

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Sistema de Produção
Agrícola Familiar



Tese

USO DA CENTRIFUGA PARA DETERMINAÇÃO DA
RETENÇÃO DE ÁGUA PARA SUBSTRATOS À BASE
DE CASCA DE ARROZ

Bárbara da Cunha Diaz

Pelotas, 2010

BÁRBARA DA CUNHA DIAZ

Uso da Centrifuga para Determinação da Retenção de Água para Substratos à Base de Casca de Arroz

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistema de Produção Agrícola Familiar da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências (área do conhecimento: Sistema de Produção Agrícola Familiar)

Orientador: Carlos Alberto Barbosa Medeiros

Co-Orientador :Carlos Rogério Mauch

Pelotas, 2010

Banca examinadora

Carlos Alberto Barbosa Medeiros

Roberta Marins Nogueira Peil

Carlos Reisser Jr.

Paulo Roberto Grolli

AGRADECIMENTOS

À Embrapa Clima Temperado, pela oportunidade da realização dos trabalhos desta pesquisa.

Ao Curso de Pós Graduação em Sistema de Produção Agrícola Familiar-UFPEl, pela possibilidade de realização do curso.

Ao Dr. Medeiros pela amizade, compreensão, contribuição na minha formação profissional, pessoal e orientação.

Aos pesquisadores Flávio Carvalho e Carlos Reisser Jr. pela ajuda no decorrer do trabalho.

Aos funcionários da Embrapa, em especial aqueles do laboratório de análises físicas de solo, José Carlos Leite Silveira e Paulo Roberto Ferreira, pelo auxílio na realização das análises. Aos funcionários da Estação Experimental Cascata, em especial a Eliz Regina Rickes.

Às colegas Nara Ristow, Clarissa Cogo e Cláudia pela ajuda na realização dos trabalhos experimentais.

À minha família pelo incentivo constante a minha realização profissional. Agradecer meu filho Bernardo, pela fonte de energia que se tornou em minha vida durante este curso.

RESUMO

DIAZ, BÁRBARA DA CUNHA Dr^a. **Uso da Centrifuga para Determinação da Retenção de Água para Substratos à Base de Casca de Arroz** 2010. 54 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Sistema de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas, dezembro de 2010

O desempenho de um substrato encontra-se intimamente relacionado com suas propriedades físicas e químicas, sendo que o conhecimento e estudo prévio destas características, além de possibilitar a avaliação de sua qualidade, permite o ajuste às diferentes condições de uso. O problema agrônômico da produção de plantas em recipientes é o de assegurar condições ótimas à produção de biomassa com um desenvolvimento de raízes restrito a um pequeno volume de substrato. A caracterização física tem por objetivo o estudo da distribuição volumétrica do material sólido, da água e do ar, fatores fundamentais para o desenvolvimento das plantas. Atualmente, a metodologia aplicada na determinação das propriedades físicas dos substratos é a mesma utilizada para solos, encontrando limitações em função de alguns atributos peculiares dos materiais empregados como substratos. Os objetivos do trabalho foram desenvolver metodologia para utilização da centrifuga para a determinação da retenção de água em substratos e comparar dois métodos de determinação da curva de retenção de água, em sua aplicação a substratos, o método da mesa de tensão combinado à câmara de pressão de Richards e o método da centrifuga. O trabalho foi realizado na Embrapa Clima Temperado, em duas etapas. Na primeira etapa foi realizado o estudo de tempo de centrifugação necessário para a extração de toda a água disponível a uma determinada tensão. Na segunda etapa compararam-se efetivamente os dois métodos através do volume de água retida nas diferentes tensões. No estudo foram trabalhados cinco diferentes substratos: 100% casca de arroz carbonizada; 75% casca de arroz carbonizada + 25% casca de arroz queimada; 50% casca de arroz carbonizada + 50% casca de arroz queimada; 25% casca de arroz carbonizada + 75% casca de arroz queimada e 100% casca de arroz queimada, e três diferentes tensões, 1KPa, 5 KPa e 10 KPa. Como resultado da primeira etapa adotou-se o tempo de duas horas de centrifugação, período considerado suficiente para a obtenção do equilíbrio da água retida na amostra nas diferentes tensões. A determinação da curva de retenção de água de substratos através do método da centrifuga apresenta-se como uma alternativa potencialmente viável ao método da mesa de tensão e da câmara de pressão de Richards.

Palavras chave: Análise física, mesa de tensão, centrífuga.

ABSTRACT

Use of Centrifuge for Determination of Water Retention for Substrates constituted of rice husks

The performance of a substrate is closely related to their physical and chemical properties, and the prior knowledge and study of these characteristics, permit evaluation of its quality and adjust to different use conditions. The agricultural problem in the production of plants in containers is to ensure optimal conditions for biomass production with a development of roots restricted to a small volume of substrate. Physical characterization aims to study the distribution volume of solid material, water and air, which is crucial for plant development. Currently the methodology applied in determining the physical properties of substrates is the same used for soil, presenting some limitations due to some peculiar attributes of the materials used as substrates. The objectives of this study were to develop a methodology for using the centrifuge for determining the water retention in substrates and compare two methods for determining the water retention curve applied to substrates, the tension table method combined with the Richards pressure chamber with the method of centrifuge. The study was conducted at Embrapa Temperate Climate in two steps. The first stage of the study was conducted to determine the centrifugation time necessary to extract all the water available to a given tension. In the second step the two methods were compared using the volume of water retained at different tensions. The study worked on five different substrates: 100% carbonized rice husks; 75% carbonized rice husks + 25% burnt rice husks, 50% carbonized rice husks + 50% burnt rice husks, 25% carbonized rice husks + 75% burnt rice husks and 100% burnt rice husk, and three different tensions, 1KPa, 5 KPa and 10 KPa. As a result of the first step the time of two hours of centrifugation was adopted, period considered sufficient for obtaining the equilibrium of retained water in the sample at different tensions. The results showed that the determination of water retention curve of substrates through the centrifuge method, is a potentially viable alternative to the method of the tension table and pressure chamber Richards.

Keywords: Physical analysis, tension table, centrifuge.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Esquema da posição do conjunto/anel no interior da centrífuga.....	24
Figura 2 Peças constituintes do cilindro.....	25
Figura 3 Cilindro preparado para a centrifugação.....	25
Figura 4 Posição dos cilindros no interior da centrífuga.....	26
Figura 5 Painel de controle da centrífuga.....	26
Figura 6 Curva de Retenção de Água do Substrato 100% Casca de Arroz Carbonizada.....	37
Figura 7 Curva de Retenção de Água do Substrato 25% Casca de Arroz Carbonizada+75% Casca de Arroz Queimada.....	38
Figura 8 Curva de Retenção de Água do Substrato 50% Casca de Arroz Carbonizada+50% Casca de Arroz Queimada.....	38
Figura 9 Curva de Retenção de Água do Substrato 25% Casca de Arroz Carbonizada+75% Casca de Arroz Queimada.....	39
Figura 10 Curva de Retenção de Água do Substrato 100% Casca de Arroz Queimada.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Substratos constituídos de casca de arroz carbonizada e casca de arroz queimada em diferentes proporções. Embrapa Clima Temperado, 2010.....	20
Tabela 2 Umidade volumétrica em percentagem retida em diferentes substratos submetidos a diferentes tempos de centrifugação, na tensão de 1 KPa, Embrapa Clima Temperado, 2010.....	30
Tabela 3 Umidade volumétrica em percentagem retida em diferentes substratos, submetidos a diferentes tempos de centrifugação, na tensão de 5 KPa, Embrapa Clima Temperado, 2010.....	31
Tabela 4 Umidade volumétrica em percentagem retida em diferentes substratos submetidos a diferentes tempo de centrifugação, na tensão de 10 KPa, Embrapa Clima Temperado, 2010.....	32
Tabela 5 Umidade volumétrica média dos diferentes substratos constituídos de diferentes misturas de casca de arroz carbonizada e casca de arroz queimada determinadas através do método da mesa de tensão/câmara e da centrífuga, Embrapa Clima Temperado, 2010.....	40
Tabela 6 Umidade volumétrica retida nos diferentes substratos constituídos de diferentes misturas de casca de arroz carbonizada e casca de arroz queimada determinadas através do método da mesa de tensão/câmara e da centrífuga, Embrapa Clima Temperado, 2010.....	41
Tabela 7 Coeficientes de correlações entre os métodos para a variável umidade volumétrica dentro de substratos, Embrapa Clima Temperado, 2010.....	42
Tabela 8 Coeficientes de correlações entre os métodos para a variável umidade volumétrica dentro de tensões, Embrapa Clima Temperado, 2010.....	42
Tabela 9 Densidade de partículas e densidade de substratos em kg dm ⁻³ constituídos de diferentes misturas de casca de arroz carbonizada e casca de arroz queimada. Embrapa Clima Temperado, 2010.....	43
Tabela 10 Porosidade total, espaço de aeração, água disponível, água facilmente disponível, água tamponante, água remanescente de substratos constituídos de diferentes misturas de casca de arroz carbonizada e casca de arroz queimada.	

determinados através do método da mesa de tensão/câmara e da centrífuga, Embrapa Clima Temperado, 2010.....47

Tabela 11 Distribuição Percentual de Partículas dos Substratos constituídos de diferentes misturas de casca de arroz carbonizada e casca de arroz queimada, Embrapa Clima Temperado, 2010.....48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1 Caracterização Física de Substratos.....	13
2.2 Densidade do substrato.....	13
2.3 Densidade de partículas.....	14
2.4 Porosidade total.....	15
2.5 Espaço de aeração.....	15
2.6 Capacidade de retenção de água e volume de água disponível.....	16
2.7 Metodologias para caracterização física de substratos orgânicos.....	17
3 METODOLOGIA.....	20
3.1 Metodologia de elaboração dos substratos.....	20
3.2 Determinação da densidade do substrato, densidade de partículas e distribuição do tamanho de partículas.....	21
3.3 Determinação da porosidade total, espaço de aeração, água disponível (água facilmente disponível e água tamponante) e água remanescente.....	21
3.4 Método da Mesa de Tensão (Kiehl, 1979) e da Câmara de Richards (Richards & Fireman, 1943).....	22
3.5 Método da centrífuga (Russel & Richards, 1938).....	24
3.6 Estudo do tempo de centrifugação.....	27
3.7 Delineamento experimental.....	28
4 RESULTADOS.....	29
4.1 Estudo do Tempo de Centrifugação.....	29
4.2. Construção das curvas de retenção de água dos substratos.....	33
4.3 Análise Física de Substratos	43
5 CONCLUSÕES.....	49
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
7ANEXOS.....	53

1 INTRODUÇÃO

A utilização de mudas de alta qualidade, capazes de desenvolver plantas adultas com elevado potencial produtivo, é requisito indispensável para a obtenção de maior produtividade nas culturas. Nesse contexto, a identificação de substratos adequados a um bom desenvolvimento das mudas é fundamental.

O aumento do uso de substratos ocorreu nos últimos anos em função da demanda crescente do mercado de plantas em vasos para ornamentação. Também a mudança no sistema de produção das mudas de hortaliças, passando de canteiros para mudas produzidas em recipientes, fez com que aumentasse a necessidade da produção de substratos adequados. A disponibilidade regional é um fator importante a ser considerado ao se escolher os materiais que irão constituir o substrato. No Rio Grande do Sul, existe uma variada gama de materiais que podem, e são em alguns casos, utilizados como substrato. Dentre esses destaca-se a casca de pínus e a casca de arroz, existindo ainda outros passíveis de utilização, pouco aproveitados devido, principalmente, à falta de informações sobre suas propriedades.

A caracterização física dos substratos é de grande importância, pois uma vez estabelecida a cultura no recipiente, pouco pode-se fazer para uma modificação no meio durante o crescimento das plantas.

Na atualidade a metodologia aplicada na determinação das propriedades físicas dos substratos é a mesma utilizada para solos, encontrando limitações em função de alguns atributos peculiares dos materiais empregados como substratos. Uma dessas limitações, particularmente quando se estuda material elaborado com resíduos vegetais, é a contração do volume que os substratos apresentam a medida que decresce seu teor de água. Essa contração, que na maioria dos solos pode ser desconsiderada, limita a utilização de métodos em que a quantidade de água retida em diferentes tensões é medida com base em um determinado volume da amostra, sendo o volume final da amostra após ser submetida a diferentes tensões, menor que o volume inicial, quando em condições de saturação.

Outro aspecto que restringe à aplicação aos substratos da grande parte da metodologia empregadas na avaliação física dos solos é a configuração do espaço aéreo, que em substratos não apresenta a uniformidade característica dos solos. Um

dos pressupostos assumidos na maioria dos métodos de estudo da curva de retenção de água, é que a tensão exercida na interface entre o material em análise e a superfície extratora, distribui-se uniformemente ao longo de toda a amostra. Esse pressuposto, verdadeiro para solos, nem sempre pode ser assumido para os substratos. A desuniformidade de poros e o grande volume de macroporos presente na maioria dos substratos provoca a descontinuidade do filme de água que envolve as partículas, fazendo com que a tensão exercida no ponto de sua aplicação não se distribua de forma uniforme por toda a amostra.

As restrições existentes para a maioria dos métodos podem não se aplicar para o método da centrífuga. Nesse método, a força centrífuga aplicada para retirada de água distribui-se por toda amostra, variando unicamente com a distância do ponto de aplicação, e sendo independente do tamanho ou distribuição de poros. Por este pressuposto pode-se inferir que o método da centrífuga é o mais adequado para a determinação da curva de retenção de água em substratos.

Os objetivos do trabalho foram desenvolver metodologia para utilização da centrífuga para a determinação da retenção de água em substratos e comparar dois métodos de determinação da curva de retenção de água, em sua aplicação a substratos, o método da mesa de tensão combinado à câmara de pressão de Richards e o método da centrífuga.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Caracterização Física de Substratos

O problema agronômico da produção de plantas em recipientes é o de assegurar condições ótimas à produção de biomassa com um desenvolvimento de raízes restrito a um pequeno volume de substrato.

O desempenho de um substrato encontra-se intimamente relacionado com suas propriedades físicas e químicas, sendo que o conhecimento e estudo prévio destas, além de possibilitar a avaliação de sua qualidade, permite o ajuste às diferentes condições de uso. Tal fato é de extrema relevância, pois problemas decorrentes da falta de qualidade do meio de cultivo dificilmente poderão ser corrigidos após a planta ter sido nele introduzida (VERDONCK et al., 1981).

Embora as propriedades químicas sejam de grande relevância ao desenvolvimento vegetal, as físicas são consideradas mais importantes, pois uma vez que o substrato encontre-se dentro de um recipiente, não será mais possível modificar essas características básicas e, por conseguinte, as relações ar-água do substrato, as quais condicionarão o crescimento radicular. Esse fato contrasta com as propriedades químicas, as quais podem ser modificadas com maior facilidade, em qualquer fase do ciclo produtivo (VERDONCK et al., 1981).

A caracterização física tem por objetivo o estudo da distribuição volumétrica do material sólido, da água e do ar. As principais propriedades físicas que devem ser consideradas na caracterização de um substrato são: densidade, densidade de partículas, porosidade total, espaço de aeração, capacidade de retenção de água e volume de água disponível.

2.2 Densidade do substrato

A densidade do substrato pode ser definida como a relação entre a massa seca em estufa a 105° C e o volume que o substrato ocupa em condições de cultivo. Em geral é expressa em kg dm^{-3} ou g L^{-1} (CALDEVILLA & LOZANO, 1993).

Os valores de densidade são muito variáveis em função do grau de compactação, conteúdo de água e distribuição das partículas por tamanho (WILSON 1983; CALDEVILLA & LOZANO 1993). Quanto maior a densidade do substrato, mais difícil o cultivo de plantas em recipientes, seja por limitações no crescimento e

desenvolvimento das raízes, devido à maior compactação e menor porosidade ou por dificuldade no transporte dos vasos (DE BOOT & VERDONCK, 1972). Substratos muito densos ($> 0,7 \text{ Kg dm}^{-3}$) dificultam as trocas gasosas entre o meio e o ambiente externo, dificultando a oxigenação das raízes e a absorção de água e nutrientes. Já, os substratos com baixa densidade ($< 0,4 \text{ Kg dm}^{-3}$) fornecem pouca estabilidade às plantas, ficando estas sujeitas ao tombamento.

Para Bunt (1973), é necessário que um substrato tenha um determinado valor de densidade para suportar o crescimento da planta, sugerindo que a densidade ideal de um substrato situa-se na faixa entre 0,4 e 0,5 Kg dm^{-3} . Já Kämpf (2000) afirma ser aceitável uma densidade entre 0,1 e 0,3 kg dm^{-3} para plantas cultivadas em vasos de até 15 cm de altura.

2.3 Densidade de partículas

Entende-se por densidade de partículas, a relação entre a massa de uma amostra e o volume ocupado pelas suas partículas sólidas, excluindo-se o espaço poroso entre elas (KIEHL, 1979). Essa densidade geralmente é expressa em kg dm^{-3} ou g L^{-1} .

Nos solos, seus valores variam em média, entre os limites de 2,3 e 2,9 kg dm^{-3} . Como valor médio, para efeitos de cálculo, pode-se considerar a densidade como sendo 2,65 kg dm^{-3} . Isto porque os constituintes minerais predominantes nos solos são o quartzo, feldspatos e os silicatos de alumínio coloidais, cujas densidades estão em torno deste valor, sendo, portanto, a densidade, uma média ponderada da densidade real de todos os seus componentes (KIEHL, 1979).

A densidade de partículas da matéria orgânica varia de 0,6 a 1,0 kg dm^{-3} . Consequentemente, a presença de material orgânico, seja no solo ou substrato, faz com que baixe sensivelmente este valor, principalmente quando o teor de material húmico é superior a 3% (KIEHL, 1979).

A relação da densidade de partículas com as plantas pode ser considerada como sendo indireta (KIEHL, 1979), isso porque os valores altos ou baixos encontrados estão ligados à presença de certos componentes minerais ou orgânicos, os quais podem influenciar mais diretamente no desenvolvimento das plantas.

2.4 Porosidade total

A porosidade total corresponde ao volume de espaços vazios, não ocupados pelos componentes orgânicos e inorgânicos no volume total (ABAD et al., 1992; KIEHL, 1979).

Teoricamente, se um substrato possui elevada porosidade, terá potencial para uma adequada aeração e retenção de água. Porém na prática, essas condições dependem da distribuição e do tamanho dos poros (MINER, 1994). Se um substrato possuir poros muito grandes, estes estarão preenchidos principalmente com ar, podendo ser insuficiente a água retida; ao contrário, se os poros forem excessivamente pequenos, será retida muita água, e a aeração será insuficiente. Nos poros se processam reações biológicas e químicas, como difusão de íons e gases e processos físicos, como retenção de água, todos de vital importância para as plantas (KIEHL, 1979). Uma alta fração de poros é necessária para que as raízes possam ser abundantemente providas de ar e água. Por esse motivo, prefere-se substratos que contenham alta porosidade.

De Boot & Verdonck (1972) consideram como ideal o substrato com espaço poroso total superior a 85% do seu volume, sendo recomendado um mínimo de 70%. Já para os substratos em vaso, a porosidade pode chegar a 95% ou mais (KÄMPF, 2000). As cascas de modo geral, possuem porosidade próxima a 85% (MINER, 1994).

2.5 Espaço de aeração

Denomina-se espaço de aeração, o volume de ar presente no substrato saturado, após sua drenagem, aplicada à força de sucção de uma coluna de água de 10 cm de altura, ou seja, 1 KPa de tensão. (DE BOODT & VERDONCK 1972).

O espaço de aeração é responsável pela disponibilização de oxigênio às raízes, para que sua atividade metabólica e seu crescimento sejam mantidos. Um déficit temporal deste elemento pode reduzir o crescimento das raízes e, conseqüentemente, da parte aérea. O déficit prolongado de oxigênio, além de inibir o crescimento vegetal pode conduzir à morte das plantas.

Para que ocorra um adequado desenvolvimento do sistema radicular e assimilação de água e nutrientes, é necessário um espaço de aeração acima de

10%, significando que 10% do volume total do solo deve ser livre de água (BAVER, 1972). De Boot & Verdonck (1972) consideram que uma ótima aeração deve estar situada na faixa entre 20 e 30% para substratos hortícolas. Paul & Lee (1976) relatam que o conteúdo de ar entre 10 e 15% do volume do substrato foi satisfatório para o crescimento de plantas de crisântemo. Para Pennisgsfeld (1983), um espaço poroso entre 30 e 40% é considerado ideal para plantas ornamentais.

2.6 Capacidade de retenção de água e volume de água disponível

Em substratos, defini-se a capacidade de retenção de água, como a quantidade de água retida por um substrato contido em um recipiente, após o material ter sido saturado com água e deixado drenar livremente. Porém, não é suficiente conhecer somente os valores totais de água contidos em um substrato, pois esta pode apresentar-se retida com uma força superior a da sucção exercida pelas plantas, e não estar acessível. A água deve estar disponível às plantas em baixas tensões, para que não ocorra estresse hídrico ou desvio de energia que seria utilizada para o crescimento e produção de biomassa, para a absorção de água. Isso significa que a sucção no substrato não deve exceder uma tensão correspondente a 100 cm de coluna de água. De Boodt & Verdonck, (1972) estabeleceram como referência os pontos de sucção de 0, 10, 50, e 100 cm de coluna de água, na construção da curva de retenção de água.

No ponto de sucção zero, o substrato encontra-se totalmente saturado, sendo que o volume de água presente indica a porosidade total. A sucção de 10 cm foi escolhida por corresponder à altura média da camada de substrato em que as raízes das plantas ornamentais se desenvolvem em casa de vegetação. O ponto 100 cm foi considerado o limite superior da disponibilidade de água, de forma a se evitar limitações sobre o crescimento das plantas (BELLÉ & KÄMPF, 1990). O volume liberado entre 10 e 100 cm de sucção é considerado como água disponível, sendo este dividido em água facilmente disponível (10 e 50 cm) e água tamponante ou de reserva (50 e 100 cm). Um substrato ideal possui água disponível e água tamponante em torno de 20 a 30%, e 4 a 10%, respectivamente (DE BOODT & VERDONCK, 1972).

A escolha adequada das matérias-primas e o correto manejo dos substratos é fundamental em sistemas de cultivo sem solo, pois diferentes substratos apresentam

diferentes proporções entre a água fracamente e a fortemente retida pelo meio, o que é de extrema importância em um programa de irrigação (MARTINEZ, 1992). Portanto, o fornecimento de água às culturas deve ocorrer com intensidade e frequência apropriados para cada tipo de substrato, de forma a maximizar o crescimento e desenvolvimento das plantas.

2.7 Metodologias para caracterização física de substratos orgânicos

Apesar das pesquisas desenvolvidas até o momento indicarem a possibilidade de utilização da mesma metodologia para a determinação das propriedades físicas, tanto dos solos quanto dos substratos orgânicos, características particulares destes, como a deformação da amostra após a secagem e a descontinuidade do filme de água que envolve suas partículas sólidas, impõem a necessidade de estudos para gerar e adaptar métodos próprios e específicos que garantam resultados confiáveis quanto à caracterização física dos materiais utilizados como substratos.

Atualmente a metodologia aplicada na determinação das propriedades físicas dos substratos é a mesma utilizada para solos, encontrando limitações em função de alguns atributos peculiares dos materiais empregados como substratos. Uma dessas limitações, particularmente quando se estuda material elaborado com resíduos vegetais, é a contração do volume que os substratos apresentam a medida que decresce seu teor de água. Essa contração, que na maioria dos solos pode ser desconsiderada, limita a utilização de métodos em que a quantidade de água retida em diferentes tensões é medida com base em um determinado volume da amostra, sendo o volume final da amostra após ser submetida a diferentes tensões, menor que o volume inicial, quando em condições de saturação.

Outro aspecto que restringe à aplicação aos substratos da grande parte da metodologia empregadas na avaliação física dos solos é a configuração do espaço aéreo, que em substratos não apresenta a uniformidade característica dos solos. Um dos pressupostos assumidos na maioria dos métodos de estudo da curva de retenção de água, é que a tensão exercida na interface entre o material em análise e a superfície extratora, distribui-se uniformemente ao longo de toda a amostra. Esse pressuposto, verdadeiro para solos, nem sempre pode ser assumido para os substratos. A desuniformidade de poros e o grande volume de macroporos presente na maioria dos substratos provoca a descontinuidade do filme de água que envolve

as partículas, fazendo com que a tensão exercida no ponto de sua aplicação não se distribua de forma uniforme por toda a amostra.

Algumas metodologias foram desenvolvidas para a caracterização física de substratos orgânicos (RICHARDS & FIREMAN, 1943; DE BOODT & VERDONCK, 1972, KIEHL, 1979). Essas metodologias diferem daquelas aplicadas aos solos somente pelas tensões menores a qual são submetidas as amostras de substratos para a confecção da curva de retenção de água, ocorrendo igualmente as limitações de contração de volume final da amostra e descontinuidade do filme de água que envolve as partículas do substrato. Portanto, apesar desses métodos tradicionais ainda serem amplamente utilizados nas pesquisas até os dias atuais, pode-se inferir que seus resultados provavelmente não expressam a condição real das propriedades físicas dos materiais orgânicos analisados, gerando dados imprecisos para a comunidade científica, que muitas vezes não condizem com a resposta das plantas durante o ciclo de cultivo.

As restrições existentes para a maioria dos métodos podem não se aplicar para o método da centrífuga (RUSSEL & RICHARDS, 1938). Nesse método, a força centrífuga aplicada para retirada de água distribui-se por toda amostra, variando unicamente com a distância do ponto de aplicação, e sendo independente do tamanho ou distribuição de poros. Por este pressuposto, pode-se inferir que o método da centrífuga seria o mais adequado para a determinação da curva de retenção de água em substratos.

A técnica da centrifugação de amostras de solo para determinar a relação entre o conteúdo de umidade e a tensão com que ela está retida no solo é bastante antiga (BRIGGS & MCLANE, 1910 apud SILVA & AZEVEDO, (2001)) e tem sido objeto de vários estudos (ODÉN, 1976 apud SILVA & AZEVEDO, (2001); FREITAS JÚNIOR & SILVA, 1984). Estes autores mostraram as limitações e potencialidades da utilização da centrifugação para determinação da curva de retenção da umidade do solo em laboratório. Nessa técnica, a etapa inicial consiste em preparar as amostras de solo ou substrato e colocá-las em anéis metálicos. Esses anéis são acondicionados, perfeitamente encaixados em cilindros de alumínio. Na parte superior do cilindro é colocada uma tampa e na parte inferior uma placa perfurada para saída de água. Este conjunto é colocado horizontalmente em uma centrífuga, acionando-se uma determinada rotação. A força centrífuga atua movimentando a água da parte mais

interna, próxima ao eixo da centrífuga, para a mais externa, quando a água é liberada da amostra através das placas perfuradas. As rotações programadas na centrífuga referem-se às tensões utilizadas pelos métodos de análise física de solos. Entre as vantagens reconhecidas desse método, destaca-se a rapidez na obtenção do equilíbrio da umidade no solo submetido à centrifugação, normalmente menos de seis horas, em média duas a três horas (ODÉN, 1976, apud SILVA & AZEVEDO, 2001) FREITAS JÚNIOR & SILVA, 1984). O método da câmara de Richards (RICHARDS & FIREMAN, 1943) envolve períodos de, no mínimo, 24 horas para o equilíbrio.

De acordo com o método desenvolvido por Russel & Richards (1938), o período de centrifugação necessário para obtenção do equilíbrio da umidade no solo, em dada rotação, é fator determinante da precisão da curva de retenção. Baseado nesse pressuposto, Odén (1976), apud Silva & Azevedo (2001), recomendou períodos de centrifugação variando de 5 a 60 minutos, dependendo da faixa de tensão desejada, ressaltando, contudo, que esse período depende da composição granulométrica dos solos. Freitas Júnior & Silva (1984) analisaram o efeito do período de centrifugação em amostras de um Latossolo Vermelho do Cerrado e sugeriram que três horas são necessárias para determinar a curva de retenção da umidade no solo em uma única operação, utilizando a técnica do fatiamento de amostras de solo. Silva e Azevedo (2001), após analisarem diferentes solos do cerrado brasileiro, recomendam um período superior a duas horas de centrifugação para cada tensão desejada.

Na determinação da curva de retenção de água em um dos métodos mais comuns são usados dois equipamentos diferentes, mesa de tensão combinada com câmara de Richards. O modo de retirada de água da câmara assemelha-se mais com a centrífuga do que com a mesa de tensão, já que a água é retirada por pressão, enquanto que na mesa é por tensão, ou seja, pressão negativa. Outra semelhança é que na centrífuga assim como na câmara, os fatores externos, como temperatura do ar e a umidade relativa, não interferem na retirada de água da amostra.

3 METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido na Embrapa Clima Temperado, no Laboratório de Física do Solo e na Estação Experimental Cascata localizada no município de Pelotas, RS, durante os anos de 2007 a 2010.

3.1 Metodologia de elaboração dos substratos

Os substratos estudados foram elaborados a partir de casca de arroz queimada e casca de arroz carbonizada, em diferentes proporções com 0, 25, 50, 75% desses elementos na mistura. Entende-se por casca carbonizada aquela que passou pela carbonização em equipamento apropriado, tonel carbonizador, com controle da entrada e saída de ar durante o processo, o que garante a homogeneidade do material obtido (MEDEIROS, 1998). O material final sofre redução de volume em torno de 20-30%, mas a estrutura morfológica da casca carbonizada, ao final do processo, é semelhante a da casca de arroz crua. Denomina-se de casca queimada o resíduo da casca de arroz incinerada para produção de energia, cuja granulometria é menor do que a casca de arroz carbonizada e na qual não se mantém a estrutura morfológica da casca de arroz crua. Esse material apresenta textura mais fina que a carbonizada, sem, contudo ter atingido o ponto de cinza.

Os substratos resultantes das diferentes misturas encontram-se descritos na Tabela 1.

Tabela 1: Substratos constituídos de casca de arroz carbonizada e casca de arroz queimada em diferentes proporções. Embrapa Clima Temperado, 2010.

Substratos	Composição
100% CAC	100% Casca de arroz carbonizada
75%CAC+25%CAQ	75% Casca de arroz carbonizada + 25% casca de arroz queimada
50%CAC+50%CAQ	50% Casca de arroz carbonizada + 50% casca de arroz queimada
25%CAC+75%CAQ	25% Casca de arroz carbonizada + 75% casca de arroz queimada
100%CAQ	100% Casca de arroz queimada

3.2 Determinação da densidade do substrato, densidade de partículas e distribuição do tamanho de partículas

A densidade do substrato foi determinada segundo Trombetta et al. (1992), e a densidade de partículas através da metodologia do balão volumétrico proposto por Kiehl (1979).

A distribuição do tamanho de partículas, ou análise granulométrica, foi determinada utilizando-se amostras de 100 gramas de substrato seco ao ar. As amostras foram colocadas em peneiras metálicas sobrepostas, acopladas a um sistema mecânico de agitação (MARTÍNEZ FARRÉ, 1992). As peneiras utilizadas neste trabalho foram dispostas na sequência decrescente 4; 2; 1; 0,5; 0,25 e 0,125 mm de abertura. O tempo de agitação foi de dez minutos na frequência intermitente máxima do equipamento.

3.3 Determinação da porosidade total, espaço de aeração, água disponível (água facilmente disponível e água tamponante) e água remanescente

As determinações de porosidade total (PT), espaço de aeração (EA), água disponível (AD), água facilmente disponível (AFD) e água tamponante (AT) e água remanescente (AR) foram realizadas utilizando-se a metodologia proposta por De Boot & Verdonck (1972). Os valores de retenção de água a partir de sucções equivalentes aos pontos de tensão 10 e 50 cm de coluna de água (1 e 5 KPa) foram determinados pelo método da mesa de tensão (KIEHL, 1979), e a 100 cm (10 KPa) pelo método da câmara de Richards (Richards & Fireman, 1943).

Os percentuais de água retidos (massa) em cada ponto de tensão foram convertidos para termos volumétricos, através da seguinte fórmula:

$$\theta = (Ma/Va) \times 100$$

Onde:

θ = umidade volumétrica ($m^3 m^{-3}$);

Ma = massa de água;

Va = volume da amostra.

A partir dos percentuais volumétricos de água retida, foram obtidos os seguintes parâmetros:

- Porosidade total (PT): corresponde à umidade em porcentagem de volume contido no ponto de saturação (tensão 0 kPa), ou seja, representa o volume total do substrato não ocupado por partículas sólidas;
- Espaço de aeração (EA): representado pela diferença obtida entre porosidade total (tensão 0 KPa) e a umidade em porcentagem de volume na tensão de 10 cm (1 KPa);
- Água disponível (AD): representada pela diferença de umidade, em porcentagem de volume, obtida entre os pontos de 10 e 100 cm (1 e 10 KPa) de tensão;
- Água facilmente disponível (AFD): representada pela diferença de umidade, em porcentagem de volume, obtida entre os pontos de 10 e 50 cm (1 e 5 KPa) de tensão;
- Água tamponante (AT): representada pela diferença de umidade, porcentagem de volume, obtida entre os pontos de 50 e 100 cm (5 e 10 KPa) de tensão;
- Água remanescente (AR): representada pela umidade, em porcentagem de volume, que permanece nos substrato após este ter sido submetido a uma tensão de 100 cm (10 KPa) de coluna de água.

Foram comparados dois métodos para a determinação da curva de retenção de água. Em um dos métodos foram utilizados a mesa de tensão (KIEHL, 1979) combinada com a câmara de Richards e no outro a centrífuga (RUSSEL & RICHARDS, 1938), descritos a seguir:

3.4 Método da Mesa de Tensão (Kiehl, 1979) e da Câmara de Richards (Richards & Fireman, 1943)

Neste método os valores de retenção de água obtidos até 5 KPa foram determinados através da mesa de tensão, conforme a metodologia descrita por Kiehl (1979). Os valores correspondentes ao ponto 10 KPa de tensão foram determinados através do método da câmara de Richards descrito por Richards & Fireman (1943).

Procedimento:

- 1) Colocou-se a amostra em um anel metálico apropriado com capacidade de 100 cm³;
- 2) Em torno da extremidade inferior do anel colocou-se um disco de tecido preso firmemente com um atilho de borracha;

- 3) Procedeu-se a saturação da amostra por capilaridade, colocando-a numa bandeja plástica e adicionando água aos poucos, até que o nível da lâmina de água ficasse um pouco abaixo da superfície superior da amostra. Deixou-se as amostras na água por um período mínimo de 12 horas, para garantir a completa saturação do material, eliminando assim todo o ar aprisionado entre as partículas sólidas do substrato;
- 4) Após o período de saturação, retirou-se a amostra da bandeja, secando o excesso de água e pesando em balança digital, obtendo-se assim o peso da amostra saturada;
- 5) Colocou-se a amostra na mesa de tensão previamente preparada, ajustando o nível de saída de água para 10 cm abaixo da amostra, o que correspondeu a uma tensão de 1 KPa, e aguardou-se o equilíbrio entre a água retida na amostra e a sucção aplicada. Foi considerado como ponto de equilíbrio quando havia interrupção da saída de água da amostra;
- 6) A amostra foi retirada da mesa de tensão e pesada, obtendo-se assim o teor de água retida à tensão de 1 KPa;
- 7) A amostra foi ressaturada e colocada novamente na mesa de tensão para se obter o teor de água retido a uma tensão de 5 KPa. Os demais procedimentos seguiram aqueles já descritos nos itens 5 e 6, ajustando-se o nível da saída de água;
- 8) A amostra foi ressaturada e colocada sobre a placa porosa da câmara de Richards, a qual já estava previamente saturada, tendo-se o cuidado de garantir um bom contato da amostra com a placa;
- 9) Fechou-se a câmara de Richards de modo a não permitir vazamentos, e acionou-se o sistema de controle de pressão para 10 KPa;
- 10) Após o estabelecimento do equilíbrio, interrupção da saída de água, a amostra foi retirada da câmara de Richards e pesada, obtendo-se o teor de água retido a 10 KPa;
- 11) Colocou-se o anel contendo a amostra de substrato em estufa com circulação forçada de ar, a temperatura de 65° C, a fim de se obter o peso seco do material, tendo-se o cuidado de retirar antes da pesagem o tecido e o atilho de borracha, cujo peso foi posteriormente incluído no cálculo;
- 12) Para o cálculo da umidade volumétrica utilizou-se a fórmula descrita no item 3.3.

3.5 Método da centrífuga (Russel & Richards, 1938)

Como etapa inicial, calculou-se as rotações a serem utilizadas na centrífuga para se obter as tensões pré-determinadas de 1, 5 e 10 KPa.

O cálculo foi baseado no trabalho de Silva & Azevedo (2001), utilizando-se a seguinte fórmula:

$$\omega = K\sqrt{h}$$

Onde:

ω = velocidade angular em rpm;

h = tensão em KPa

$K = 238,16$, em unidades convenientemente transformadas de modo que o valor da rotação resultasse em rpm para uma tensão dada em KPa. Essa constante pode ser calculada pela seguinte equação:

$$K = \frac{60}{2\pi} \sqrt{\frac{6 \times 981 \times 10,1957}{L(3 Re - L)}}$$

Onde L é o comprimento da amostra do substrato e Re o raio do ponto mais externo da amostra, medido do ponto central da centrífuga.

A partir dos cálculos efetuados, conduziu-se o estudo aplicando-se três rotações (238,16; 532,54; 753,12 rpms), correspondentes às tensões médias de 1 KPa, 5 KPa e 10 KPa. Para cada rotação utilizou-se quatro amostras para cada tipo de substrato. Para cada tensão utilizou-se os tempos de centrifugação de 15, 30, 60, 120, 180, 240, 300, 360, 420 minutos. Determinou-se, por meio de pesagem, o conteúdo de água remanescente nas diferentes amostras de substratos. As figuras de 1 a 5 ilustram o método da centrifugação.

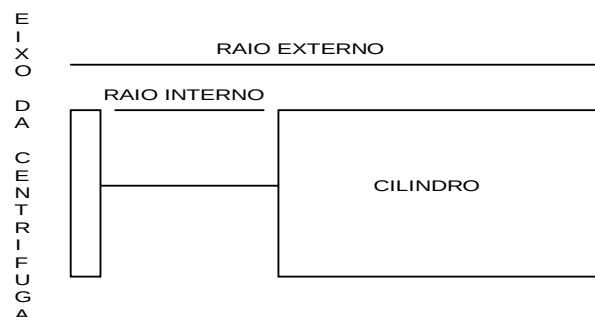


Figura 1: Esquema da posição do conjunto cilindro/ anel no interior da centrífuga.

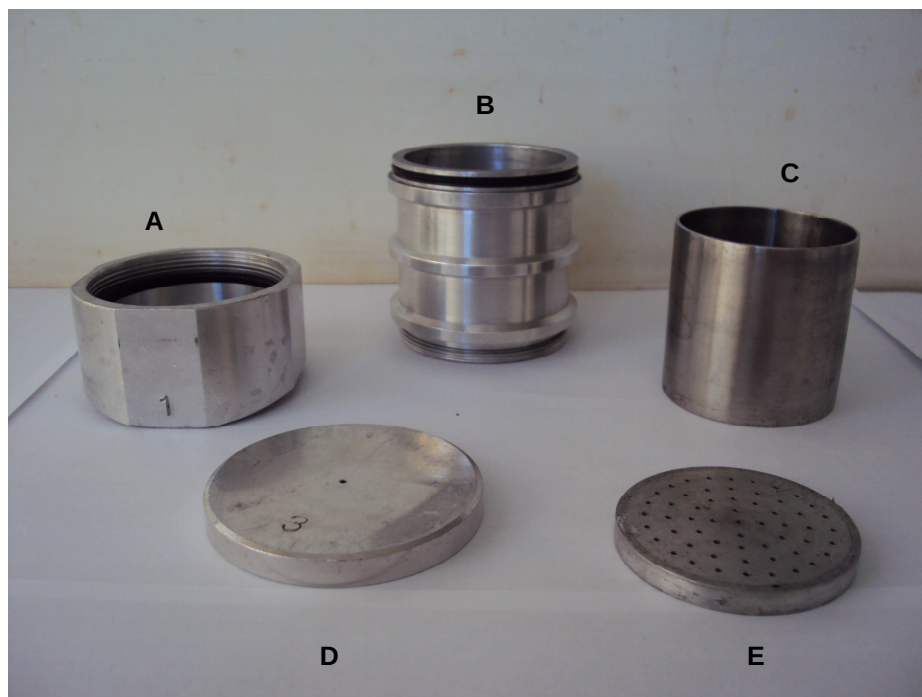


Figura 2: Peças constituintes do cilindro, A: Tampa inferior, B: Cilindro, C: Anel, D: Tampa superior, E: Disco perfurado.



Figura 3: Cilindro utilizado para a centrifugação das amostras.

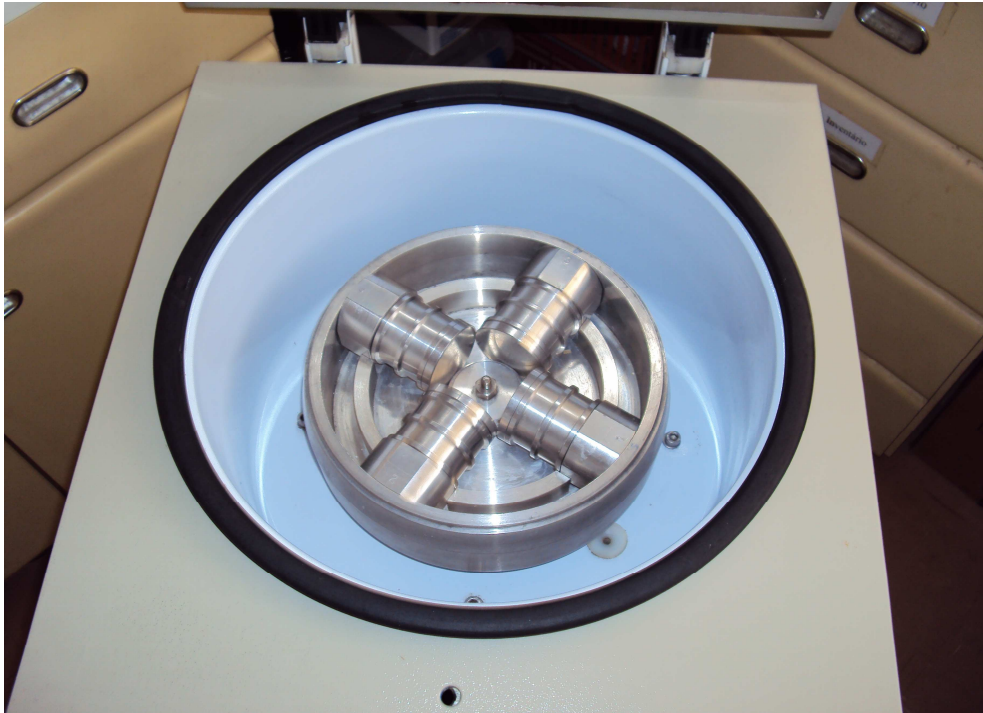


Figura 4: Posição dos cilindros no interior da centrífuga.



Figura 5: Painel de controle da centrífuga.

Procedimentos:

- 1) Colocou-se a amostra em um anel metálico apropriado com capacidade aproximada de 100 cm^3 ;

- 2) Na extremidade inferior colocou-se um disco de alumínio perfurado (Fig.2E) com diâmetro igual ao do anel ao qual foi preso firmemente com fita adesiva;
- 3) Procedeu-se a saturação da amostra por capilaridade, conforme descrito no item 3.4;
- 4) Após a saturação, retirou-se a amostra da bandeja, secando o excesso de água e pesando em balança digital, obtendo-se assim o peso da amostra saturada;
- 5) Logo em seguida, colocou-se o conjunto anel mais o disco perfurado no cilindro de centrifugação (Fig.2 C, E e Fig. 2 B);
- 6) O cilindro foi colocado no cabeçote da centrífuga, procedendo-se à centrifugação até o ponto de equilíbrio, para a tensão desejada;
- 7) Após cada período de centrifugação pesou-se o conjunto, para a determinação da quantidade de água em cada tensão aplicada e retornou-se o material para a centrífuga;
- 8) Repetiu-se a operação para todas as tensões;
- 9) Após o período de centrifugação final o anel foi retirado, pesado e colocado em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 65° C, até peso constante, para a determinação do peso seco do substrato;
- 10) Os percentuais de água retidos (massa) em cada ponto de tensão foram convertidos para termos volumétricos de acordo com a fórmula descrita no item 3.3.

3.6 Estudo do tempo de centrifugação

Para determinar o tempo necessário de centrifugação, em cada tensão, a fim de obter-se o equilíbrio de umidade na amostra, estabeleceu-se o tempo inicial de centrifugação de 15 min, pesando-se o conjunto e deixando-se mais 15 minutos para completar então 30 minutos de centrifugação, pesando-se novamente o conjunto. Após este procedimento, centrifugou-se a amostra por mais 30 minutos para completar 1 hora, anotando-se o peso do conjunto ao final da centrifugação. Após a primeira hora, os intervalos entre as centrifugações foram aumentados para 1 hora até completar 7 horas, totalizando 10 tempos a saber 0, 15, 30, 60, 120, 180, 240, 300, 360 e 420 minutos. Todos os tempos de centrifugação foram repetidos para as três velocidades (238,16; 532,54 e 753,12 rpms), calculadas com o auxílio da fórmula apresentada no item 3.3. Cada rotação correspondeu a uma tensão. Esta estratégia foi adotada para verificar o momento em que a percentagem de água extraída da amostra não fosse significativa para a tensão trabalhada.

Quatro amostras dos cinco substratos (100%CAC, 75%CAC+25%CAQ, 50%CAC+50%CAQ, 25%CAC+75CAQ% e 100%CAQ) foram submetidos as três tensões (1 KPa, 5 KPa e 10 KPa).

3.7 Delineamento experimental

No estudo do tempo de centrifugação, para cada tempo e para cada substrato a unidade experimental constituiu-se de quatro anéis contendo as amostra. A análise estatística foi feita individualmente para cada tensão, 1, 5 e 10 KPa. Os tratamentos, portanto, constituíram-se de 10 tempos de centrifugação, cinco tipos de substratos em um arranjo fatorial 10 x 5, com quatro repetições, utilizando-se um delineamento experimental completamente casualizado.

No estudo de comparação entre métodos considerou-se três fatores, fator 1: método de análise (mesa/câmara e centrifuga), fator 2: tensões (1, 5 e 10 KPa), fator 3: tipo de substrato (100%CAC, 75%CAC+25%CAQ, 50%CAC+50%CAQ, 25%CAC+75CAQ% e 100%CAQ), com quatro repetições, em um fatorial 2 x 3 x 5. O delineamento experimental utilizado foi completamente casualizado. Como no estudo anterior, a unidade experimental constituiu-se de quatro anéis contendo as amostras.

Nos dois estudos, a análise da variância foi feita utilizando o programa SANEST (ZONTA & MACHADO, 1984) e a comparação de médias foi feita pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

4 RESULTADOS

4.1 Estudo do Tempo de Centrifugação

Um dos objetivos do presente trabalho foi estabelecer a metodologia para a determinação da curva de retenção de água em substratos com a utilização do método da centrífuga. Como não existem dados de literatura a respeito, a primeira questão que teve que ser respondida, refere-se ao tempo de centrifugação dos materiais trabalhados, para cada tensão desejada, ou seja, foi necessário estabelecer o tempo de centrifugação capaz de extrair toda água retida na tensão aplicada à amostra, considerando-se o ponto de equilíbrio, quando tempos adicionais de centrifugação extraíam quantidades insignificantes de água.

O estudo foi conduzido tendo como base inicial o trabalho desenvolvido por Silva & Azevedo (2001), para estabelecimento da curva de retenção de água de um Latossolo, no qual foram utilizados oito tempos de centrifugação até a completa extração de água na tensão aplicada.

No presente estudo, após aplicados os tempos de centrifugação de 0, 15, 30, 60, 120, 180, 240, 300, 360 e 420 minutos nos cinco substratos, verificou-se que não seria necessário um tempo maior que o de duas horas de centrifugação das amostras, para que quase a totalidade de água fosse retirada na tensão executada.

Para a tensão de 1 KPa (Tabela 2), observou-se uma interação significativa entre os substratos x tempo de centrifugação, isto é, os substratos apresentaram respostas diferentes para os diferentes tempos de centrifugação. O substrato 75%CAC+25%CAQ quando saturado, não diferiu em termos de umidade volumétrica, dos substratos 100%CAC e 50%CAC+50%CAQ. Os demais diferiram-se entre si, em todos os tempos de centrifugação.

Para o substrato 100%CAC nesta tensão, a partir de 120 até 420 minutos de centrifugação observou-se que não houve diferenças significativas na extração de água, ou seja a amostra entrou em equilíbrio a partir de 120 minutos para a tensão aplicada. Comportamento semelhante apresentou o substrato 75%CAC+25%CAQ e o 100%CAQ. No caso do substrato 50%CAC+50%CAQ os dados mostram que 15 minutos de centrifugação foi o suficiente para a amostra entrar em equilíbrio. Não se tem uma explicação para o comportamento diferencial apresentado por esse

substrato, o qual merece ser investigado. Para o substrato 25%CAC+75%CAQ, o tempo requerido para o equilíbrio foi maior, o qual foi obtido a partir de 180 minutos de centrifugação.

Como pode ser observado pelos dados apresentados, para a tensão de 1 KPa o tempo de centrifugação de 120 minutos não diferiu do tempo de 420 minutos em relação à água volumétrica retida na amostra após aplicada a tensão, para todos os substratos, com exceção do substrato 25%CAC+75%CAQ. Nesse último caso nos tempos de 360 e 420 minutos o volume de água retido na amostra foi menor do que aquele retido no tempo 120 minutos. Não se tem uma explicação lógica para esse resultado, pois um tempo maior de centrifugação para atingir o equilíbrio seria esperado no substrato 100%CAQ pela maior porcentagem de partículas menores, que deveria aumentar a tensão de retenção de água no substrato. Para esse substrato, o pequeno diferencial de volume de água retido na amostra entre os tempos 120 e 420 minutos (4 %) num tempo adicional de 5 horas de centrifugação, justifica a adoção do tempo de 120 minutos como tempo de equilíbrio da amostra para a referida tensão de 1 KPa.

Tabela 2: Umidade volumétrica em percentagem retida em diferentes substratos submetidos a diferentes tempos de centrifugação, na tensão de 1 KPa, Embrapa Clima Temperado, 2010.

Tempos	Substratos				
	100%CAC	75%CAC+25%CAQ	50%CAC+50%CAQ	25%CAC+75%CAQ	100%CAQ
.....Umidade volumétrica (%).....					
0 min	72,19 aD	74,40 aCD	72,87 aC	77,07 aB	81,42 aA
15 min	20,25 bE	39,92 bD	54,90 bC	73,00 bB	79,65 abA
30 min	19,50 bcE	39,22 bcD	54,57 bC	72,09 bcB	78,90 bcA
60 min	18,92 bcdE	38,79 bcdD	54,40 bC	71,17 bcdB	78,25 bcdA
120 min	17,87 cdeE	38,27 bcdeD	54,22 bC	70,57 cdB	77,60 bcdeA
180 min	17,30 cdeE	37,90 bcdeD	53,87 bC	69,87 deB	77,07 cdeA
240 min	17,07 deE	37,55 cdeD	53,82 bC	69,65 deB	76,62 cdeA
300 min	16,47 eE	37,12 cdeD	53,52 bC	68,90 deB	76,15 deA
360 min	16,07 eE	36,65 deD	53,17 bC	68,25 eB	75,69 eA
420 min	15,72 eE	36,27 eD	52,90 bC	67,74 eB	75,37 eA

Média seguidas pela mesma letra dentro da coluna e maiúscula dentro da linha não apresentavam diferenças significativas pelo teste de Duncan ($P>0.05$). 100%CAC = 100% de casca de arroz carbonizada, 75%CAC+25%CAQ = 75% de casca de arroz carbonizada +25 % de casca de arroz queimada, 50%CAC+50%CAQ =50% de casca de arroz carbonizada +50 % de casca de arroz queimada, 25%CAC+75 CAQ = 25% de casca de arroz carbonizada +75 % de casca de arroz queimada, 100%CAC = 100% de casca de arroz queimada.

Na tensão de 5 KPa (Tabela 3) a interação substrato x tempo de centrifugação não foi significativa, isto é, todos os substratos apresentaram comportamentos semelhantes para os diferentes tempos. O tempo de centrifugação de 30 minutos foi suficiente para que a amostra entrasse em equilíbrio, isto é, a partir desse período, tempos adicionais de centrifugação não extraíram quantidades significativas de água.

Tabela 3: Umidade volumétrica em percentagem retida em diferentes substratos, submetidos a diferentes tempos de centrifugação, na tensão de 5 KPa, Embrapa Clima Temperado, 2010.

Tempos	Substratos*				
	100%CAC	75%CAC+25%CAQ	50%CAC+50%CAQ	25%CAC+75%CAQ	100%CAQ
.....Umidade volumétrica (%).....					
0 min	64,80 a	71,02 a	71,87 a	77,32 a	80,50 a
15 min	14,30 b	19,42 b	24,47 b	29,67 b	31,80 b
30 min	13,45 bcd	18,32 bcd	23,67 bcd	28,65 bcd	30,50 bcd
60 min	13,07 bcd	17,42 bcd	23,00 bcd	28,05bcd	30,12 bcd
120 min	12,12 cd	16,17 cd	21,90 cd	27,22 cd	29,42 cd
180 min	11,87 cd	16,30 cd	21,37 cd	26,97 cd	29,07cd
240 min	11,62 d	16,05 d	21,05 d	26,70 d	28,82 d
300 min	11,52 d	15,85 d	20,80 d	26,40 d	28,67 d
360 min	11,42 d	15,77 d	20,70 d	26,25 d	28,55 d
420 min	11,40 d	15,70 d	20,65 d	26,07 d	28,37 d

Média seguidas pela mesma letra dentro da coluna, não apresentavam diferenças significativas pelo teste de Duncan ($P>0.05$). * Diferença não significativa entre substratos. 100%CAC = 100% de casca de arroz carbonizada, 75%CAC+25%CAQ = 75% de casca de arroz carbonizada +25 % de casca de arroz queimada, 50%CAC+50%CAQ =50% de casca de arroz carbonizada +50 % de casca de arroz queimada, 25%CAC+75 CAQ = 25% de casca de arroz carbonizada +75 % de casca de arroz queimada, 100%CAQ = 100% de casca de arroz queimada.

Da mesma forma que para 1 KPa, na tensão de 10 KPa (Tabela 4) observou-se interação significativa entre substrato e tempo de centrifugação. Como esperado o volume de água retido tendeu a ser maior nos substratos com maior percentual de casca queimada, devido provavelmente, ao maior percentual de partículas pequenas.

Nessa tensão, o substrato 100%CAC apresentou comportamento diferente dos demais. Para este substrato um tempo de centrifugação de 15 minutos foi suficiente para promover o equilíbrio da amostra em relação a extração de água. Os substratos 75%CAC+25%CAQ, 50%CAC+50%CAQ e 100%CAQ, apresentaram comportamentos semelhantes, onde a partir de 120 minutos de centrifugação não se observou perda significativa de água na tensão aplicada. Para o substrato

25%CAC+75%CAQ a estabilização foi obtida em 60 minutos. Esse comportamento é semelhante aos resultados obtidos por Silva & Azevedo, 2001, ao analisar três tipos de Latossolo Vermelho Amarelo, sendo indicado o tempo de centrifugação de 60 a 120 minutos.

Tabela 4: Umidade volumétrica em percentagem retida em diferentes substratos submetidos a diferentes tempo de centrifugação, na tensão de 10 KPa, Embrapa Clima Temperado, 2010.

Tempos	Substratos				
	100%CAC	75%CAC+25%CAQ	50%CAC+50%CAQ	25%CAC+75%CAQ	100%CAQ
.....Umidade volumétrica (%).....					
0 min	58,22 aE	75,92 aD	73,90 aC	79,15 aB	81,87 aA
15 min	8,750 bD	18,00 bC	19,52 bBC	20,70 bAB	21,95 bA
30 min	7,850 bD	15,67 cC	18,30 bcB	19,82 bcAB	21,02 bcA
60 min	7,320 bD	14,72 cdC	17,35 cdB	19,17 bcdA	20,27 bcdA
120 min	7,020 bD	14,02 cdeC	16,65 cdeB	18,42 cdA	19,42 cdeA
180 min	6,920 bD	13,40 deC	16,15 deB	18,02 cdA	18,90 deA
240 min	6,800 bD	13,05 deC	15,90deB	17,85 dA	18,87 deA
300 min	6,770 bD	12,70 eC	15,42 deB	17,72 dA	18,35 deA
360 min	6,750 bD	12,57 eC	15,22 eB	17,62 dA	18,12 eA
420 min	6,720 bD	12,45 eC	15,07 eB	17,57 dA	18,10 eA

Média seguidas pela mesma letra minúscula dentro da coluna e maiúscula dentro da linha não apresentavam diferenças significativas pelo teste de Duncan ($p>0.05$). 100%CAC = 100% de casca de arroz carbonizada, 75%CAC+25%CAQ = 75% de casca de arroz carbonizada +25 % de casca de arroz queimada, 50%CAC+50%CAQ =50% de casca de arroz carbonizada +50 % de casca de arroz queimada, 25%CAC+75 CAQ = 25% de casca de arroz carbonizada +75 % de casca de arroz queimada, 100%CAC = 100% de casca de arroz queimada.

Para todos os substratos estudados, observa-se nos gráficos construídos a partir dos dados de água volumétrica x tempo de centrifugação (anexos) um paralelismo na curva de resposta a partir de determinado tempo de centrifugação. Comportamento semelhante foi obtido por Freitas Jr. & Silva (1984) em um Latossolo Vermelho Escuro dos Cerrados, para o qual indicaram o período de três horas de centrifugação como o mais adequado para este tipo solo.

Resultado já esperado, o tempo de centrifugação identificado neste estudo foi menor do que aquele indicado para solos de um modo geral (SILVA E AZEVEDO, 2002, FREITAS JR. & SILVA,1984), uma vez que estes substratos apresentavam baixa retenção de água em função da elevada macroporosidade (dados não apresentados).

Neste trabalho observou-se de forma geral uma variação de resposta, em termos de água volumétrica retida, dependendo da granulometria de cada substrato. A medida que aumentou no substrato a percentagem de partículas menores, com o aumento da proporção de CAQ, aumentou o percentual de água retida na amostra, com o mesmo tempo de centrifugação (Tabelas 2, 3 e 4). Esses aumentos foram maiores nas tensões mais baixas, reduzindo-se nas tensões mais elevadas.

A análise geral dos dados referentes aos tempos de centrifugação aplicados aos diferentes substratos permite concluir que o período de 120 minutos é adequado a quase totalidade dos substratos estudados. A exceção aconteceu no substrato 25%CAC+75%CAQ, na tensão de 1 KPa onde somente a partir de 180 minutos de centrifugação obteve-se o ponto de equilíbrio. No entanto, como já mencionado anteriormente, o pequeno volume de água extraído com a centrifugação adicional de quatro horas, justifica a adoção do tempo de 120 minutos como padrão.

Por outro lado, embora para a tensão de 5 KPa, 60 minutos de centrifugação tenham sido suficientes para a obtenção do equilíbrio em termos de extração de água, optou-se por manter a padronização do tempo em 120 minutos para todos os substratos, nos estudos de comparação entre os métodos de construção da curva de retenção de água.

Saliente-se que os tempos de centrifugação estabelecidos neste trabalho, como aqueles adequados para a obtenção do equilíbrio da amostra em relação à água volumétrica retida na tensão aplicada, estão em concordância com os dados de Silva e Azevedo (2001), que foram de 60 aos 120 minutos para um Latossolo e Neossolo e de 120 a 180 minutos para um Latossolo Vermelho Argiloso.

4.2. Construção da curva de retenção de água dos substratos

Dentre as propriedades físico-hídricas do solo, uma de difícil caracterização tanto pelo tempo consumido nas análises, quanto pela intrínseca modificação da amostra pela histerese, é a curva de retenção de água (MORAES & LIBARDI, 1993).

A retenção de água é afetada por alguns fatores, como a distribuição relativa do tamanho, da forma e do arranjo das partículas, ocasionando diferentes comportamentos hídricos nos solos. Muito embora exista uma imensa variação na combinação desses fatores, determinando diferentes tipos de solos, após

estabelecidas as proporções, dentro da mesma camada de solo, este comportamento é praticamente constante.

A dinâmica da água em substratos é muito distinta daquela existente no perfil do solo. Sabe-se que o volume de água que permanece no solo é função do tamanho e do volume dos poros e portanto varia de acordo com a gênese do solo. Enquanto no solo existe um contínuo fluxo de água através dos poros, nos substratos esta continuidade de poros muitas vezes não é observada, já que se trata de material não homogêneo por formação.

Um dos pressupostos assumidos na maioria dos métodos de estudo da curva de retenção de água é que a tensão exercida na interface entre o material em análise e a superfície extratora distribui-se uniformemente ao longo de toda a amostra. Esse pressuposto, verdadeiro para solos, nem sempre pode ser assumido para os substratos. A desuniformidade de poros e o grande volume de macroporos presente na maioria dos substratos provoca a descontinuidade do filme de água que envolve as partículas, fazendo com que a tensão exercida no ponto de sua aplicação muitas vezes não se distribua de forma uniforme por toda a amostra.

O pressuposto assumido neste estudo é de que a curva de retenção de água em substratos supera as dificuldades enfrentadas pelos métodos tradicionais, relativa a desuniformidade de poros.

Para construção da curva de retenção de água, através do método da centrífuga, adotou-se como padrão, a partir dos dados obtidos anteriormente, o período de duas horas de centrifugação ininterrupta, embora a maior parte dos substratos requeressem tempo menor para a completa extração de água, na tensão aplicada. A partir desse padrão construiu-se a curva de retenção de água para os substratos, permitindo assim, um estudo comparativo dos resultados encontrados através da centrífuga, com os métodos tradicionais, a mesa de tensão e a câmara de Richards.

Saliente-se que no método da centrífuga, os três pontos de tensão, 1, 5 e 10 KPa, foram obtidos no mesmo equipamento, enquanto que a mesa de tensão foi utilizada para obter apenas os valores de umidade dos pontos de 1 e 5 KPa, sendo que a câmara de Richards foi usada complementarmente para o ponto de maior tensão de 10 KPa.

Pode-se observar nas Figuras de 6 a 10 que existe uma similaridade entre as curvas construídas a partir dos dados obtidos com a centrífuga e aqueles elaborados a partir da mesa de tensão, combinada com a câmara de Richards.

Para os substratos avaliados, as maiores diferenças entre os métodos apareceram na tensão de 1 KPa. Esses resultados corroboram as observações de Reatto et al.(2008), para os solos da zona de transição do Bioma Cerrado – Amazônia. Comparando a centrífuga com o método da câmara de Richards, esses autores observaram que na tensão de 1 KPa ocorreu a maior diferença entre os valores obtidos, comparativamente as tensões de 5 e 10 KPa. Centurion et al. (1997), utilizando três tipos de solos, Latossolo Vermelho-Escuro, Latossolo Roxo e Podzólico Vermelho-Amarelo na comparação entre a Câmara de Richards e a centrífuga, também observou que sob baixas tensões os valores diferem entre si mais do que em altas tensões.

Com exceção do substrato 100%CAC, onde os valores obtidos através dos dois métodos são praticamente os mesmos, nos demais substratos observa-se, nas tensões de 1 KPa e 5 KPa uma tendência do método da centrífuga apresentar valores mais elevados de umidade volumétrica em comparação com a mesa de tensão. Esta diferença praticamente desaparece no ponto 10 KPa, no qual o método comparativo utilizado foi a câmara de Richards.

A teoria da descontinuidade de poros nos substratos aparentemente continua sendo válida, isto é, o filme de água que envolve as partículas que é contínuo para solos, não o é para alguns substratos, fazendo com que a tensão exercida na interface do material analisado com a superfície extratora não se estenda para toda a amostra. Emerge então uma questão: se a tensão na centrífuga é aplicada de forma mais uniforme em toda a amostra, porque então há uma maior retenção de água, ou seja, maior umidade volumétrica nas amostras submetidas à centrífuga em comparação a mesa, utilizada nas tensões de 1 e 5 KPa. A partir desses resultados, algumas hipóteses podem ser levantadas. Uma delas se refere à compactação da amostra.

Os valores superiores de umidade obtidos com a centrífuga podem estar relacionados à compactação ocorrida durante as determinações, onde o novo arranjo das partículas produziria uma mudança nas relações entre macro e microporos (CENTURION et al.,1977). A alteração na estrutura afeta a capilaridade

e a distribuição de tamanho dos poros do solo, conforme relatam Scardua (1972) e Jaccoud & Castro (1976). Esses autores verificaram que a estrutura desempenha um papel muito importante na retenção de água à baixa tensão, devido à presença de macroporos ou poros entre os agregados.

Pelos dados apresentados, pode-se inferir que a leve compactação dos substratos, resultante da aplicação do método da centrífuga, provavelmente resultou em um maior volume de água retida na amostra. A quase inexistência de diferenças entre os métodos no substrato 100%CAC seria explicável pela estrutura desse material, no qual o elevado percentual de partículas grandes dificultaria qualquer possível compactação.

Pela hipótese da compactação da amostra, o resultado esperado seria que a 5 KPa a diferença entre os dois métodos, em relação à água retida, aumentasse em relação a tensão de 1 KPa, pois na tensão mais elevada haveria maior adensamento. No entanto os resultados indicam que o aumento da tensão tende a neutralizar o efeito do método, ou que o menor volume de água retida nesta tensão faz com que as diferenças também sejam menores.

Outra hipótese que necessita ser analisada se refere a perda de água da amostra por evaporação durante o longo período de extração de água na mesa de tensão. Para atingir o ponto de equilíbrio da umidade na amostra em determinada tensão, esse período pode se estender por até 8 horas, como foi observado nos materiais analisados. A perda de água por evaporação faria com que a água extraída pelo método da mesa de tensão fosse superestimada, isto é, a água perdida por evaporação estaria sendo computada como água extraída no processo.

O processo de extração de água através do método da mesa de tensão faz com que as amostras estejam expostas as condições climáticas, como temperatura e umidade relativa do ar. Moraes e Libardi (1993) e Centurion et al. (1997) relatam a influência da temperatura na permanência da água nas amostras. O aumento de temperatura do ar faz com que a tensão superficial diminua e assim ocorra a perda da água para atmosfera. Possíveis oscilações de temperatura e umidade relativa do ar podem ter favorecido a saída de água da amostra, não pela sucção exercida e sim pela evaporação. Foi observado durante as análises realizadas neste estudo, que em dias de alta umidade relativa do ar, o tempo requerido para a estabilização da extração de água foi muito maior do que em dias com umidade relativa mais baixa. Materiais como as cascas de arroz, por serem constituídos basicamente de

sílica, não adsorvem a água como materiais ricos em matéria orgânica e argila, portanto perdem água mais facilmente para atmosfera.

A similaridade entre os dados de umidade volumétrica obtidos com a centrífuga e com a Câmara de Richards reforça essa hipótese. Nesses dois métodos a extração de água da amostra não é influenciada por fatores externos como umidade relativa do ar e temperatura e toda a água perdida, teoricamente, é resultado da tensão aplicada. Saliente-se ainda, que nesses dois métodos, a questão relacionada à descontinuidade de poros seria contornada, pois a pressão aplicada em um ponto da amostra transfere-se de forma mais homogênea para todo o material.

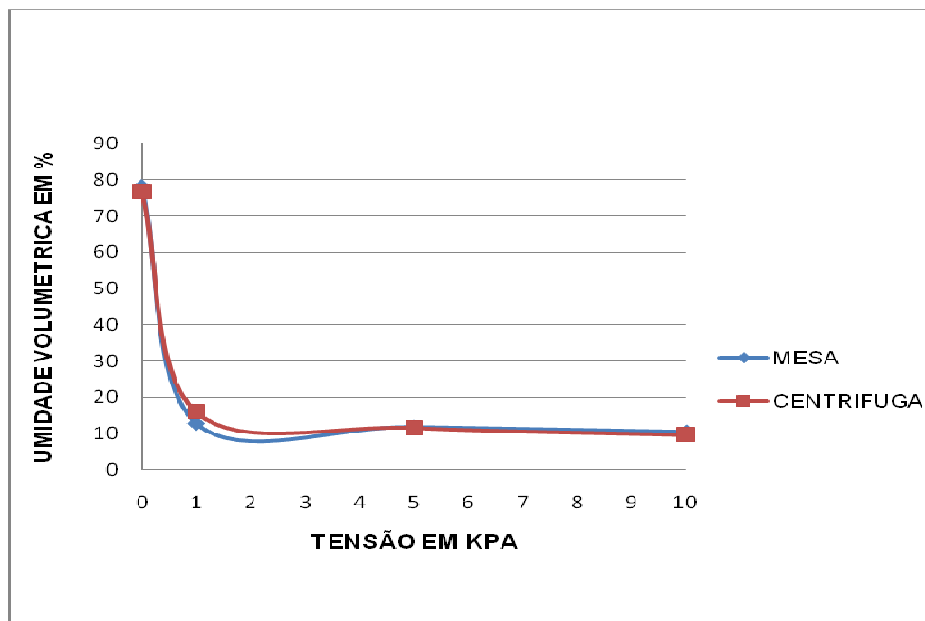


Figura 6 – Representação de Retenção de Água do Substrato 100% casca de arroz carbonizada, avaliada através de dois métodos, Embrapa Clima Temperado, Pelotas, 2010.

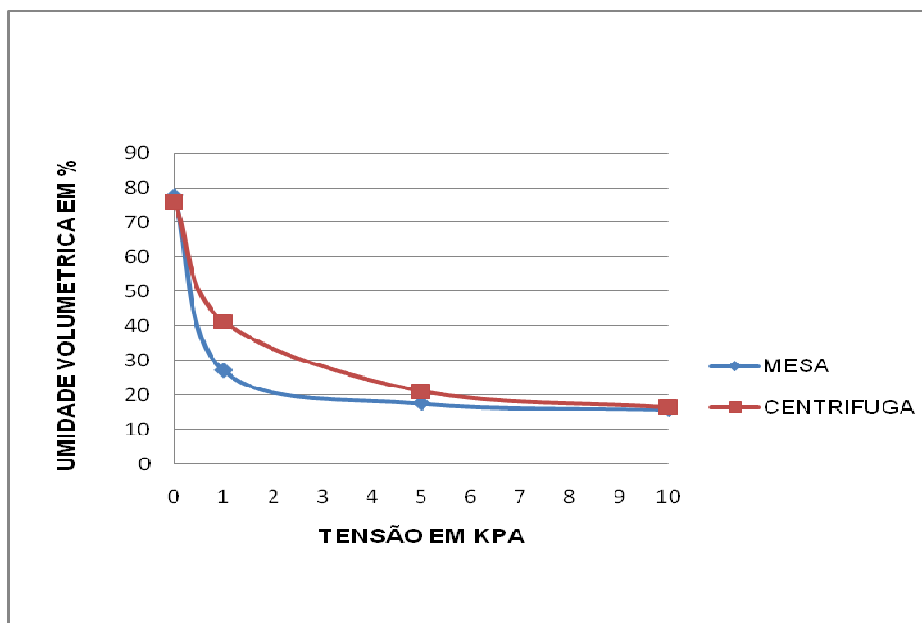


Figura 7 - Representação de Retenção de Água do Substrato 75% casca de arroz carbonizada + 25% casca de arroz queimada, avaliada através de dois métodos. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, 2010.

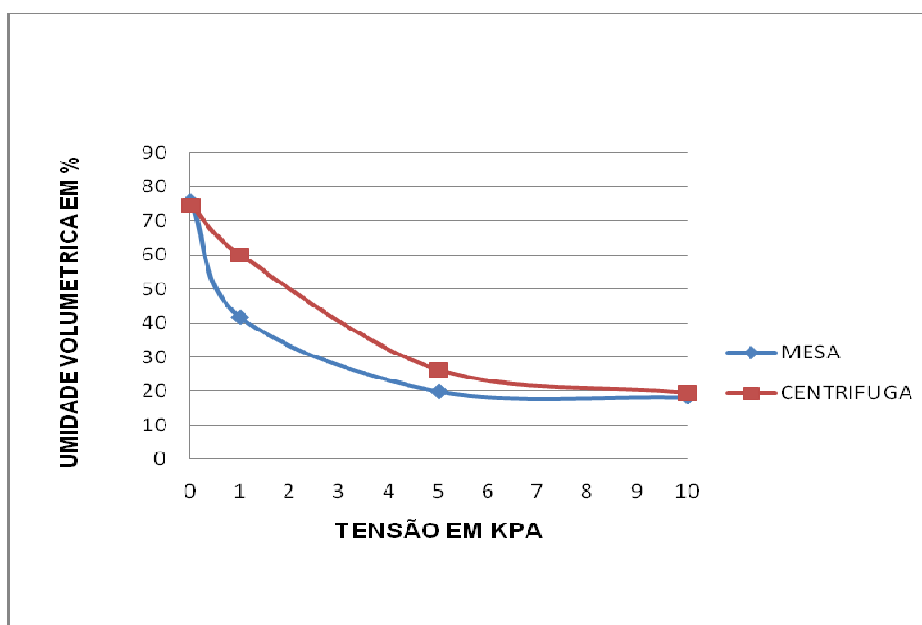


Figura 8 - Representação de Retenção de Água do Substrato 50% casca de arroz carbonizada + 50% casca de arroz queimada, avaliada através de dois métodos. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, 2010.

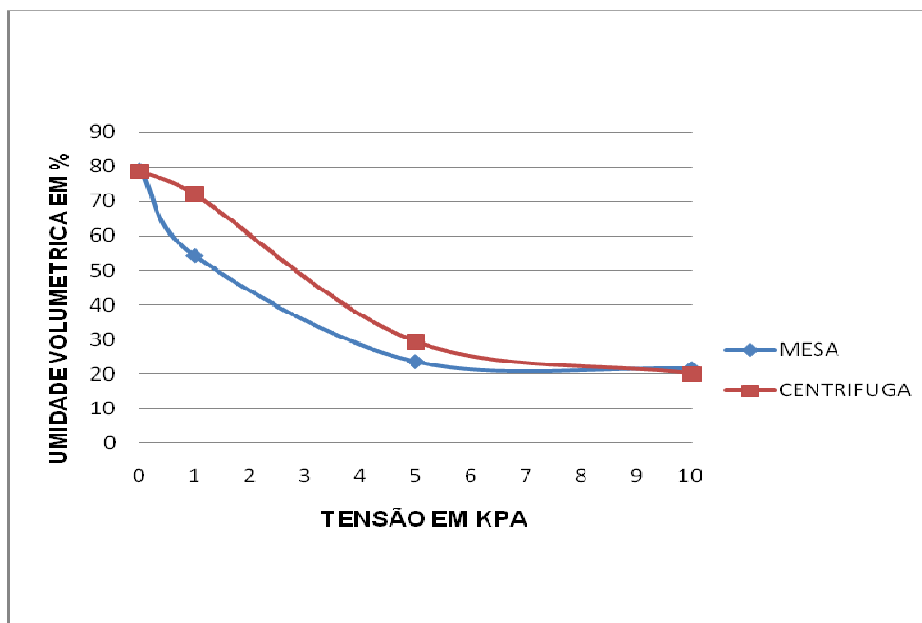


Figura 9 - Representação de Retenção de Água do Substrato 25% casca de arroz carbonizada + 75% casca de arroz queimada, avaliada através de dois métodos. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, 2010.

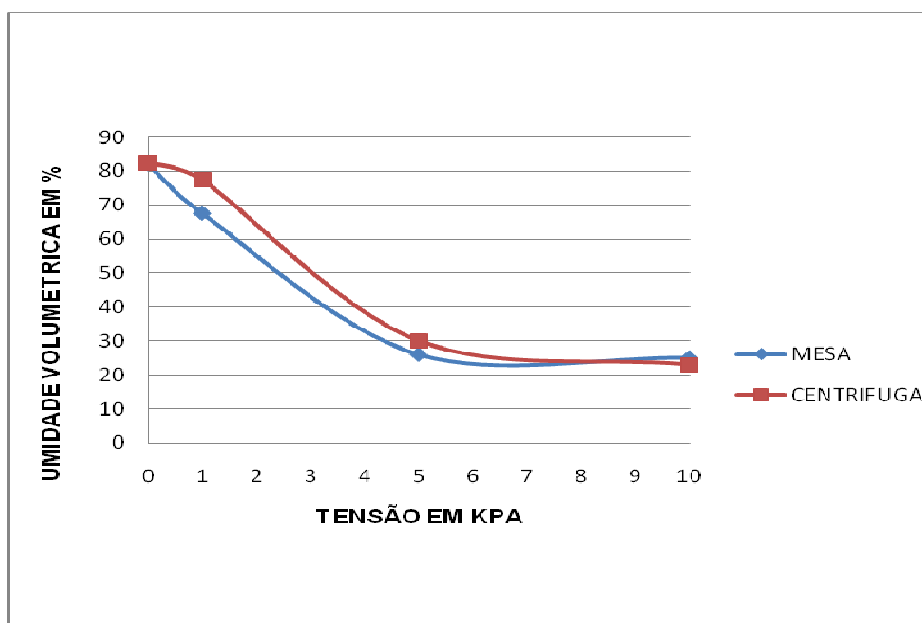


Figura 10 : Representação de Retenção de Água do Substrato 100% casca de arroz queimada, Embrapa Clima Temperado, avaliada através de dois métodos. Pelotas, 2010.

Analisando estatisticamente os dados de retenção de água, na média dos diferentes substratos (Tabela 5), observa-se que os valores obtidos através da centrífuga são maiores do que aqueles obtidos com a mesa de tensão. Essas diferenças desapareceram na tensão de 10 KPa, onde o método utilizado para

comparação com a centrífuga foi a câmara de Richards. Da mesma forma, na análise individual dos diferentes substratos (Tabela 6), observa-se que em nenhum dos substratos avaliados houve diferença estatística entre os dados obtidos com a câmara de Richards e a centrífuga.

Tabela 5: Umidade volumétrica (%) média dos substratos constituídos de diferentes misturas de casca de arroz carbonizada e casca de arroz queimada determinada através do método da mesa de tensão/câmara e da centrífuga, Embrapa Clima Temperado, 2010.

Métodos	Tensões		
	1 KPa	5 Kpa	10 KPa
Mesa de tensão/câmara	40,69 b	19,81 b	18,22 a
Centrífuga	53,33 a	23,65 a	17,71 a

Média seguidas pela mesma letra dentro da coluna, não apresentam diferenças significativas pelo teste de Duncan ($P > 0.05$).

Em termos gerais pode-se afirmar que na mesa de tensão (Tabela 6), para as três tensões, em todos os substratos, com exceção do substrato 100% de casca de arroz carbonizada, a diferença estatística se dá entre o primeiro ponto com os demais, ou seja, o ponto de 1 KPa é diferente do 5 KPa, mas este não difere do ponto 10 KPa.

Para o substrato 100%CAC (Tabela 6), com elevado percentual de partículas de tamanho de 4 até 2 mm, diferentemente dos demais, não houve diferença estatística em nenhum ponto de tensão entre os métodos propostos. No substrato 75%CAC+25%CAQ a diferença aparece na tensão de 1 KPa. Esse dado reforça a hipótese da compactação da amostra. A medida que aumenta o percentual de partículas pequenas no substrato, com o aumento da percentagem de casca de arroz queimada, esse material torna-se mais sujeito à compactação, fazendo com que a diferença entre os dois métodos, em relação à água retida, se acentue. Para os demais substratos, com maior percentual de CAQ as diferenças entre os métodos se deu tanto na tensão de 1 KPa como 5 KPa.

Tabela 6: Umidade volumétrica (%) retida nos substratos constituídos de diferentes misturas de casca de arroz carbonizada e casca de arroz queimada determinada através do método da mesa de tensão/câmara e da centrífuga, Embrapa Clima Temperado, 2010.

Métodos	Tensões		
	1 KPa	5 Kpa	10 KPa
Substrato	100%CAC		
Mesa de tensão/câmara	12,9 a A	11,9 a A	10,5 a A
Centrífuga	16,07 a A	11,67 a B	9,67 a B
Substrato	75%CAC+25 CAQ		
Mesa de tensão/câmara	26,97 b A	17,57 a B	15,67 a B
Centrífuga	41,25 a A	21,12 a B	16,42 a C
Substrato	50%CAC+50%CAQ		
Mesa de tensão/câmara	41,72 b A	19,95 b B	18,25 a B
Centrífuga	59,9 a A	26,07 a B	19,42 a C
Substrato	25%CAC+75%CAQ		
Mesa de tensão/câmara	54,25 b A	23,7 b B	21,67 a B
Centrífuga	72,04 a A	29,32 a B	20,02 a C
Substrato	100%CAQ		
Mesa de tensão/câmara	67,64 b A	25,95 b B	25,00 a B
Centrífuga	77,37 a A	30,07 a B	23,00 a C

Média seguidas pela mesma letra minúscula dentro da coluna e maiúsculas na linha, não apresentavam diferenças significativas pelo teste de Duncan ($P>0.05$). 100%CAC = 100% de casca de arroz carbonizada, 75%CAC+25%CAQ = 75% de casca de arroz carbonizada +25 % de casca de arroz queimada, 50%CAC+50%CAQ =50% de casca de arroz carbonizada +50 % de casca de arroz queimada, 25%CAC+75 CAQ = 25% de casca de arroz carbonizada +75 % de casca de arroz queimada, 100%CAC = 100% de casca de arroz queimada.

A correlação é a medida do grau em que as variáveis respondem a um efeito conjuntamente ou a medida da intensidade da associação entre elas. Nesse estudo, consideraram-se como variáveis os dados de umidade volumétrica obtidos nos dois métodos comparados, mesa de tensão/câmara de Richards e centrífuga, nas diferentes tensões, para os diferentes substratos.

O coeficiente de correlação geral entre os métodos, média dos substratos e das tensões foi $r = 0,9581$. Os coeficientes parciais para substratos e tensões são apresentados nas tabelas 7 e 8 respectivamente.

O elevado coeficiente de correlação geral verificado entre os dois métodos estudados denota por definição uma íntima associação entre os resultados. Da mesma forma quando considerada correlação dentro de cada tensão os coeficientes mantiveram-se elevados.

Os coeficientes de correlação dentro de substratos foram todos significativos. Entretanto, observou-se ligeira redução deste coeficiente para os substratos 100%CAC e 75%CAC+25CAQ, justamente nos substratos onde houve maior similaridade entre os métodos em relação à água volumétrica. Essa redução seria explicada pela variação no padrão de associação entre as variáveis, isto é, nesses materiais a similaridade dos resultados fugiu do padrão observado nos demais.

Tabela 7 Coeficientes de correlação entre os métodos de análise da curva de retenção de água para as diferentes tensões. Embrapa Clima Temperado, 2010.

Tensão	Coeficiente
1 KPa	0,9451
5 KPa	0,9254
10 KPa	0,9107

Tabela 8 Coeficientes de correlação entre os métodos de análise da curva de retenção de água para os diferentes substratos. Embrapa Clima Temperado, 2010.

Substrato	Coeficiente
100%CAC	0,7788
75%CAC+25%CAQ	0,7910
50%CAC+50%CAQ	0,9748
25%CAC+75%CAQ	0,9859
100%CAQ	0,9881

100%CAC = 100% de casca de arroz carbonizada, 75%CAC+25%CAQ = 75% de casca de arroz carbonizada +25 % de casca de arroz queimada, 50%CAC+50%CAQ = 50% de casca de arroz carbonizada +50 % de casca de arroz queimada, 25%CAC+75 CAQ = 25% de casca de arroz carbonizada +75 % de casca de arroz queimada, 100%CAC = 100% de casca de arroz queimada.

4.3 Análise Física dos Substratos

A densidade de partículas (DP) dos substratos com diferentes proporções de casca de arroz carbonizada (CAC) e casca de arroz queimada (CAQ) variou de 2,35 a 3,72 kg dm⁻³ (Tabela 9), valores estes situados dentro da faixa considerada ótima para substratos (ABAD et al., 1992). Observou-se que o aumento da proporção de casca de arroz carbonizada na mistura determinou um aumento da densidade de partículas dos substratos, atingindo seu maior valor de 3,72 kg dm⁻³ no substrato constituído de 100%CAC .

Para o parâmetro densidade do substrato (DS) observou-se uma tendência inversa, ou seja, uma redução dos valores com o aumento da proporção de casca de arroz carbonizada na mistura (Tabela 9). A densidade do substrato constituído de 100% de casca de arroz carbonizada foi aproximadamente duas vezes menor do que o substrato com 100% de casca de arroz queimada. Essa redução deve-se à baixa densidade da casca de arroz carbonizada (SCHIMITZ, 1999, SOUZA & FERREIRA, 2000), que faz com que a densidade da mistura seja reduzida com o aumento da proporção desse material. Os valores encontrados estão de acordo com os níveis considerados ótimos para substratos hortícolas, ou seja, inferiores a 0,4 kg dm⁻³ (ABAD et al., 1992) embora para determinadas situações substratos com baixa densidade forneçam pouca estabilidade às plantas, deixando-as sujeita ao tombamento (BUNT,1973).

Tabela 9 :Densidade de partículas e densidade de substratos (em kg dm⁻³) constituídos de diferentes misturas de casca de arroz carbonizada e casca de arroz queimada. Embrapa Clima Temperado, 2010.

Substratos	100%CAC	75%CAC+25%CAQ	50%CAC+50%CAQ	25%CAC+75%CAQ	100%CAQ
Densidade de partículas	3,72	2,99	2,60	2,50	2,35
Densidade de substrato	0,1295	0,1995	0,2500	0,2810	0,3020

100%CAC = 100% de casca de arroz carbonizada, 75%CAC+25%CAQ = 75% de casca de arroz carbonizada +25 % de casca de arroz queimada, 50%CAC+50%CAQ =50% de casca de arroz carbonizada +50 % de casca de arroz queimada, 25%CAC+75 CAQ = 25% de casca de arroz carbonizada +75 % de casca de arroz queimada, 100%CAQ = 100% de casca de arroz queimada.

Os valores de porosidade total (PT) nos substratos analisados variaram entre 74,4 a 82,6% (Tabela 10). De Boot & Verdonck (1972) sugerem como valor ideal para porosidade total de um substrato 85%. Neste trabalho, nenhum dos substratos analisados, apresentaram valor dentro da faixa de referência sugerida por De Boot &

Verdonck (1972). O substrato 100%CAQ foi o que apresentou valor próximo do considerado ideal.

A casca de arroz carbonizada, isoladamente, apresentou o maior espaço de aeração (EA), dentre os substratos estudados (Tabela 10). Esses resultados confirmam aqueles obtidos por Schimitz et al. (1999) e Kämpf (1994), nos quais a casca de arroz é considerada um ótimo condicionador físico, melhorando a aeração dos substratos. A casca de arroz queimada, isoladamente, apresentou reduzido espaço de aeração, em comparação aos demais materiais testados, o que se deve ao elevado percentual de partículas menores que 0,5 mm (BURÉS, 1997). Esses valores ficaram muito abaixo de 30%, considerado ideal por De Boot & Verdonck (1972). O espaço de aeração para os demais substratos variou de acordo com o percentual de cada material, seguindo a tendência esperada de aumento com a elevação do percentual de casca de arroz carbonizada e diminuição pela maior presença de casca de arroz queimada.

Os valores de referência para água disponível situam-se na faixa de 20-30% (De Boot & Verdonck, 1972). O substrato 100% de casca de arroz queimada apresentou valores de água disponível muito acima do considerado ideal, enquanto que, ao contrário o material com 100% de casca carbonizada apresentou valores muito abaixo dos valores de referência. Observou-se que o aumento na proporção de CAQ determinou aumentos na percentagem de água disponível, provavelmente devido ao aumento na proporção de partículas pequenas no substrato, o que determina o aumento de microporos (BURÉS, 1997). Considerando a média dos dois métodos da análise o substrato 50%CAC+50%CAQ foi o que apresentou valores de água disponível mais próximo dos valores de referência.

De forma semelhante à água disponível, e provavelmente pelas mesmas razões já apresentadas, os valores de água facilmente disponível aumentaram com o aumento da proporção de CAQ na mistura.

Os valores de água tamponante determinados pelo método da mesa de tensão para todos os substratos apresentaram-se abaixo da faixa considerada por De Boot (1972) como ideal de 4 -10%. Ao contrário, pelo método da centrífuga, os substratos apresentaram valores mais próximos a esta faixa.

Da mesma forma que para a água disponível e para água facilmente disponível, o aumento na proporção de CAQ nos substratos proporcionou aumento na água

remanescente. Os valores mais próximos da faixa referencial de 25-30% (DE BOOT & VERDONCK, 1972) foram observados no substrato constituído de 100% CAQ.

Na análise comparativa dos dois métodos de análise, para os diferentes parâmetros avaliados neste estudo, alguns pontos devem ser salientados. Para os parâmetros espaço de aeração (EA) e água facilmente disponível (AFD), que foram avaliados através da água volumétrica retida nas tensões de 1 e 5 KPa, utilizou-se apenas a mesa de tensão para sua determinação. Para a obtenção dos parâmetros água disponível (AD) e água tamponante (AT) foram utilizados tanto valores determinados pela mesa de tensão (1 e 5 KPa) como os valores obtidos com a Câmara de Richards na tensão de 10 KPa. A importância de salientar-se a metodologia utilizada para as diferentes determinações é que na comparação entre os métodos, para os parâmetros EA e AFD foram cotejados exclusivamente o método da mesa com o método da centrífuga. Para os parâmetros AD e AT, onde se utilizou além dos pontos de 1 e 5 KPa, o ponto de 10 KPa, a comparação envolveu, portanto, determinações feitas com a combinação da mesa de tensão e Câmara de Richards, por um lado, e a centrífuga por outro. Finalizando-se, para o parâmetro AR, a comparação se deu efetivamente entre a Câmara de Richards e método da centrífuga, pois a única tensão envolvida na determinação desse parâmetro foi a de 10 KPa.

Em relação a PT, pela fórmula através da qual é calculada, não existe nenhuma influência do método de análise, centrífuga ou mesa de tensão/câmara de Richards, nos valores encontrados. A variabilidade observada nos dados apresentados na Tabela 10, é fruto da variação amostral.

Em relação ao parâmetro EA, onde para sua determinação é utilizada baixa tensão, os valores estabelecidos pela mesa de tensão são maiores que os valores obtidos com a centrífuga. As diferenças entre os dois métodos são pequenas nos substratos com elevado percentual de CAC e aumentam à medida que aumenta o percentual de CAQ. O valor determinado pela mesa de tensão é 1,07 vezes maior no substrato 100 CAC, em comparação com a centrífuga, passando para cerca de 7 vezes maior no substrato com 100% de CAQ. Isso significa que a medida que o tamanho das partículas foi diminuindo no material, a extração de água na tensão de 1 KPa foi maior pelo método da mesa de tensão. Os dados indicam que à baixa tensão, o método da mesa consegue ser efetivo na extração de água,

independentemente de haver ou não continuidade de poros na amostra. No entanto, os aspectos já abordados de compactação da amostra e perda de água por evaporação devem ser também considerados.

Saliente-se aqui a influência da água extraída da amostra na tensão de 1 KPa sobre a determinação do EA e dos demais parâmetros. Como a extração de água neste ponto foi maior pela mesa de tensão, o EA que é calculado com base no espaço deixado na amostra após a retirada da água, foi consequentemente maior quando determinado por esse método. Esse menor volume de água volumétrica retido nas amostras submetidas a tensão de 1 KPa na mesa de tensão, ou por outro lado, o maior volume de água volumétrica determinado na amostra no método da centrífuga nesta tensão, influenciou diretamente na determinação dos demais parâmetros, AD e AFD. Como esses parâmetros são calculados por diferença na água volumétrica da amostra entre 1 e 10 KPa para AD e entre 1 e 5 KPa para AFD, os maiores valores observados no método da centrifuga para 1 KPa refletiram-se diretamente no resultado encontrado. Como consequência, a percentagem de água disponível e água facilmente disponível foi maior no método da centrifuga, em comparação ao método da mesa de tensão para todos os substratos analisados.

Essas diferenças entre os métodos praticamente deixam de existir em relação ao parâmetro água remanescente (AR). Para esse parâmetro, que refere-se a água volumétrica retida na amostra após submetida a tensão de 10 KPa, a comparação dá-se efetivamente entre a centrífuga e a câmara de Pressão de Richards, métodos entre os quais tem sido registradas elevadas correlações (MEDEIROS, 1987; CENTURION et al., 1997; REATTO et al., 2008). Como esses valores foram semelhantes para os dois métodos (Tabela 5), observou-se como consequência a similaridade de resultados obtidos para o parâmetro água remanescente (Tabela 10).

Tabela 10: Porosidade total, espaço de aeração, água disponível, água facilmente disponível, água tamponante, água remanescente de substratos constituídos de diferentes misturas de casca de arroz carbonizada e casca de arroz queimada, determinados através do método da mesa de tensão/câmara e da centrífuga, Embrapa Clima Temperado, 2010.

Substrato	100%CAC		75%CAC+25%CAQ		50%CAC+50%CAQ		25%CAC+75%CAQ		100%CAQ	
	Mesa de tensão	Centrífuga	Mesa de tensão	Centrífuga	Mesa de tensão	Centrífuga	Mesa de tensão	Centrífuga	Mesa de tensão	Centrífuga
	%									
PT	78,2	76,8	77,7	76,0	75,8	74,4	79,2	78,7	82,3	82,6
EA	65,3	60,7	50,7	36,3	34,0	14,4	24,9	6,60	14,6	2,10
ÁD	2,40	6,40	11,3	24,5	23,5	40,5	32,6	53,4	42,6	58,3
ÁFD	1,00	4,40	9,40	21,5	21,8	33,8	30,5	42,8	41,9	49,8
ÁT	1,40	2,00	1,90	3,10	1,70	6,60	2,00	10,7	1,00	8,50
ÁR	10,5	9,70	15,7	16,4	18,2	19,5	21,7	20,0	25,0	22,1

PT: Porosidade total; EA: Espaço de Aeração (0-10 cm); AD: Água Disponível (10-100 cm); AFD: Água Facilmente Disponível (10-50 cm); AT: Água Tamponante (50-100 cm); AR: Água Remanescente (100 cm). 100%CAC = 100% de casca de arroz carbonizada, 75%CAC+25%CAQ = 75% de casca de arroz carbonizada +25 % de casca de arroz queimada, 50%CAC+50%CAQ = 50% de casca de arroz carbonizada +50 % de casca de arroz queimada, 25%CAC+75 CAQ = 25% de casca de arroz carbonizada +75 % de casca de arroz queimada, 100%CAC = 100% de casca de arroz queimada.

A distribuição do tamanho de partículas nos diferentes substratos é apresentada na tabela 11. Observou-se no material 100%CAQ, o mais alto percentual de partículas menores que 0,25 mm, proporcionando elevados teores de AFD e AD (BURÉS,1997). Por outro lado, o elevado percentual de partículas pequenas determinou uma diminuição dos macroporos e conseqüente redução do espaço de aeração. A casca de arroz carbonizada, com o maior percentual de partículas de tamanho grande, entre 2 e 4 mm, apresentou por conseqüência maior percentual de espaço de aeração. Estes dados são confirmados por Burés (1997), que apresenta uma relação direta entre o tamanho de partículas, o diâmetro de poros e o espaço de aeração, ou seja, quanto menor o tamanho das partículas nas misturas, menor o tamanho dos poros e menor o espaço de aeração, devido à ocupação dos espaços existentes pelos fragmentos menores.

Tabela 11: Distribuição percentual de partículas dos substratos constituídos de diferentes misturas de casca de arroz carbonizada e casca de arroz queimada, Embrapa Clima Temperado, 2010.

mm	100%CAC	75%CAC+25CAQ	50%CAC+50%CAQ	25%CAC+25%CAQ	100%CAQ
≥ 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
< 4 ≥ 2	43,8	35,6	2,30	0,30	0,20
< 2 ≥ 1	24,6	24,7	21,4	6,30	0,00
< 1 ≥ 0,5	25,8	18,8	14,2	12,3	5,00
< 0,5 ≥ 0,25	4,60	18,9	29,4	33,2	43,0
< 0,25 ≥ 0,125	0,60	0,80	30,3	44,2	48,2
> 0,125	0,60	1,20	2,40	3,70	3,60

5 CONCLUSÕES

O tempo de centrifugação necessário para estabilização da extração de água de diferentes substratos a base de casca de arroz é de 120 minutos.

A determinação da curva de retenção de água de substratos através do método da centrífuga, pelos resultados deste estudo, apresenta-se como uma alternativa potencialmente viável ao método da mesa de tensão e da câmara de pressão de Richards.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAD, M.; MARTÍNEZ-HERRERO, M. D.; MARTINEZ-GARCÍA, P. F.; MARTÍNEZ-CORTE, J. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. **Actas de Horticultura - I Jornada de Substratos**, Espanha, n. 11, 1992. p.141-154,

BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. **Soil Physics**. 4º ed. New York: John Wiley, 1972. 498p.

BELLÉ, S.; KAMPF, A. N. Produção de mudas de maracujá- amarelo em substratos a base de turfa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 28. n. 3, p.385- 390, 1993.

BUNT, A. C. Some physical properties of pot-plant composts and their effect on plant growth. I. Bulky Physical Conditioners. **Plant and Soil**. The Hague, n. 12, p. 322-332. 1973.

BURÉS, S. Substratos. Madrid: Ediciones Agrotecnica S.L., 1997. 341 p.

BRIGGS, L. J.; McLANE, J. W. Moisture equivalent determinations and their application. **Proceedings of the American Society of Agronomy**, v. 2, p. 138-147, 1990.

CALDEVILLA, E. M. & LOZANO, M. C. **Cultivos sin suelo: hortalizas en clima mediterráneo**. Espanha: Ediciones de Horticultura, 1993. 123p.

CENTURION, J. F.; MORAES, M. H.; DELLA LIBERA, C. L. F. Comparação de Métodos para determinação da curva de retenção de água em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, 173-179. 1997.

De BOOT, M.; VERDONCK, O. The physical properties of the substrate in horticulture. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.26, p. 37-44, 1972.

FREITAS JÚNIOR, E.; SILVA, E. M. da. Uso da centrífuga para determinação da curva de retenção de água do solo em uma única operação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 11, p. 1423-1428, nov. 1984.

JACCOUD, A. & CASTRO, A.F. Curvas de caracterização de umidade de solos da área da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, município de Itaguaí. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 11:1-9, 1976.

KÄMPF, A. N. **Produção comercial de plantas ornamentais**. Porto Alegre: Guaíba Editora Agropecuária, 2000. 254p.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia - Relação Solo- Planta** – São Paulo: Ceres, 1979. 273p.

MARTINEZ, E. C.; GARCIA, M. L. **Cultivos sin suelo: Hortalizas em clima mediterrâneo**, 3. Reus: Ediciones de Horticultura S. L., 1993. 123 p.

MARTÍNEZ FARRÉ, F. X. Propuesta de Metodologia para la Determinacion de las Propiedades físicas de los Substratos. **Actas de Horticultura - I Jornadas de Substratos**, Espanha, n.11, p.55-66, 1992.

MEDEIROS, C. A. B. Carbonização da casca de arroz para utilização em substratos destinados à produção de mudas. **Comunicado Técnico nº 8**, Pelotas: Embrapa-CPACT. 1998.

MEDEIROS, S. D. **Determinação da curva de retenção da água no solo através do fatiamento de amostras centrifugadas**. 1987. 66p. (Dissertação de mestrado) Piracicaba.

MINER, J. A. **Sustratos: Propiedades y caracterización**. Madrid: Ed. Mundi-Prensa S. A., 1994. 172p.

MORAES, S. O.; P. L. LIBARDI Problemas metodológicos na obtenção da curva de retenção da água pelo solo. **Science Agriculturae**, Piracicaba, 50(3) 383-392, 1993

ODÉN, S. An integral method for determination of moisture retention curves by centrifugation. **Grundförbättring**, Uppsala, v. 27, p. 137-143, 1976.

PAUL, J.; LEE, C. I. Relation between Growth of Chrysanthemums and Aeration of Various Container Media. **Journal American Society Horticulturae. Science**. Alexandria, v.101, n.5, p.500-503, 1976.

PENNINGSFELD, F. Kultursubstrate fur den gartenbau, besonders in Deutschland: ein kritischer überblick. **Plant and Soil**. The Hague, v. 75, p. 269-281. 1983.

REATTO A. SILVA, E. M., BRUAND, A. MARTINS, E. S. LIMA, J. E. . W, Validity of the Centrifuge Method for Determining the Water Retention Properties of tropical **Soils Soil Science Society American Journal**, v 72, n 6, 2008.

RICHARDS, L. A.; FIREMAN, M. Pressure plate apparatus for measuring moisture sorption and transmission by soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 56, p. 395-404, 1943.

RUSSEL, M. B.; RICHARDS, L. A. The determination of soil moisture energy relations by centrifugation. Soil Science Society. **Proceedings**. USA, p. 65-69, 1938.

SCARDUA, R. **Porosidade livre de água em dois solos do Município de Piracicaba, SP**. 1972. 83p. Piracicaba, ESALQ/USP. (Dissertação de Mestrado).

SCHIMITZ, J. A. K.; SOUZA, P. V. D.; KAMPF, A. N. Características físicas de componentes de substratos de origem mineral e orgânica e suas misturas. Encontro Nacional sobre substratos para plantas, 1, 1999, Porto Alegre. **Resumos...** Porto Alegre, RS. 1999. p. 27-28.

SILVA E. M.,AZEVEDO,J.A. Influencia do período de centrifugação na curva de retenção de água em solos de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n 10, p.1487-1494, out 2002.

SILVA E. M.,AZEVEDO,J.A. Período de centrifugação adequado para levantamento da curva de retenção da água em solos do bioma Cerrado. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento** 8,Planaltina DF, n 8, 40 p. out 2001.

SOUZA, F. X.; FERREIRA, F.S. Características de materiais orgânicos para composição de substratos na produção de mudas e cultivo de plantas envasadas. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, 2, 2000. Florianópolis. **Resumos...** Florianópolis, SC. 2000. p.16-17.

TROMBETTA, A.; BELSIORE, G.; PICCONE, G.; NAPPI, P.; BARBERIS, R. **Metodi di analisi dei compost**. Dipartimento di valorizzazioni e protezioni delle risorse agroforestali. Sez. Chimica Agraria Università di Torino. out 1992.

VERDONCK, O.; DE VLEESCHAUWER D.; DE BOODT, M. The influence of the substrate to plant growth. **Acta Horticulturae: Substrates in Horticulture**, Wageningen. v.126, p. 251-258, 1981.

WILSON, G. C. S. The physico-chemical and properties of horticultural substrates. **Acta Horticulturae: Substrates**, Wageningen. v.150, p.19-32, 1983.

ZONTA, E. P.; MACHADO, A. A. **SANEST - Sistema de Análise Estatísticas para Microcomputadores**. Pelotas: UFPel, 1984. 75 p.

7 ANEXOS

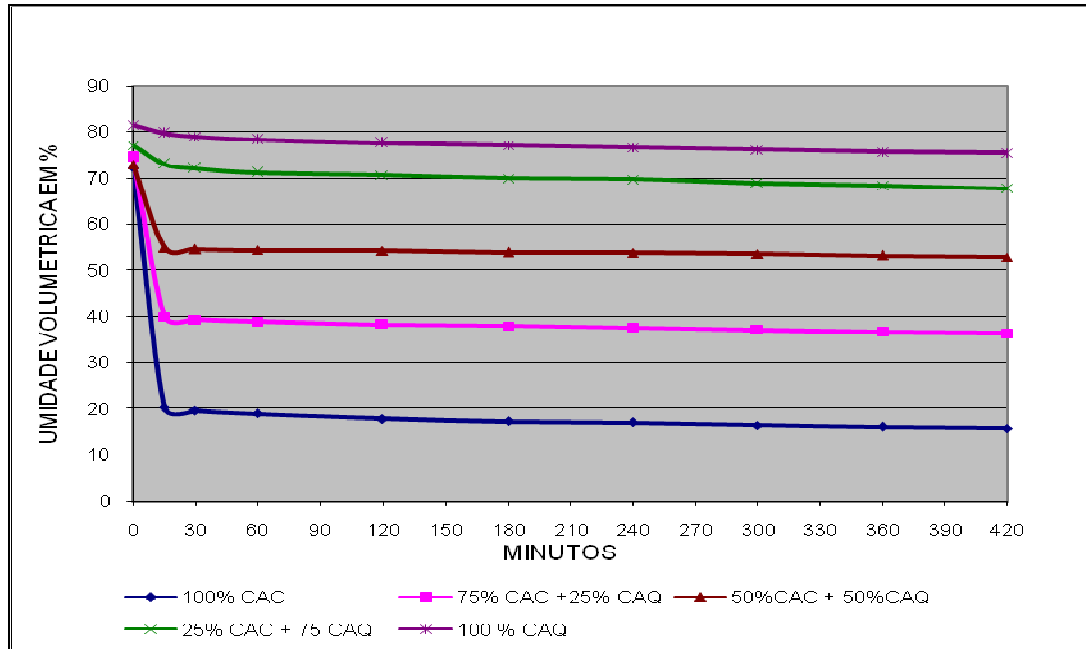


Figura 1 Umidade Volumétrica ao longo do período de centrifugação na tensão de 1 KPa

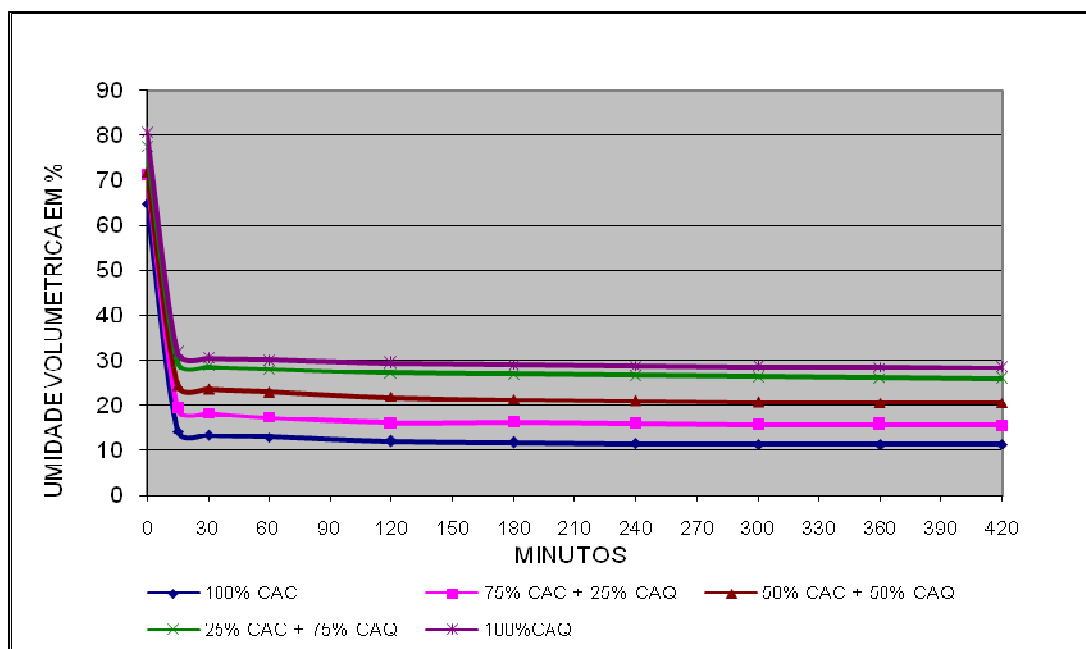


Figura 2 Umidade Volumétrica ao longo do período de centrifugação na tensão de 5 KPa

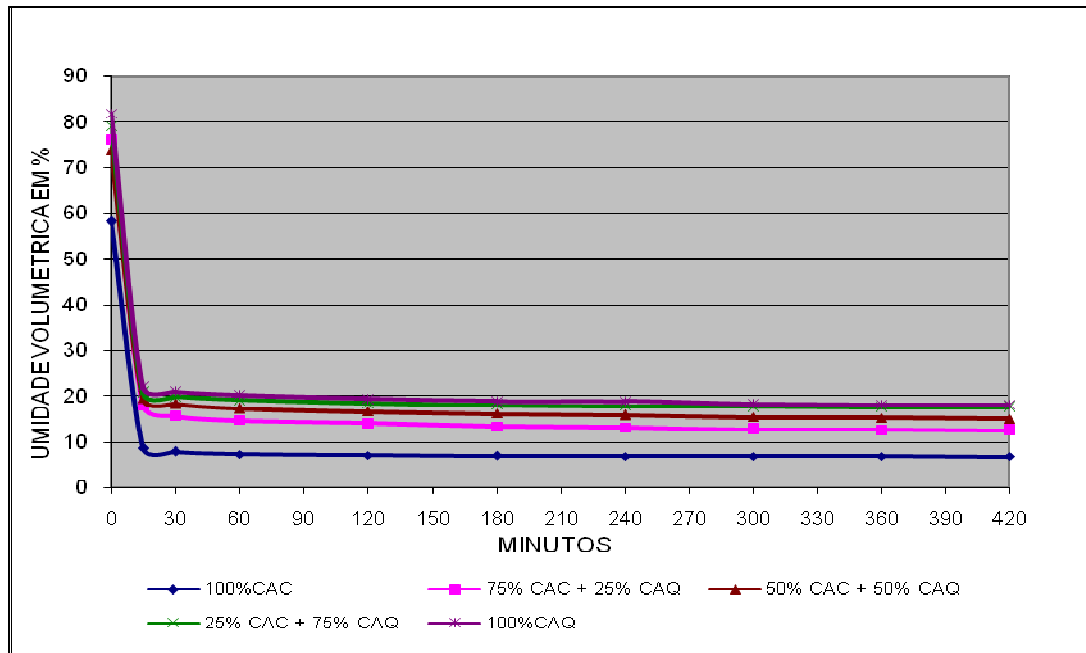


Figura 3 Umidade Volumétrica ao longo do período de centrifugação na tensão de 10 KP

