

MOVIMENTO DA ÁGUA NO SOLO

* Francisco José da Silva

O movimento de água no solo é muito importante na agricultura; a adição de água no solo, movimento da água na zona das raízes, o movimento gravitacional, a evaporação na superfície, a textura, a estrutura do solo condicionam o uso da água pelas plantas, salienta-se a condutividade como uma das mais importantes propriedades que determina a maior ou menor facilidade de transmissão de água no solo.

O movimento da água se verifica em função das manifestadas forças de campo, como a gravidade, absorção, pressão externa e pressão osmótica e se processa em função do estado de umedecimento do solo.

Estudos deram um novo conceito de água no solo, que foi universalmente aceito como um dos limites da água disponível. Segundo estes, a água retida no solo na capacidade de campo corresponde a um ponto na curva da umidade — drenagem — tempo e não a um ponto de equilíbrio de umidade do solo.

01. INTRODUÇÃO

1.1. Importância da água

Três quartos do peso humano, nove décimos das plantas, cerca de noventa por cento do protoplasma celular, em muitos casos, são constituídos de água, conforme refere BUCK MAN and BRADY in the Nature and Propertier of

Solis. Lembra ainda o mesmo autor, que geralmente, de 94 a 99,5 por cento do tecido verde dos vegetais são constituídos de carbono, hidrogênio e oxigênio sendo apenas 0,5 a 5 ou 6 por cento provenientes dos componentes do solo. Embora, é bom notar, são os elementos nutritivos obtidos do solo, (veiculados pela água do solo), que geralmente limitam o desenvolvimento das culturas.

* Professor Adjunto do CCT, Diretor Científico da Fundação João Pereira da Costa.

Desse modo, a presença de água é obrigatória em todas as reações do metabolismo, além de especificamente funcionar como meio de transporte dos elementos nutritivos e dos componentes que se formam durante o metabolismo na planta, e entre a planta e o solo.

Registra-se ainda, que uma pessoa para satisfazer-se em seu consumo anual, demanda de uma quantidade superior a dez vezes o seu peso, isto é, (um homem de peso igual a 75kg, consumira 750kg de água por ano).

Necessita-se de 1.500kg de água para obter um quilo de trigo, 4.500kg para um quilo de arroz e 10.000kg para um quilo de algodão.

Se considerarmos que necessitamos de 200m³ de água por hectare irrigado e por 20 centímetros de profundidade do solo, partindo do princípio que 100m³ de solo, demanda 2cm³ de água a uma profundidade de 20 centímetros e estimando-se que existe 200 milhões de hectare de terras irrigadas no mundo, teremos um consumo anual estimado em 40 bilhões de metros cúbicos, só em irrigação.

Esse é um resumo telegráfico, da importância da água, para a vida na face da terra.

1.2. Características da água

Quanto a sua composição, a H₂O tem dois volumes de hidrogênio para um de oxigênio, em que por sua capacidade de dissolver um grande número de substâncias, impede que ela se encontre pura na natureza. Cada 1.000g de H₂O pura contém 888 gramas de oxigênio e 112 gramas de hidrogênio.

Do ponto de vista química os átomos estão ligados por covalência normal, no entanto, apresentando a molécula caráter polar e, conseqüentemente, momento polar.

Para justificar o caráter polar, admite-se a fórmula seja angular, medidas por meios espectroscópicos e de difusão de elétrons, encontrando-se em ângulo de inserção dos hidrogênios em relação ao oxigênio por volta de 104°40'.

Em relação as suas propriedades químicas, funciona como solventes e como reagentes.

A ação solvente é mais considerada como um processo físico: solubiliza os reagentes e permite então um contacto mais íntimo entre eles possibilitando as reações químicas.

1.3. Aspectos fisiológicos da água

A maior parte da água absorvida pelas plantas penetra pelas raízes.

Uma planta de centeio, em quatro meses, produz quase 14 milhões de radículas, cujos pelos absorventes tem uma extensão de 106 Km.

Tais dados demonstram a importância do desenvolvimento de pelos absorventes para a economia de água das plantas.

A água no interior da planta, forma um sistema hidrostático contínuo,, desde as raízes até as folhas. A perda de umidade pelas superfícies de evaporação, representados principalmente pelas folhas transpirando, produz um abaixamento do potencial hídrico, que causa uma redução da pressão nos vasos. Essa diminuição de pressão é transmitida através do sistema hidrostático até a mais distante radícula. Este gradiente de pressão no interior da planta faz com que a água do solo penetre nas raízes e seja transportado até as folhas.

A entrada da água na planta tem duas fases distintas uma físico-química, em que consiste na condução pelos vasos chamados xilema e outra bioquímica, consistindo no ingresso da água e dos outros nutrientes no protoplasma celular, envolvendo aspectos fotossintéticos.

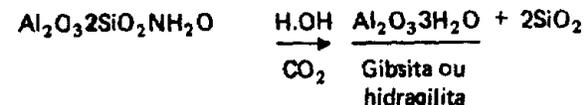
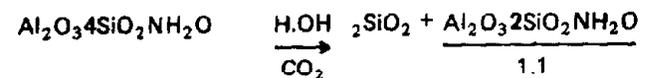
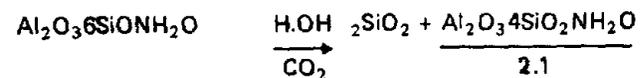
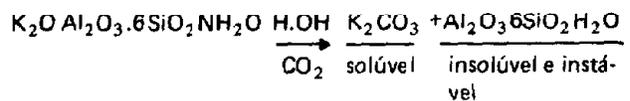
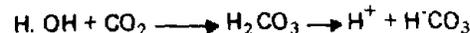
Em condições naturais, as folhas expostas diretamente ao sol aquecem-se mais do que o ar, ocorrendo uma elevação, a pressão de vapor na atmosfera interna da folha. Nesse caso, a transpiração aumenta pelo estabelecimento de um gradiente de pressão de vapor entre as superfícies da perda de água e a atmosfera.

1.4. As micelas do solo

Os quatro componentes principais dos solos são: substâncias minerais, matéria orgânica, água e ar.

As reações físico-químicas acontecem com a participação dos colóides do solo constituídos de duas partes básicas: inorgânico e orgânico, ambos eletronegativos.

Considerando por exemplo, o intemperismo químico do ortoclásio, nos encaminharemos para os seguintes resultados:



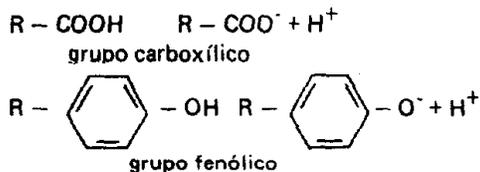
A Gibbsita pode está associada ao Fe₂O₃.

A outra micela eletronegativa do solo é o humus, basicamente constituído de carbono, hidrogênio e oxigênio, em vez de alumínio, e oxigênio do colóide mineral.

Por outro lado o C.T.C. é extremamente elevada, quando comparados aos colóides minerais. A micela não é considerada cristalina, é instável e muito dinâmico.

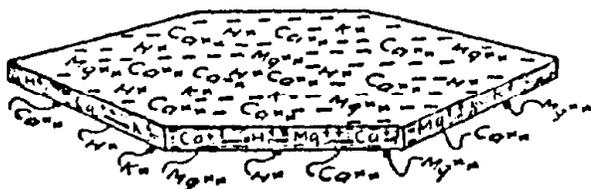
No entanto, em forma e dimensão pode ser considerada ao colóide mineral.

Enquanto a C.T.C. do colóide mineral deve-se basicamente a substituições isomórficas a do humus depende essencialmente do pH, derivando-se dos grupos carboxílicos e fenólicos:

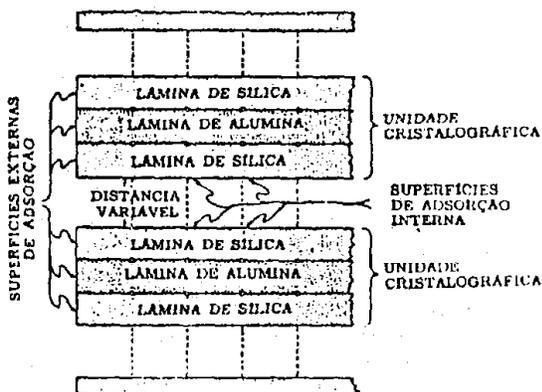


A medida que o pH aumenta, o hidrogênio desses grupos se associa e se combina com a hidroxila do meio formando água, sendo possível substituir o H^+ por outro cátion.

Carga Eletro negativa e Cátions adsorvidos. As minúsculas partículas coloidais da argila silicatada possuem em geral carga negativa. Portanto, milhares de íons positivamente carregados, ou cátions são atraídos para cada cristal do colóide. Isto ocasiona o que é conhecido como dupla camada iônica. As partículas coloidais constituem a camada iônica interior, funcionando essencialmente como uma camada iônica externa e constituída por um enxame de cátions.



Representação em forma de diagrama de um cristal de argila coloidal (micela) com sua estrutura em forma de placa, suas inúmeras cargas negativas e seu enxame de cátions adsorvidos. Convém notar que predominam os íons de Ca, mas que se acham presentes alguns íons de H, K, Mg e Na. Nenhuma tentativa foi feita para mostrar a adsorção dos cátions no interior do cristal (isto é, entre as unidades do cristal em forma de lâmina) ou de numerosas moléculas de água que são retidas pelas superfícies do cristal e pelos cátions individuais (íons hidratados).



Representação esquemática da estrutura reticulada que caracteriza os cristais de montmorilonita. Esta é uma vista lateral de duas das inúmeras unidades que compõem um cristal desta argila. Cada uma das unidades do cristal é composta de duas lâminas de silica e uma de alumina (reticulada) do tipo 2 para 1, fortemente ligadas por átomos de oxigênio que fazem parte de ambas as lâminas (representados por pequenos círculos).

As unidades cristalográficas são, por sua vez, frouxamente ligadas entre si por átomos de oxigênio (representados por pontos), que permitem rápida e comparativamente ampla expansão do reticulado (o que contrasta fortemente com a caulinita). Esta expansão do reticulado, segundo sistema de fole, assegura adsorção interna muito elevada de água e de cátions, muito maior do que a peculiar às superfícies externas.

A illita possui a mesma organização estrutural geral que a montmorilonita, exceto no que diz respeito às ligações entre as unidades do cristal. Neste caso, átomos de potássio suprem ligações adicionais entre as unidades do cristal, suplementando assim as ligaduras do oxigênio. Estas ligações do potássio diminuem intensamente a expansão que os cristais da illita podem apresentar. Como resultado, a capacidade adsorviva desta argila é consideravelmente menor do que a da montmorilonita. Entretanto, a illita ultrapassa a caulinita, sob este ponto de vista.

02. TIPOS DE MOVIMENTAÇÃO DA ÁGUA DO SOLO

A água é por excelência o componente dinâmico do solo, sendo identificado três tipos de movimentos da água no interior do solo: *fluxo não saturado*, *fluxo saturado* e *equalização dos vapores*.

Para melhor compreender veremos a ajustagem da capilaridade.

2.1. Princípios fundamentais de capilaridade

Será examinado, em primeiro lugar, um caso ideal de capilaridade. Se a parte inferior de um tubo de vidro de dimensões capilares for colocada verticalmente na água, o líquido se elevará no tubo acima do nível da água exterior. Este fenômeno, denominado capilaridade, se inicia com a atração do vidro pela água (adesão), que causa elevação do líquido nas paredes internas do tubo. Ao mesmo tempo, por causa da atração das moléculas d'água entre si (coesão), a parcela do líquido não diretamente influenciada pela adesão é puxada para cima, mantendo assim intacta a coluna.

Em outras palavras, as forças de tensão de superfície na entreface líquido-ar são suficientemente poderosas para apoiar a porção da coluna que não é diretamente atraída pelas paredes do tubo. Portanto, uma coluna d'água contínua se eleva até que seu peso iguale a atração adesiva que puxa o líquido para cima. Assim, o mecanismo da ajustagem da capilaridade, da maneira como funciona neste caso particular, poderá ser aplicado com muita simplicidade.

Sabe-se que, quanto menor fôr o canal capilar, maior será a coluna d'água. Isto se deve ao fato de que, para uma seção simples de tubo capilar, o total da parede adesiva por unidade de peso de água é maior num tubo pequeno do que num grande. Deste modo, uma maior coluna d'água poderá ser suportada por atração adesiva exercida pelas paredes dum tubo menor.

Nota-se que há uma curvatura côncava no tôpo da coluna d'água e que o grau de curvatura se relaciona com a altura do movimento capilar — quanto maior a altura, maior será também a curvatura. A curvatura é devida ao peso da coluna d'água que está sendo suportada pela película de superfície. Quanto maior a coluna, maior será também o peso unitário da superfície de apoio no tôpo da coluna e mais pronunciada será a cavidade ou curvatura. A água se movimentará para pontos dum sistema onde ocorrem as maiores curvaturas das películas côncavas. Esta conceituação simples será posteriormente aplicada para explicar os ajustes de capilaridade nas películas d'água dos solos dos campos.

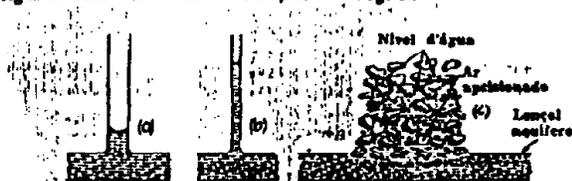
Esta verdade corriqueira poderá ser matematicamente estabelecida da maneira seguinte: a altura (h) de elevação da água num tubo capilar é expressa pela fórmula:

$$h = \frac{2T}{r \cdot d \cdot g}$$

em que T é a superfície de tensão em dinaes por centímetro, r o raio do tubo, d a densidade do líquido e g a gravidade em dinaes, por centímetro. Fica demonstrado pela fórmula que, quanto menor o raio do tubo, maior será a elevação no seu interior.

Movimento capilar ascensional dum lençol d'água: a) num tubo de vidro capilar grosso, b) num tubo capilar fino e c) numa coluna do solo. Convém notar a elevação mais pronunciada no tubo capilar menor e a maior curvatura da película. Embora o mecanismo seja o mesmo, tanto nos tubos como no solo, a ajustagem é extremamente irregular neste último, por causa da natureza tortuosa dos canais, da sua variação de tamanhos, e de presença de bolsões de ar.

Água do Solo — Movimento e Relações com Vegetais



2.2. Fluxo não saturado

Quando uma grande quantidade d'água é depositada na superfície do solo, a ajustagem da tensão auxiliada pelo fluxo da gravidade, através dos poros maiores, acabará por umedecer todo o perfil, a menos que seja encontrada uma camada impenetrável. Se a acumulação fôr porém limitada, como é em geral o caso sob condições naturais, a ajustagem no sentido descendente logo se tornará totalmente capilar. A intensidade de tal movimento será reduzida drasticamente, à medida que o teor de umidade se reduzir para níveis inferiores à capacidade de campo. É natural que cesse eventualmente este movimento descendente.

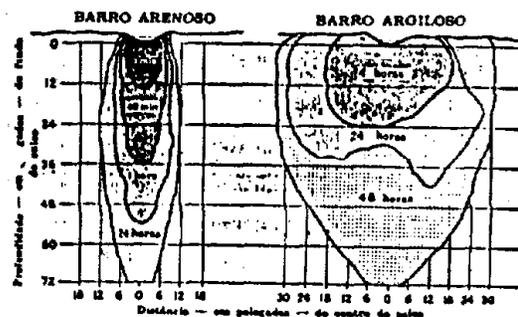
A evaporação ocorrerá agora na superfície do solo e os vegetais absorverão água de zonas localizadas ao redor de suas raízes. Estes processos resultarão em maior redução no teor de umidade de algumas áreas, em relação a outras e serão encontradas diferenças na tensão com que a umidade é retida. Ocorrerão fluxos não saturados e por efeito destas diferenças de tensão, a água se movimentará das regiões de baixa tensão (elevado teor de umidade) para zonas de umidade esgotada, quando as películas forem finas e elevadas as tensões.

A movimentação da umidade para frente e para trás, de acôrdo com a tensão da película, representa o sistema que comumente opera nos solos. Em contraste com o movimento ascendente dum lençol aquífero já examinado anteriormente, o fluxo não saturado ora em estudo poderá ser descendente, ascendente ou lateral. A direção do movimento dependerá da tensão das películas d'água que envolvem as partículas do solo ou que se situam entre as mesmas. Ainda mais e que assume importância especial, a remoção da água dum determinado poro inicia um movimento na sua direção mediante decréscimo na espessura da película, aumentando assim o empuxo neste ponto.

O tipo de movimento acima descrito está se processando continuamente nos solos. Além disso, por causa da natureza dinâmica destes solos, o equilíbrio capilar é dificilmente conseguido. De todos os tipos de movimentos da água no interior dos solos, este — da ajustagem das películas — é talvez o que tem maior significação, no que diz respeito às condições do solo e ao crescimento vegetal.

2.3. Fluxo saturado — Percolação

Quando a água de chuva ou de irrigação é adicionada a um solo, penetra na sua superfície substituindo em primeiro lugar o ar nos macroporos e, posteriormente, nos microporos. A existência de água adicional resultará em movimento descendente por processo denominado fluxo saturado, que é favorecido por forças tanto de gravidade como de capilaridade. Tais movimentos prolongar-se-ão enquanto houver suprimento adequado de umidade e não existirem barreiras ao movimento descendente.



Fluxos comparativos do movimento da água de irrigação num barro arenoso e num barro argiloso. Nota-se o fluxo muito mais rápido do movimento na areia, especialmente na direção descendente.

A quantidade d'água que se movimenta através do perfil é determinada por certo número de fatores, inclusive os seguintes: 1) quantidade de água aplicada; 2) capacidade de infiltração da superfície do solo; 3) condutividade total da umidade nos horizontes inferiores; e 4) quantidade d'água

que o perfil reterá na sua capacidade de campo. Na prática, a textura e a estrutura dos diversos horizontes de solo determinam, em grau considerável, a influência destes fatores. Solos arenosos possuem capacidade de infiltração e condutividade total bastante elevadas. É reduzida a capacidade de retenção de umidade e a percolação da água, através dos mesmos, se processa com facilidade e rapidez.

2.4. Equalização dos vapores

A vaporização da água, na medida em que se relaciona com os solos, poderá ser classificada, para conveniência de estudo, em interno e externo. Num dos casos, a mudança do estado líquido para o de vapor ocorre no solo, isto é, nos poros do solo.

Os diversos tipos de perda de umidade, tanto antes quanto após a infiltração poderão ser agrupados para conveniência de estudo em dois tópicos muito gerais: perdas em estado de vapor perdas em estado líquido.

De fato, uma das perdas por vaporização da transpiração das culturas, é deliberadamente intensificada pelo incremento da produção agrícola, objeto que a maioria dos fazendeiros se esforça em conseguir.

03. CONSTANTES DE ÁGUA NO SOLO

Dos trezentos e setenta milhões de quilômetros quadrados de água existente na superfície terrestre uma parcela significativa desta água se encontra em constante circulação, formando o ciclo hidrológico.

Este ciclo, cuja importância é vital para a existência da biosfera, compreende 03 fases distintas: A Evaporação-Transpiração, onde parte da água existente na superfície terrestre (Mares, Rios, Lagos, Geleiras) é transferida para a atmosfera sob a forma de vapor, estes na presença de baixas temperaturas voltam ao estado líquido ocorrendo a Condensação e, em seguida, retornam à superfície terrestre através de precipitação.

Por outro lado, a precipitação pluviométrica se reparte em várias porções ao atingir a superfície terrestre. Ao cair, um vai rolar em condições do declive do terreno, ocasionando a sua erosão, a esta corresponde a água de rolamento ou "Run-off" uma outra porção, retorna às camadas da atmosfera constituindo assim as nuvens que serão responsáveis pelas futuras precipitações pluviométricas. Outra parte desta água precipitada, vai se infiltrar no solo.

Desta água que se infiltra, uma porção é retida pelo próprio solo e havendo quantidade excedente de água, esta vai para o mar.

Da água que se infiltra no solo a que vamos nos interessar em particularidade ao nosso estudo, é a que fica retida pelo solo.

As constantes de água no solo são: Coeficiente Higroscópico, Equivalente de Umidade, Ponte de Muchamento, Capacidade de Campo, Água Disponível, além dos fatores condicionantes das Constantes da água nos solos como, Textura, Estrutura, Qualidade de Colóides Orgânicos, Presença de Sais e Natureza dos Colóides que influem nestas Constantes.

3.1. Equivalente de umidade

O equivalente de umidade, vem um teor de umidade em equilíbrio com uma força centrífuga 1.000 vezes a ace-

leração de gravidade, como teor de umidade correspondente à água retida nos microporos. . .

O equivalente de umidade pode ser usado para indicar a capacidade de campo de solos profundos, bem drenados e essas são mudanças apreciáveis na textura e estrutura. Porém, quando em solos arenosos, o equivalente de umidade difere da capacidade de campo, porque estes solos tem macro-poros, possuindo um equivalente de umidade pequeno e uma capacidade de campo maior.

3.2. Água útil

Existem vários estudos sobre a quantidade de água utilizável retida por um solo e afirma-se que a mesma depende da porção retida por umidade de volume de solo e da profundidade que as plantas possam extraí-la, e que todas as medidas e cálculos devem ser feitos em função do volume em milímetros por centímetros da camada da terra, sendo a mesma obtida com a diferença entre os volumes de água retida por unidade de espessura de solo na capacidade de campo e no ponto de muchamento permanente.

Por outro lado, a importância diferencial entre o teor de água no solo e a quantidade de água presente nesse mesmo solo, no período de maior escassez de água do ano, pois a mesma representa a quantidade de água que pode ser perdida ou acumulada pelo solo nas condições naturais do campo.

A água disponível, ou seja, a quantidade de água retida entre a capacidade de campo e o ponto muchamento permanente é condicionada aos fatores: Textura, Estrutura e Profundidade do Solo.

O limite de água disponível às plantas, foi universalmente aceito com a nova definição de capacidade de campo, sugerida com Vehmeyer e Mendrickson, que definem como sendo a quantidade de água retida no solo após a drenagem da água gradativa e após o movimento da água ter-se tornado desprezível.

3.3. Capacidade de infiltração

A capacidade de infiltração exprime, quantitativamente, a rapidez com que a água se move no interior de um perfil de solo saturado. Consideram-se que uma das propriedades mais importantes que envolvem o mecanismo de fluxo de água no solo, é a condutividade, que determina a maior ou menor facilidade de transmissão de água no solo; afirma-se, que esta condutividade Hidráulica é condicionada por vários fatores tais como: granulometria do solo, viscosidade da água, concentração de sais, textura, e temperatura e que este movimento ocorre sempre que há diferença de potencial entre dois pontos, quando o componente da tensão supera o gravitacional, e a direção do movimento da água será de um ponto de menor tensão de umidade para um de maior tensão. Sendo que em solo saturado esta tensão é desprezível e o potencial é constituído por termos gravitacional e pressão hidrostática.

3.4. Curvas

3.4. Curvas de umedecimento

A curva de umedecimento do solo é definida como os limites das zonas de influência da água que penetra no solo sob determinadas condições.

