalente a 21% da pressão de serviço do aspersor.

- Critério geral para dimensionamento

Em termos práticos, considera-se que a variação de pressão ao longo de uma LL não poderá exceder a 20% da pressão de serviço do aspersor somada a diferença de nível entre os extremos da linha.

- Equação para dimensionamento: a equação utilizada é a de Hazen-Williams.

$$hf = 10,646 \times \frac{\left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852}}{D^{4,87}} \times L$$

Resumindo:

Linha lateral em nível:	limite de hf = 0,20 x Ps
Linha lateral em auge (subindo):	limite de hf = 0,20 x Ps - DZ
Linha lateral em declive (descendo):	limite de hf = 0,20 x Ps + DZ

Onde ΔZ é o desnível topográfico.

IMPORTANTE: para o dimensionamento de uma rede hidráulica, o parâmetro principal é o diâmetro da tubulação. Como o objetivo das equações é a determinação do diâmetro interno, é necessário verificar se existe comercialmente esse diâmetro, por meio de consulta aos catálogos dos diferentes fabricantes; nem sempre o diâmetro nominal, que é utilizado na comercialização do produto, coincide com a real dimensão do diâmetro interno da tubulação.

Considerações sobre perda de carga (hf) nas linhas laterais

Ao longo da LL a vazão é variável, uma vez que vai diminuindo em função da presença dos aspersores. De acordo com a equação de Hazen-Williams, se a vazão diminui a perda de carga também se reduz, uma vez que essas variáveis são diretamente proporcionais. Dessa forma, a perda de carga na tubulação é menor comparada com a condição de vazão constante ao longo dela. Para se determinar a perda de carga real ao longo da linha lateral, há necessidade de calculá-la em cada

trecho entre dois aspersores e depois totalizá-la. Este assunto já foi estudado na disciplina de hidráulica. Como este método é por demais trabalhoso, uma vez que se tivermos 20 aspersores ao longo de uma linha lateral, haverá necessidade de se determinar a perda de carga em 20 trechos da tubulação, aplicando a equação de Hazen-Williams para cada um dos trechos. No intuito de tornar esse cálculo mais simplificado, Christiansen, em 1942, elaborou uma metodologia que permite determinar a percentagem de redução da perda de carga entre os dois extremos de uma tubulação, devido a redução de vazão. Dessa forma, calcula-se a perda de carga considerando que a vazão que entra é a mesma que chega ao final da tubulação, ou seja, desconsiderando-se a redução de vazão, e a multiplica pelo fator de Christiansen, determinado de acordo com as condições apresentadas a seguir.

Determinação do fator de Christiansen

1. Para o caso em que o primeiro aspersor se situar à uma distância da linha principal igual ao espaçamento entre eles, ao longo da linha lateral.

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2 \times N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6 \times N^2}$$

Em que:

F = fator de Christiansen;

m = expoente da vazão na eq. de Hazen-Williams (1,852); e,

N = número de aspersores na LL.

2. Para o caso em que o primeiro aspersor se situar à uma distância da linha principal com um espaçamento diferente do espaçamento entre eles, ao longo da linha lateral.

$$F_r = \frac{R + N \times F - 1}{R + N - 1}$$

$$R = \frac{EA_0}{EA}$$

Em que:

F_r = fator de Christiansen ajustado;

EA_0 = distância da linha principal ao primeiro aspersor.

Baseado no fator de Christiansen, a equação geral de Hazen-Williams para dimensionamento de linhas laterais do sistema de irrigação por aspersão será:

$$hf = 10,646 \times \frac{\left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852}}{D^{4,87}} \times L \times F$$

Ou

$$hf = 10,646 \times \frac{\left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852}}{D^{4,87}} \times L \times F_r$$

Procedimento para dimensionamento de LL com dois diâmetros

Esse procedimento é recomendado quando o diâmetro calculado se encontra entre as dimensões de dois diâmetros comerciais e a metodologia utilizada será por meio do método da vazão fictícia, cujo procedimento para a sua aplicação é apresentado a seguir.

A - Determinação dos comprimentos e seus respectivos diâmetros: utiliza-se a equação para se determinar o comprimento L_2 .

$$L_2 = \left[\frac{\left(\frac{D_1}{D}\right)^n - 1}{\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^n - 1} \right]^{\frac{1}{m+1}} \times L$$

Em que:

D = diâmetro encontrado pela equação, utilizando-se o limite de hf ;

D_1 = diâmetro comercial imediatamente superior à D ;

D_2 = diâmetro comercial imediatamente inferior à D ;

L_2 = comprimento do trecho com o menor diâmetro [m];

L = comprimento total da tubulação [m];

n = expoente do diâmetro na equação de Hazen-Williams (4,87); e,

m = expoente da vazão na equação de Hazen-Williams (1,852).

O comprimento L_1 será então determinado por:

$$L_1 = L - L_2$$

B - Determinação das hf 's: de acordo com esse método, a perda de carga na LL com os dois diâmetros, obedecerá a Equação.

$$hf_{LL} = hf_1 + hf_2 - hf_3$$

Em que:

hf_1 = perda de carga utilizando D_1 , L , Q_{total} ;

hf_2 = perda de carga utilizando D_2 , L_2 , Q_2 ;

hf_3 = perda de carga utilizando D_1 , L_2 , Q_2 .

Linhas ou ramais de espera em sistemas de irrigação por aspersão

No dimensionamento de um sistema de irrigação por aspersão, é muito comum optar-se por trabalhar com ramal de espera, ou seja, enquanto um ramal está em operação, um outro ramal já se encontra montado na posição seguinte. Apesar de, a princípio, ocorrer um aumento no custo de implantação do sistema, este procedimento permite maior número de irrigações por dia, porque não há perda de tempo entre uma irrigação e outra; enquanto um ramal está em operação, o que acabou de operar é imediatamente transportado para a posição seguinte. Com isso, o tempo disponível diário para se proceder às irrigações aumenta. Sendo assim, a área irrigada por posição é menor e, como consequência, o equipamento terá menor vazão a ser transportada, permitindo-se menores diâmetros de tubulação. Durante o exemplo

prático de dimensionamento, um pouco mais adiante, este assunto será mais discutido. A Figura ilustra este procedimento.

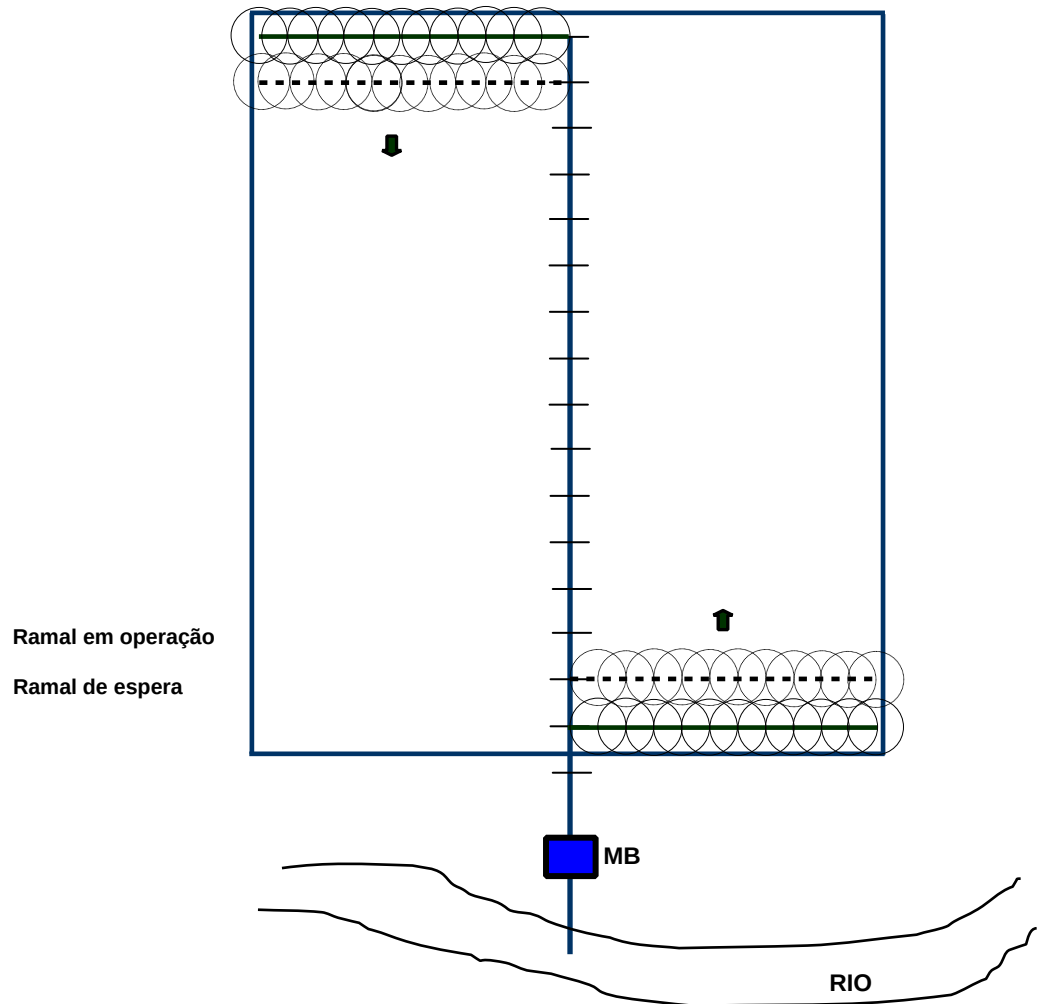


Figura – Esquema de um sistema de irrigação por aspersão com linha de espera.

Desempenho de um sistema de irrigação por aspersão convencional

A análise do desempenho de um sistema de irrigação por aspersão pode ser feita por meio da determinação do coeficiente de uniformidade, que reflete numericamente a qualidade da aplicação de água pelo sistema, ou seja, determina a uniformidade de distribuição da água.

Para se determinar o coeficiente de uniformidade, procede-se aos seguintes passos:

- Escolhe-se um aspersor e divide-se a área em sua volta em subáreas quadradas de iguais dimensões, normalmente utilizando-se o espaçamento 3 x 3 m;
- No centro de cada subárea são instalados coletores que interceptarão a água emitida pelo aspersor. Desta forma, o volume ou lâmina de água interceptada por cada coletor representa a precipitação recebida na subárea a qual se encontra;
- Após o encerramento do teste, registram-se todos os volumes interceptados pelos coletores conforme apresentado na Figura, considerando a superposição entre os jatos de água emitidos pelos quatro aspersores mais próximos;
- Partindo-se do espaçamento recomendado pelo fabricante do aspersor, delimita-se quatro áreas de influência simulando a operação de quatro aspersores aplicando água em cada subárea onde se encontram os coletores.

A determinação numérica do coeficiente de uniformidade pode ser feita por meio de várias equações, sendo mais conhecidas as que serão apresentadas a seguir.

1) Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC): determinado pela Equação.

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n \bar{X}} \right)$$

Em que:

X_i = precipitação observada em cada coletor;

$\bar{X}$ = média das precipitações; e

n = número de observações.

2) Coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD): determinado pela Equação.

$$CUD = 100 \frac{\bar{X}}{\overline{\bar{X}}}$$

Em que:

$\bar{X}$ = média de 25 do total de coletores com as menores precipitações; e

$\overline{\bar{X}}$ = média das precipitações, considerando todas elas.

3) Coeficiente de uniformidade estatístico (CUE): determinado pela Equação.

$$CUE = 100 \left[1 - \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{(n-1) (\bar{X})^2}} \right]$$

Relação entre os coeficientes

$$CUD = 1,59 CUC - 59$$

$$CUE = 1,25 CUC - 25$$

IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

Forma de aplicação da água

Adaptabilidade do sistema a – Solos b – Topografia c – Clima d – Culturas



Figura– Sistema de irrigação por gotejamento em operação.

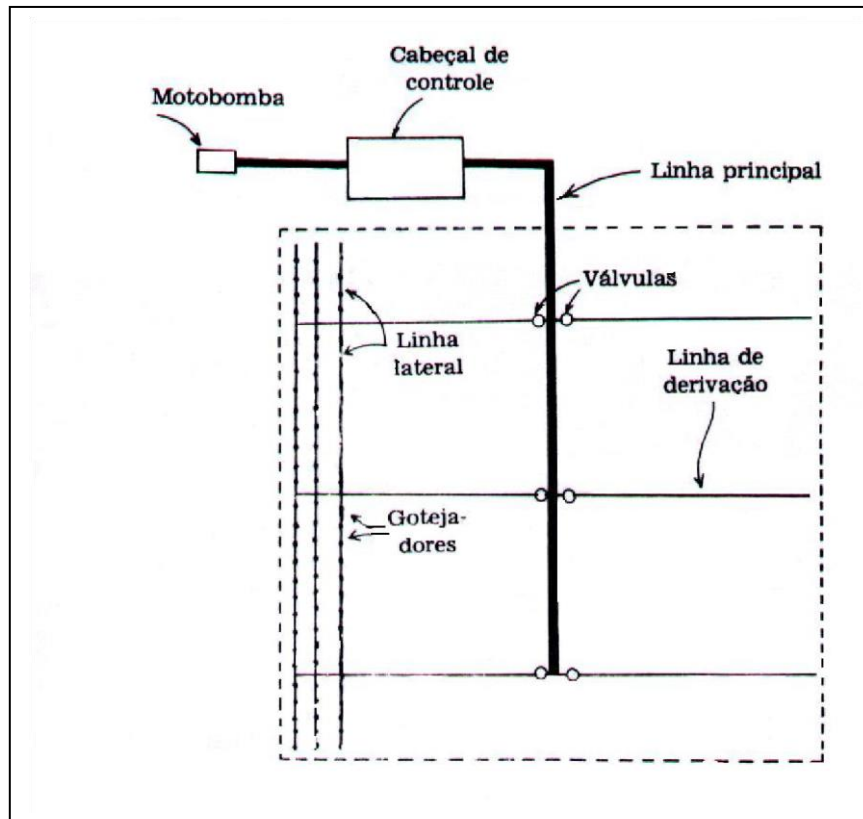
VANTAGENS DO SISTEMA

- Maior eficiência no uso da água;
- Maior produtividade: como a irrigação é diária, há maior uniformidade da umidade do solo e, com isso, maior desenvolvimento da cultura;
- Maior eficiência de adubação;
- Maior eficiência de controle fitossanitário;
- Não interfere nos tratos culturais;
- Pode ser adotado para qualquer tipo de solo e qualquer topografia;
- Pode ser usado com água salina ou em solos salinos; e,
- Maior economia de mão-de-obra.

LIMITAÇÕES DO SISTEMA

- Entupimento dos emissores;
- Distribuição do sistema radicular da planta é mais concentrado.

COMPONENTES DO SISTEMA



Figura– Esquema de instalação de um sistema de irrigação localizada.

DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES DO SISTEMA

Moto-bomba

Centrífuga de eixo horizontal ou do tipo turbina, acionada por motores elétricos ou de combustão.

Cabeçal de controle

Juntamente com os emissores, o Cabeçal de controle é um dos mais importantes componentes do sistema. Fica localizado após a moto-bomba, no início da linha principal e é constituído pelos seguintes equipamentos:

- Medidor de vazão;
- Filtros (areia e tela);
- Injetor de fertilizantes;
- Válvulas de controle de pressão;

- Registros e manômetros.

Linha principal (LP)

É constituída por tubos em polietileno ou em PVC. Pode ser superficial ou enterrada.

Linha de derivação (LD)

Transporta a água da LP até as linhas laterais. São sempre em polietileno ou em PVC. Normalmente são instaladas válvulas para controle de pressão no início das LD para controle de vazão do sistema.

Linha lateral (LL)

São sempre instaladas em nível e constituídas por tubos em polietileno, com o diâmetro variando de 12 a 32 mm. O espaçamento entre as LL é dependente do espaçamento entre as fileiras de plantio.

Emissores

Os emissores podem ser gotejadores ou microaspersores.

DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA - GOTEJAMENTO

Quantidade de água necessária

É dependente do turno de rega a ser estabelecido (varia de 1 a 4 dias).

Evapotranspiração

É expressa em termos de lâmina d'água evapotranspirada e depende da percentagem de área molhada efetivamente pelo emissor. Sua determinação é feita por meio da Equação.

$$ET_g = ET_{pc} \times \frac{P}{100}$$

Em que:

ET_g = evapotranspiração média na área [mm d^{-1}];

ET_{pc} = evapotranspiração potencial da cultura [mm d^{-1}];

P = percentagem de área molhada em relação a área total, obtido pelas Equações.

➤ Irrigação em faixa contínua

$$P = \frac{P_1 \times S_1 + P_2 \times S_2}{S_f}$$

Em que:

S_1 = maior espaçamento dentro dos pares de linhas laterais que dará $P = 100$, em função da vazão do gotejador e do tipo de solo, em m;

$P_1 = 100$;

S_f = espaçamento entre fileiras de plantio, em m;

$S_2 = S_f - S_1$; e,

P_2 = tabelado em função de S_2 .

Determinar o valor de P para um sistema de irrigação por gotejamento onde cada fileira de plantio deverá ser abastecida por duas linhas laterais. Os gotejadores utilizados aplicam uma vazão de 4 L h^{-1} e as linhas de plantio estão espaçadas de 5 m.

Utilizando a Tabela, vamos ter:

$S_1 = 1,2 \text{ m}$ (maior valor para $P = 100$)

$S_2 = 5 - 1,2 = 3,8 \text{ m}$

$P_2 = 32\%$ (para $S_2 = 3,8$ m)

Aplicando a equação 2, tem-se:

$$P = \frac{100 \times 1,2 + 32 \times 3,8}{5} = 48,3\%$$

Irrigação por árvore

$$P = 100 \frac{n \times S_g \times S_m}{S_f \times S_c}$$

Em que

n = número de gotejadores por árvore;

S_g = espaçamento entre gotejadores, em m;

S_m = largura da faixa molhada que é o maior valor de S_1 para

$P = 100$ em função da vazão e tipo de solo;

S_c = espaçamento entre plantas, em m.

Tabela - Valores da percentagem de área molhada (P) para irrigação localizada

Espaçamento das linhas laterais em metros (S1)	Vazão por gotejador ou por saída (L h ⁻¹)														
	1,5			2,0			4,0			8,0			12,0		
	Espaçamento recomendado entre gotejadores ao longo da linha lateral (Sg) para solos de textura grossa (G), média (M) e fina (F), em metros.														
	G	M	F	G	M	F	G	M	F	G	M	F	G	M	F
	0,2	0,5	0,9	0,3	0,7	1,0	0,6	1,0	1,3	1,0	1,3	1,7	1,3	1,6	2,0
0,8	38	88	100	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1,0	33	70	100	40	80	100	80	100	100	100	100	100	100	100	100
1,2	25	58	92	33	67	100	67	100	100	100	100	100	100	100	100
1,5	20	47	73	26	53	80	53	80	100	80	100	100	100	100	100
2,0	15	35	55	20	40	60	40	60	80	60	80	100	80	100	100
2,5	12	28	44	16	32	48	32	48	64	48	64	80	64	80	100
3,0	10	23	37	13	26	40	26	40	53	40	53	67	53	67	80
3,5	9	20	31	11	23	34	23	34	46	34	46	57	46	57	68
4,0	8	18	28	10	20	30	20	30	40	30	40	50	40	50	60
4,5	7	16	24	9	18	26	18	26	36	26	36	44	36	44	53
5,0	6	14	22	8	16	24	16	24	32	24	32	40	32	40	48
6,0	5	12	18	7	14	20	14	20	27	20	27	34	27	34	40

IRRIGAÇÃO

Irrigação real necessária (IRN)

$$IRN = ET_g \times TR$$

Irrigação total necessária (ITN): determinada pela Equação.

Tempo de irrigação por posição (Ti)

➤ Irrigação em faixa contínua

$$T_i = \frac{ITN \times S_g \times S_1}{Q_g}$$

➤ Irrigação por árvore

$$T_i = \frac{ITN \times A_1}{n \times Q_g}$$

Em que:

Q_g = vazão do gotejador, em $L \ h^{-1}$;

S_g = espaçamento entre gotejadores, em m;

A_1 = área representada por cada árvore, em m^2 ; e,

n = número de gotejadores por planta.

Número de unidades operacionais (N)

Determina o número de subáreas em que o projeto será dividido.

$$N = \frac{TR \times n_h}{T_i}$$

Em que n_h é o número de horas de trabalho por dia. É comum se utilizar n_h igual a 24 h.

Vazão necessária ao sistema (Q)

$$Q = \frac{A \times ITN}{N \times T_i}$$

Em que:

Q = vazão de projeto, em $L\ h^{-1}$;

A = área do projeto, em m^2 ;

ITN = irrigação total necessária, em mm ($L\ m^{-2}$);

N = número de unidades operacionais; e

T_i = tempo de irrigação, em h.

Dimensionamento hidráulico do sistema

Linhas laterais

Critério: a variação de vazão entre o primeiro e o último gotejador não poderá ser maior que 10%. Para essa condição, a perda de carga ao longo da LL não poderá exceder à 20% da pressão de serviço do gotejador.

➤ Equação para dimensionamento: Hazen-Williams modificada

$$h_f = 10,646 \times \frac{\left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852}}{D^{4,87}} \times L \times F \times \left(\frac{C}{C_g}\right)^{1,852}$$

Em que:

Q = vazão de projeto, em $m^3\ s^{-1}$;

C = coef. de rugosidade do tubo (140 para PVC e 144 para PE);

D = diâmetro da tubulação, em (m);

L = comprimento da tubulação, em (m);

F = fator de Christiansen;

C_g = coeficiente de rugosidade do tubo com gotejadores, que varia de 80 a 140; em termos médios, adota-se $C_g = 100$.

Pressão no início da linha lateral (P_{inLL})

$$P_{inLL} = P_s + 0,75 \times h_{fLL} \pm 0,4 \times \Delta Z$$

Linhas de derivação

São instaladas na direção da maior declividade do terreno e podem ser usados mais de um diâmetro em seu dimensionamento.

Critério: O limite de h_f na LL somado ao limite na LD não poderá ultrapassar a 30% da P_s do gotejador. Caso, no dimensionamento, seja utilizado um limite de h_f inferior a 20% na LL, esta diferença deverá ser transferida para a LD, de tal sorte que, a soma entre os dois limites não ultrapasse 30% da P_s do gotejador.

Equação para dimensionamento

Pressão no início da linha de derivação (P_{inLD})

$$P_{inLD} = P_{inLL} + h_{fLD} \pm \Delta Z_{LD}$$

Linha principal

O dimensionamento é feito pelo mesmo critério utilizado para aspersão.

Altura manométrica total (H_m)

$$H_m = H_s + H_r + h_{fS} + h_{fCC} + h_{fLP} + P_{inLD} + h_{fLOC}$$

Em que:

H_s = altura de sucção, em (m);

H_r = altura de recalque, em (m);

h_{fS} = perda de carga na sucção, em (m);

h_{fCC} = perda de carga no cabeçal de controle, em (mca);

h_{fLP} = perda de carga na linha principal, em (mca);

P_{inLD} = pressão no início da LD, em (mca); e,

h_{fLOC} = perda de carga localizada, em (mca).

OBS: A perda de carga no cabeçal de controle é especificada pelo fabricante do equipamento. As perdas de cargas localizadas, normalmente, são consideradas como sendo igual a 5% da soma das outras perdas. Assim, a equação fica:

$$H_m = (H_S + H_R + hf_S + hf_{CC} + hf_{LP} + Pin_{LD}) \times 1,05$$

IRRIGAÇÃO POR PIVÔ CENTRAL

Esse sistema consiste em se aplicar água ao solo sob a forma de aspersão, onde os aspersores são instalados sobre uma haste apoiada em torres que se movem auxiliadas por rodas pneumáticas acionadas por motores. As torres se movem de forma circular fazendo com que a área irrigada seja função do comprimento (raio) do pivô ao quadrado. Quanto maior o comprimento do pivô menor é o custo por unidade de área, o que leva a se trabalhar, normalmente, com os maiores pivôs. O custo médio é de aproximadamente R\$ 3000,00 por hectare. As Figuras ilustram um pivô central típico.



Figura– Fotografia de um pivô central.



Figura– Fotografia de um pivô central.

TIPOS DE PIVÔS

Existem atualmente vários tipos de pivôs, mas, em relação aos aspersores, eles se classificam em tipos A, B e C.

Tipo A: foi o primeiro introduzido no Brasil. Usa aspersores de tamanho variado (menores no centro e maiores na extremidade) com a Ps inicial variando de 45 a 70 mca e largura da faixa molhada variando de 50 a 60 m.

Tipo B: usa aspersores médios de mesmo tamanho, mas variando o diâmetro de bocais. O espaçamento entre aspersores diminui à medida que se afasta do centro do pivô. A Ps inicial varia de 45 a 55 mca e largura da faixa molhada varia de 25 a 30 m.

Tipo C: este tipo de pivô não utiliza aspersores, mas difusores que aplica água praticamente nebulizada. Devido a esse fato, o vento exerce uma influência muito

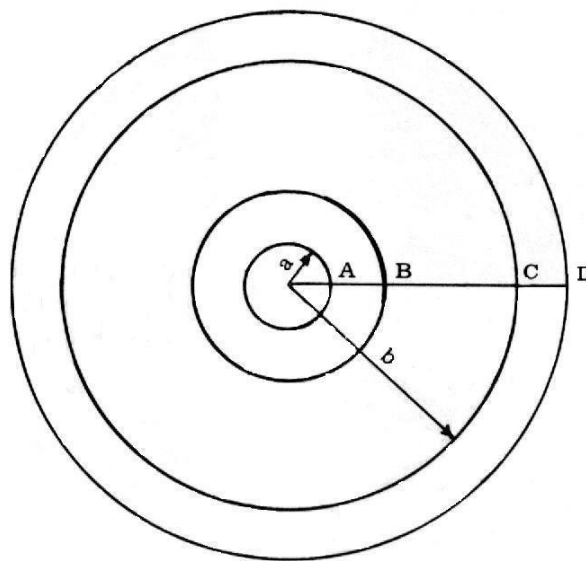
acentuada neste tipo de pivô. A Ps inicial varia de 25 a 40 mca e largura da faixa molhada varia de 6 a 9 m. A principal vantagem desse tipo em relação aos outros dois é o baixo consumo de energia.

Independentemente do tipo de pivô, é comum a instalação de um aspersor tipo canhão hidráulico em sua extremidade para aumento de área irrigada. Como esse tipo de aspersor exige uma pressão de serviço entre 40 e 60 mca para o seu funcionamento, há necessidade de se instalar uma moto-bomba tipo “booster” na extremidade da linha para aumento da pressão exigida pelo canhão.

Utilizando-se um pivô de 500 m de comprimento, a área irrigada será de 78,5 ha. Se na sua extremidade tiver um aspersor tipo canhão com 30 m de raio de alcance, o comprimento total passa para 540 m e a área irrigada para 88,2 ha, propiciando um aumento de 12,4%.

VARIAÇÃO DA VAZÃO AO LONGO DO PIVÔ

Como o pivô central irriga uma área circular, se considerarmos um setor de circunferência veremos que para um mesmo comprimento ao longo do raio a área irrigada é maior. Assim, a medida que se avanço do centro do pivô para a extremidade a vazão é variável. A Figura será tomada como base para uma análise de vazão ao longo do pivô.



Figura– Esquema para análise de vazão ao longo de um pivô central.

Vamos fazer uma análise comparativa entre as áreas representadas pelos segmentos A-B e C-D. Os comprimentos desses dois segmentos são iguais e será representado por y. Assim, sendo, vamos ter:

- Área irrigada equivalente ao segmento A-B

$$A-B = \pi (a + y)^2 - \pi a^2$$

$$S_{A-B} = \pi (a^2 + 2 a y + y^2) - \pi a^2 = \pi a^2 + 2 \pi a y + \pi y^2 - \pi a^2 = 2 \pi a y + \pi y^2$$

$$S_{A-B} = \pi y (2 a + y)$$

- Área irrigada equivalente ao segmento C-D

$$C-D = \pi (b + y)^2 - \pi b^2$$

$$S_{A-B} = \pi (a^2 + 2 b y + y^2) - \pi b^2 = \pi b^2 + 2 \pi b y + \pi y^2 - \pi b^2 = 2 \pi b y + \pi y^2$$

$$S_{A-B} = \pi y (2 b + y)$$

Considerando que q é a vazão por unidade de área e, considerando as áreas representadas pelos segmentos A-B e C-D, vamos ter:

$$\frac{q \times (C-D)}{q \times (A-B)} = \frac{2 \times b + Y}{2 \times a + Y}$$

Essa relação nos permite concluir que quanto maior o afastamento entre duas subáreas analisadas ao longo do pivô maior a relação entre elas e, consequentemente, maior a vazão da subsequente comparada com a antecedente.

Em termos práticos, é comum se comparar as vazões entre os vãos das torres ao longo do pivô. Para isso, basta sabermos a vazão total aplicada pelo pivô e o espaçamento entre as torres; substituindo na equação acima, saberemos facilmente a distribuição de vazão ao longo do pivô.

INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO

À exemplo do sistema por aspersão convencional, a intensidade de precipitação aplicada pelo pivô central não poderá exceder a velocidade de infiltração básica do solo.

Considerando que a largura da faixa molhada ao longo do pivô praticamente não varia, mas, em contrapartida, ocorre variação de vazão, a tendência é que a intensidade de precipitação aumente.

A intensidade de precipitação em um pivô central é determinada pela relação entre a lâmina de irrigação e o tempo necessário para que o pivô complete uma volta.

A equação que nos permite calcular o tempo de precipitação em um ponto qualquer ao longo do pivô, é a seguinte:

$$T_r = \frac{60 \times H \times d}{2 \pi r}$$

Em que:

T_r = tempo de precipitação em um ponto r qualquer ao longo do pivô (min);

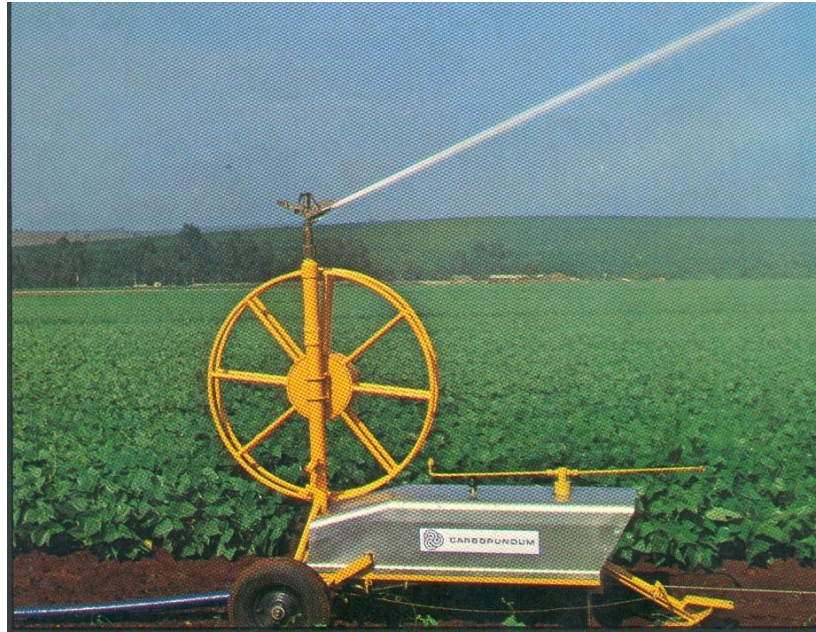
H = número de horas para uma volta do pivô;

d = diâmetro de cobertura do aspersor no ponto considerado (m);

r = distância do ponto considerado ao centro do pivô (m).

IRRIGAÇÃO POR AUTOPROPELIDO

Esse sistema consiste de um aspersor tipo canhão hidráulico de médio ou grande alcance colocado sobre uma carreta com uma moto-bomba. Nesta carreta encontra-se um carretel cuja finalidade é enrolar um cabo de aço que promova a locomoção do equipamento. O abastecimento é feito por uma mangueira que conecta a moto-bomba à hidrantes colocados estrategicamente nas imediações da área. A Figura ilustra um sistema por autopropelido. Alguns tipos de autopropelidos não possuem cabo de aço para seu tracionamento, o qual é feito pela própria mangueira de abastecimento de água. O tipo mais comum é com cabo de aço.



Figura– Fotografia de um sistema autopropelido.

ESCOLHA DO AUTOPROPELIDO E DO ASPERSOR CANHÃO

A seleção do equipamento mais adequado para o caso em questão, considera a cultura, a área a ser irrigada e o tipo de solo, como também o tipo de autopropelido, caracterizando a pressão de serviço, diâmetro dos bocais do aspersor canhão, vazão e ângulo de giro do aspersor (pode ser utilizado um canhão com giro de 360° ou setorial, ou seja, o ângulo de giro é regulado).

LARGURA DA FAIXA MOLHADA PELO AUTOPROPELIDO (L)

A largura de faixa molhada é determinada pelas condições de vento.

Condições do vento	Largura de faixa molhada
Sem vento	$L = 80\%$ do d_c do aspersor
$< 8 \text{ km h}^{-1}$	$L = 70$ a 80% do d_c do aspersor
8 a 17 km h^{-1}	$L = 60$ a 70% do d_c do aspersor
$> 17 \text{ km h}^{-1}$	$L = 50$ a 60% do d_c do aspersor

COMPRIMENTO DA FAIXA MOLHADA PELO AUTOPROPELIDO (C)

O comprimento da faixa equivalente a duas vezes o comprimento da mangueira de abastecimento mais a largura da faixa molhada.

COMPRIMENTO DO PERCURSO DO AUTOPROPELIDO (CP)

O comprimento do percurso equivale ao comprimento da faixa menos a largura da faixa molhada.

OBS: verificar que, do comprimento da faixa molhada pelo autopropelido, deverá ser descontado o raio de alcance em cada extremidade (que nada mais é que a largura da faixa molhada) para se determinar o comprimento do percurso.

TEMPO DE IRRIGAÇÃO POR FAIXA (TI)

O tempo de irrigação por faixa relaciona o tempo de percurso e o tempo em que o equipamento funciona parado nas extremidades de cada faixa. Sua determinação é feita por meio da Equação.

$$T_i = T_p + 2 T_e$$

Em que:

T_p = tempo de percurso; e

T_e = tempo que o autopropelido funciona parado nas extremidades da faixa.

Normalmente, T_e se situa entre 10 e 20% de T_p .

O tempo de irrigação por faixa pode ser determinado pela Equação.

$$T_i = \frac{C}{V}$$

Em que V é a velocidade de deslocamento determinada por meio da Equação.

$$V = \frac{Q}{L \times ITN}$$

O tempo de percurso pode ser determinado por meio da Equação.

$$T_p = \frac{C_p}{V}$$

Dessa forma, o tempo que o autopropelido funciona parado nas extremidades da faixa fica então determinado por meio da Equação.

$$T_e = \frac{T_i - T_p}{2}$$

LÂMINA BRUTA DE IRRIGAÇÃO APLICADA (ITN)

$$ITN = \frac{Q \times T_i}{C \times L}$$

INTENSIDADE DE APLICAÇÃO MÉDIA (IP_{MED})

$$IP_{med} = \frac{ITN}{\text{Tempo no local}} \times \frac{360}{\alpha}$$

Em que α é o ângulo de giro do aspersor para o caso dos setoriais.

O tempo no local é determinado pela equação.

$$\text{Tempo no local} = \frac{L}{V}$$

$$\text{Tempo no local} = \frac{L^2 \times ITN}{Q}$$

TEMPO TOTAL DE IRRIGAÇÃO POR FAIXA (T_i)

Ao final da irrigação de uma faixa, o autopropelido deverá ser preparado para iniciar a irrigação em outra faixa. Essa mudança demora de 0,5 a 1,5 h dependendo da qualidade da mão-de-obra e do equipamento. As tarefas inerentes à essa mudança são as seguintes: mudança da mangueira de abastecimento para o hidrante da nova posição, ancoragem do cabo de aço para o tracionamento do autopropelido na nova faixa e outras pequenas tarefas que se fizerem necessárias. Assim, tempo total de irrigação por faixa (T_i) será:

$$T_t = T_i + T_m$$

Em que T_m é o tempo de mudança.

NÚMERO DE FAIXAS IRRIGADAS POR DIA (N_F)

$$N_F = \frac{N_h}{T_t}$$

Em que N_h é o número de horas disponíveis por dia para se proceder a irrigação.

NÚMERO DE FAIXAS IRRIGADAS POR AUTOPROPELIDO (N)

$$N = TR \times N_F$$

OBS: caso não se trabalhe com o turno de rega e sim com o período de irrigação, há necessidade de substituir TR na Equação por Pi.

ÁREA IRRIGADA POR AUTOPROPELIDO (A_P)

$$AP = C \times L \times N$$

DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DO AUTOPROPELIDO

Os itens necessários para se dimensionar um sistema autopropelido são os seguintes:

- Vazão do aspersor;
- Pressão de serviço do aspersor;
- Altura do aspersor;
- Diferença de nível entre os extremos da faixa;
- Perda de carga na mangueira e na turbina (fornecidas pelo fabricante do equipamento);
- Perda de carga na linha principal;
- Diferença de nível entre a tomada d'água e a entrada da área;
- Altura de sucção;
- Perda de carga localizada (5% do somatório das demais perdas).

A altura manométrica total será determinada pela soma de todos os itens anteriores exceto a vazão do aspersor.

A potência da moto-bomba é determinada pela mesma equação já utilizada para sistemas pressurizados.

IRRIGAÇÃO POR SULCOS DE INFILTRAÇÃO

A irrigação por superfície foi o primeiro método de irrigação a ser utilizado no mundo. Há 6.000 anos, a civilização da Mesopotâmia já empregava esse método de irrigação, ainda que de forma rudimentar. Em 1980, cerca de 16 % das terras cultivadas no mundo eram irrigadas, sendo que 10 % desse total eram irrigadas por superfície. Em 1982, o estado de Minas Gerais contava com uma área irrigada de 123.000 ha, sendo que 74 % desta era irrigada por superfície.

Apesar de ser um dos métodos mais utilizados, os projetos de irrigação por superfície geralmente operam com baixa eficiência de aplicação. No Brasil, estudos realizados em Pernambuco e Bahia concluíram que a eficiência de aplicação média está em torno de 33 %.

Inicialmente, existem duas razões que justificam a baixa eficiência de aplicação (Ea) em sistemas de irrigação por superfície:

- a) Falta de combinação adequada das variáveis comprimento da área, declividade da superfície do terreno, vazão aplicada e tempo de aplicação;
- b) Manejo deficiente; na maioria dos manejos o tempo de aplicação não é adotado adequadamente, ocasionando aplicação excessiva de água.

Quando se procede à uma avaliação de um projeto de irrigação em operação, os erros de manejo são facilmente detectados e corrigidos, podendo, em alguns casos, ser necessário o redimensionamento do sistema.

O MÉTODO DE IRRIGAÇÃO POR SULCOS DE INFILTRAÇÃO

A irrigação por sulcos consiste na aplicação de água em pequenos canais, sulcos ou corrugações. A água aplicada nos sulcos infiltra ao longo do seu perímetro molhado e se movimenta vertical e lateralmente, umedecendo o perfil do solo.

Nessa modalidade de irrigação, a vazão total de projeto é subdividida em pequenas vazões, que são aplicadas nos sulcos, escoando à baixa velocidade, de tal sorte a aplicar a lâmina de irrigação necessária. De modo geral, a vazão conduzida por um sulco varia entre 0,5 e 2,5 L s⁻¹.



Figura– Sistema de irrigação por sulcos de infiltração – fase do tempo de avanço.



Figura– Sistema de irrigação por sulcos de infiltração – fase do tempo de oportunidade.



Figura– Sistema de irrigação por sulcos de infiltração, apresentando detalhe do canal com comportas para controle de carga hidráulica.

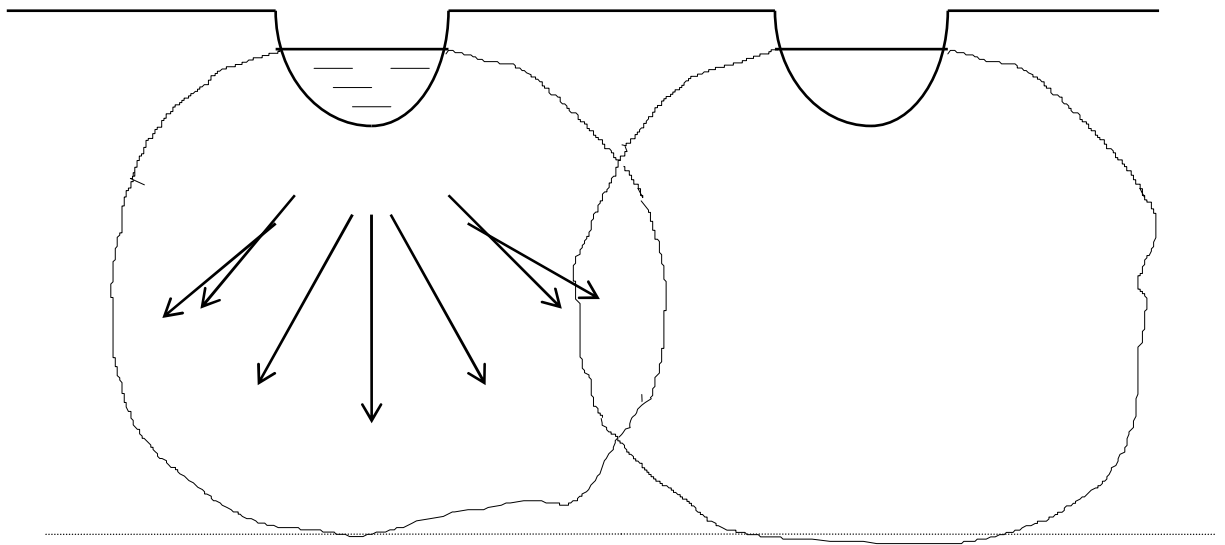


Figura - Desenho esquemático mostrando a distribuição da água no solo na irrigação por sulcos de infiltração.

Características de um sistema de irrigação por sulcos

Forma e tamanho do sulco

A forma geométrica do sulco é importante, principalmente quanto à capacidade da seção transversal em conduzir água na quantidade suficiente e a distribuir uniformemente. A forma mais comum é em V com profundidade de 15 a 20 cm e largura superior de 25 a 30 cm.

Infiltração

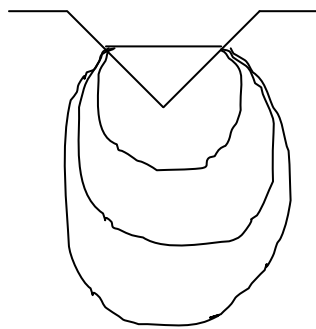
A textura do solo e a maneira como a água é aplicada, exercem muita influência no perfil de infiltração. Dessa forma, a equação de infiltração da água no solo deve ser determinada pelo método da entrada e saída, que é o que simula com bastante propriedade o sistema de irrigação por sulcos. Não havendo possibilidades de se utilizar esse método, deve-se optar pelo infiltrômetro de sulco.

Espaçamento entre sulcos

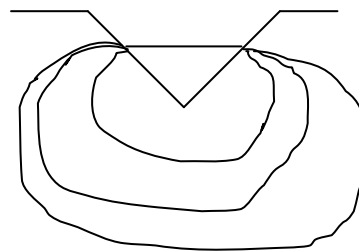
O espaçamento a ser adotado entre os sulcos vai depender de algumas características, tais como:

- Tipo de solo;
- Tratos culturais; e,
- Espaçamento adequado para a cultura.

Quanto ao tipo de solo, particular importância é dada a textura. As Figuras apresentam a forma de infiltração em solos arenosos e argilosos.



Figura– Perfil de infiltração típico de um solo arenoso.



Figura– Perfil de infiltração típico de um solo argiloso.

De acordo com as Figuras verifica-se que os espaçamentos entre sulcos em um solo argiloso poderão ser maiores que no arenoso.

Quanto aos tratos culturais mecanizados, é importante que os espaçamentos entre sulcos sejam compatíveis com as máquinas que serão utilizadas para que não ocorra destruição deles.

Com referência ao espaçamento da cultura, tanto quanto possível, pode-se proceder à ligeiras modificações para que os dois outros fatores (tipo de solo e tratos culturais) se ajustem melhor. De modo geral, pode-se utilizar os seguintes espaçamentos:

- Para culturas com espaçamento de 1 m: 1 sulco por linha de plantio;
- Para culturas com espaçamento maior que 1 m: 1 ou mais sulcos por linha de plantio;
- Para culturas com espaçamento menor que 1 m: 1 sulco para cada duas linhas de plantio.

Declividade e vazão

A declividade a ser adotada deverá ser aquela que não cause erosão aos sulcos quando eles estão em operação. A declividade ótima oscila entre 0,5 e 2,0% e é definida no momento da execução do projeto de sistematização do terreno onde será implantado o projeto de irrigação por sulcos.

A determinação da vazão máxima não erosiva a ser aplicada aos sulcos, rigorosamente deve ser feita por meio de ensaio no campo. Maiores detalhes sobre esses ensaios serão vistos logo em seguida. Quando não houver condições de se proceder aos ensaios, pode-se estimar empiricamente essa vazão por meio da Equação.

$$Q_{\max} = \frac{C}{S^a}$$

Em que:

$Q_{\max}$ = vazão máxima não erosiva, em $L \ s^{-1}$;

S = declividade dos sulcos, em %; e,

C e a = coeficientes empíricos que dependem do tipo de solo.

Tabela - Valores dos coeficientes C e a , em função da textura do solo

Textura	C	a
Muito fina	0,892	0,937
Fina	0,988	0,550
Média	0,613	0,733
Grossa	0,644	0,704
Muito grossa	0,665	0,548

Na prática, normalmente são utilizadas duas vazões durante a irrigação por sulcos, sendo uma inicial, que é máxima não erosiva, e uma final, que equivale à 50% da inicial. Esse procedimento é fundamental para que as perdas por percolação e por escoamento superficial, inerentes à esse sistema de irrigação, se situem em limites aceitáveis. Comprimento dos sulcos

O comprimento dos sulcos é dependente dos seguintes fatores:

- Geometria da área;
- Tipo de solo;
- Declividade do sulco; e,
- Vazão aplicada aos sulcos.

De acordo com esses fatores, verifica-se que o comprimento ideal deve ser determinado por um teste de campo. Essa determinação é feita por meio das curvas de avanço da água em sulcos de infiltração.

Apesar do teste de campo ter como principal objetivo a determinação do comprimento dos sulcos, outros parâmetros de grande importância na elaboração de um projeto também serão definidos, tais como: vazão máxima não erosiva, equação de avanço, equação de infiltração da água no solo e espaçamento adequado para os sulcos.

Procedimento para determinação das curvas de avanço

Escolhe-se um local que seja representativo da área a ser irrigada, construindo-se três ou mais sulcos com comprimentos de 50 m, onde deverão ser ensaiadas diversas vazões.

Os sulcos são piqueteados de 5 em 5 m ou, no máximo, de 10 em 10 m. No início do sulco instala-se um medidor de vazão - o mais comum são as calhas WSC. Para cada vazão ensaiada registra-se o tempo que a água atinge cada um dos piquetes instalados ao longo do sulco. Com os dados obtidos, determina-se a equação representativa para a vazão ensaiada.

Existem vários tipos de equações que descrevem a velocidade de avanço da água no sulco. Entretanto, a equação potencial é a mais comum.

$$L = p \times T_a^r$$

Em que:

L = distância alcançada pela frente de avanço, em m;

T_a = tempo de avanço até a distância L , em min; e,

p e r = parâmetros de ajuste da equação.

Uma relação simples para se estimar p e r pode ser utilizada considerando pontos correspondentes à metade do sulco (L_{med}) e o comprimento total (L_{max}), conforme

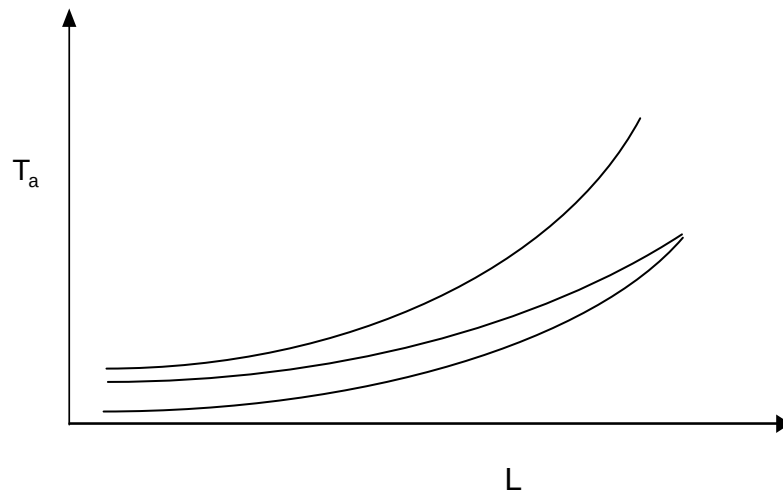
$$r = \frac{\ln(L_{max}) - \ln(L_{med})}{\ln(T_{amax}) - \ln(T_{amed})} \quad (IX.3) \quad p = \frac{L_{max}}{T_{amax}^r}$$

Em que:

T_{amax} = tempo de avanço para o comprimento L_{max} ;

T_{amed} = tempo de avanço para o comprimento L_{med} .

De posse das equações para cada vazão, pode-se construir as curvas de avanço relacionando-se o comprimento dos sulcos com o tempo de avanço.



Figura– Curvas de avanço da água em sulcos de infiltração.

Não há número específico de vazões que deverão ser testadas, mas é importante que seja determinada àquela que provoca erosão nos sulcos. A vazão máxima não erosiva será então àquela ensaiada anterior à erosiva.

Considerações sobre o tempo de avanço relacionado com o tempo de oportunidade

Um dos grandes problemas da utilização dos sistemas de irrigação por superfície consiste no fato de apresentarem uma eficiência de irrigação bem inferior aos sistemas pressurizados. Com o objetivo de minimizar as perdas por percolação e por escoamento no final dos sulcos, foram desenvolvidos vários procedimentos objetivando o dimensionamento desses sistemas. Uma combinação adequada entre comprimento, declividade e vazão deve ser aquela em que o tempo de avanço seja de tal ordem que a perda por percolação no início da área não seja excessiva.

Existem vários critérios adotados com o objetivo de se obter eficiências aceitáveis na irrigação por sulcos. No presente caso, será enfatizado o critério de CRIDDLE, que preconiza que o comprimento do sulco deve ser tal que o tempo de avanço seja igual a 1/4 do tempo de oportunidade para que IRN seja aplicada no final do sulco.

Atualmente existem modelos matemáticos de simulação que possibilitam proceder o dimensionamento dos sistemas de irrigação por superfície maximizando a eficiência de aplicação sem a necessidade de se utilizar regras práticas.

De acordo com o critério de CRIDDLE, determina-se o tempo de oportunidade por meio da equação de infiltração da água no solo (equação de Kostiakov-Lewis), em função da IRN, ou seja:

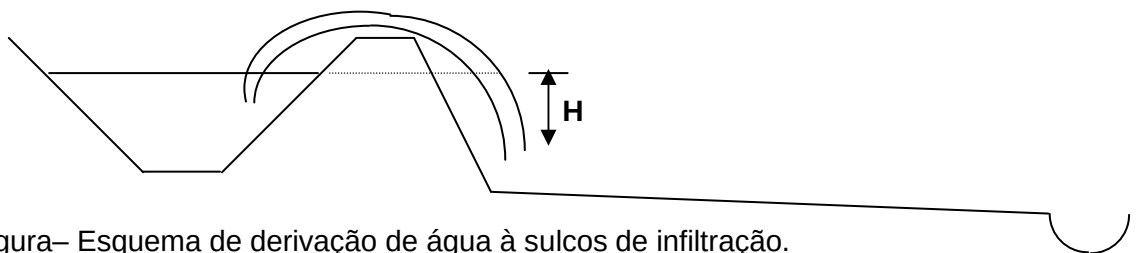
$$IRN = k \times T_o^a + Vib \times T_o$$

De posse do valor de IRN e da equação determinada para o solo em questão (com os coeficientes k , a e Vib), determina-se o tempo de oportunidade. Com esse valor, determina-se o tempo de avanço ($1/4 T_o$). O tempo total de irrigação é representado pela Equação.

$$T_i = T_a + T_o$$

Abastecimento de água aos sulcos

Os sulcos são abastecidos por meio de sifões, que são tubos curvos de plástico comum ou de polietileno, que derivam água do canal abastecedor para os sulcos. A Figura ilustra essa operação.



Figura– Esquema de derivação de água à sulcos de infiltração.

A vazão que o sifão deriva para o sulco é determinada pela Equação.

$$Q_s = Cd \times A \times \sqrt{2 \times g \times H}$$

Em que:

Q_s = vazão do sifão, em $m^3 s^{-1}$;

C_d = coeficiente de descarga do sifão;

A = área do sifão, em m^2 ;

$g = 9,81 m s^{-2}$; e,

H = carga hidrostática agindo no sifão, em m.

$$C_d = \sqrt{\frac{0,6889 \times D^{4/3}}{0,0683 \times L + D^{4/3}}}$$

Em que:

D = diâmetro do sifão, em polegadas; e,

L = comprimento do sifão, em m.

Para se instalar os sifões adequadamente, é necessário determinar qual será a carga hidráulica (H) necessária para que seja aplicada a vazão determinada quando da determinação do tempo de avanço e do comprimento dos sulcos.

Manejo de água aos sulcos

O manejo é feito adotando-se o procedimento “cut back” em que, durante o tempo de avanço é aplicada à vazão inicial e, durante o tempo de oportunidade, aplica-se a vazão reduzida, que corresponde a metade da vazão inicial.

Para facilitar a operação de manejo, utilizam-se dois sifões por sulco, cada um aplicando a vazão reduzida. Durante o tempo de avanço, são usados os dois sifões propiciando a vazão inicial e, durante o tempo de oportunidade, é retirado um dos sifões, garantindo-se assim a aplicação da vazão reduzida.

Projeto de um sistema de irrigação por sulcos de infiltração

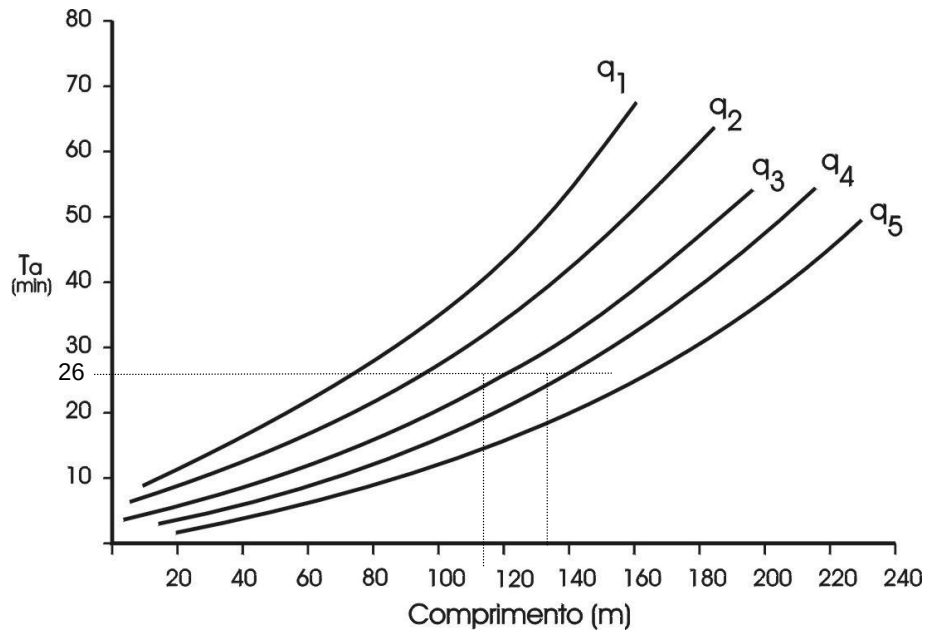
Pretendendo-se irrigar uma área pelo sistema de irrigação por sulcos de infiltração, foram levantados os seguintes dados:

- Solo:
- Textura: média;
- Características físicas:

Horizonte	Prof. (cm)	Cc (%)	Pm (%)	dap
A1	0 – 20	26,3	14,8	1,41
A2	20 – 40	28,9	15,6	1,47
B1	40 – 60	30,3	16,3	1,39
B2	60 – 75	30,9	17,1	1,43

- Equação de infiltração da água no solo: $I = 0,01134 \times T_0^{0,04523} + 0,000348 \times T_0$

- Curvas de avanço da água nos sulcos: foram ensaiadas 5 vazões ($q_1 = 0,32 \text{ L s}^{-1}$; $q_2 = 0,78 \text{ L s}^{-1}$; $q_3 = 1,56 \text{ L s}^{-1}$; $q_4 = 2,22 \text{ L s}^{-1}$; $q_5 = 3,45 \text{ L s}^{-1}$) constatando-se que a vazão q_5 era erosiva. Para cada vazão ensaiada, determinou-se as respectivas equações de avanço e, com essas equações, foram construídas as curvas apresentadas a seguir.



- **Cultura:**

- Profundidade efetiva do sistema radicular: 0,55 m;
- Duração do ciclo: 120 dias;
- Necessidades hídricas:

Mês 1 = 130 mm

Mês 2 = 150 mm

Mês 3 = 121 mm

Mês 4 = 114 mm

- Fator f : 0,5.

- **Área a ser irrigada:**

- Dimensões: 250 x 600 m;
- Declividades após sistematização: 0,5 % na direção da menor dimensão do terreno e em nível na outra direção;

- **Dados complementares:**

- Número de horas de trabalho por dia: 8;
- Critério para dimensionamento: deverá ser adotado o critério de Criddle;
- Espaçamento entre sulcos: 1 m;

IRRIGAÇÃO POR INUNDAÇÃO

De maneira geral, esse método é empregado na irrigação da cultura do arroz. O método se caracteriza na manutenção de uma lâmina de água sobre a superfície do solo. A área a ser irrigada é dividida em subáreas denominadas tabuleiros, que são separados por diques ou taipas, cuja finalidade é a retenção da água sobre a superfície do solo, conforme Figura.

A irrigação por inundação praticamente dispensa os tratos culturais convencionais devido a permanência da lâmina d'água durante quase todo o ciclo da cultura do arroz.

TIPO DE SOLO

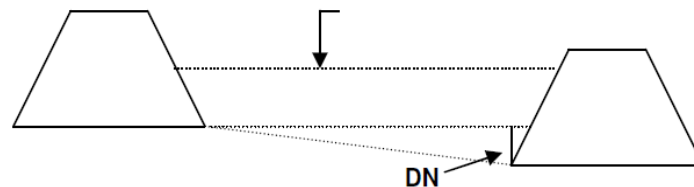
Os solos devem ser de textura média a argilosa e ter quando saturados uma velocidade de infiltração básica não superior a 3 mm h^{-1} , apresentando uma camada impermeável à uma profundidade de 0,5 a 3,0 m.



Figura– Sistema de irrigação por inundação.

Declividade do terreno

Como o sistema é caracterizado pela permanência de uma lâmina d'água sobre a superfície do solo, é necessário que a declividade seja pequena, ou seja, a topografia da área deve ser a mais plana possível. Em terrenos onde se faz necessária a sistematização, o principal fator a ser observado é a profundidade de corte, que não deverá exceder, na média, a 20 cm, evitando-se assim, a exposição de sub-solo. Quando o terreno é plano, sem necessidade de sistematização, os diques deverão ser construídos em curvas de nível e a diferença de nível entre eles não deve ser maior que 6 cm.



Figura– Representação esquemática de tabuleiros em curvas de nível.

Dimensões dos tabuleiros

Os tabuleiros não deverão ser nem muito grandes nem muitos pequenos. Se forem muito pequenos dificultarão o manejo, principalmente se a colheita for mecanizada. Se muito grandes, a lâmina d'água fica desuniforme. A dimensão média deve se situar entre 1 e 4 ha.

Forma dos diques ou taipas

Normalmente para implantação de projetos em grandes áreas, os diques têm forma trapezoidal e são construídos com um implemento denominado entaipadeira. Em áreas pequenas são construídos por meio de uma lâmina acoplada na dianteira de um trator de pneus, ficando com um formato semelhante à um camalhão. As entaipadeiras constroem taipas trapezoidais com 30 cm de altura, 40 cm de base menor e 80 cm de base maior.

A altura da lâmina d'água nos tabuleiros se situa entre 20 e 25 cm. Deve-se observar a DN entre os diques para que não fique nenhuma parte do tabuleiro sem água.

Manejo de água nos tabuleiros

O manejo pode ser feito de duas maneiras: contínuo ou intermitente. No manejo contínuo, a água é derivada aos tabuleiros sem interrupção e normalmente só é utilizado quando a água que abastece o projeto for por gravidade. Já no intermitente, após os tabuleiros serem abastecidos, o fornecimento de água é interrompido e só serão reabastecidos quando tiver apenas uma pequena lâmina de água neles. É utilizado quando o abastecimento aos tabuleiros é feito por bombeamento.

Alguns trabalhos indicaram que o manejo contínuo apresenta a vantagem de propiciar a renovação permanente de água nos tabuleiros, condicionando menor variação da temperatura da água, situação benéfica à cultura do arroz.

Determinação das vazões mobilizadas aos tabuleiros

No planejamento de um sistema de irrigação por inundação, dois casos poderão surgir:

- Sabendo-se a área a ser irrigada, determina-se a vazão mínima a ser mobilizada:
- Tendo-se a vazão máxima disponível, determina-se a área máxima que poderá ser irrigada.

Para melhor entendimento da determinação das vazões que serão aduzidas para um projeto de irrigação por inundação, analisaremos um caso geral.

Considerando um tabuleiro com uma área S qualquer e sobre ele uma lâmina de água h . Nessa situação, obteremos os seguintes parâmetros:

- h = altura média de água que se deseja alcançar sobre o tabuleiro [m];
- S = área do tabuleiro [m²];

- $V1$ = volume correspondente área S e a altura h [m^3];
- $V2$ = volume de água evapotranspirada [m^3];
- $V3$ = volume de água infiltrada [m^3];
- VT = volume total de água necessária para encher o tabuleiro [m^3];
- QL = vazão necessária para encher o tabuleiro [$m^3 s^{-1}$];
- Vs = volume necessário para manter constante a lâmina h [m^3];
- Qs = vazão correspondente a Vs [$m^3 s^{-1}$];
- $T1$ = tempo necessário para encher o tabuleiro [s];
- $T2$ = tempo que dura a inundação [s];
- E = taxa evapotranspirométrica [$m s^{-1}$];
- Vi = velocidade de infiltração [$m s^{-1}$].

Determinação da vazão máxima para encher o tabuleiro (QL)

Sabendo-se que:

$$V1 = S \times h$$

$$V2 = S \times E \times T1$$

$$V3 = S \times Vi \times T1$$

O volume total (VT) será:

$$VT = V1 + V2 + V3$$

$$VT = (S \times h) + (S \times E \times T1) + (S \times Vi \times T1)$$

$$VT = S [h + T1 (E + Vi)]$$

Como: $QL = \frac{VT}{T1}$ tem-se finalmente:

$$QL = \frac{S [h + T1 (E + Vi)]}{T1}$$

Determinação da vazão necessária para manter a lâmina constante (Qs)

Sabendo-se que:

$$V_2 = (S \times E \times T_2) + (S \times V_i \times T_2)$$

Como: $Q_s = \frac{V_s}{T_2}$ tem-se:

$$Q_s = \frac{S \times T_2 (E + V_i)}{T_2}$$

$$Q_s = S (E + V_i)$$

RECURSOS HÍDRICOS

ÁGUA COMO ELEMENTO NATURAL

Um dos constituintes mais característicos do planeta Terra é a água. Essencial à vida. A água é um recurso natural de valor inestimável pelas suas múltiplas utilidades: meio de vida de várias espécies vegetais e animais, navegação, turismo, recreação, paisagens, agricultura, piscicultura, dessedentação de animais, preservação da biota aquática, abastecimento doméstico e industrial, irrigação, geração de energia, melhorias climáticas, assimilação e condução de esgotos, diluição de despejos, fator de produção de vários bens de consumo final e intermediário e elemento representativo de valores sociais e culturais.

A água é um composto químico formado por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio (H₂O) e se encontra na natureza em seus três estados: sólido, líquido e gasoso. A escala termométrica centesimal Celsius tem a água como base no seu ponto de fusão 0°C e ebulição 100°C. Seu elevado calor específico reduz as amplitudes térmicas diárias, favorecendo a vida na Terra.

A água é um recurso natural classificado como renovável, finito e de ocorrência aleatória. É renovável pela capacidade que tem de recompor em quantidades

principalmente pelas chuvas, e de absorver poluentes, embora esta classificação seja limitada pelo tipo de uso.

É finito porque a sua revogabilidade pode ser comprometida por poluição tornando-a inadequada ao uso humano. Como por exemplo, se for contaminada por material radioativo.

É de ocorrência aleatória pela sua distribuição de forma irregular no tempo e no espaço influenciadas pelas condições geográficas, climáticas e meteorológicas. Este elemento natural chamada água, quando considerado bem econômico recebe a denominação de Recursos Hídricos.

Conforme a Lei nº 6.938/81 os Recursos Hídricos abrangem as águas superficiais e as águas subterrâneas, os estuários e o mar territorial.

Subterrâneas são as águas originadas do interior do solo. Constituem o lençol freático.

Superficiais são as encontradas na superfície da terra (fluentes, emergentes e em depósito). Podem ser internas que são os rios, lagos, lagoas, bacias, etc. ou externas (mar territorial).

Estuário são baías formadas pela junção dos rios com o mar. É a foz do rio que deságua no mar.

Mar territorial é a faixa marítima de doze milhas de largura do litoral brasileiro.

A água presente em nosso planeta encontra-se em movimento permanente graças ao ciclo hidrológico, que pode ser descrito como um fenômeno de circulação permanente da água entre a superfície da terra e a atmosfera, impulsionado, fundamentalmente, pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre.

Durante o ciclo hidrológico, a água pode sofrer alterações na qualidade, tanto em condições naturais em função das inter-relações dos componentes do sistema do meio ambiente, quanto à intervenção do homem (seja pelo desmatamento ou pelo uso da água para suprimento das demandas dos núcleos urbanos, das indústrias, da agricultura e das alterações do solo ou pela utilização de tecnologias de regularização de vazões ou pela recarga dos aquíferos subterrâneos).

DEGRADAÇÃO DAS ÁGUAS

Diversos são os fins e os setores usuários da água. O uso da água pode ser consuntivo ou não. Consuntivo quando ela é derivada do seu curso natural, retornando em parte em função das perdas. Alguns usos ocorrem sem derivação de águas, os não consuntivos e embora não afetem a qualidade, podem alterar o regime.

Os quadros abaixo apresentam a classificação sistemática da utilização da água, com ou sem derivação de seu curso natural, segundo Barth, ABRH, 1987, levando em consideração a sua finalidade, tipo de usos e seus efeitos:

Com derivação de águas:

Finalidade

Tipo de uso Efeito nas águas

Abastecimento urbano

Abastecimento doméstico, industrial, comercial e público Poluição orgânica e bacteriológica Abastecimento industrial Sanitário, de processo, incorporação ao produto, refrigeração e geração de vapor Poluição orgânica, substâncias tóxicas, elevação de temperatura Irrigação Irrigação artificial de culturas agrícolas segundo diversos métodos Carreamento de agrotóxico e fertilizantes.

Abastecimento Doméstico, Dessedentação de animais Alterações na qualidade com efeitos difusos Aquicultura Estações de piscicultura e outras Carreamento de matéria orgânica.

Sem derivação de águas: Finalidade Tipo de uso Efeito nas águas Geração hidrelétrica Acionamento de turbinas hidráulicas Alteração no regime e na qualidade das águas Navegação fluvial Manutenção de calados mínimos e eclusagem Lançamento de óleo e combustíveis Recreação, lazer e harmonia paisagística Natação, iatismo, motonáutica e outros esportes com contato direto Não há Pesca Com fins comerciais de espécies naturais ou introduzidas através de estações de piscicultura Alterações na qualidade após mortandade de peixes Assimilação de esgotos Diluição, autodepuração e transporte de esgotos urbanos e industriais Poluição orgânica, física, química e bacteriológica Usos de preservação Vazões para assegurar o equilíbrio ecológico Melhoria na qualidade da água.

O controle dos recursos hídricos é, pois, muito importante e deve levar em consideração os usos da água, bem como todos os problemas que atingem os recursos hídricos.

A degradação do ambiente hídrico tem tomado grandes proporções. O preço do “desenvolvimento” tem sido muito alto: a implantação de indústrias, as construções de hidrelétricas e/ou barragens e diques, aliados ao uso indiscriminado, ao desperdício, às falhas de gestão, resíduos de redes de esgoto, representam ameaças à qualidade e vitalidade das águas quando não são tomados os devidos cuidados, correndo risco de escassez.

Problema sério é o fato de os grandes rios acabarem sendo alterados em seu percurso pela formação de hidrelétricas com consequências ecológicas drásticas pelo prejuízo que causam ao fluxo biológico natural de várias espécies de peixes.

Em algumas regiões, as enchentes provocam inundações e para reduzir ou controlar seus efeitos são construídos diques que interferem no regime hídrico e se construídos em grande escala podem trazer consequências danosas porque modificam o caráter dos ecossistemas provocando também problemas ecológicos e econômicos em longo prazo.

O uso indiscriminado e o desperdício da água são também graves perigos às gerações futuras.

A água pura, quimicamente falando, não existe. Geralmente esta expressão água pura é usada como sinônimo de água potável, ou seja, sua qualidade é satisfatória para uso humano. Se a água não estiver satisfatória ao uso é considerada poluída.

O conceito de poluição da água, em conformidade com o artigo 3º, inciso III da Lei da Política Nacional do Meio Ambiente é: “qualquer alteração química, física ou biológica que possa importar em prejuízo à saúde, à segurança e ao bem-estar das populações, causar dano à flora e fauna, ou comprometer o seu uso para finalidades sociais e econômicas”.

Desta feita, a poluição da água pode se dar dos seguintes modos: Poluição física provocada pela descarga de material sólidos em suspensão. Esses sólidos, que podem ser minerais ou orgânicos, podem ser maiores ou em pequenas dimensões quase dissolvidas. São fatores poluidores que provocam a poluição física das águas: a erosão (por deixar grande quantidade de poluentes em áreas de desmatamento, preparo de solo, abertura de estradas e queimadas), a atividade de mineração (que lança efluente de unidade de lavagem e processamento de minério) e a utilização de detergentes pelas indústrias e residências (que contêm substâncias tóxicas).

Poluição química pode ocorrer por deficiência de oxigênio, toxidez e eutrofização. Quando as impurezas são de natureza orgânica (resíduos em decomposição, lixo, esgoto doméstico, lixo de embarcações, derivados de combustíveis fósseis e pesticidas) ou inorgânica (substâncias solubilizadas em atividades industriais, agropecuária, urbanas ou de mineração). São contaminantes inorgânicos: iodo, mercúrio, cobre, chumbo, cádmio, zinco, arsênio, níquel, manganês, cromo, ferro e etc.

Poluição biológica caracteriza-se pela perda da qualidade da água pela presença de organismos na água: bactérias, protozoários, fungos, vírus e algas, causadores de enfermidades em homens e animais.

Muitos estados brasileiros, até hoje, não implementaram o seu sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos. No Brasil, a ilusão do grande volume de água esconde a inexistência de uma adequada gestão de recursos hídricos, a níveis estaduais, e passa despercebido o problema de escassez já sentida no resto do mundo. A ONU estima que dentro de três décadas dois terços da humanidade estejam ameaçados de passar sede.

Com o crescimento da demanda no mundo começaram a surgir conflitos e preocupações em relação a seu uso e risco de escassez e então a água passou a ser gerida como bem econômico, ao qual deve ser atribuído um valor. Esse valor econômico tem um duplo objetivo: fazer com que o usuário não a desperdice e a utilize de forma racional e também proporcionar ao Poder Público recursos financeiros para financiamentos de programas relacionados aos recursos hídricos.

HIDROGRAFIA DO BRASIL

A hidrografia é um elemento natural constante na paisagem brasileira. O Brasil possui a rede hidrográfica mais extensa da Terra, com 55.457 Km². A densidade dos rios está relacionada ao clima da região. Na região Norte, que apresenta altos índices pluviométricos, existem muitos rios caudalosos e perenes. Em regiões de clima árido ou semi-árido, como o Nordeste, os rios secam no período que não chove, como é o caso do rio Jaguaribe, um rio temporário do Ceará. Existem rios que se tornam subterrâneos e depois voltam a ficar visíveis, como o rio Paraguaçu, na Bahia.

Os rios brasileiros, na sua maior parte, são rios de planalto, que pelo seu potencial energético, tem grande importância na economia nacional.

Os rios de planície são usados principalmente para a navegação fluvial, pois pelo fato de não terem cachoeiras, saltos ou cataratas, podem ser transformados em hidrovias.

O conjunto formado por um rio e seus afluentes é chamado bacia hidrográfica, as quais podem ser desdobradas em sub-raciais.

O Brasil possui as seguintes bacias hidrográficas, segundo o IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística:



BACIA AMAZÔNICA

Quando se fala em Amazônia se pensa numa imensa floresta banhada por imensos rios e recortada por inúmeros igarapés, paranás e lagos. Quem conhece a Amazônia sabe que as águas de seus rios, igarapés e lagos não são uniformes. Diferem entre si tanto em relação à morfologia de seus leitos quanto às suas características químicas e biológicas. Há rios com água barrenta, outros com água preta, outros com água verde e até com águas cristalinas. As velocidades de seus cursos também são as mais diversas: rios quase sem correnteza, outros com grande correnteza. Uns encachoeirados outros planos, rios de planície e rios de planalto, uns ricos em nutrientes e fauna aquática, outros pobres. Tudo isto faz da paisagem amazônica um dos cenários mais lindos do mundo.

Esta diversidade apontada remete a uma discussão sobre as condições geográficas geológicas, hidrológicas e hidroquímicas da região como um todo visto que a água e a terra adjacente se influenciam reciprocamente.

O conhecimento das inter-relações entre águas, terra e floresta é condição “sine qua non” para um bom aproveitamento dos recursos hídricos quando se elaboram projetos de desenvolvimento para a Amazônia.

O seu desconhecimento pode levar ao planejamento de forma inadequada destruindo o equilíbrio ecológico com gravíssimas consequências para o meio ambiente e para o próprio homem.

A Bacia Amazônica, a maior rede hidrográfica mundial, abrange uma área de drenagem de cerca de 6.112.000 Km², sendo de aproximadamente de 4.000.000 Km² em terras brasileiras.

O rio Amazonas, seu principal curso d'água, tem uma extensão de 6.570 Km. Nasce nos Andes em território peruano e ao entrar no Brasil corre no sentido oeste-leste até sua foz no Oceano Atlântico. Ao entrar no Brasil recebe seu afluente rio Javari, próximo à cidade de Tabatinga, recebendo a denominação de Solimões até encontrar o seu afluente Rio Negro, próximo à cidade de Manaus quando passa a ser chamado de Amazonas.

Seus afluentes da margem direita são: Javari, Jutaí, Juruá, Tefé, Coari, Purus, Madeira, Tapajós, Xingu e Tocantins e da margem esquerda: Içá, Japurá, Negro, Nhamundá, Trombetas, Jarí e Paru.

O nível dos rios está submetido a fortes oscilações motivadas pela distribuição irregular da precipitação das chuvas fazendo com que os grandes afluentes do Amazonas atinjam seu nível máximo (enchente) em diferentes épocas do ano: os da margem esquerda atingem o seu nível máximo entre junho e agosto; os da margem direita entre fevereiro e abril. Este fato provoca um certo equilíbrio no nível do rio Amazonas, muito embora ainda assim as flutuações bastante elevadas, com uma variação média de 10m por ano, tendo já chegado a 15m próximo de Manaus.

As nítidas diferenças de coloração das águas são explicadas pelas condições físico-químicas, pela maior ou menor presença de sais minerais dissolvidos, pela alta ou baixa percentagem de cálcio, magnésio e potássio, bem como pelo grau de acidez.

As águas brancas são férteis, permitindo a proliferação de grande quantidade de algas, de invertebrados aquáticos, de peixes e de pássaros, enquanto que as

águas pretas apresentam mais baixa fertilidade. Igualmente, as várzeas dos rios de água branca, ricas em nutrientes, são férteis e altamente produtivas enquanto que os igapós dos rios de água preta são de baixa fertilidade e pouco produtivos.

Os lagos são típicos de áreas alagáveis como igapós e várzeas e acompanham os grandes rios.

Os igarapés e pequenos rios são próprios da terra firme e formam uma rede muito densa, fruto da alta taxa de precipitação, transportando para os grandes rios a descarga superficial das chuvas.

A Bacia Amazônica possui a ictiofauna mais diversificada de todas as bacias hidrográficas do mundo com mais de 1.400 espécies de peixes já catalogadas, inclusive peixes ornamentais.

A preservação destas espécies de peixes depende muito do trato que for dado as águas da região.

A pesca é, portanto, uma importante atividade realizada nos rios, igarapés e lagos amazônicos.

A maior parte da população ribeirinha pratica a pescaria para o consumo familiar, o que leva a um conhecimento profundo das particularidades do rio e da vida dos peixes.

A atividade pesqueira tem uma grande importância socioeconômica na região.

Finalmente, uma das grandes riquezas da bacia Amazônica é seu potencial para a produção de energia hidrelétrica.

A construção de grandes represas provoca muitas mudanças no ecossistema aquático. Será sempre de bom senso mensurar os benefícios com os efeitos negativos que possa gerar.

O turismo fluvial é uma outra atividade que vem sendo realizada nos rios da Amazônia. A cada ano um bom número de turistas especialmente estrangeiros querem descobrir os encantos da Amazônia, vivendo como um nativo, realizando excursões de canoa, ou passeios em barcos regionais ou mesmo em grandes cruzeiros a bordo de navios de excursão. Os hotéis de selva se espalham à margem dos rios exigindo cada vez mais uma maior atenção e providências para um turismo fluvial de qualidade e com segurança.

É na bacia amazônica que se encontra a maior rede hidroviária fluvial da terra com aproximadamente 25.000 Km de extensão.

Para aproveitamento dos recursos hídricos, todos esses parâmetros devem ser considerados.

LEGISLAÇÃO SOBRE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL

“O princípio de Direito diz que a Lei deve ser clara, precisa, concisa, genérica. Mais que isso, ela deve ser possível, isto é adequada às necessidades sociais presentes e aos interesses econômicos da coletividade. Muitas Leis deixam de ser cumpridas porque lhes faltam a praticidade, a funcionalidade e a sustentabilidade. Em matéria de águas, os princípios específicos que devem reger a elaboração das normas são simples. Mas a norma também deve sê-lo, sob pena de não ser aplicada. E, em matéria ambiental, nada mais nefasto do que uma Lei de proteção deixar de ser aplicada por falta de instrumentação administrativa para tanto”. (ABEAS, 2000; MÓULO 1)

A água doce é o bem natural mais valioso e cobiçado na face da terra e o Brasil, um país privilegiado, por conter a maior parte deste bem.

Assegurar às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos, promover a utilização racional e integrada dos recursos hídricos com vistas ao desenvolvimento sustentável e garantir a proteção preventiva e defensiva dos recursos hídricos constituem os objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos, definidos no artigo 2º da Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

O reconhecimento da água como um bem finito e vulnerável que deve ser preservado para não comprometer a existência da humanidade bem como o reconhecimento do seu grande valor econômico, indutor do uso racional desse recurso natural exige medidas rigorosas de seu controle e gerenciamento. Pergunta-se então, do ponto de vista legal: Como o Brasil vem administrar seus recursos hídricos? A quem pertence às águas brasileiras? qual a competência legislativa e material sobre Recursos Hídricos? Como está o atual gerenciamento dos Recursos Hídricos no Brasil? Qual a unidade territorial para um adequado planejamento da Política Nacional de Recursos Hídricos e para uma eficaz atuação do Sistema

Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos? Afinal, a legislação vigente sobre recursos hídricos satisfaz as necessidades e interesses da nação brasileira?

EVOLUÇÃO CRONOLÓGICA DA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL

A gestão das águas no Brasil está intrinsecamente ligada a aplicação da legislação sobre recursos hídricos.

As águas podem ser compreendidas como bem jurídico de propriedade do Estado ou como bem jurídico submetido ao regime de direito privado ou ainda como fonte geradora de recursos econômicos, como explica Paulo de Bessa Antunes, em *Direito Ambiental*, 1998. Esta distinção, diz ele, é importante para se entender a forma como as águas foram tratadas nas Constituições Brasileiras que tratam do assunto e demais legislação pertinente ao tema.

A seguir, apresenta-se uma síntese da evolução cronológica da administração das águas no Brasil, considerados os aspectos legal e institucional, cujo levantamento remonta à época do Brasil desde o regime imperial.

1828 – Lei de 1º de outubro de 1828 a qual disciplinou as atribuições das Câmaras Municipais, dando-lhes competência legislativa sobre as águas.

1834 – Lei nº 16, de 12 de agosto de 1834, a qual estabeleceu a competência das assembleias Legislativas Provinciais para legislar sobre obras públicas, estradas e navegação no interior de seus respectivos territórios.

1909 - Criação do Instituto Nacional de Meteorologia - INEMET.

1916 – Edição do Código Civil Brasileiro que tratava da água em vários artigos.

1933 – Criação da Diretoria de Águas, no Ministério da Agricultura, logo transformada em Serviço de Águas.

1934 – Promulgação da Constituição de 1934 que estabeleceu como competência privativa da União legislar sobre “bens do domínio federal, riquezas do subsolo, mineração, metalurgia, águas, energia hidráulica, florestas, caça e pesca e a sua exploração” (Artigo 5º, inciso XIX, alínea “j”) e determinou que são do domínio da União “os lagos e quaisquer correntes em terrenos do seu domínio ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países ou se estendam a territórios estrangeiros” (Artigo 20). Estabeleceu ainda em seu artigo 119 que o aproveitamento

das águas e da energia hidráulica, ainda que de propriedade privada, dependesse de autorização ou concessão federal.

1934 - Edição do Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934 que dispõe sobre o Código de Águas. Decorrente da Reforma Juarez Távora, o Serviço de Águas foi inserido na estrutura do Departamento Nacional da Produção Mineral.

1937 – Promulgação da Constituição de 1937 que atribuiu competência à União para legislar sobre os bens de domínio federal, águas e energia hidráulica (Artigo 16, inciso XVI) e determinou que o aproveitamento das águas e da energia hidráulica, ainda que propriedade privada, dependesse de autorização federal (Artigo 143).

1940 – Edição do Decreto 6.402/40 que substituiu o Serviço de Água pela Divisão de Águas e criou o Departamento Nacional de Obras de Saneamento – DNOS.

1945 – Lei nº 7.841, de 08 de agosto de 1945 que dispunha sobre o Código de Águas Minerais.

1945 - Criação da Companhia hidroelétrica do São Francisco - CHESF e do Departamento Nacional de Obras Contra Secas – DNOCS.

1946 – Promulgação da Constituição de 1946, a qual regulamentou a utilização dos recursos naturais visando a exploração econômica dos mesmos. Deu ênfase a livre iniciativa e a propriedade privada e estabeleceu como competência da União legislar sobre riquezas do solo, mineração, metalurgia, águas, energia elétrica, florestas, caça e pesca (Artigo 5º, inciso XV, 1). Repetiu o texto sobre domínio da União do artigo 20 da constituição de 1934 e acrescentou: “e bem assim as ilhas fluviais e lacustres nas zonas limítrofes com outros países”. Como bens pertencentes aos Estados, incluiu os lagos e rios em terrenos de seu domínio e os que tivessem nascente e foz no território estadual. Esta constituição de 1946 estabelece que as concessões ou autorizações sobre o aproveitamento das águas e energia hidráulica somente poderiam ser concedidas a brasileiros ou a empresas organizadas no País;

1948 - Criação da Companhia de Desenvolvimento do Vale de São Francisco – CODEVASF;

1952 - Criação das Centrais Elétricas de Minas Gerais – CEMIG;

1953 - Criação das Usinas Hidroelétricas do Paranapanema S/A – USELPA;

1954 - Criação do Fundo Federal de Eletrificação;

1957 - Criação da Furnas - Centrais Elétricas S/A;

1960 - Criação da Companhia Hidroelétrica do Rio Pardo – CHERP;

1960 - Lei nº 3824, de 23 de novembro de 1960 torna obrigatória a destoca e consequente limpeza das bacias hidráulicas dos açudes, represas ou lagos artificiais;

1961 - Transferência do DNPM para o Ministério das Minas e Energia. Criação das Centrais Elétricas de Urubupungá S/A – CELUSA;

1962 - Criação das Centrais Elétricas brasileiras S/A - ELETROBRÁS e início da criação de importantes companhias de eletricidade.

1965 – Lei 4904 - A divisão de Águas foi transformada no Departamento Nacional de Águas e Energia - DNAE;

1967 – Constituição de 1967 – a qual praticamente mantém dentre os bens pertencentes à União os já estabelecidos em constituições anteriores, inclusive a competência legislativa federal sobre as águas, afastando-se a competência supletiva dos Estados quanto ao particular. Determinou em seu Artigo 168, § 4º que “não dependerá de autorização ou concessão o aproveitamento de energia hidráulica de potência reduzida”;

1967 – Lei nº 5.318, de 26 de setembro de 1967, que instituiu a Política Nacional de Saneamento;

1968 - Decreto 63.951/68 – altera denominação do Departamento Nacional de Águas e energia para Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - DNAEE;

1967 – Lei nº 5357, de 17 de novembro de 1967 que estabelece penalidades para embarcações e terminais marítimos ou fluviais sobre lançamento de detritos ou óleos em águas brasileiras;

1969 – Promulgação da constituição de 1969 que manteve as disposições da constituição de 1967 em relação ao tema.

1969 - Extinção do Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica - CNAEE, cujas atribuições passaram a competência do DNAEE (Decreto – Lei 989/69).

Início da criação das companhias estaduais de Saneamento.

1973 - Criação da Secretaria Especial do Meio Ambiente - SEMA no âmbito do Ministério do Interior e Início da criação dos Órgãos Estaduais do Meio Ambiente;

1974 – Lei nº 6050, de 24 de maio de 1974 sobre fluoretação de águas;

1978 - Portaria Interministerial nº 90 que cria o Comitê Especial Intitulado CEEIBH, incumbido da classificação dos cursos d'água da União, bem como do estudo integrado e do acompanhamento da utilização racional dos recursos hídricos

das bacias hidrográficas dos rios federais, no sentido de se obter o aproveitamento múltiplo de cada uma e minimizar as consequências nocivas a ecologia da Região. O CEEIBH é composto dos seguintes organismos existentes à época: DNAEE, ELETROBRÁS, SEMA E DNOS; 1978 – Portaria nº 1.832. Estabelece que somente serão apreciados pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica os pedidos de concessão ou autorização para derivar águas públicas federais para aplicações da indústria que, juntamente com os projetos das obras de derivações, apresentarem sistemas de tratamento dos efluentes aprovados pela Secretaria Especial do Meio Ambiente - SEMA - do Ministério do Interior, ou por órgãos regionais devidamente credenciados pela mesma Secretaria.

1979 - Portaria Interministerial nº 003 Aprova o Regimento do Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas - CEEIBH, criado pela Portaria Interministerial nº 90, de 29 de março de 1978;

1979 – Lei 6662, de 25 de junho de 1979 que regulamenta o Decreto que estabeleceu a Política Nacional de Irrigação;

1980 a 1984 – Diagnóstico de Bacias Hidrográficas O DNAEE desenvolve diagnósticos de 2.500.00 km² de Bacias hidrográficas visando a classificação das águas e início de um processo de gerenciamento coparticipativo, baseado em informações confiáveis. 1984 - CPI de Recursos Hídricos, início das atividades do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA e edição pela Secretaria Especial do Meio ambiente, do Relatório da Qualidade do Meio Ambiente - RQMA.

1980 a 1985 - Alguns Comitês de Bacias evoluem tais como Paranapanema, Paraíba do Sul e Doce.

1981 – Promulgação da Lei nº 6938 que dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos.

1985 - Criado o Ministério Extraordinário da Irrigação com o Programa Nacional de Irrigação - PRONI e Programa de Irrigação do Nordeste – PROINE.

1986 - Resolução do CONAMA nº 20, de 18/6/1986 estabelece a classificação das águas doces (águas com salinidade igual ou inferior a 0,5%) salobras (águas com salinidade variando entre 0,5 a 30%) e salinas (águas com salinidade superior a 30%) no Território

Nacional em nove classes, segundo seus usos preponderantes;

1987 – Decreto nº 94076, de 5 de março de 1987 que institui o Programa Nacional de Microbacias Hidráulicas.

1988 – Promulgação da atual Constituição Brasileira, estabelecendo o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Foi a que mais profundamente tratou das águas consideradas como bem de valor econômico. Os rios passam a ser compreendidos a partir do conceito de bacia hidrográfica e não isoladamente, permitindo a gestão integrada e racional dos recursos hídricos. Acrescenta como bens da União os terrenos marginais e as praias fluviais.

1989 - Lei nº 7.990/89 Institui para os Estados, Distrito Federal e municípios compensação financeira pelo resultado da exploração de petróleo ou gás natural, de recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica, de recursos minerais em seus respectivos territórios, plataforma continental, mar territorial ou zona econômica exclusiva.

1989 - Criação do IBAMA com fusão da SEMA, IBDF, SUDHEVEA e SUDEPE, pela Lei nº 7.804, de 18 de jul. de 1989;

1989 – Lei nº 7960, de 21 de dezembro de 1989 que estabelece penalidade de crimes de envenenamento de águas potáveis;

1990 - Lei nº 8001, que define os percentuais da distribuição da compensação financeira de que trata a Lei nº 7990/89.

1991 - O Poder Executivo encaminha o Projeto de Lei nº 2249-A - que dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos e altera a redação do artigo 1º da Lei nº 8001/90.

1991 - Lei nº 7663, de 30 de dezembro de 1991, que dispõe sobre os recursos hídricos do Estado de São Paulo;

1991 – Lei da Política Agrícola na qual estabelece que as bacias hidrográficas se constituem em unidades básicas de planejamento do uso, da conservação e da recuperação dos recursos naturais”;

1992 - Lei nº 11996, de 24 de julho de 1992, que dispõe sobre os recursos hídricos do Estado do Ceará;

1993 - Lei nº 9022, de 6 de maio de 1993, que dispõe sobre a Instituição, Estruturação e Organização do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de Santa Catarina;

1993 - Lei nº 512, de 28 de julho de 1993, que dispõe sobre a Política de Recursos Hídricos no Distrito Federal;

1994 - Lei nº 5793 de 4 de janeiro de 1994, que dispõe sobre a Política Minerária e Hídrica do Estado do Pará;

1994 - Lei nº 11504, de 20 de junho de 1994, que dispõe sobre os recursos hídricos do Estado de Minas Gerais;

1994 - Lei nº 10350, de 10 de dezembro de 1994, que dispõe sobre os recursos hídricos do Estado do Rio Grande do Sul;

1995 - Criada a Secretaria de Recursos Hídricos, pela MP nº 813, de 01/01/95, mensalmente reeditada.

1995 - Sancionada a Lei nº 8937, de 13/02/95 que dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos previstos no artigo 175 da Constituição Federal;

1995 - Lei nº 6855, de 12 de maio de 1995, que dispõe sobre os recursos hídricos do Estado da Bahia;

1995 - Sancionada a Lei nº 9074, de 07/07/95 que estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos;

1996 - Lei nº 6908, de 1º de julho de 1996, que dispõe sobre os recursos hídricos do Estado do Rio Grande do Norte;

1996 - Lei nº 6308, de 2 de julho de 1996, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba;

1996 - Criada a Agência nacional de Energia elétrica, pela Lei nº 9.427, de 26/12/96, como autarquia sob regime especial, com a finalidade de regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização da energia elétrica, de acordo com a legislação específica e em conformidade com as diretrizes do Governo Federal.

1997 - Aprovada a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos, o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e modifica os critérios estabelecidos pela Lei nº 8001, de 1990;

1997 - Lei nº 11426, de 17 de janeiro de 1997, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e Plano Estadual de Recursos Hídricos e institui o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco;

1997 - Lei nº 13123, de 16 de julho de 1997, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Goiás;

1997 – Lei nº 3870, de 25 de setembro de 1997, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Sergipe;

1997 - Lei nº 6945, de 5 de novembro de 1997, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Mato Grosso;

1997 - Lei nº 5965, de 10 de novembro de 1997, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Alagoas;

1997 - Lei nº 7052, de 22 de dezembro de 1997, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado d Maranhão;

1998 - Sancionada a Lei nº 9605, de 12 de fevereiro de 1998, que rege os Crimes Ambientais e a Lei nº 3648, de 27/05/98, que ratifica a compensação financeira de 6% a ser paga por titular de concessão ou autorização para exploração de potencial hidráulico aos Estados e aos Municípios em que se localiza o aproveitamento ou que tenham áreas alagadas por águas de reservatório.

1998 - Sancionada a Lei nº 9649, de 27/05/98 dispõe sobre a organização da Presidência da República e dos Ministérios.

1998 – Edição do Decreto nº 2612, de 03 de junho de 1998 que estabeleceu o Regulamento do Conselho Nacional de Recursos Hídricos.

1998 - Edição do Decreto nº 2619, de 05 de junho de 1998 que estabeleceu a Estrutura Regional do Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal; 1998 - Lei nº 5818, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Espírito Santo.

1998 - Baixada a Portaria nº 231, de 05/11/98, designa os membros titulares e suplentes do Conselho Nacional de Recursos Hídricos.

1999 - Sancionada a Lei nº 9790, de 23/03/99, que dispõe sobre a qualificação de pessoas jurídicas de direito privado, sem fins lucrativos, como Organizações da Sociedade Civil de Interesse Público e institui e disciplina o instituto da parceria.

1999 - Enviado pela Presidência da República o PL nº 1616, que regula o Sistema Nacional de Gerenciamento de recursos Hídricos;

1999 - Lei nº 3239, de 2 de agosto de 1999, que instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro;

1999 – Edição da Medida Provisória nº 1911-10, de 24 de setembro de 1999, que reorganiza a Administração Federal, dispondo sobre a Organização da Presidência da República e dos Ministérios, definindo para cada um a estrutura para a área de recursos hídricos.

2000 – Lei nº 9966, de 28 de abril de 2000 que dispõe sobre prevenção, controle de poluição causada por lançamento de óleo e substâncias nocivas em águas nacionais.

2001 – Promulgação da Lei nº 9984, de 17 de julho de 2000 que dispõe sobre a Agência Nacional de Águas;

2000 - Lei nº 5165, de 17 de agosto de 2000, que disciplina a Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Piauí;

2001 – Lei nº 2712, de 28 de dezembro de 2001, que disciplina Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Amazonas.

DOMÍNIO DAS ÁGUAS BRASILEIRAS

Pela legislação brasileira atual as águas são bens da União ou dos Estados, não havendo águas de domínio municipal, nem de domínio privado. A Constituição Federal de 1988 extinguiu a figura do domínio privado das águas, que havia sido adotada pelo Código das Águas de 1934.

O artigo 20 da Constituição Federal assim dispõe:

“São bens da União:

...

III – Os lagos, rios e quaisquer correntes de águas em terrenos de seu domínio, ou que banhe mais de um estado, sirvam de limites com outros países ou se estendem a territórios estrangeiros ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais; ...

VI – O mar territorial:

VIII – Os potenciais de energia hidráulica;”

O artigo 26 da Constituição Federal inclui entre os bens dos Estados:

“I – As águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, nesse caso, na forma da Lei, as decorrentes de obras da União”.

Por sua vez, o artigo 225 da Constituição Federal estabelece: “Todo tem direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”.

A Lei nº 9985, de 18 de julho de 2000 que regulamenta este artigo 225 da Constituição Federal em seu artigo 1º, preceitua em seu artigo 2º, inciso IV – que entende por “recurso ambiental: a atmosfera, as águas interiores, superficiais e subterrâneas, os estuários, o mar territorial, o solo, o subsolo, os elementos da biosfera, a fauna e a flora”.

Tudo leva ao entendimento que a Constituição Federal autorizou a tutela de direitos coletivos porque compreendeu a existência de uma terceira espécie de bem: o bem ambiental que não é público, nem particular, mas sim de uso comum do povo.

A Lei 9433/97 inicia afirmando em seu artigo 1º, inciso I, quando define os fundamentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, que: “a água é um bem de domínio público”. O novo Código Civil Brasileiro, quando trata dos bens públicos e particulares diz em seu artigo 99:

“São bens públicos:

I – Os de uso comum do povo, tais como rios, mares, estradas, ruas e praça”.

Consequentemente se água é um bem de domínio público é um bem de uso comum do povo.

Conforme explica Paulo Affonso Leme Machado, em seu livro Direito Ambiental Brasileiro, os rios sempre foram classificados como bens de uso comum do povo e o fato da Lei 9433/97 declarar que a água é um bem de domínio público não transforma a União ou os Estados em proprietários da água, mas sim, os torna gestores deste bem, no interesse de todos. Continua o mesmo autor explicando que a água não é bem dominical do poder público, haja vista não integrar o patrimônio privado do poder público e justifica apelando para o artigo 18 da Lei 9433/97 que diz: “a outorga não implica a alienação parcial das águas que são inalienáveis, mas o simples direito de uso”. Essa inalienabilidade das águas define uma de suas características como bem de domínio público. Conclui dizendo que: “O legislador brasileiro agiu bem ao considerar as águas de domínio público” no sentido de “bem de uso comum do povo”.

De modo diferente pensa Celso Antônio Pacheco Fiorillo sobre a Lei, pois considera que a Lei 9433/97 em seu artigo 1º refletiu uma impropriedade ao afirmar

que a água é um bem de domínio público. Considera a afirmativa inconstitucional, pois a água é um bem tipicamente ambiental, conforme Lei nº 9985/00 (artigo 2º, inciso IV) e Lei 6938/81 (artigo 3º, inciso V) sendo, portanto de uso comum do povo, e em conformidade com a Lei 8078/90, (parágrafo único, inciso I) um bem difuso.

Quanto às águas pluviais a Lei 9433/97 não tratou explicitamente como fez o Código das Águas de 1934, que dividiu equilibradamente o direito de propriedade das águas da chuva conforme o lugar onde caíssem e conforme o curso que a natureza lhe direcionasse.

O domínio da água remete a questão do uso das águas. A Lei 9433/97, em seu artigo 1º, inciso IV, coloca como um dos fundamentos da Política Nacional de Recursos Hídricos que a gestão dos Recursos Hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas, embora estabeleça neste mesmo artigo, inciso III que: “em situações de escassez o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais”.

Quando esta situação se apresentar, cabe ao poder público, responsável pela outorga dos direitos de uso da água, suspender as outorgas que possam prejudicar o cumprimento deste dispositivo legal conforme determina o artigo 15, inciso V, da Lei 9433/97. Falhando a administração pública, deverá o Poder Judiciário intervir, através de ação judicial.

COMPETÊNCIA LEGISLATIVA E MATERIAL SOBRE RECURSOS HÍDRICOS

A Constituição Federal de 1988 trata em diferentes dispositivos sobre a competência legislativa, permitindo várias interpretações sobre o tema.

Esta Constituição Federal, em seu artigo 22, dispõe:

“Compete privativamente a união legislar sobre:

IV – águas, energia, informática, telecomunicações e rádio difusão;”

O parágrafo único do mesmo artigo estabelece que: “Lei complementar poderá autorizar os estados a legislar sobre questões específicas das matérias relacionadas

O termo “águas” foi usado de forma ampla, sem especificar tipo ou estado, dando margens também a ampla interpretação.

O artigo 24 da Constituição Federal confere competência legislativa concorrente da União, Estados e Distrito Federal para legislar sobre meio ambiente e sobre proteção e defesa da saúde. Diz o artigo 24:

“Compete à União, aos Estados e ao Distrito Federal legislar concorrentemente sobre:

VI – Florestas, caça, pesca, fauna, conservação da natureza, defesa do solo e dos recursos naturais, proteção do meio ambiente e controle da poluição;

VIII – responsabilidade por dano ao meio ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico;

XII – previdência social, proteção e defesa da saúde”.

Ora, sendo a água um recurso natural bem como sua boa qualidade e correta utilização essenciais à saúde, conclui-se que a água está compreendida nestes dois incisos. Igualmente, o inciso que trata da responsabilidade por dano ao meio ambiente, a bens e direitos de valor turístico e paisagístico engloba aspectos relevantes relacionados à água.

Tratando-se de competência legislativa concorrente, a União deve se limitar a legislar sobre normas gerais, cabendo aos Estados e ao Distrito Federal legislar complementarmente e ao Município suplementarmente, com base no artigo 30, inciso II da Constituição Federal.

A atual Constituição Federal atribuiu à União, Estados, Distrito Federal e Municípios competência material em relação à proteção de recursos naturais conforme estabelece o artigo 23, inciso VI: “proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas”. Essa competência material deverá ser efetivada ainda que o ente federado não tenha exercido a sua atribuição legislativa.

Pelos artigos mencionados constata-se que a atual Constituição Federal distingue a competência legislativa da competência administrativa. No que se refere à administração, para cumprir com suas atribuições, explicitados no artigo 23, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios precisam elaborar normas e regulamentos, ou seja, precisam elaborar uma produção legislativa sobre as águas, mas no que exclusivamente se refere à proteção ao meio ambiente e ao combate a poluição.

Em síntese, pode-se dizer que o sentido da Lei 9433/97 se caracteriza por uma descentralização de ações mais uma concentração de poder, ou melhor, a

descentralização recomendada pela Lei é no domínio da gestão, pois a competência para legislar sobre as águas é centralizada nas mãos da União.

ESTRUTURA ATUAL DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL

O atual Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos foi instituído pela Lei nº 9433/97, com as seguintes atribuições, especificadas em seu artigo 32:

- Coordenar a gestão integrada das águas;
- Arbitrar administrativamente os conflitos relacionados com os recursos hídricos;
- Implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos;
- Planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos; – promover a cobrança pelo uso de recursos hídricos.

O Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, conforme dispõe o artigo 33 da Lei nº 9433/97, é constituído por um conjunto de órgãos e instituições que atuam na gestão dos recursos hídricos na esfera federal, estadual e municipal, a saber:

- O Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH;
- Os Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal - CERH;
- Os Comitês de Bacia Hidrográfica;
- Os órgãos dos poderes públicos federal, estaduais, do Distrito Federal e municipais cujas competências se relacionem com a gestão de recursos hídricos;
- As Agências de Águas; e
- A Agência Nacional de Águas - ANA, (está acrescida aos demais por força da Lei nº 9984, de 17 de julho de 2000, como inciso I. A logo após ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos que corresponde ao inciso I do artigo 33 da Lei nº 9433/97).



Fonte: VILELLA, 2004.

Conforme pode ser observado no organograma acima, a gestão das águas é descentralizada, mas os órgãos estão hierarquicamente ligados e trabalham em espírito de cooperação. As principais competências, atribuições e constituição desses órgãos, conforme as Leis nº 9433/97 e Lei nº 9984/00, são as seguintes:

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos, que é o colegiado superior no Brasil sobre recursos hídricos, tem por competência:

- Promover a articulação do planejamento dos recursos hídricos com os planejamentos nacional, regional, estaduais e dos setores usuários;
- Arbitrar, em última instância administrativa, sobre conflitos que envolvam os Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos;
- Deliberar sobre os projetos de aproveitamento de recursos hídricos, cujas repercussões extrapolem o âmbito dos estados em que serão implantados, bem como sobre as questões que lhe tenham sido encaminhadas pelos Conselhos Estaduais ou pelos Comitês de Bacia Hidrográfica;
- Analisar propostas de alteração da legislação pertinente a recursos hídricos e da própria Política Nacional de Recursos Hídricos, aprovar propostas de instituição dos Comitês de Bacia Hidrográfica e estabelecer critérios para a elaboração de seus regimentos;

- Estabelecer diretrizes complementares para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
- Acompanhar a execução do Plano Nacional de Recursos Hídricos e fazer cumprir suas metas;
- Estabelecer critérios gerais para outorga de direitos de uso de recursos hídricos e para cobrança por seu uso.

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos tem por Presidente o Ministro titular do Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal e por Secretário Executivo, o titular do órgão integrante da estrutura deste Ministério responsável pela gestão dos Recursos Hídricos, no caso a Secretaria de Recursos Hídricos conforme Decreto nº 2619, de 5 de junho de 1998, que aprova a estrutura Regimental do Ministério do Meio Ambiente. Desta forma o Gerenciamento dos Recursos Hídricos está vinculado ao Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, cabendo a ambos Conselho Nacional de Recursos Hídricos e Ministério do Meio Ambiente a formulação da Política Nacional de Recursos Hídricos.

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos é formado por representantes dos Ministérios e Secretarias da Presidência da República com atuação no gerenciamento ou no uso de recursos hídricos, dos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos, dos usuários dos recursos hídricos e de organizações civis de recursos hídricos, caracterizando assim uma gestão participativa onde os vários segmentos envolvidos com os recursos hídricos possam influenciar no processo de tomada de decisão.

A Agência Nacional de Águas – ANA, vinculada ao Ministério do Meio Ambiente, é uma autarquia sob regime especial, com autonomia administrativa e financeira, com a finalidade de implementar, em sua esfera de competência, os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos e coordenar o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, tendo dentre suas atribuições, entre outras:

- Supervisionar, controlar e avaliar as ações e atividades decorrentes do cumprimento da legislação federal pertinente aos recursos hídricos;
- Disciplinar em caráter normativo, a implementação, a operacionalização, o controle e a avaliação dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos;

- Outorgar, por intermédio de autorização, o direito de uso de recursos hídricos em corpos de água de domínio da União;
- Fiscalizar os usos de recursos hídricos nos corpos de água de domínio da União;
- Arrecadar, distribuir e aplicar receitas auferidas por intermédio da cobrança pelo uso de recursos hídricos de domínio da União, na forma do disposto no artigo 22 da Lei 9433/97;
- Planejar e promover ações destinadas a prevenir ou minimizar os efeitos de secas e inundações, no âmbito do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, em articulação com o órgão central do Sistema Nacional de Defesa Civil, em apoio aos Estados e Municípios;
- Organizar, implantar e gerir o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos; e
- Prestar apoio aos estados na criação de órgãos gestores de recursos hídricos; – propor ao conselho Nacional de Recursos Hídricos o estabelecimento de incentivos, inclusive financeiros, à conservação qualitativa e quantitativa de recursos hídricos; e – participar da elaboração do Plano Nacional de Recursos Hídricos e supervisionar a sua implementação.

A ANA será dirigida por uma Diretoria Colegiada formada por cinco membros nomeados pelo Presidente da República, com mandatos de quatro anos, aos quais é vedado o exercício de qualquer outra atividade profissional, empresarial, sindical ou de direção político-partidária.

A ONU contará com uma Procuradoria vinculada à Advocacia-Geral da União.

Os Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos têm por competência:

- Deliberar sobre as acumulações, derivações, captações e lançamentos de pouca expressão, para efeito de isenção da obrigatoriedade de outorga de direitos de uso de recursos hídricos, quando esses recursos forem de domínio estadual;
- Arbitrar, como instância recursal, sobre decisões tomadas pelos Comitês de Bacia Hidrográfica de rios de domínio estadual;
- Autorizar a criação de Agências de Águas em bacias de rios de domínio estadual; e
- Suplementar regras da Lei nº 9433/97, desde que não as descumpram.

Os Comitês de Bacia Hidrográfica em rios de domínio da União têm por competência, entre outras:

- Promover o debate das questões relacionadas a recursos hídricos e articular a atuação das entidades intervenientes;
- Arbitrar, em primeira instância, os conflitos relacionados aos recursos hídricos;
- Aprovar o Plano de Recursos Hídricos da bacia respectiva e acompanhar a sua execução, sugerindo providências ao cumprimento de suas metas, quando necessário;
- Propor ao Conselho Nacional e aos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos as acumulações, derivações, captações e lançamentos de pouca expressão, para efeito de isenção da obrigatoriedade de outorga de direitos de uso de recursos hídricos, de acordo com o domínio destes;
- Estabelecer os mecanismos de cobrança pelo uso de recursos hídricos e sugerir os valores a serem cobrados;
- Aprovar o plano de aplicação dos recursos arrecadados com a cobrança pelo uso dos recursos hídricos.

Os Comitês de Bacia Hidrográfica são formados por representantes da União, dos Estados e do Distrito Federal conforme domínio das águas, dos Municípios situados em sua área de atuação, das entidades civis de recursos hídricos com atuação comprovada na bacia e dos usuários de suas águas. Como a Lei limita a representação dos órgãos públicos à metade do total de membros, torna-se mais efetiva a participação da comunidade.

Quando se tratar de Comitês de Bacia Hidrográfica de rios que banham outros países, deverá fazer parte da constituição do respectivo comitê, um representante do Ministério das Relações Exteriores.

As Agências de Água funcionam como uma espécie de secretarias dos Comitês de Bacia Hidrográfica e têm por função o desempenho das atividades técnicas necessárias para que as deliberações dos Comitês de Bacia Hidrográfica possam ser executadas, podendo uma mesma Agência de Água prestar serviço para mais de um Comitê.

A constituição das Agências de Água é autorizada pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos ou pelos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos a pedido dos

Comitês de Bacia Hidrográfica e está sujeita às seguintes condições legais: prévia existência do comitê que solicita e viabilidade financeira assegurada pela cobrança do uso dos recursos hídricos em sua área de atuação.

As Agências de Água têm por atribuições, dentro da área de sua atuação:

- Manter balanço atualizado da disponibilidade de recursos hídricos;
- Manter o cadastro de usuários de recursos hídricos;
- Promover os estudos necessários para a gestão dos recursos hídricos;
- Elaborar o Plano de Recursos Hídricos para apreciação dos respectivos

Comitês de Bacia Hidrográfica;

- Gerir o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos;
- Efetuar, mediante delegação do outorgante, a cobrança pelo uso de recursos hídricos; - analisar e emitir pareceres sobre os projetos e obras a serem financiados com recursos gerados pela cobrança pelo uso de recursos hídricos e encaminhá-los à instituição financeira responsável pela administração desses recursos;

- Acompanhar a administração financeira dos recursos arrecadados com a cobrança pelo uso de recursos hídricos;

- Celebrar convênios e contratar financiamentos e serviços para a execução de suas competências;

- Elaborar a sua proposta orçamentária e submetê-la a seu respectivo comitê de Bacia Hidrográfica;

- Propor, ao Comitê da Bacia Hidrográfica respectivo, os valores a serem cobrados pelo uso dos recursos hídricos e o plano de aplicação dos recursos arrecadados com a cobrança pelo uso dos recursos hídricos;

- Propor, ao Comitê da Bacia Hidrográfica respectivo, o rateio de custo das obras de uso múltiplo, de interesse comum ou coletivo; e

- Propor, ao Comitê da Bacia Hidrográfica respectivo, o enquadramento dos corpos d'água nas classes de uso.

Os Estados e o Distrito Federal poderão adaptar estas instituições (Comitês de Bacia Hidrográfica e Agências de Águas) às suas peculiaridades, desde que respeitem as deliberações gerais do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Conforme artigo 47 da Lei nº 9433/97, são consideradas organizações civis de recursos hídricos:

- Consórcios e associações intermunicipais de bacias hidrográficas;
- Associações regionais, locais ou setoriais de usuários de recursos hídricos;
- organizações técnicas e de ensino e pesquisa com interesse em área de recursos hídricos;
- Organizações não-governamentais com objetivos de defesa de interesses difusos e coletivos da sociedade;
- Outras organizações reconhecidas pelo Conselho Nacional ou pelos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos.

A BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE PLANEJAMENTO

A bacia hidrográfica é unidade territorial em que a gestão normal das águas deve ocorrer.

Desde 1991, a Lei 8.171/91, que institui a Política Agrícola já colocava as bacias hidrográficas como unidades básicas de planejamento do uso, conservação e da recuperação dos recursos naturais, dispositivo que foi adotado pela Lei 9433/97, que em seu artigo 1º, inciso V, também coloca como fundamento da Política Nacional de Recursos Hídricos a bacia hidrográfica como unidade territorial para sua implementação bem como para atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Com isso, os rios deixam de ser compreendidos como elemento geográfico isolado. A bacia hidrográfica a qual pertencem é que passa a ser a unidade de planejamento. Desta forma torna-se mais fácil e coerente comparar as disponibilidades e as demandas favorecendo o equilíbrio do balanço hídrico.

A Lei 9.433/97, embora não defina “bacia hidrográfica”, delimita em seu artigo 37 a área de atuação dos Comitês de Bacia Hidrográfica: “Os comitês de Bacia Hidrográfica terão como área de atuação:

- I – A totalidade de uma bacia hidrográfica;
- II – Sub-Bacia hidrográfica de tributário do curso de água principal da bacia, ou de tributário desse; ou
- III – Grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas contíguas”.

Esta Lei não veio acompanhada com um glossário de termos técnicos prejudicando o entendimento, por exemplo, quanto ao conceito de curso d'água principal da bacia, já que não define os critérios para determinação de um rio principal.

Pontua-se aqui uma outra dificuldade na implementação da atuação dos Comitês de Bacia Hidrográfica. Desta vez, em função do domínio das águas visto que pode um curso de água principal ser federal e os cursos de água tributários serem estaduais. Assim acontecendo, a quem cabe administrar a Bacia, a União ou o Estado correspondente? Além disso, neste caso, a quem cabe a outorga dos recursos hídricos?

Mesmo com alguns pontos que precisam ser esclarecidos por legislações posteriores, considera-se que a Lei 9433/97 foi logicamente bem elaborada. Justifica-se, pelo fato, desta Lei ter colocado na base da estrutura organizacional de gerenciamento de recursos hídricos os Comitês de Bacia Hidrográfica e ter adotado, como princípio, a bacia hidrográfica como unidade territorial para planejamento e implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do gerenciamento de recursos hídricos, a nível nacional, visto que os Planos de Recursos Hídricos passam a ser elaborados por bacia hidrográfica por Estado. Estes planos elaborados pelas Agências de Águas para um período de longo prazo e aprovados pelos Comitês de Bacia Hidrográfica serão os instrumentos que fundamentarão e orientarão a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e o gerenciamento dos recursos hídricos.

Esses planos devem conter um diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos, metas de racionalização do uso, aumento de quantidade e melhoria de qualidade dos recursos hídricos disponíveis: balanço entre disponibilidade e demandas futuras, os programas e projetos propostos, prioridades para outorga de direitos de uso de água, direitos e critérios para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos, tendo sempre presente a área de atuação da bacia hidrográfica. Os recursos hídricos não podem ser administrados de forma independente em relação ao seu meio ambiente.

Outro ponto positivo da Lei 9433/97, que merece destaque está contido em seu artigo 22, quando preceitua que os valores arrecadados com a cobrança pelo uso dos recursos hídricos devem ser aplicados prioritariamente na própria bacia hidrográfica geradora dos recursos. É uma questão de justiça, pois as águas de uma bacia devem

beneficiar primeiramente os que moram, vivem e trabalham em sua área de abrangência.

REFERENCIAS

ANTUNES, Paulo de Bessa. Direito ambiental. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2. ed., 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EDUCAÇÃO AGRÍCOLA SUPERIOR. Curso de especialização por tutoria à distância. Geografia das águas. Brasília: ABEAS/UFV/DEA, 2001. 83p.: il. (Curso Uso racional dos recursos naturais e seus reflexos no meio ambiente. Módulo, 4). Apostila.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EDUCAÇÃO AGRÍCOLA SUPERIOR. Curso de especialização por tutoria à distância. Legislação para o uso de recursos hídricos. Brasília: BEAS/UFV/DEA, 2000. 185p. (Curso Uso racional dos recursos naturais e seus reflexos no meio ambiente. Módulo, 1). Apostila.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EDUCAÇÃO AGRÍCOLA SUPERIOR. Curso de especialização por tutoria à distância. Poluição ambiental e seus efeitos. Brasília: ABEAS/UFV/DEA, 2001. 111p. (Curso Uso racional dos recursos naturais e seus reflexos no meio ambiente. Módulo, 6). Apostila.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Informação e documentação – referências – elaboração: NBR-6023. Rio de Janeiro, 2002.

BRASIL. Constituição Federal, Coleção de Leis de direito ambiental. São Paulo: Manole, 2004. BRASIL. LEI N.º 9.433, DE 08 DE JANEIRO DE 1997. Dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos. Fernando Henrique Cardoso. Gustavo Krause.

FIORILLO, Celso Antonio Pacheco. Curso de Direito Ambiental Brasileiro. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2003.

FIORILLO, Celso Antonio Pacheco; RODRIGUES, Marcelo Abelha. Manual de Direito Ambiental e Legislação Aplicável. 2. ed. São Paulo: Max Limonad, 1999.

FURASTE, Pedro Augusto. Normas Técnicas para o Trabalho Científico. Explicitação das normas da ABNT. 13. ed. Porto Alegre: S. N., 2004.

Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas. Legislação Ambiental do Estado do Amazonas. 3.ed. Atual. Manaus: IPAAM, 2002.

MACHADO, Paulo Affonso Leme. Direito Ambiental Brasileiro. São Paulo: Malheiros, 7.ed., 1999.

PRODEMGE. Navegando pelas águas. Disponível em: www.hidricos.mg.gov.br/inle.htm Acesso em: 17 ago. 2004.

SANTOS, Antônio Silveira dos. Município e a Gestão Hídrica. Disponível em: www.aultimaarcadenoe.com Acesso em: 19 ago. 2004.

SP.GOV. Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento. Disponível em: www.rekursoshidricos.sp.gov.br/index.htm Acesso em: 17 ago. 2004.

USO racional da água e seus reflexos no meio ambiente. III Programa de Suporte Técnico Gestão de Recursos Hídricos. Brasília: MMA/SRH/ABEAS, 1998. 1 CD-ROM.

USP. Bacias hidrográficas no Brasil. Disponível em: www.educar.sc.usp.br/biologia/textos/bacias.html Acesso em: 10 nov. 2004.

VILELLA, Wagner Martins da Cunha. Desafios e Experiências de Implementação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Manaus: I Workshop de Recursos Hídricos no Estado do Amazonas, MMA/SRH, 2004. (Palestra proferida em 18 ago.)