

2.2 – PROPRIEDADES DOS SUBSTRATOS

Um substrato é constituído por uma fase sólida que forma um tipo de uma rede ou malha, no interior da qual se alojam os poros. Estes, por sua vez, encontram-se preenchidos por fluídos, comportando uma fase aquosa e uma fase gasosa (Lemaire et al., 1989).

Cada uma destas fases terá uma função própria (Lemaire et al., 1989):

- a fase sólida, que assegura a estabilidade da planta e serve de suporte ao seu sistema radicular;
- a fase líquida, responsável pelo fornecimento de água e de elementos nutritivos;
- a fase gasosa, que permite as trocas de oxigénio e dióxido de carbono, intervenientes na respiração radicular e microbiana.

Caso as proporções destes componentes, para cada caso específico, não sejam as adequadas, o crescimento das plantas pode assim ficar afectado pelas seguintes situações (Miner, 1994):

- asfixia, causada por uma falta de oxigénio, que impede a respiração das raízes e dos organismos vivos que habitam o substrato;
- desidratação, podendo levar à morte da planta;
- excesso ou carência de nutrientes minerais, uma vez que o desequilíbrio entre as suas concentrações limita o crescimento das plantas;
- doenças causadas indirectamente pelas situações anteriores, uma vez que as plantas ficam mais susceptíveis ao seu aparecimento.

Na tecnologia de cultivo de plantas em contentor (devido às limitações impostas pelo reduzido volume do mesmo), a proporção entre a fase sólida, líquida e gasosa num substrato, para além de depender de factores externos (uma adequada relação diâmetro/profundidade do contentor; um controlo rigoroso da aplicação dos nutrientes necessários para as plantas e uma adequada aplicação da água de rega), depende também das propriedades físicas (relativas à retenção de água e arejamento), químicas (relacionadas com a nutrição mineral) e biológicas (estabilidade do material), do substrato. Vários autores (Redlich e Verdure, 1975; Raviv et al., 1986; Handreck e Black, 1991) estão de acordo que as propriedades físicas dos substratos são mais

importantes do que as químicas, pelo simples facto de que não se pode alterar a relação ar-água, uma vez seleccionado o meio de crescimento e as raízes terem iniciado o seu desenvolvimento no meio de cultura. As propriedades químicas poder-se-ão manipular e corrigir durante todo o processo de crescimento da planta. Esta consideração não descarta a importância das químicas, uma vez que o ideal resulta numa combinação favorável de todas as propriedades dos meios de cultivo.

2.2.1 – Propriedades físicas

Os principais factores físicos que afectam o desenvolvimento das espécies em substrato estão relacionados com as suas condições hídricas e de arejamento. Estes, não só determinam a sua disponibilidade em água e ar, como também afectam as suas propriedades térmicas, a actividade biológica e a disponibilidade de nutrientes no meio (Heiskanen, 1993).

As determinações físicas mais importantes, que permitem avaliar a capacidade de um material como substrato, para a produção de plantas, ou comparar diferentes materiais, são efectuadas através da determinação da porosidade total e a sua repartição entre as fases líquida e gasosa, ou seja a sua capacidade de retenção de água, a porosidade preenchida pelo ar e a distribuição do tamanho das partículas ou granulometria (Raviv et al., 1986; Miner, 1994, Kämpf, 2000 cit. in Ferraz et al., 2005).

As investigações conduzidas sobre as características físicas dos meios de cultura conduziram ao desenvolvimento de uma norma europeia denominada CEN 13041 (1999), focada na caracterização da distribuição dos diferentes fluidos (ar e água) e fase sólida (o substrato), em relação ao nível de água da planta no substrato colocado em contentor. Pretendeu-se avaliar deste modo, as mais importantes características físicas tais como a porosidade total, capacidade arejamento e água facilmente disponível (Michel, 2009). Tendo como base as investigações já decorridas e em conta os conhecimentos disponíveis sobre as propriedades físicas dos meios de cultivo, pode-se assegurar que os desafios futuros residem em: (i) monitorizar e compreender, os mecanismos que controlam a estabilidade das propriedades hidráulicas dos meios de cultivo, em relação com outras propriedades físicas, químicas e biológicas dos constituintes do meio, como por exemplo a repelência dos materiais à água; (ii) considerar a heterogeneidade destas propriedades do meio de cultivo e (iii) integrar o

desenvolvimento radicular no meio e suas consequências em termos de dinâmica de ar e água e mais geralmente, na gestão da fertirrega.

2.2.1.1 – Porosidade total e massa volúmica

Apesar da porosidade não ser um parâmetro decisivo para avaliação da 'qualidade' de um substrato, é no entanto necessário conhecer o seu valor, para o cálculo da porosidade ocupada pelo ar, quando se efectua a utilização de métodos gravimétricos (Waller e Harrison, 1991).

Um material sólido ocupa, num contentor, um dado volume que se denomina volume aparente (V_a). Em parte, este volume é ocupado por uma fase sólida, que comporta o seu próprio volume (V_s) e pelos fluídos (líquido e gás) que se encontram alojados no volume de poros (V_p). Sendo a porosidade total de um meio definida como a razão existente entre o volume de poros (V_p) e o volume aparente (V_a), em percentagem (Lemaire et al., 1989; Brun, 1993).

No caso dos materiais deformáveis, muito frequentemente utilizados como suportes de cultura, como é o caso das turfas, para um mesmo volume de sólidos, existem múltiplos volumes aparentes, que têm como origem os diferentes volumes de poros que podem existir num meio e que, por sua vez, são dependentes da compactação, do teor de humidade e do tamanho das partículas (Wilson, 1983).

A porosidade total varia num amplo intervalo de valores, desde 30 % em alguns solos compactados, alcançando com frequência, no caso das turfas, valores da ordem dos 80 a 90 % ou mesmo mais (Rivière, 1980; Miner, 1994). No Quadro 2.1 encontram-se valores médios de porosidade total (Lemaire et al., 1989; Brun, 1993) de alguns materiais mais frequentemente utilizados como substratos.

Quadro 2.1- Valores médios de porosidade total de alguns materiais utilizados como substratos (adaptado de Lemaire et al., 1989; Brun, 1993).

Materiais	Porosidade (%)
Turfa loura	92
Turfa negra	88
Cascas de folhosas	85
Areia grosseira	88
Gravilha	42,2
Terra argilosa	45
Pouzzolane	70
Lã de rocha	95
Perlite	96,4
Vermiculite	95,4

A porosidade total é responsável pela retenção de água e pelo arejamento do substrato, apresentando uma elevada porosidade total, como potencial vantagem teórica, uma elevada retenção de água e um bom arejamento. Porém, o conhecimento da porosidade total de um material não é suficiente para descrever o espaço poroso, uma vez que diferentes materiais, com igual porosidade, têm comportamentos muito diferentes, relativamente à retenção de água e ao arejamento (Waller e Wilson, 1983; Raviv et al., 1986; Gras, 1987). A ocupação da porosidade total por água ou ar dependerá de uma distribuição adequada do tamanho dos poros dos substratos (Wilson, 1983; Miner, 1994).

As forças capilares necessárias à retenção de água verificam-se nos poros mais finos. Isto conduz a uma subdivisão da porosidade total em macroporos, responsáveis pela drenagem e que, de um modo geral, se encontram ocupados por ar (Drzal et al., 1999) e os microporos responsáveis pela retenção da água. Assim, para uma dada porosidade, quanto maior a razão entre microporos e porosidade total, maior será a quantidade de água retida e menor o volume de arejamento (Brun, 1993). Em comparações efectuadas entre turfa e perlite grosseira, verifica-se que apesar de ambas terem valores muito semelhantes de porosidade total, da ordem dos 90 %, a turfa tem uma capacidade de retenção de água superior, justificada pela elevada microporosidade (Bunt, 1988). Os microporos podem apresentar menos de 20% da porosidade total numa turfa de granulometria grosseira de *sphagnum*, enquanto que numa turfa negra e fina, chegam a ser superiores a 50 % (Puustjärvi e Robertson, 1975 cit. in Guerrero e Polo, 1990). Para além das dimensões dos poros existe um outro aspecto que deve ser tomado em consideração, a facilidade de acesso dos fluídos aos poros de determinado material.

Pode-se dividir a porosidade total em porosidade externa ou intergranular, poros que se formam entre as partículas do substrato, e porosidade interna ou intragranular, correspondente aos poros que se encontram no interior das partículas (Gras, 1982a; Lemaire et al., 1989; Brun, 1993). Estes últimos podem estar em contacto com os poros intergranulares (porosidade aberta) ou não (porosidade fechada). Este último tipo de poros não é, portanto, responsável pela retenção de água e pelo arejamento (Gras, 1982a). Deste modo, é necessária uma distinção entre porosidade total e porosidade efectiva, sendo esta última o volume que de facto é responsável pela retenção de água e trocas gasosas (Bunt, 1988). Em substratos orgânicos, como por exemplo as turfas ou cascas de árvores, este último tipo de poros é praticamente inexistente, correspondendo a porosidade total ao conteúdo em humidade do substrato quando este se encontra saturado (Michiels et al., 1993).

O valor da porosidade total é estimado a partir das medições da massa volúmica (densidade) aparente seca (M_{va}) e da massa volúmica real (M_{vr}), utilizando a seguinte expressão (Gras, 1982a; Lemaire et al., 1989; Brun, 1993):

$$Pt = \left(1 - \frac{M_{va}}{M_{vr}} \right) \times 100$$

A M_{va} corresponde ao quociente entre a massa do substrato seco a 105°C e o seu volume aparente, sendo o seu valor expresso em g.cm^{-3} (Miner, 1994; Raviv e Lieth, 2008). O conhecimento da M_{va} é de extrema importância visto que permite o cálculo e interpretação de outras variáveis que são expressas relativamente ao volume (Waller e Wilson, 1983; Schmilewski e Günther, 1988). Os valores deste parâmetro, para um substrato óptimo são inferiores a $0,4 \text{ g.cm}^{-3}$ (Abad et al., 1992), sendo mais comum nas turfas louras estarem compreendidos entre $0,045$ e $0,200 \text{ g.cm}^{-3}$, podendo alcançar até $0,300 \text{ g.cm}^{-3}$, nas turfas negras. Estes valores são dependentes, para além, da sua decomposição, do grau de compactação, do teor em humidade, da distribuição das partículas e das manipulações a que são submetidos os substratos até serem colocados em cultivo (Caldevilla e Lozano, 1993). O facto dos substratos terem M_{va} baixas não é considerado um inconveniente, antes pelo contrário, o seu baixo peso é visto como uma vantagem durante as misturas, no menor custo do transporte dos substratos e de deslocação das plantas (Rivière, 1980). Em viveiro, a utilização de substratos com baixos valores de M_{va} facilita, assim, o transporte dos tabuleiros (Bunt, 1988). Segundo

Kämpf e Fermino (2000) cit. in Ferraz et al., 2005 para estas condições, estes valores deverão estar compreendidos entre 0,1 e 0,3 g.cm⁻³.

Quando as turfas se decompõem, as partículas tornam-se mais pequenas, e irão ocupar o espaço existente entre as de maiores dimensões, verificando-se um aumento da massa volúmica aparente, reduzindo deste modo a porosidade total (Puustjärvi, 1970; Puustjärvi, 1974) e de um modo mais significativo, o volume dos poros preenchidos por ar. Mas não é só a decomposição dos materiais que influi nestas propriedades, mas também a sua origem e natureza dos tecidos, sistema de recolha utilizado, trituração e crivagem, entre outros (Miner, 1994).

A Mva e a porosidade total encontram-se inversamente relacionados, sendo conveniente considerá-los em conjunto (Bunt, 1988). Segundo Puustjärvi (1970), Prasad (1979) e Kechavarzi et al.(2010) existe uma relação inversa entre a porosidade total e a Mva dos substratos de turfa, que se correlaciona com o grau de decomposição (H1-H10) na escala de von Post. Ou seja, turfas mais evoluídas possuem um valor superior para a Mva e menor porosidade total, verificando-se o contrário para os menos evoluídos (Figura 2.1).

A Mvr é definida como a razão entre a massa das partículas do substrato e o volume que ocupam, não considerando os poros. A sua unidade vem expressa em g.cm⁻³. O valor da Mvr é uma característica de cada amostra do material e não depende do grau de compactação, nem do tamanho da partícula (Miner, 1994). A Mvr dos substratos orgânicos apresenta valores compreendidos entre 1,4 e 2,0 g.cm⁻³, dependendo este valor do teor em cinzas e da matéria orgânica. Admite-se que o valor médio para a Mvr dos materiais orgânicos e das cinzas seja de 1,45 e de 2,65 g.cm⁻³, respectivamente (Raviv et al., 1986).

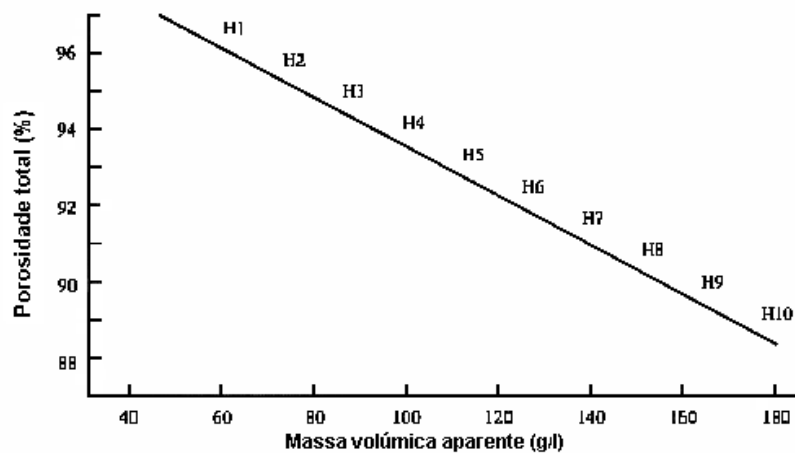


Figura 2.1 – Relação entre a porosidade total, a massa volúmica aparente e o grau de decomposição da escala de von Post (Puustjärvi, 1970).

Atendendo às necessidades em água e arejamento, verificadas em culturas em contentor, os valores da porosidade total de um substrato devem ser superiores a 85 % (De Boodt e Verdonck, 1972; Abad et al., 1992).

2.2.1.2 – Retenção de água

A absorção de água pelas plantas depende dos seguintes factores (Gras, 1987; Brun, 1993):

- das características da própria planta, tais como a dinâmica do seu sistema radicular e seu estado fisiológico;
- das condições climáticas que determinam a necessidade em água, tais como a evapotranspiração;
- das propriedades do substrato que determinam a disponibilidade da água ao nível das raízes;

Potencial da água no substrato

Segundo Lemaire et al. (1989), Brun (1993) e Rivière (1995) o potencial da água de um substrato é resultante, sobretudo, da acção de três forças:

- forças de gravidade, devido às diferentes alturas da massa de substrato, as quais correspondem à componente gravitacional ou potencial gravítico (ψ_g);

- forças de adesão à fase sólida, ou forças matriciais, que correspondem ao potencial mátrico (ψ_m);
- forças osmóticas, dependem da salinidade, que correspondem ao potencial osmótico (ψ_o).

A utilização da água por parte das plantas só é possível quando a planta apresente um potencial hídrico (nível energético da água em determinada situação) inferior ao do substrato, o que implica que a planta realize uma sucção da água, superior à que o substrato exerce. Assim, o fluxo hídrico que percorre a planta desde as suas raízes até aos estomas, sendo em seguida libertado para a atmosfera, corresponde a um abaixamento do potencial da água, ou seja, a água desloca-se ao longo do sistema substrato - planta - atmosfera, no sentido de um potencial decrescente.

O potencial hídrico total de um substrato (Ψ), que caracteriza o estado energético da água no meio poroso, é a soma das três componentes referidas anteriormente. As forças matriciais e osmóticas contrariam a acção das forças de gravidade na retenção de água nos poros do substrato (Miner, 1994). O Quadro 2.2 contém as unidades mais utilizadas para exprimir os valores do potencial hídrico e sua respectiva correspondência. Apesar da unidade do Sistema Internacional (S.I.) ser o Pascal (Pa), a unidade de expressão mais usual para o potencial da água é o pF, ou seja, potencial de energia livre, definido pelo logaritmo da altura em centímetros da coluna de água que exerce pressão equivalente à força de retenção ou atracção do substrato para a água.

Os métodos utilizados para a determinação das relações ar-água baseiam-se na determinação da capacidade em contentor, na determinação da capacidade de retenção de água (curva de retenção de água) ou na determinação da condutividade hidráulica (Inbar et al., 1993; Raviv e Lieth, 2008).

Quadro 2.2 - Várias unidades utilizadas para exprimir o potencial hídrico e respectiva correspondência entre estas (Lemaire et al., 1989; Rivière, 1995).

pF*	1	1,5	1,7	2	4,2
cm de água	10	32	50	100	1600
Bar	0,01	0,032	0,05	0,1	16
kPa	1	3,2	5	10	1600
Joule.Kg ⁻¹	1	3,2	5	10	1600

pF* = $\log |\Psi_m|$, onde $|\Psi_m|$ representa o valor absoluto do potencial matricial expresso em cm coluna de água.

Capacidade em contentor

Denomina-se como capacidade em contentor (CC), a quantidade máxima de água que um substrato colocado dentro do mesmo, pode reter depois de ter sido completamente saturado e deixado drenar livremente, antes do início da evaporação (White e Mastalerz, 1966). Do ponto de vista físico, a CC resulta de um equilíbrio entre as forças de gravidade (ψ_g) e as forças de adesão ou mátricas (ψ_m) (Rivière, 1995). O conceito de CC pode ser comparado ao de capacidade de campo utilizado nos solos. Contudo, num contentor, ao contrário do que se verifica no solo, o substrato apresenta pouca espessura, constituindo as paredes e o fundo do contentor a descontinuidade do perfil (Raviv et al., 1986). Com o aumento da massa volúmica a % de matéria seca aumenta e a porosidade total diminui, reduzindo o volume de poros ocupados por ar ($> 300 \mu\text{m}$), responsáveis por fornecer ar às raízes. As diferenças entre substratos com diferentes massas volúmicas tornam-se mais óbvias quando analisando a capacidade em contentor, em vez do conteúdo em ar. Ou seja, a capacidade em contentor de um substrato é específica para a altura do contentor (Milks et al, 1989 cit. in Gruda e Schnitzler, 2001), pelo que não poderá fazer-se comentários sobre o conteúdo em ar de um substrato sem analisar este parâmetro. Os contentores mais altos terão uma maior coluna de água, tendo menos água retida por capilaridade, forças adesivas e mais água é drenada por gravidade.

A CC depende das características do substrato, da espessura e volume do mesmo e das características do contentor, tais como: as dimensões, a forma e o material de constituição (Rivière, 1980; Gras, 1982b; Lemaire et al., 1989; Brun, 1993), permitindo apenas a comparação de materiais entre si (Rivière, 1980), podendo ser um bom auxiliar na condução das regas em determinados tipo de contentores (Reis, 1997).

A água retida por um substrato não se distribui uniformemente em toda a altura do contentor. Um mesmo volume de substrato reterá mais água quanto menor for a altura do contentor, o que se reveste do maior interesse para o cultivo de plantas em placas alveoladas ou em blocos de turfa. O teor em água de um substrato diminui e o em ar aumenta, desde a base do contentor que se encontra saturada, até à sua superfície (Rivière, 1989; Martinez et al., 1991 cit. in Martinez et al., 1992 e Bailey et al., 2007a). A drenagem e por consequência o potencial de água, em contentor, são limitados por um lado pela camada saturada de água existente na sua base e por outro pela espessura do

próprio substrato (Gras, 1982b), verificando-se que a CC ocorre para potenciais de água superiores à capacidade de campo o que, em termos práticos, se traduz por uma capacidade de retenção de água superior (Heiskanen, 1993). A sua determinação efectua-se laboratorialmente, através da determinação do teor em água, retida num substrato, após uma força de sucção de 10 cm (pF1 ou 1 kPa), expresso em relação ao volume total de substrato (De Boodt et al., 1974; Verdonck e Gabriëls, 1992).

Disponibilidade de água

O conhecimento do valor da capacidade em contentor de determinado substrato não nos dá a conhecer, efectivamente, o valor da quantidade de água retida pelo mesmo e que se encontra disponível para as plantas. O ideal seria fornecer água à medida das necessidades das plantas e que permitisse a manutenção do substrato na CC. No entanto, tal não se verifica, uma vez que as regas aplicadas são descontínuas, havendo no intervalo entre elas uma perda de água por parte dos substratos, devido à absorção, transpiração e evaporação, contribuindo para a diminuição do potencial hídrico, dificultando deste modo, cada vez mais, a absorção de água por parte da planta. Ou seja, o abaixamento dos valores do potencial hídrico reflecte-se não só numa diminuição da quantidade de água disponível, mas também no decréscimo verificado no desenvolvimento das plantas (Rivière, 1995).

As propriedades dos substratos relacionadas com a retenção de água adquirem grande importância sobretudo em viveiros de tabuleiros, em que os espaços diminutos dos alvéolos podem restringir a retenção de água suficiente para as plantas. Uma vez que o volume do meio onde se desenvolvem as raízes nas plantas em contentor é muito pequeno, relativamente à potencial perda de água por evapotranspiração, é desejável que o substrato tenha uma elevada capacidade de água disponível. Não é suficiente que a quantidade total de água contida num meio de cultivo seja a suficiente para a planta, uma vez que se pode encontrar retida por uma força muito elevada, superior à que a planta pode exercer (Miner, 1994). Assim, a disponibilidade de água dos substratos está compreendida entre dois limites (Lemaire et al., 1989; Rivière, 1995):

- um limite de humidade máximo que, se não existirem problemas de arejamento, correspondente à capacidade em contentor;

- um limite de humidade mínimo, ponto a partir do qual é necessário regar, caso contrário poder-se-á provocar uma diminuição do crescimento da planta, mesmo que ainda não se manifeste o seu emurchecimento.

O limite de humidade máximo corresponde ao teor de água que é retido contra a força de extracção de 10 cm coluna de água, pF1 ou 1 kPa (Rivière, 1995). O limite inferior de humidade não pode ser fixado de forma concreta, uma vez que depende do tipo de substrato utilizado; dos riscos de salinidade que poderão existir; dos riscos de asfixia radicular; da própria espécie e do valor da CC para o recipiente estudado (Lemaire et al, 1989). Em substratos, este valor corresponde ao teor de água retido nas condições de pF2, valor a partir do qual o desenvolvimento das plantas é afectado. A água retirada pela planta para valores de tensão superiores a pF2 acarretará um dispêndio energético, que diminuirá a produção em matéria seca, tornando-se uma situação desfavorável. Pode-se, assim, definir disponibilidade de água de um substrato, como a quantidade de água libertada pelo material por uma força de extracção compreendida entre pF1 e pF2, expressando-se este valor, em percentagem do volume total do substrato (Brun, 1993).

Na Figura 2.2 observa-se a variação da quantidade de água, expressa em percentagem do volume total de substrato, retida pelo mesmo em função da força de tensão ou sucção aplicada. Conhecido o valor da porosidade total e, relacionando a sucção aplicada e a quantidade de água extraída, obtém-se a denominada curva de libertação de água. Dessas curvas de libertação podem-se retirar conclusões acerca das mais importantes propriedades físicas e das quantidades de água a aplicar.

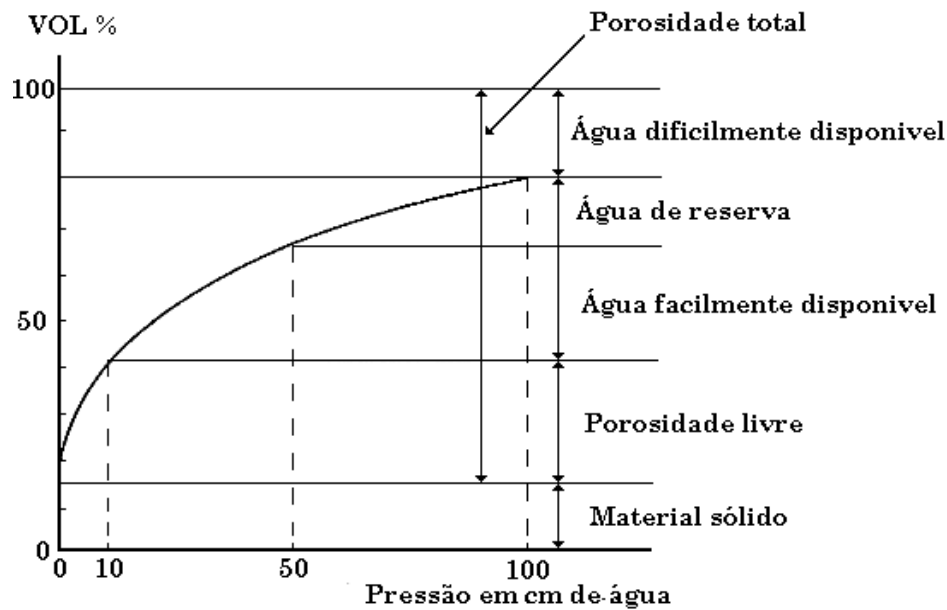


Figura 2.2 – Curva de liberação de água de um substrato, mostrando as percentagens do volume de sólido, de ar e de água, para cada uma das tensões (De Boodt e Verdonck, 1972).

Na curva de liberação de água, de retenção de água ou curva de pF, definem-se os seguintes parâmetros (De Boodt e Verdonck, 1972; De Boodt et al, 1974; Raviv et al, 1986; Lemaire et al., 1989; Miner, 1994; Rivière, 1995):

- **Porosidade livre (PL) a pF1 ou volume de ar a pF1** - é a diferença estabelecida entre a porosidade total e o teor de humidade (% em volume) do substrato após equilíbrio a uma força de extracção de 10 cm (pF1 ou 1 kPa). Corresponde ao volume de poros, expresso em percentagem do volume total do substrato, que se encontra preenchido por ar nas condições referidas, contribuindo para as suas trocas gasosas.
- **Água facilmente disponível (AFD)** - é o volume de água (expresso em % de volume) libertado pelo substrato, quando a força de extracção ou sucção, aplicada aumenta de 10 cm (pF 1) para 50 cm (pF 1,7). Corresponde ao volume de água, expresso em percentagem, relativamente ao volume total do substrato, que pode ser facilmente absorvido pelas plantas.
- **Água de reserva (AR)** - volume de água libertado pelo substrato, quando a força de extracção aumenta de 50 cm (pF 1,7) para 100 cm (pF 2). Corresponde ao volume de água, expresso em percentagem de volume total do substrato, que estando menos

disponível, pode no entanto ser absorvido pelas plantas em situações de stress. Também denominada por capacidade tampão ou compensadora (Miner, 1994).

- **Água disponível (AD)** - corresponde à soma da água de reserva e da facilmente disponível. É o volume de água libertado pelo substrato entre 10 e 100 cm coluna de água.
- **Água dificilmente disponível (ADD)** - água retida a forças de retenção superiores a 100 cm. A utilização desta água implicará um elevado gasto energético por parte da planta, provocando uma redução do seu rendimento (Miner, 1994; Rivière, 1995).
- **Água mais dificilmente disponível (AMDD)** - é definida como a água disponível entre pF2 e pF4,2. De acordo com Michels et al., 1993 cit. in Gruda e Schnitzler, 2001, um substrato ideal tem valores inferiores em volume a 40%.

Para além dos parâmetros anteriores pode-se ainda considerar a **água total (AT)** resultante do somatório da água disponível com a água dificilmente disponível.

As percentagens dos teores em água, do substrato, são expressas na base do volume (% v.v⁻¹) e o termo potencial hídrico (pF), refere-se ao potencial mátrico (Heiskanen, 1993).

O conhecimento do valor da disponibilidade de água para cada substrato é importante, uma vez que permite controlar a sua rega. As situações que podem restringir a capacidade de água disponível são: os baixos valores de porosidade total; os poros serem grandes e a maioria da água perder-se por gravidade; os poros serem pequenos e a planta não ser capaz de extrair mais água antes de murchar ou então uma combinação destes três factores (Bunt, 1988; Miner, 1994).

Os valores ideais de água, para o desenvolvimento de plantas em contentor (em percentagem relativamente ao volume total de substrato), são de 20-30 % para a água facilmente disponível e de 4-10 %, para a água de reserva (De Boodt e Verdonck, 1972; Bunt, 1988; Abad et al., 1992; Berjon e Herrero, 1989).

O tamanho dos poros pode ser calculado a partir do potencial mátrico, admitindo-se que o diâmetro de 30 µm equivalente a uma tensão de 100 cm de coluna de água, é considerado como o limite que separa os poros “não capilares” ou macroporos, dos poros “capilares” ou microporos (Puustjärvi, 1974). Os macroporos encontram-se preenchidos por ar durante uma parte significativa do ciclo de crescimento, servindo de

percurso para a difusão do oxigénio e do dióxido de carbono (Puustjärvi, 1977 cit. in Raviv et al., 1986). O melhor substrato será um material de textura média a grosseira, com os poros distribuídos entre 30-300 μm , com partículas de tamanhos 0,25-2,5 mm, permitindo adequado fornecimento de água e suficiente arejamento (Puustjärvi, 1982 cit. in Raviv et al., 1986).

As curvas de retenção de água permitem avaliar a textura dos materiais utilizados.

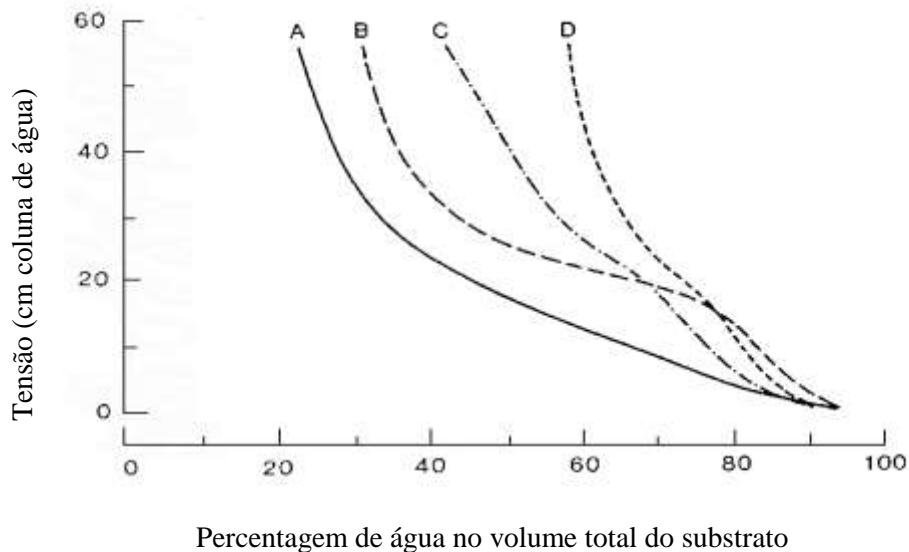


Figura 2.3 – Curvas de retenção de água de quatro turfas com diferentes estruturas. **A:** turfa jovem de *sphagnum*, partículas grosseiras; **B:** turfa jovem de *sphagnum*, partículas finas; **C:** turfa de *sphagnum*, decomposição média; **D:** turfa de junça, muito decomposta (Bunt, 1988).

Na Figura 2.3, pode-se observar que quanto mais fina for a textura e superior o grau de decomposição de uma turfa, maior é a força com que a água fica retida, ou seja, para um mesmo valor de tensão da coluna de água, menor o volume de ar (Bunt, 1988; Cativello e Bassi, 1992). Ou ainda, por outras palavras, à medida que aumenta a tensão da coluna de água (cm c.a.), a percentagem de água perdida é superior nas turfas menos evoluídas, comparativamente às mais evoluídas (Gras, 1983; Kechavarzi et al, 2010).

A capacidade de retenção de água de um substrato é definida como a quantidade de água que pode ser retida por um substrato sob condições conhecidas (Martinez, 1992). A capacidade de retenção de água pode ser expressa em percentagem de peso, retida por 100 gramas de substrato seco, depois de saturado num cilindro de volume

conhecido e sujeito, em seguida, a uma sucção de 1 KPa ou 10 cm coluna de água (Ministere de l'Agriculture, 1971 cit. in Pages e Matallana, 1984; Martinez, 1992); em mililitros de água retida por litro de substrato, onde o substrato colocado dentro de um cilindro de volume conhecido é tensionado, após saturação, a 1 KPa (Martinez, 1992); ou em percentagem de volume, após saturação completa em vaso com 15 cm de altura (de volume conhecido), depois de drenar durante 6 horas (Tesi et al. 1985).

Por observação do Quadro 2.3, pode-se constatar que os substratos de turfa mais evoluídos possuem uma menor capacidade de retenção hídrica; em contrapartida, as turfas mais claras ou seja, mais fracamente decompostas, que possuem uma Mva mais baixa (porosidade total mais elevada), apresentam uma capacidade de retenção de humidade e arejamento superiores, devido às características da estrutura celular dos tecidos vegetais, que asseguram uma elevada macroporosidade e microporosidade nestes substratos (Tortosa, 1990; Kechavarzi et al, 2010).

Quadro 2.3 – Exemplos de características físicas de alguns substratos utilizados para o cultivo em contentores (adaptado de Tesi et al., 1985).

Substrato	Massa volúmica aparente (g.L ⁻¹)	Porosidade total (% v.v ⁻¹)	Porosidade livre (% v.v ⁻¹)	Capacidade de retenção hídrica ^{(1) (2)}	
				% em peso	% em volume
Turfa loira de <i>sphagnum</i>	90	95	17,5	845,0	76,5
Turfa castanha de <i>sphagnum</i>	150	90	7,9	504,0	75,7
Turfa negra	409	81	6,7	168,1	68,6

(1) - Substratos orgânicos depois de sujeitos á pressão de 1 KPa, secos a 105°C.

(2) - Determinada em vaso de 15 cm de altura, depois de completamente saturado, deixou-se drenar durante seis horas.

Segundo Tesi (1984) a capacidade de retenção hídrica em turfas de *sphagnum*, mas com diferentes dimensões de partículas, é inferior nas turfas de granulometria mais grosseira, comparativamente às mais finas (Quadro 2.4).

Quadro 2.4 - Variação da porosidade livre e da capacidade de retenção hídrica em turfas de *sphagnum*, de diferentes granulometrias (Tesi, 1984).

Granulometria	Porosidade livre (% v.v ⁻¹)	Capacidade de retenção hídrica (% v.v ⁻¹)
Grosseira (15-40 mm)	25	71
Media (6-15 mm)	20	76
Fina (< 6 mm)	15	81

No Quadro 2.5 apresentam-se valores médios da retenção de água, após equilíbrio a diferentes forças de extracção, de vários materiais normalmente utilizados como substratos, com particular relevo para as turfas.

Quadro 2.5 – Porosidade total, massa volúmica aparente e capacidade de retenção de água a pF1, pF1,7 e pF2 (% em volume) de vários materiais utilizados como substratos (adaptado de Heiskanen, 1993).

Materiais	Mva (g.cm ⁻³)	Porosidade total % v.v ⁻¹	Retenção de água (%)		
			pF1	pF1,7	pF2
Turfa, clara, grosseira	0,04	97	48	23	18
Turfa, clara, média	0,07	96	70	39	29
Turfa, escura, fina	0,11	93	83	52	43
Turfa, negra	0,21	85	78	42	36
Casca de pinheiro	0,19	78	39	27	24
Casca de folhosas	0,27	83	53	42	38
Fibra de coco	0,07	95	56	40	35
Lamas	0,34	76	65	59	58
Perlite, fina	0,39	82	81	74	50
Perlite, grosseira	0,16	81	51	30	14
Lã de rocha	0,07	97	62	3	3
Substrato ideal*	—	> 85	55-70	31-40	25-31
Substrato ideal**	—	> 85	55-65	20-45	15-41

* Abad et al., 1989

** De Boodt et al., 1972

A turfa clara, grosseira possui menor quantidade de água disponível, devido à maior dimensão das suas partículas que permitem a percolação de grandes quantidades de água, não ficando esta retida a pF1. Verifica-se, portanto, um abaixamento do teor em água a este valor de pF, ou seja, verifica-se um aumento do teor em ar (porosidade livre - PL) à medida que aumenta a dimensão das partículas e diminui o grau de decomposição dos substratos (Heiskanen, 1993, 1995). Em ensaios conduzidos por Gruda e Schnitzler (2004b) com substratos à base de lã de rocha, turfa clara, turfa escura e fibras de madeira para a produção de transplantes de tomateiro, verificou-se que as plantas produzidas em turfa clara têm no geral uma melhor aparência, porque este substrato tem o teor de água disponível superior do que qualquer um dos outros incluídos no ensaio.

A compressão do substrato afecta directamente a massa volúmica aparente (Mva) e a porosidade total do substrato (PT). Segundo Michiels et al. (1993) estes parâmetros têm efeito indirecto no desenvolvimento das plantas. Contrariamente, a resistência à

penetração das raízes no substrato e a relação ar/água influenciam directamente o desenvolvimento das plantas, com um primeiro efeito nas características morfológicas das raízes (Schuurman, 1965 cit. in Gruda e Schnitzler, 2004b). A compressão dos substratos aumenta a resistência à penetração das raízes. Para ultrapassar esta resistência, as raízes precisarão de suficiente turgescência (Veen, 1982 cit. in Gruda e Schnitzler, 2004b). O sistema radicular diminui com a redução em macroporos devido à compressão. Para a caracterização dos substratos a classificação do tamanho dos poros é necessária e os macroporos têm dimensão superior a 60µm (Gruda e Schnitzler, 2004a). As raízes precisam de oxigénio para manter o seu metabolismo aeróbico para óptimo funcionamento e crescimento. É sabido que a concentração de oxigénio no substrato afecta o potencial redox (Argo, 1997 cit. in Gruda e Schnitzler, 2004b). De acordo com Bunt (1976) e Scharpf, 1997 cit. in Gruda e Schnitzler, 2004b), o elevado fornecimento de água aumenta o perigo para a deficiência em oxigénio (O₂), que é responsável pelo reduzido crescimento radicular. Isto é suportado por outros estudos onde o crescimento de tomateiros (Bunt, 1976) e plântulas de outras espécies vegetais (Scharpf, 1997 cit. in Gruda e Schnitzler, 2004b) foram reduzidas quando o conteúdo de ar no substrato é inferior a 10-12%.

Condutividade hidráulica

A condutividade hidráulica, dos meios de cultivo, deve ser determinada quando se pretende uma avaliação mais pormenorizada e completa da sua disponibilidade em água (Heiskanen, 1995). A condutividade hidráulica saturada e não saturada de um meio, mede o fluxo de água por unidade de gradiente de potencial mátrico (Heiskanen, 1993), sendo portanto, considerada uma característica dinâmica (Inbar et al., 1993). Para compensar a transpiração, o fluxo de água para as raízes deve ser superior ao da transpiração. Este fluxo de água é determinado pelo gradiente de potencial e pela condutividade hidráulica, sendo esta última, função do teor em água do meio. As reduções mais drásticas no teor em água e na condutividade não saturada do meio ocorrem entre 0 e 25 cm de tensão, zona mais relevante na rega das plantas em contentor. Ou seja, os substratos hortícolas, uma vez que possuem uma granulometria mais grosseira que os solos minerais, quando se encontram saturados, conduzem muito facilmente a água, mas ao secarem, a partir de um determinado conteúdo de humidade

específico para cada substrato, a sua condutividade hidráulica decresce de um modo acentuado, verificando-se uma restrição da água disponível para a planta. Isto deve-se ao facto dos poros mais largos serem os primeiros a secar e ao aumento da tortuosidade dos percursos da água (Bear, 1972 cit. in Inbar et al., 1993). O cálculo da condutividade hidráulica em meio não saturado pode ser efectuado através da condutividade hidráulica em meio saturado e das curvas de retenção de água, sendo o seu conhecimento fundamental para otimizar o sistema de rega (Wallach et al., 1992a, 1992b cit. in Inbar et al., 1993; Reis, 1997). Actualmente, ainda não existem dados publicados acerca da condutividade hidráulica dos vários materiais utilizados como substratos (Terés et al., 1997).

Segundo Kechavarzi et al. (2010), as turfas menos decompostas, uma vez aumentando os potenciais hidricos são mais propícias à redução do volume. Por sua vez, têm uma reduzida pressão para a entrada ar, drenagem mais rápida que as turfas mais degradadas e uma condutividade hidráulica saturada mais elevada, o que indica que a decomposição e alterações pedogénicas conduzem a perdas dos poros estruturais.

De um modo sucinto, as plantas são sensíveis não somente ao conteúdo de água do substrato e a força a que neste se encontra retida, mas também à sua condutividade hidráulica, durante o tempo de cultivo (Marfà, 1995).

2.2.1.3 – Porosidade livre

A porosidade livre é considerada como um parâmetro determinante na qualidade dos substratos (Verdonck e Penninck, 1986; Bragg e Chambers, 1988), sendo o mais utilizado para avaliar as condições de arejamento de um determinado material (Bunt, 1988). A porosidade livre pode ser definida como a proporção do volume total do substrato que contém ar, depois de ter sido saturado com água e sujeito a uma tensão de pF1. O arejamento de um substrato, medido através da porosidade livre, condiciona o regime e a intensidade de rega. A porosidade livre pode ser diminuída pela compactação do material resultante do enchimento dos contentores ou pela própria água de rega, reduzindo-se o volume de ar disponível e aumentando a quantidade de água retida no substrato (Miner, 1994). Durante o desenvolvimento radicular das plantas verifica-se uma redução da porosidade livre do substrato, em consequência do crescimento do

sistema radicular, que se expande preferencialmente nos macroporos (Sogni, 1988; Heiskanen, 1993).

Durante o seu ciclo de desenvolvimento a planta precisa tanto de água como de oxigénio para o desenvolvimento radicular. A absorção de água e nutrientes, pela planta, está condicionado pelo oxigénio, no substrato, uma vez que na sua ausência esta é dificultada. O fornecimento de oxigénio às raízes e a libertação de dióxido de carbono, resultante da respiração das raízes e da dos microrganismos aí presentes, têm que ser assegurados pela porosidade livre ou volume de ar dos substratos (Puustjärvi, 1974). O oxigénio é transferido para as raízes por difusão, através das camadas de ar que a envolvem, sendo a sua taxa de difusão 10^4 vezes mais baixa, na água que no ar. O factor limitante do oxigénio necessário para as raízes é a fina camada de água (Bunt, 1988; Miner, 1994), que as envolve. Se a textura e a estrutura do substrato são tais, que os poros mantêm-se preenchidos com água após a rega, as raízes respondem a reduções da difusão de gases pelo retardamento do crescimento da planta e subsequentemente paragem do crescimento e distribuição de novas raízes (Biran e Eliassaf, 1980a, 1980b cit. in Lemaire et al., 1989; Longsdon et al., 1987 cit. in Ribeiro, 1996).

Para um mesmo nível energético, as turfas de textura fina contêm mais água retida por unidade de volume, do que as turfas mais grosseiras, sendo portanto, a proporção do volume total ocupado por ar, inferior nas turfas mais finas, comparativamente às de textura mais grosseira (Puustjärvi, 1974; Redlich e Verdure, 1975; Heiskanen, 1993). Por outro lado, quanto mais decomposta se apresentar uma turfa menor será a porosidade livre e maior o teor em água retida, para um determinado volume de substrato (Redlich e Verdure, 1975).

Os valores ideais para a porosidade livre são de 20-30% (De Boodt e Verdonck, 1972), 10-30 % (Berjon e Herrero, 1989; Abad et al., 1989, 1992; Raviv e Lieth, 2008) ou de um modo mais geral, entre 10 - 45 % conforme a utilização, o tipo de planta, de contentor e de substrato (Raviv et al., 1986). Apesar dos valores elevados para a porosidade livre não serem essenciais para uma mistura utilizada em contentor, permitem um manuseamento mais fácil e decrescem o risco de encharcamento (Bunt, 1988).

A falta de concordância, entre os investigadores, acerca do seu valor óptimo para os meios de cultivo em contentor deve-se a três factores distintos (Bunt, 1988; Miner, 1994):

- às diferentes tolerâncias das espécies aos baixos níveis de arejamento;
- à influência dos factores ambientais e de manuseamento, uma vez que em condições adversas de porosidade de ar, o seu efeito negativo no crescimento pode ser reduzido por uma adequada distribuição da rega. A perda de água que acompanha a evapotranspiração aumenta o arejamento, ao passo que a administração de água à cultura o diminui; ao se evitar regas frequentes pode conseguir-se cultivar em condições aceitáveis de arejamento, mesmo para valores baixos da porosidade de ar;
- aos diferentes métodos usados para a determinação da porosidade livre.

2.2.1.4 – Granulometria

Os substratos são constituídos por partículas de várias dimensões. A distribuição do tamanho das partículas de um meio poroso é a propriedade física mais fundamental e define a sua textura. O conhecimento do tamanho médio das partículas dos substratos não é suficiente para a previsão das propriedades físicas deste, sendo portanto necessário saber toda a distribuição granulométrica (Raviv e Lieth, 2008). Este estudo terá importância para a caracterização dos substratos, uma vez que está relacionado com as relações ar-água do meio de cultivo, apesar destas poderem ser determinadas mais seguramente por outros métodos (Waller e Wilson, 1983). A composição, a forma e o tamanho das partículas correlaciona-se com o tamanho dos poros (Nemati et al., 2009, Ferraz et al., 2005), embora esta relação seja difícil de quantificar (Raviv et al, 1986).

A porosidade total baixa à medida que diminui o tamanho médio das partículas do meio, uma vez que se verifica o rearranjo da distribuição das mesmas. As partículas de tamanho inferior irão ocupar o espaço entre as de maiores dimensões. A acompanhar esta diminuição da porosidade total verifica-se um aumento da retenção de água resultante do aumento da microporosidade, e conseqüentemente, uma diminuição da porosidade livre (Miner, 1994).

A variação dos tamanhos das partículas dos materiais orgânicos utilizados como substratos, particularmente as turfas, é proveniente de vários factores, dos quais se destacam: a sua origem e natureza; o seu estado de decomposição; o processo utilizado para a sua recolha ou extracção, bem como, as condições de trituração e crivagem (Miner, 1994).

Apesar da granulometria influenciar a porosidade total e a retenção de água, verifica-se que estes efeitos são particularmente relevantes para as partículas com dimensões inferiores a 1 mm (Gras, 1987). Nestas partículas observa-se uma descida da porosidade total e um aumento da retenção de água, mas nem todas as partículas com estas dimensões têm a mesma influência nas propriedades físicas (Miner, 1994). Segundo um estudo realizado por Handreck (1983), em misturas que continham casca de pinheiro com diferentes granulometrias, foi verificado que as fracções abaixo dos 0,5 mm e em particular a compreendida entre 0,1 e 0,25 mm eram as que maior influência exerciam na porosidade livre e na retenção de água. Também Arrieta et al. (1992, cit. in Miner, 1994), verificaram resultados semelhantes para as fracções 0,1-0,2 mm e 0,2-0,5 mm, relativamente ao maior volume de água disponível e a uma menor porosidade livre, enquanto que para granulometrias muito finas (inferiores a 0,1 mm) verificava-se uma redução na água disponível, resultante de uma redução acentuada na quantidade de água facilmente disponível.

De acordo com o diâmetro das partículas, a turfa e os outros substratos orgânicos são classificados em finos, médios e grosseiros, variando os limites de país para país. O material fino é mais apropriado para viveiros, enquanto que os outros dois o são para as culturas envasadas (Raviv et al., 1986). Sendo assim, os substratos com grande percentagem de partículas finas podem apresentar problemas de arejamento e reter grandes quantidades de água, a tensões elevadas, mas não se encontrando, porém, disponíveis. Apresentando as partículas finas menor resistência à decomposição, apesar da sua maior superfície específica e capacidade de troca catiónica (Raviv et al., 1986) recomenda-se um tamanho mínimo de 0,5 a 1,0 mm, de modo a garantir substratos estáveis e arejados (Puustjärvi, 1974; Raviv et al., 1986). A distribuição do tamanho das partículas é efectuada por crivagem ou por sedimentação (Raviv et al., 1986).

A informação sobre a distribuição dos tamanhos das partículas é essencial para formular um meio de cultivo e também para monitorizar as suas propriedades durante a sua preparação. Um estudo efectuado por Nemati et al. (2009) conduzido em laboratório, com múltiplas turfas em diferentes estados de decomposição, cujo objectivo era avaliar o papel dos vários parâmetros na distribuição do tamanho das partículas e desenvolver um rápido e fiável método para determinar esta distribuição em substratos orgânicos. Neste estudo foram avaliados: o impacto do volume da amostra inicial; o conteúdo em água no substrato; o estado de decomposição do substrato e a duração da crivagem na

distribuição dos tamanhos das partículas. Pode-se concluir que o estado de decomposição da turfa afecta a distribuição do tamanho das partículas e que a escolha da metodologia deverá ser efectuada de acordo com este parâmetro. Nas turfás mais jovens ou claras (H1- H4 na escala de von Post, Von Post e Granlund, 1926 cit. in Nemati et al., 2009) deve-se aplicar o método da crivagem a seco. Também neste estudo estabeleceram-se os parâmetros óptimos para a realização deste método neste tipo de materiais, que são considerar uma amostra de 250 ml de volume, com um teor de humidade de 15-20% (p/p) e uma crivagem durante 6 minutos no crivo RETSCH AS 200 de amplitude $0,9 \pm 0,1$ mm. O método da crivagem a seco é o mais fiável para determinar a distribuição do tamanho das partículas em substratos minerais e orgânicos com uma quantidade negligível de materiais decompostos, tais como a areia, perlite, vermiculite, casca de pinho e materiais de turfa fibrosos (Nemati et al., 2009). Para as turfás mais decompostas (castanhas ou negras, H5-H10 na escala de von Post) nas quais este método da crivagem não produz um adequado grau de separação, terá que ser realizada a crivagem húmida. É importante estabelecer critérios internacionais para estas metodologias de determinação da distribuição do tamanho das partículas e obter resultados comparáveis (Nemati et al., 2009).

Em resumo, as propriedades físicas dos materiais dependem grandemente da distribuição dos tamanhos das partículas, pelo que seleccionando adequadamente as suas dimensões, podemos conseguir propriedades óptimas nos meios de cultivo.

2.2.1.5 – Propriedades mecânicas

São inúmeros os factores que provocam a compactação do substrato, destacando-se particularmente: o impacto da água de rega nos substratos; a fraca resistência mecânica dos materiais que compõem os mesmos; a insuficiente elasticidade do material, que após um processo de secagem, promove a perda de volume aparente do substrato e perda do espaço poroso, como acontece em muitas turfás, particularmente em certas turfás louras pouco fibrosas (Rivière, 1980), turfás castanhas e mais acentuadamente nas turfás negras, em que se verifica uma diminuição do volume da ordem dos 10 - 20 %, muitas vezes irreversíveis (Verdure, 1981); no enchimento dos contentores; da segregação de partículas de menores dimensões que se acumulam no fundo do contentor, provocando o aparecimento de uma zona mal arejada e pouco

permeável e, como consequência de uma evolução biológica dos materiais orgânicos (Gras, 1983; Bunt, 1988; Lemaire et al., 1989; Miner, 1994; Lemaire, 1995).

As compactações moderadas do substrato e desde que as condições de arejamento sejam garantidas, podem aumentar a quantidade de água disponível, ao passo que se forem muito severas verifica-se uma redução do crescimento das plantas, que pode ter origem (Bunt, 1988; Miner, 1994):

- na diminuição da dimensão dos poros que conduz ao aumento da retenção de água e a uma diminuição da sua disponibilidade para as plantas, aumentando desta forma as forças de retenção de água pela fase sólida;
- na redução excessiva da porosidade livre, dando origem a situações de fraca drenagem e asfixia radicular;
- no aumento da concentração salina dos adubos no meio, devido à diminuição do volume onde os mesmos vão ser administrados;
- na restrição da penetração radicular causada pelo pequeno tamanho e rigidez dos poros;
- na redução da taxa de mineralização do azoto orgânico, uma vez que o ambiente propício para a existência dos microrganismos responsáveis por este processo, deixa de estar presente.

2.2.1.6 – Capacidade de rehumedecimento

Os materiais orgânicos, depois de uma secagem excessiva, podem mostrar dificuldade em absorver novamente água (Redlich e Verdure, 1975; Rivière, 1980) verificando-se assim, a criação de zonas preferenciais de circulação de água, mantendo-se outras partes do material secas (Rivière, 1980). Estas situações podem ocorrer na altura da instalação da cultura, quando o material se apresenta muito seco ou no decorrer da cultura, devido à baixa frequência de rega (Rivière, 1980; Lemaire et al., 1989). Para cada material, a capacidade de rehumedecimento é variável com a intensidade da secagem anterior, bem como com o número de ciclos de secagem - rehumedecimento (Verdure, 1981; Bunt, 1988). O conhecimento deste comportamento permite fazer uma avaliação dos diferentes materiais e fornecer elementos tanto para a melhoria da capacidade de rehumedecimento, como para a condução da rega (Redlich e Verdure,

1975). Os ciclos de rehumedecimento e secagem podem modificar sensivelmente, por vezes de forma irreversível, as propriedades hídricas da fase sólida (Heiskanen, 1993; Miner, 1994), quer através da incapacidade de recuperação do volume inicial dos substratos, quer pela perda de água de modo irreversível (Verdure, 1981; Redlich e Verdure, 1975), verificando-se este efeito nas turfas louras pouco fibrosas (Rivière, 1980), turfas castanhas e mais acentuadamente nas turfas negras (Verdure, 1981). Os materiais orgânicos, como por exemplo a turfa são difíceis de rehumedecer, agravando-se, tal facto, se a secagem for efectuada em contentor (Miner, 1994).

Os substratos a utilizar devem ser fáceis de molhar e sem necessidade de recorrer a agitação para o conseguir. Em alguns casos, pode ser necessária a incorporação de um agente molhante (Rivière, 1995). As modificações ligadas à dessecação do substrato podem servir para melhorar as propriedades físicas das turfas muito evoluídas, melhorando a sua estrutura e aumentando o seu arejamento (Rivière, 1980; Verdure, 1981; Bunt, 1988; Abad et al., 1989).

2.2.2 – Propriedades químicas

As propriedades químicas mais importantes dos materiais utilizados, como componentes dos meios de suporte de culturas em contentores são: a capacidade de troca catiónica, o pH, a condutividade eléctrica, a disponibilidade de nutrientes, o poder tampão e o grau de decomposição (Raviv et al., 1986; Kämpf, 2000 cit. in Ferraz et al., 2005).

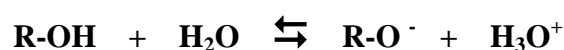
Os componentes orgânicos usados nos meios de crescimento são os principais contribuintes para a química dos substratos, principalmente devido à formação e presença das substâncias húmicas, as quais consistem no último produto final da decomposição dos materiais orgânicos (Raviv et al., 1986).

Devido à grande heterogeneidade de materiais e suas origens houve a necessidade de criar novas metodologias standardizadas para a avaliação das propriedades químicas dos correctivos de solo e suporte de culturas, pelo Comité Europeu de Standardização, comité técnico 223, que são: EN 13937, 1999- determinação do pH; EN 13038, 1999- determinação da condutividade eléctrica, EN 13651, 2001- extracção nutrientes solúveis em cloreto de cálcio/DTPA (CAT) e EN 13652, 2001- extração nutrientes solúveis em água (CEN 1999a, 1999b, 2001a e 2001b cit. in Beckmann-Cavalcante et al., 2009b).

Também na Alemanha, a Associação Alemã de Análises Agrícolas e Institutos de investigação (VDLUFA) desenvolveu métodos para cobrir esta finalidade (Alt e Hoffmann, 2004) cit. in Beckmann-Cavalcante et al, 2009b).

2.2.2.1 – Capacidade de troca catónica

Define-se capacidade de troca catiónica (CTC), como a capacidade de um meio de cultivo para reter nutrientes catiões e trocá-los com os que se encontram na solução aquosa. Certos materiais sólidos, utilizados na formulação de substratos, contêm na sua composição, componentes de natureza coloidal, que podem desenvolver à sua superfície cargas eléctricas negativas, como resultado das interacções com a fase líquida do substrato. Nos substratos orgânicos, as cargas negativas formam-se na fracção decomposta e biologicamente estável da matéria orgânica, denominada de húmus, constituída essencialmente por três grupos de substâncias: os ácidos húmicos, os ácidos fúlvicos e as húminas (Miner, 1994). Estes grupos ácidos têm grupos funcionais carboxílicos (-COOH) e fenólicos (-C₆H₄OH). A protólise destes grupos funcionais terminais, responsável pelo desenvolvimento das cargas negativas, dependerá do pH do meio. Um aumento do pH reduzirá a presença do ião hidrónio (H₃O⁺), provocando a deslocação do equilíbrio, no sentido directo conduzindo, assim, a um aumento das cargas negativas (Santos, 1991; Miner, 1994) e respectiva CTC.



Os nutrientes minerais dissolvidos na solução do substrato, como iões de carga positiva são adsorvidos pelas superfícies coloidais e denominados de catiões de troca e ao conjunto dos componentes que estão envolvidos neste mecanismo denomina-se complexo de troca. A CTC é uma propriedade importante, uma vez que indica a potencialidade de retenção de nutrientes, dificultando a sua lixiviação, indicando o estado de decomposição da matéria orgânica e também possui a capacidade de imobilizar substâncias tóxicas. A CTC é dominada pela presença das substâncias húmicas, as quais dependem do grau de decomposição do substrato orgânico (Raviv et al., 1986).

Os materiais utilizados como substratos possuem valores muito variados para a CTC e podem ser classificados em quimicamente activos, os que possuem valores próximos de $0,1 \text{ eq.L}^{-1}$ (como exemplo as turfas e as cascas de árvores compostadas), enquanto que certas fibras vegetais, a vermiculite, a perlite, a lã de rocha e a areia são considerados inertes, uma vez que possuem valores significativamente inferiores ao anteriormente referido (Lemaire et al., 1989). Alguns substratos orgânicos como são o caso das turfas, exibem inicialmente um pH e CTC mais baixos. Para aumentar o seu pH, é feita uma calagem, onde o cálcio e o magnésio irão substituir os iões H_3O^+ . Assim, é alcançada uma CTC mais elevada, onde mais catiões são adsorvidos nos lugares de troca (Raviv et al., 1986). Os materiais orgânicos possuem elevada CTC e poder tampão, evitando rápidas mudanças na disponibilidade de nutrientes e no pH do meio (Raviv et al., 1986).

A existência ou não do complexo de troca catiónica em determinado substrato é determinante para a escolha do sistema de fertilização a utilizar. Uma elevada CTC reduz riscos de salinidade, permitindo aumentar a concentração de nutrientes a aplicar em cada adubação e diminuir a sua frequência. Portanto, no caso da aplicação de adubos de libertação lenta ou da prática de uma adubação contínua, não há interesse num valor elevado de CTC no meio (Handreck e Black, 1991). Os substratos com elevada CTC, uma vez atingido o valor de pH mais aconselhado para dada cultura, resistem melhor a variações de pH, nomeadamente quando se utilizam águas de rega calcárias e adubos alcalinizantes ou acidificantes. No caso dos substratos com reduzida CTC, o pH da solução corresponderá ao pH da solução nutritiva utilizada, não existindo qualquer resistência às suas variações (Ribeiro, 1996).

Puustjärvi, 1977 cit. in Bragg (1995) mostrou existir uma boa relação entre a massa volúmica aparente das turfas e a sua CTC. Quanto menor o estado de decomposição, menor a massa volúmica aparente e respectiva CTC; pelo contrário, ao aumentar o seu estado de decomposição, verifica-se um aumento do valor da massa volúmica aparente e da CTC. Isto significa, que para um material mais decomposto, será necessária maior quantidade de calcário para se realizar a calagem (Miner, 1994).

Em tempos, as unidades utilizadas para expressar habitualmente esta propriedade foram os meq.100g^{-1} de material (Lemaire et al., 1989; Miner, 1994), mas para substratos era expressa relativamente ao volume, meq.L^{-1} ou eq.m^{-3} (Lemaire et al., 1989), visto que os substratos hortícolas apresentavam baixos valores de massa volúmica aparente (Inbar et

al., 1993). No Quadro 2.6 são indicados valores da CTC nestas unidades, para vários substratos utilizados em horticultura.

Quadro 2.6 - Valores médios para a capacidade de troca catiónica de alguns materiais utilizados para culturas em contentores (adaptado de Lemaire *et al.*, 1989).

Produtos	CEC eq. m⁻³
Produtos orgânicos	
Turfa castanha	200 - 400
Cascas de folhosas compostadas	184
Turfa loura	115
Casca de pinheiro fresca moída	95
Fibras vegetais	10
Produtos naturais minerais	
Terra argilo-limosa	200 - 300
Vermiculite grosseira	27
Perlite grosseira	6
Vermiculite fina	< 2
Lã de rocha	0
Areia	0
Argila expandida	0

Actualmente, utiliza-se a unidade cmol kg^{-1} do material em causa (Sposito cit. in Raviv e Lieth, 2008). No Quadro 2.7 são indicados valores de referência da CTC para vários substratos utilizados em horticultura, de origem orgânica ou inorgânica. Estes valores foram medidos em materiais intactos, antes de serem utilizados, uma vez que o crescimento das plantas poderá afectar as propriedades químicas dos substratos sólidos. Os valores da CTC de componentes sólidos são usualmente reportados ao peso (cmol kg^{-1}). Contudo, na produção de plantas em contentores, onde o sistema radicular será confinado a um espaço bem delimitado, será conveniente reportar esses valores de CTC a unidades de volume (cmol L^{-1}), sendo posteriormente possível comparar volumes iguais de meios de cultivo, mais e menos pesados (Raviv e Lieth, 2008).

Quadro 2.7 - Valores médios para a capacidade de troca catiónica de alguns materiais utilizados para culturas em contentores (adaptado de Raviv e Lieth, 2008).

Substratos	CTC		Referências
	cmol kg ⁻¹	cmol L ⁻¹	
Orgânicos			
Fibra de côco	39-60	2-4	Evans et al. (1996)
Turfa	90-140	7-11	Puustjarvi and Robertson (1975)
Casca de pinheiro	98 ^a	10	Daniels and Wright (1998)
Composto	160-180	15-20	Inbar (1989)
Inorgânicos			
Perlite	25-35	2-4	Doğan and Alkan (2004)
Lã de rocha	34	5	Argo and Biernbaum (1997)
Zeolite	200-400	400-800	Mumpton (1999)

^a CTC a pH 7, a casca de pinheiro tem carga variável, de acordo com a granulometria.

Observam-se diferenças experimentais nas medições da CTC, em função do pH dos métodos utilizados, sendo aconselhável a sua determinação a pH 7 (Raviv et al., 1986).

2.2.2.2 – pH

De acordo com as proporções relativas em que se encontram aqueles constituintes que, pela sua natureza, são susceptíveis de influenciar a reacção, os solos e os substratos, à semelhança do que se passa nas soluções, podem classificar-se como ácidos, neutros ou alcalinos.

Os principais efeitos do pH manifestam-se na disponibilidade de nutrientes para as plantas, na capacidade de troca catiónica, na actividade biológica (Raviv et al., 1986) e nos efeitos de toxicidade (Miner, 1994).

Os materiais usados para misturas envasadas variam largamente no seu pH (Quadro 2.8). As turfas são usualmente ácidas na sua origem e as vermiculites são alcalinas (Bunt, 1988).

A interpretação dos valores de pH não é muito clara, uma vez que são afectados pelo tipo de extractante (Bunt, 1976 cit. in Waller e Wilson, 1983), pela relação entre a quantidade de substrato e extractante e o tempo necessário para atingir o equilíbrio (Atkins, 1982 cit. in Waller e Wilson, 1983). Para além de que a escala de pH onde a disponibilidade dos micronutrientes de um determinado meio é óptimo, dependerá de meio para meio (Waller e Wilson, 1983).

Quadro 2.8 - Valores médios para o pH em água de alguns materiais utilizados para culturas em contentores (adaptado de Lemaire et al., 1989).

Produtos	PH (H₂O)
Produtos orgânicos	
Turfa castanha	5,0
Cascas de folhosas compostadas	7,5
Turfa loura	4,5
Casca de pinheiro fresca moída	5,1
Fibras vegetais	4,5
Turfa negra	6,0-7,0
Produtos naturais minerais	
Terra argilo-limosa	5 - 7,5
Vermiculite grosseira	7,5
Perlite grosseira	6,9
Vermiculite fina	8,7
Lã de rocha	7,5
Areia	6 - 8
Argila expandida	8,3

Segundo Arnon e Johnson (1942) cit. in Raviv et al., 1986), a maioria das plantas pode sobreviver a uma larga escala de pH, compreendida entre 4 e 8, não manifestando desequilíbrios, desde que quantidades adequadas dos nutrientes essenciais se encontrem em forma disponível. Contudo, o seu crescimento diminui em condições extremas de alcalinidade ou de acidez, o que leva a que na prática de uma cultura intensiva, seja aconselhável um intervalo de variação mais estreito.

A disponibilidade dos nutrientes é afectada pelo pH do substrato. Estudos efectuados acerca da disponibilidade de 12 nutrientes diferentes, em solos orgânicos (com mais de 50 % de matéria orgânica) e para vários valores de pH concluíram que a uma escala de pH entre 5,0 e 5,8, a maioria dos nutrientes encontravam-se em níveis de disponibilidade óptima. Para valores de pH superiores a estes, reduzia-se a disponibilidade do fósforo, manganês, boro e zinco; enquanto que para valores inferiores a esta escala, podiam ocorrer deficiências de potássio, cálcio, azoto, boro, cobre e molibdénio (Lucas e Davis, 1961 cit. in Inbar et al., 1993). Os mesmos resultados foram verificados num substrato constituído por turfa de *sphagnum*, casca de pinheiro decomposta, perlite, vermiculite e areia (Peterson, 1981 cit. em Inbar et al., 1993). Contudo, as plantas podem desenvolver-se satisfatoriamente fora deste intervalo (Miner, 1994).

Os valores de pH mais favorável ao desenvolvimento das plantas difere de espécie para espécie, e dentro da mesma espécie, existem diferenças entre as cultivares. No

Quadro 2.9 apresentam-se os valores de pH recomendáveis para algumas culturas hortícolas.

Quadro 2.9 - Valores de pH preferidos por algumas culturas hortícolas (adaptado de Sapec, s.d).

Plantas	PH (H₂O)
Alface (<i>Lactuca sativa</i>)	6,0 - 7,0
Couve portuguesa (<i>Brassica oleracea</i>)	5,5 - 7,5
Melancia (<i>Cucurbita citrollus</i>)	5,5 - 6,5
Melão (<i>Cucumis melo</i>)	6,0 - 7,0
Pimento (<i>Capsicum annuum</i>)	6,0 - 7,5
Tomate (<i>Lycopersicum esculentum</i>)	5,5 - 7,0

Para aumentar os valores do pH, num substrato, utiliza-se o calcário de uma granulometria apropriada e de preferência dolomítico (Raviv et al., 1986), enquanto que o seu decréscimo pode ser efectuado por uma turfa ácida (Inbar et al., 1993) ou enxofre, de acordo com o valor inicial de pH e com a CTC do material (Raviv et al, 1986). Segundo Bailey et al. (2007b), os principais intervenientes que podem afectar o pH da solução do substrato são: a alcalinidade da água de rega, a acidez/ basicidade dos fertilizantes utilizados durante a produção, a incorporação de calcário dolomítico no substrato, bem como as próprias espécies a produzir que podem afectar o pH do substrato durante a germinação e desenvolvimento.

2.2.2.3 – Condutividade eléctrica

Em consequência do limitado volume explorado pelas raízes quando se pratica o cultivo de plantas em contentor e a necessidade de uma maior disponibilidade dos nutrientes, devido às altas taxas de crescimento exigidas, acompanhadas do elevado consumo dos nutrientes pelas plantas, pode-se provocar uma acumulação excessiva de sais, causados pela aplicação constante de grandes quantidades de fertilizantes, criando-se deste modo, situações de salinidade (Miner, 1994), que podem provocar reduções significativas no crescimento das plantas (Ribeiro, 1996).

Para se verificar a absorção de água e respectivos nutrientes, por parte da planta, é necessário que as suas células radiculares possuam um potencial inferior ao verificado na solução do substrato. Um aumento da concentração de sais na solução do substrato será responsável pelo aumento da pressão osmótica e decréscimo do respectivo potencial osmótico. Com a redução do potencial osmótico verifica-se, portanto, uma

redução do potencial hídrico do substrato, impedindo a absorção de água por parte das plantas, uma vez que estas possuem um potencial hídrico superior, deslocando-se a água no sentido dos potenciais hídricos decrescentes. As plantas poderão aparentar, deste modo semelhanças às que se encontrariam em situação de seca (Miner, 1994). Porém, o potencial mátrico do substrato tem uma influência superior na disponibilidade hídrica de um substrato, do que o potencial osmótico (Puustjärvi, 1980 cit. in Heiskanen, 1993).

A acumulação excessiva de sais, que poderá trazer problemas de salinidade, pode ter várias origens (Miner, 1994; Bunt, 1988):

- algum dos componentes do substrato possuir concentração excessiva de sais, como o exemplo de turfas localizadas em zonas costeiras ou turfas resultantes de turfeiras localizadas em lagos, como são no geral, todas as turfas negras;
- fornecimento excessivo e/ou desproporcionado de nutrientes nos adubos ou na água de rega;
- mineralização não controlada de determinados fertilizantes orgânicos ou de libertação lenta.

A medição da salinidade é geralmente expressa pelo teor em sais dissolvidos na solução aquosa (mg.L^{-1} ou ppm), ou mais vulgarmente pela capacidade de conduzir a corrente eléctrica ou condutividade, expressa em deciSiemens por m (dS.m^{-1}) ou miliSiemens por cm (mS.cm^{-1}). A condutividade eléctrica (CE) será tanto mais elevada, quanto maior a concentração de sais dissolvidos (Miner, 1994). A medição da CE dá-nos uma estimativa significativa acerca do conteúdo em sais solúveis no meio de crescimento (Raviv et al, 1986), sendo erradamente assumida como indicador do nível de fertilizantes no meio, ao assumir-se que os principais nutrientes são sais facilmente solúveis e que a presença de iões como o sódio (Na^+) e o cloro (Cl^-) é reduzida. É de extrema importância saber a concentração salina, visto que as plantas variam na tolerância aos vários níveis de salinidade e stress hídrico (Waller e Wilson, 1983).

No Quadro 2.10 apresentam-se as tolerâncias à salinidade manifestadas por algumas culturas hortícolas, classificadas segundo Santos (1991) em culturas sensíveis, tolerantes e muito tolerantes.

Quadro 2.10 – Tolerância de algumas culturas hortícolas à salinidade (adaptado de Santos, 1991).

Culturas sensíveis (1- 3 mS.cm ⁻¹)	Culturas tolerantes (3 - 6 mS.cm ⁻¹)	Culturas muito tolerantes (6 - 12 mS.cm ⁻¹)
Alface – <i>Lactuca sativa</i> L.	Tomateiro - <i>Lycopersicum esculentum</i> L.	Espinafre - <i>Spinacea oleracea</i> L.
Couve - <i>Brassica oleracea</i> var. capitata L.	Melão - <i>Cucumis melo</i> L.	
	Pimento - <i>Capsicum annum</i> L.	

Segundo Lemaire et al. (1985) e Wright (1986) cit. in Herrera et al. (2008) os valores óptimos de condutividade eléctrica nos substratos para o crescimento e desenvolvimento de plântulas saudáveis e vigorosas são inferiores a 3,5 dS.m⁻¹. Segundo Ribeiro e Santos (1997) substratos com valores mais elevados de condutividade eléctrica reduzem a retenção de água no substrato, negativamente, afectando o processo de embebedimento das sementes para a germinação. Burger et al. (1997) e Pinamonti et al. (1997) cit. in Herrera et al., (2008) verificaram que os valores mais baixos de pH e CE, melhoram as condições de emergência das plântulas no viveiro.

Para corrigir a salinidade do meio, é habitual fazer-se uma lavagem com água em abundância, de baixa concentração salina (Miner, 1994).

2.2.2.4 – Disponibilidade de nutrientes

A aplicação de nutrientes ao substrato é essencial, caso contrário o crescimento das plantas será restringido (Marchesi e Cattivelli, 1988), podendo o excesso causar o mesmo resultado (Tosi e Tesi, 1987).

A determinação do teor total de nutrientes presentes no substrato não é uma forma adequada de avaliar a potencialidade do material. Esta deve ser determinada através da concentração dos nutrientes extraíveis ou disponíveis, expressa numa relação em volume. O conhecimento da origem dos nutrientes é também importante, uma vez que os resultados culturais podem ser muito diferentes (Waller e Wilson, 1983).

Os nutrientes disponíveis ou “assimiláveis” para a planta serão os que estão dissolvidos na solução do substrato e as formas associadas à fase sólida que se encontram em equilíbrio com a solução. Os primeiros podem ser consumidos imediatamente, ao passo que os adsorvidos vão-se deslocando para a solução do solo para compensar os que são consumidos pelas plantas (Miner, 1994).

Os nutrientes existentes na solução podem ter diferentes origens, tais como a decomposição da matéria orgânica, a água de rega, a aplicação de fertilizantes ou a deposição atmosférica. Os substratos orgânicos, como a turfa, a casca de pinheiro e folhagem possuem poucos nutrientes disponíveis (Raviv et al., 1986). Será necessário para se verificar um ótimo crescimento das plantas, a aplicação de nutrientes, quer como nutrientes adicionados no momento da realização do substrato ou através da água de rega. A quantidade e frequência da fertilização depende das características do substrato, tais como a CTC e as condições e desenvolvimento desejado (Handreck e Black, 1991). A elevada CTC das turfas aumenta a eficiência da adição dos nutrientes de liberação lenta, no momento do fabrico do substrato (Raviv et al., 1986). Os substratos que possuem uma baixa CTC, necessitam de uma aplicação contínua de fertilizantes, otimizando-se o crescimento pelo recurso à fertirrega (Raviv et al., 1986; Inbar et al., 1993).

As substâncias húmicas formam complexos e quelatos com os micronutrientes, de modo a facilitarem a sua disponibilidade para as plantas (Raviv et al., 1986).

Os substratos orgânicos não possuem capacidade de troca aniônica (CTA), pelo que a disponibilidade dos nutrientes que se encontram na forma aniônica (nitratão - NO_3^- e fosfatão - H_2PO_4^-) encontra-se condicionada pela formação e dissolução de precipitados pouco solúveis. O NO_3^- é muito solúvel e não forma sais insolúveis com os cátions, encontrando-se na maioria em solução, podendo trazer problemas de toxicidade para as plantas devido à sua elevada concentração ou então ser facilmente arrastado pela água. Também o fósforo, neste mesmo tipo de substratos, devido às quantidades insignificantes de ferro e alumínio que possuem, não forma os correspondentes fosfatos insolúveis a valores baixos de pH, encontrando-se a maioria do fósforo solúvel na solução e poderá perder-se facilmente por lixiviação (Miner, 1994). Por outro lado, à medida que aumenta a quantidade de cálcio adicionado, e portanto o pH, formar-se-ão precipitados insolúveis de fosfato de cálcio (bicálcicos e tricálcicos), diminuindo a quantidade que se apresenta em solução e aumentando a quantidade de reserva (Miner, 1994).

2.2.2.5 – Poder tampão

A resistência do substrato às alterações de pH é denominada por poder tampão. As plantas e os microrganismos não são única e exclusivamente afectados directamente com a alteração do pH do meio, mas também indirectamente pela disponibilidade dos nutrientes (Inbar et al., 1993).

O poder tampão de um meio de cultivo correlaciona-se com a capacidade de troca catiónica e com o teor em matéria orgânica (Sogni, 1988; Inbar et al., 1993). As substâncias húmicas permitem um aumento do poder tampão, numa ampla escala de pH, sendo então o seu valor mais elevado nos materiais utilizados como substratos de origem orgânica (a turfa, a manta morta, entre outros), comparativamente a substratos de origem mineral (Raviv et al., 1986). Apesar de não existirem valores predeterminados para este parâmetro, quanto mais elevado for menor será a possibilidade de se virem a verificar alterações indesejáveis do valor de pH no meio de cultivo.

2.2.2.6 – Matéria orgânica

O conhecimento do teor em matéria orgânica e cinzas, de um substrato orgânico de origem vegetal é importante, uma vez que para além de proporcionar informação acerca do grau de decomposição, permite determinar a Mvr do material, que juntamente com a Mva, contribui para o cálculo da porosidade total. As turfas loiras ou claras apresentam valores superiores do teor em matéria orgânica, comparativamente às turfas negras, ou seja, reduzir-se-á este valor, com o aumento do grau de mineralização (Cattivello e Bassi, 1992; Miner, 1994).

Segundo Abad et al. (1992), os níveis óptimos de matéria orgânica, para os substratos orgânicos utilizados em cultivo são iguais ou superiores a 80 %. No caso específico dos substratos á base de turfa, o valor máximo do teor em cinzas aceitável é de 10 % (Norma Inglesa - BS 4156, 1990 cit. in Eizagirre e Miner, 1994; Miner, 1994; Verdonck, comunicação pessoal cit. in. Cattivello e Bassi, 1990).

Resumidamente, as principais funções da matéria orgânica presente nos substratos, ou mais propriamente, das suas substâncias húmicas, são (Inbar et al., 1993):

- melhorar a estrutura do substrato, e portanto o fornecimento de água e nutrientes;
- fornecer nutrientes às plantas, à medida que se decompõe;

- aumentar o valor da CTC e do poder tampão, à medida que aumenta a decomposição do substrato, permitindo um fornecimento regulado dos nutrientes;
- controlar as doenças radiculares, pela redução da presença dos organismos patogénicos, graças à actividade dos microrganismos decompositores da matéria orgânica;
- estimular a germinação, o desenvolvimento radicular e o crescimento das plantas, verificando-se um aumento da produção.

2.2.2.7 – Relação C/N

A relação C/N é utilizada como um indicador da origem, maturação ou grau de decomposição e estabilidade da matéria orgânica. Considera-se como desejável um valor inferior a 20. Os principais prejuízos causados pela utilização de um substrato imaturo são a imobilização do azoto e o consumo do oxigénio, por parte dos microrganismos do meio (Raviv et al., 1986).

No processo de decomposição, as perdas de carbono são muito superiores às de azoto, diminuindo a relação carbono/azoto, sendo esta relação tanto mais pequena, quanto mais decomposta estiver a matéria orgânica.

No Quadro 2.11 apresenta-se uma classificação da relação C/N verificadas em turfas (Guerrero, 1989 cit. em Miner, 1994). Esta classificação tem que ser tomada com certas reservas, visto que se poderão encontrar outros valores na bibliografia (Miner, 1994).

Quadro 2.11 - Classificação da relação C/N em turfas (Lemaire et al., 1989).

Valores da relação C/N	Classificação
< 20	Boa
20-25	Aceitável
25-30	Deficiente
>30	Má

A definição de níveis precisos da relação C/N não é fácil, visto que algum do carbono dos substratos encontra-se na forma de lenhina ou de outros compostos resistente à decomposição; o azoto pode encontrar-se em formas indisponíveis durante a decomposição e pode estar fixado, sobretudo na presença de compostos fosfatados (Gray et al., 1973 cit. in Raviv et al., 1986).

2.2.3 – Propriedades biológicas

2.2.3.1 – Estabilidade biológica e esterilidade

Os materiais orgânicos utilizados na formulação de substratos, devem ser capazes de resistir à degradação biológica, pelo menos durante o período de permanência no contentor. Caso contrário podem verificarem-se mudanças apreciáveis das suas propriedades físicas que podem comprometer a cultura. Se possível, o substrato deve-se encontrar livre de infestantes, microrganismos patogénicos susceptíveis de prejudicar o cultivo através do desenvolvimento de doenças e pragas, e possuir microrganismos e substâncias benéficos, capazes de promover o crescimento das plantas (Insausti, 1993). As turfas são materiais estéreis em termos da sua inerente actividade biológica. Apesar da intensa actividade dos microrganismos existentes nas turfeiras, responsáveis pela degradação da matéria orgânica, atinge-se a estabilidade dos respectivos produtos, ou seja, não existem riscos de posterior decomposição (Miner, 1994).

Os materiais orgânicos não estabilizados, quando possuem uma relação C/N elevada têm como consequência as imobilizações de azoto; uma relação C/N baixa conduz a situações de toxicidade do amoníaco (NH_3) (Inbar et al., 1993). Podem também surgir situações de salinidade, resultantes da incorporação dos microrganismos mortos, uma vez terminado o processo de decomposição, ficando o azoto na solução do solo, podendo ser utilizado pelas plantas (Raviv et al., 1986). A falta de estabilidade poderá também originar deficiência de oxigénio e uma variedade de problemas de toxicidade indirecta para as raízes (Inbar et al., 1993).

A estabilidade biológica pode ser avaliada através de variáveis como o grau de decomposição. Este estabelece uma relação entre matéria orgânica resistente à hidrólise, particularmente na forma das suas substâncias húmicas, e a matéria orgânica total (Martinez et al., 1988; Reis, 1997). Durante a decomposição, este valor sobe, uma vez que aumenta a quantidade de produtos resistentes à hidrólise. Segundo Michel e Rivière (1996), para além da determinação efectuada do grau de decomposição, para avaliar o estado evolutivo das turfas, são muitas vezes utilizadas medidas indirectas do mesmo, quer através das suas características físicas (massa volúmica aparente, teor em fibras, distribuição granulométrica) ou das suas características químicas (teor em cinzas, capacidade de troca catiónica).

Os materiais como as cascas de pinheiro e a maioria de subprodutos e resíduos orgânicos, têm que sofrer a sua decomposição antes da sua utilização, através do processo de compostagem, caso contrário poderão trazer problemas de fitotoxicidade e de imobilização do azoto (Miner, 1994).